

ПРО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТИРИСТОРНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Актуальність теми. Енергоефективність тиристорних електроприводів постійного струму (ТЕП) характеризують: 1) коефіцієнт корисної дії (ККД) показує ефективність перетворення активної складової електроенергії в механічну роботу; 2) коефіцієнт потужності ТЕП показує ефективність передачі електроенергії через електромережі за наявності реактивної складової електроенергії; 3) вплив ТЕП на показники якості електроенергії на шинах підстанцій (електромагнітна сумісність). Для покращення показників енергоефективності необхідно скласти перелік задач, вирішення яких і дозволить це зробити.

Аналіз публікацій. Коефіцієнт потужності вказує на наявність реактивної складової потужності, яка не перетворюється в теплову та механічну роботу двигуна. Для визначення реактивної потужності при несинусоїдних режимах відомо три основних методи.

Перший спектральний метод [1] представляє несинусоїдну миттєву реактивну потужність сумою добутків гармонік напруги і струму. Але згідно з методом Фур'є несинусоїдна миттєва реактивна потужність може бути представлена сумою гармонік реактивних потужностей, а не сумою добутків гармонік двох величин: напруги і струму. Отже, спектральний метод протирічить математичним основам методу Фур'є, оскільки $Q = \sum q_i \neq \sum U_i I_i \sin \varphi_i$. Доречно зазначити, що згідно з методом для компенсації нерівності введено поняття "потужність спотворення", фізичний зміст якої не розкритий: чи перетворюється в роботу чи ні, в яких одиницях вимірюється.

Другий інтегральний метод [2] використовується в теорії перетворювальної техніки, згідно з яким так звана "приведена реактивна потужність" розраховується за формулою $Q = U_m^2 \cdot \sin^2 \alpha / 4\pi \cdot R$, де U_m , α , R - відповідно амплітуда мережної напруги, кут керування тиристором і активний опір електричного кола. Поява цієї потужності обґрунтовується тим, що при тиристорному керуванні струм з'являється з фазовим зсувом відносно напруги джерела. Але, як видно з рис.1 кут α фазового зсуву переднього фронту графіка струму не дорівнює куту φ фазового зсуву його заднього фронту і не може вважатися ознакою споживання реактивної потужності.

Величина фазового зсуву заднього фронту струму є функція від індуктивності котушки і, отже, від реактивної потужності $\varphi=f(Q)$. В синусоїдних колах за величиною функції, тобто кута φ , можна знайти аргумент, тобто реактивну потужність $Q = S \cdot \sin \varphi$. При несинусоїдних режимах це неможливо. При аналізі енергетичних процесів в ТЕП поняття "реактивної потужності" повинно бути однозначним, тобто таким що однозначно ототожнює процес обміну електроенергії. При любых міркуваннях поняття реактивної потужності повинно вживатися лише в одному і тому ж змісті (швидкість перетворення енергії магнітного або електричного поля), недопустима підміна одного поняття іншим. Реактивну потужність споживає котушка (конденсатор) і лише котушка (конденсатор) незалежно від схеми їх живлення.

Третій метод використовує поняття миттєвої реактивної потужності [3], як швидкості (частоти) зміни електромагнітної енергії, але не пропонує практичних методів визначення реактивної потужності і способів її компенсації. Доречно зазначити, що жоден з методів не пройшов експериментальних досліджень.

Для аналізу ККД двигуна постійного струму при його живленні від тиристорного випрямляча необхідно використати рівняння енергетичного балансу потужності отриманого в [4]

$$\sqrt{(U_0^2 + \sum U_v^2)(I_0^2 + \sum I_v^2)} = (I_0^2 + \sum I_v^2)R_\gamma + M\omega_\gamma + \sum (I_v^2 X_v). \quad (1)$$

Рівняння отримане з урахуванням того, що гармоніки струму якоря не створюють крутний момент двигуна ($C\Phi\omega_\gamma \sum I_v^2 = 0$), а постійна складова струму якоря не створює спаду напруги на індуктивності кола якоря.

Ліва частина рівняння (1) є повна потужність S підведена до двигуна від тиристорного випрямляча. Перші два члени правої частини є відповідно теплова і механічна потужність двигуна, а в сумі – активна потужність P . Третій член є реактивна потужність згідно першого спектрального методу.

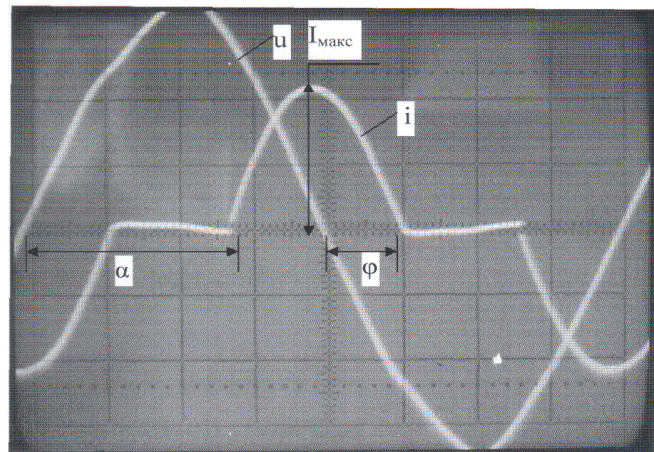


Рис. 1 Осцилограми мережних напруги і струму споживаних обмоткою збудження двигуна при її тиристорному живленні

Що стосується електромагнітної сумісності, тобто, впливу ТЕП на якість електроенергії, зокрема, в інверторних режимах, то в [5] частково ці питання розглянуті, але без урахування активного та індуктивного опорів кола якоря та з використанням сумнівних припущень щодо нескінченості індуктивності кола якоря. Тому виникає задача більш глибокого вивчення та визначення складових потужності електроенергії ТЕП в рекуперативному режимі на основі закону збереження енергії.

Мета роботи. Сформулювати наукові задачі, вирішення яких дозволить обґрунтувати шляхи підвищення енергоефективності ТЕП.

Матеріал та результати роботи. З рівняння (1) можна отримати вираз для визначення коефіцієнта потужності ТЕП як відношення перших двох членів рівняння (активна потужність) до його лівої частини (повна потужність)

$$K_n = \frac{R_a(I_0^2 + \sum I_v^2) + M\omega_a}{U_a I_a} \quad (2)$$

Зазначимо, що коефіцієнт потужності залежить від навантаження на валу двигуна і не дає чіткого уявлення про необхідність компенсації. Очевидно для ТЕП необхідна конкретна методика розрахунку реактивної потужності або реактивної складової повного струму, причому його діючого значення, оскільки метою компенсації є зменшення втрат в електромережі. З іншого боку необхідно знати і амплітуду реактивного струму, оскільки реактивна потужність дорівнює половині добутку частоти, індуктивності і квадрата амплітуди реактивної складової повного струму незалежно від його форми.

З рівняння (1) випливає, що нагрівання двигуна при живленні від тиристорного випрямляча збільшується відносно його живлення постійним струмом на величину $(I_0^2 + \sum I_v^2) / I_0^2 = I_d / I_0$. Це означає, що ККД ТЕП відносно ККД двигуна η при його живленні постійним струмом зменшується і дорівнює $\eta_{ТЕП} = \eta(I_0 / I_d)$. Зменшення ККД пояснюється тим, що крутний момент двигуна створюється лише постійною складовою струму, а нагрівання окрім останньої ще й гармонічними складовими струму. Отже, для підвищення ККД необхідно збільшувати індуктивність згладжувального дроселя, але при цьому зменшується коефіцієнт потужності. Отже, виникає друга задача вибору оптимальної величини індуктивності згладжувального дроселя.

При рекуперативних режимах проти-ЕРС якоря двигуна постійного струму накладається на синусоїду мережної напруги, що спричинює зсув першої гармоніки струму в сторону випередження. Це дає підстави розглядати ТЕП в інверторному режимі в якості компенсатора реактивної енергії (потужності). При цьому виникає третя задача визначення кількості рекуперованої електроенергії від ТЕП, тобто балансу потужності ТЕП у інверторному режимі. Окрім цього, необхідна оцінка впливу ТЕП на якість електроенергії (електромагнітна сумісність).

Висновки. 1. Для обґрунтування шляхів підвищення енергоефективності ТЕП необхідно розв'язати такі задачі: 1) розробити методику визначення реактивної складової струму ТЕП; 2) вирішити задачу оптимізації індуктивності кола якоря ТЕП за критерієм максимуму ККД і максимуму коефіцієнта потужності; 3) провести дослідження впливу рекуперативного режиму ТЕП на коефіцієнт потужності і показники якості електроенергії.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Родькин Д.И. Комментарий к теории энергопроцессов с полигармоническими сигналами [Текст] / Д.И. Родькин // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.- 2003. - № 3/2005(32). - С.106-114.
2. Маевский О.А. Энергетические показатели вентиляльных преобразователей [Текст] / О.А. Маевский. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
3. Саенко Ю.Л. Реактивная мощность в системах электропитания с нелинейными нагрузками [Текст] : автореф. дис.на здобуття наук. ступ. д-ра техн. наук: Спец. 05.09.05. – Теоретична електротехніка / Ю.Л. Саенко. – Львів: "Львівська політехніка", 2003.-39 с.
4. Ковальова Ю.В. Рівняння електроенергетичного балансу тиристорних електроприводів постійного та змінного струмів [Текст] / Ю.В. Ковальова // Світлотехніка та електроенергетика. 2012. - № 4(32). – С. 70-73.
5. Справочник по преобразовательной технике [Текст] / под ред. И. М. Чиженко.—Киев: Техника,1978. – 446 с.