

УДК 621.314

Ю.В. Ковальова

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

## КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТИРИСТОРНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи - отримати аналітичну залежність ємності компенсуючих конденсаторів від кута керування тиристорів, індуктивності кола якоря та струму навантаження. Метод дослідження – моделювання процесів компенсації реактивної потужності на математичній моделі. В результаті роботи показано, що споживання струму з мережі мінімальне при повній компенсації реактивної потужності.

**Ключові слова:** тиристорний електропривод, реактивна потужність, компенсація

**Постановка проблеми.** Вартість енергоносіїв постійно зростає, тому проблема енергозбереження повинна вирішуватись всіма засобами, у тому числі, і засобами електропривода [1]. Тиристорні електроприводи наряду з активною споживають і реактивну потужність, яка пов'язана з втратами активної потужності в електромережах при її передачі. Отже, задача компенсації реактивної потужності тиристорних електроприводів є актуальною, оскільки це дозволить в певній мірі вирішити загальну проблему енергозбереження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З рівняння балансу потужності [2,3] виходить, що реактивна потужність тиристорного електропривода постійного струму визначається змінною складовою випрямленого струму, тому для її чисельного визначення доцільно використати теорію Будеану [4,5]. Сформулюємо поняття реактивного струму тиристорного електропривода постійного струму: реактивний струм тиристорного електропривода постійного струму це діюче значення змінної складової випрямленого струму, яка послідовно перетворюється в змінний магнітний потік, в змінну ЕРС самоіндукції, знову в змінний струм і повертається в електромережу.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є визначення ємності конденсаторів для компенсації реактивної потужності тиристорних електроприводів постійного струму.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення ємності компенсуючих конденсаторів тиристорних електроприводів постійного струму складемо схему заміщення для гармонічних складових (рис. 1).

Розрахунок ємності компенсуючих конденсаторів при тиристорному керуванні будемо проводити через рівність діючих значень енергій магнітного поля котушки та електричного поля конденсатора, тобто  $C = L \cdot \sum I_k^2 / \sum U_k^2$ ,

де  $\sum I_k = K_{PI} \cdot I_0$  - діюче значення суми гармонік струму;  $\sum U_k = K_{PU} \cdot U_0$  - діюче значення суми гармонік напруги;  $I_0$  - абсолютне значення струму

навантаження, яке визначається за формулою  $I_0 = I_{0*} \cdot I_{ном}$ ;  $U_0$  - постійна складова випрямленої напруги, яка визначається за заданим струмом навантаження та заданою швидкістю;  $K_{PI}, K_{PU}$  - коефіцієнти пульсацій випрямлених струму і напруги, як відношення діючих значень змінних складових до постійних складових. Коефіцієнти пульсацій для однофазного тиристорного випрямляча визначаються за емпіричними формулами

$$K_{PI} = 0,988 + 0,005\alpha - 0,028T_{я} - 0,048I_0^* + 0,025\alpha T_{я} - 0,015\alpha I_0^* + 0,033T_{я} I_0^* - 0,003\alpha T_{я} I_0^*$$

$$K_{PU} = 2,8 + 0,06\alpha^{2,5} + 236T_{я}^{1,9} - 10I_0^2 - 3\alpha^{2,5}T_{я}^{1,9} - 0,09\alpha^{2,5}I_0^2 - 80T_{я}^{1,9}I_0^2 + 120\alpha^{2,5}T_{я}^{1,9}I_0^2$$

де  $\alpha$  - кут керування тиристорів;  $I_0^*$  - відносний струм навантаження;  $T_{я}$  - електромагнітна стала часу кола якоря.

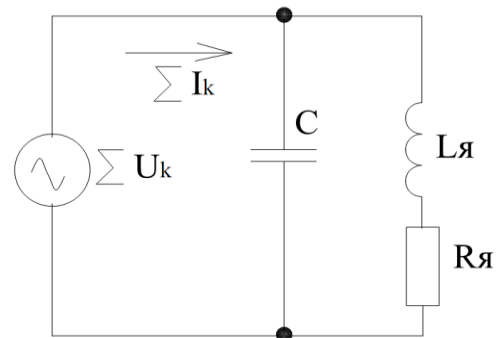


Рис. 1. Схема заміщення кола якоря для реактивної потужності

Для заданих значень параметрів режиму роботи розрахуємо ємності конденсаторів для електропривода з однофазним тиристорним

випрямлячем та з двигуном типу 4ПФ112S з таким технічними даними:  $P=2$  кВт;  $U=220$  В;  $n=450$  об/хв;  $I=14,5$  А;  $R=1,07$  Ом;  $L=0,063$  Гн.

Оскільки тиристорні електроприводи відносяться до класу детермінованих систем, які

точно описуються диференційними рівняннями, то будемо проводити комп'ютерний експеримент. Комп'ютерну модель складемо в програмному пакеті Simulink [6], яка показана на рис. 2.

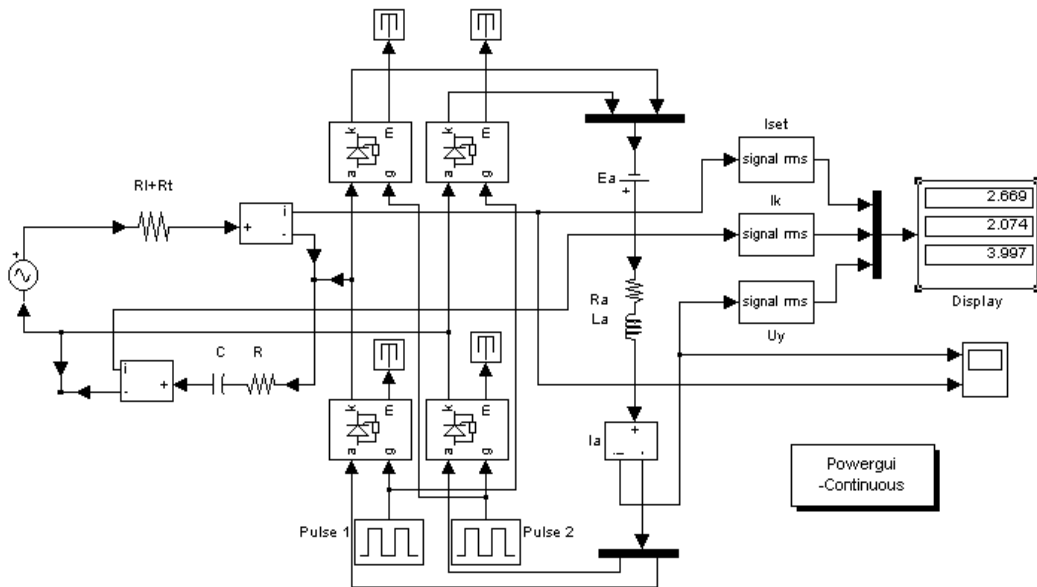


Рис. 2. Модель електропривода для перевірки режиму компенсації реактивної потужності

Модель двигуна у вигляді схеми заміщення складається з активного опору, індуктивності кола якоря та ЕРС якоря. Тиристорний випрямляч містить чотири тиристири. Кут керування тиристорів задається блоками Pulse Generator. Діюче значення струмів визначають блоки signal rms.

Для перевірки режиму компенсації введемо в модель значення розрахованих ємностей і виміряємо струм в мережі. Далі будемо приймати значення ємностей в більшу і меншу сторони від розрахункових і вимірювати струм в мережі. За даними розрахунків побудовані графіки струму мережі для різних комбінацій параметрів електропривода та ємностей конденсаторів і показані на рис. 3. З графіків виходить, що розраховані значення ємностей за формулою показані точками не забезпечують повної компенсації реактивної потужності, тобто, мінімального струму мережі. Методом ітерацій на моделі були знайдені значення ємностей, при яких реалізується режим повної компенсації. На рис. 4

показані отримані на моделі осцилограми споживаного струму з мережі в режимі без компенсації та в режимі повної компенсації реактивної потужності.

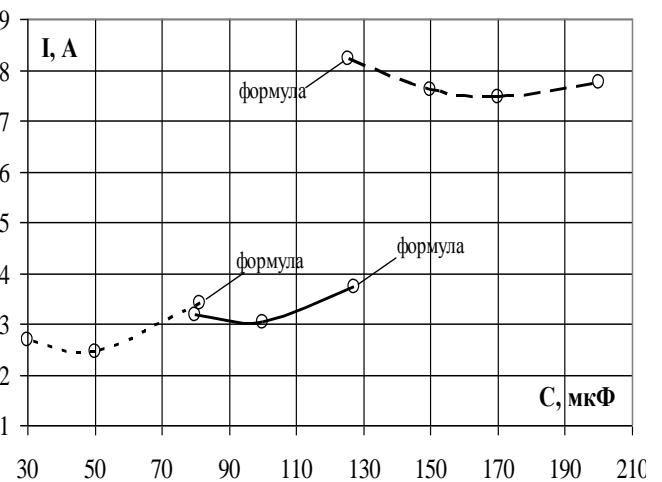


Рис. 3. Графіки струму мережі при різних ємностях конденсаторів при однофазному тиристорному випрямлячі при заданих параметрах режиму кута керування, електромагнітної сталої кола якоря та струму навантаження

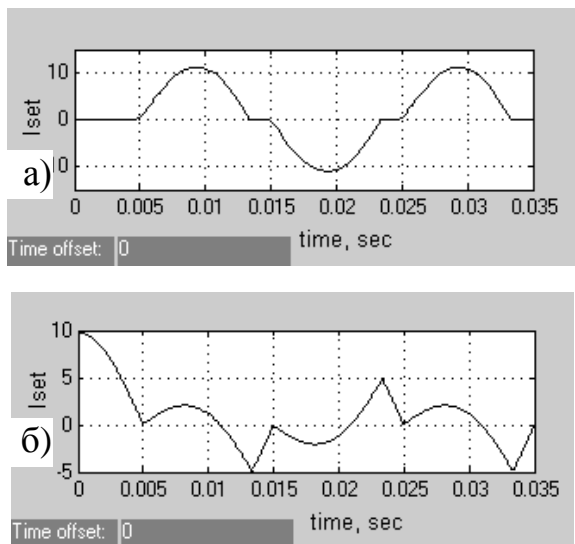


Рис. 4. Осцилограми струму мережі без компенсації (а) і з компенсацією (б) реактивної потужності

**Висновки.** Заропонована формула для розрахунку ємності компенсуючих конденсаторів для двигуна постійного струму при його живленні від однофазного тиристорного випрямляча, яка розраховує ємність через рівність несинусоїдних енергій магнітного поля обмотки якоря і електричного поля конденсатора. Проведені комп'ютерні експерименти показали достатню точність розрахункових значень ємностей компенсуючих конденсаторів з ємністю конденсаторів визначену методом ітерацій на моделі.

### Література

1. Барський В.А., Бешта А.С., Горбачев Н.В., Загирняк М.В., Клепиков В.Б., Лозинський О.Ю., Пересада С.М., Садовой А.В., Толочко О.И. / *Электропривод как энергосберегающий фактор в промышленности и ЖКХ Украины // Энергосбережение · Энергетика · Энергоаудит.* – Харьков, 2013. – № 9(115). – С. 2–11.
2. Ковальова Ю.В. Рівняння електроенергетичного балансу тиристорних електроприводів постійного та змінного струмів. *Міжнародн. наук.-техн. журнал "Світлотехніка та електроенергетика",* № 4(32), 2012 р., С. 68-73.
3. Ягуп В.Г., Ковальова Ю.В. Аналіз методів визначення реактивної потужності тиристорних електроприводів постійного струму в системах електропостачання. /

- Вісник Донбас. держ. маш.- буд. акад. Зб. наук. праць.* №4(29), 2012. С. 115-121.
4. Budeanu C. Puissances reactivs at fictivts // *Inst. Nat. Roumain pour l'etude de L'amenagement et de L'utilisation de sources d'energie.* 1927.-N2. – Bucarest.
5. Родькин Д.И. Баланс составляющих мгновенной мощности полигармонических сигналов. // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.* - Вип. 3/2007(44), частина 1 с.66-71.
6. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0 [Текст]/ С.Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2007. – 320 с.

### References

1. Barskiy, V. A. Elektroprivod kak energosberegayuschiy faktor v promyshlennosti i ZhKH Ukrainyi [Tekst] / V. A. Barskiy, A. S. Beshta, N. V. Gorbachev, M. V. Zagirnyak, V. B. Klepikov, O. Yu. Lozinskiy, S. A. Mehovich, S. M. Peresada, A. V. Sadovoy, O. I. Tolochko // *Energosberezhenie · Energetika · Energoaudit.* – Harkov, 2013. – # 9 (115). – S. 2 – 11.
2. Koval'ova, Ju. V. Rivnjannja elektroenerhetychno balansu tyristornych elektroprivodiv postijnoho ta zminnoho strumiv [Tekst] / Ju. V. Koval'ova // *Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka.* - 2012. - # 4 (32). - S. 68 - 73.
3. Jahup, V. H. Analiz metodiv vyznachennja reaktyvnoji potuzhnosti tyristornych elektroprivodiv postijnoho strumu v systemach elektropostachannja [Tekst] / V. H. Jahup, Ju. V. Koval'ova // *Visnyk Donbas. derzh. maš.- bud. akad. Zb. nauk. Prac'.* – 2012. - #4 (29). - S. 115 - 121.
4. Budeanu, C. Puissances reactivs at fictivts [Tekst] / C. Budeanu // *Inst. Nat. Roumain pour l'etude de L'amenagement et de L'utilisation de sources d'energie.* 1927.- N2. – Bucarest.
5. Rodkin, D. I. Balans sostavlyayuschih mgnovennoj moschnosti poligarmonicheskikh signalov [Tekst] / D. I. Rodkin // *Visnik Kremenchutskogo derzhavnogo polltehnichnogo unlvrsitetu.* - Vip. 3/2007(44). Chastina 1. - S. 66 - 71.
6. German-Galkin, S. G. Kompyuternoe modelirovanie poluprovodnikovoyih sistem v MATLAB 6.0 [Tekst] / S. G. German-Galkin. – Sankt-Peterburg: KORONA print, 2007. – 320 s.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Г. Ягуп, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.

**Автор:** КОВАЛЬОВА Юлія Вікторівна Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, аспірантка кафедри електропостачання міст. E-mail – j.k@scientist.com

## THE COMPENSATION OF REACTIVE POWER OF THYRISTOR ELECTRIC DRIVE OF DIRECT CURRENT

J.V. Kovalova

*Purpose of work - to get analytical dependence of capacity of compensating condensers on the angler of control of thyristor, inductance of circle of armature and current of loading. Research method – the design of processes of indemnification of reactive power on a mathematical mode. It was the getted formula for calculation compensating condensers for the electric drives monophasе thyristor rectifier, which calculate capacity through equality of nonsine energies of the magnetic field of finding of armature and electric field of condenser. Conducted computer experiments showed sufficient exactness of calculation values of capacities of compensating condensers with the capacity of condensers certain the method of approximate on a model. As a result of work is shown that the consumption of current from a network is minimum during complete indemnification of reactive power.*

*Keywords: thyristor electric drive, reactive power, compensation*