

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНОТРОННИХ СИСТЕМ З АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ

О.М.Попович, канд.техн.наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.
E-mail: popovich1955@ukr.net

Обґрунтовано та досліджено уточнені вирази для визначення коефіцієнту потужності електромеханотронних систем із врахуванням несиметрії параметрів, несинусоїдності процесів, динамічних режимів роботи. Вирази призначено для порівняльного дослідження систем, формування критеріїв оптимального проектування у припущенні симетрії та синусоїдності напруги живлення. Вихідною інформацією для розрахунків є часові залежності струмів мережі та лінійних напруг. Уточнення, порівняно із розрахунками за першою гармонікою та миттєвими потужностями, збільшується із збільшенням ступеня несинусоїдності і для випадку тиристорного регулювання напруги асинхронного двигуна сягає 20%. Бібл. 5, рис. 1.

Ключові слова: асинхронний двигун, електромеханічна система, коефіцієнт потужності, несинусоїдність.

Серед критеріїв оцінки ефективності систем електромеханічного перетворення енергії важливе місце займають енергетичні коефіцієнти: корисної дії та потужності. Коефіцієнт корисної дії характеризує ефективність перетворення електричної енергії до механічної, оцінює втрати всередині електромеханічної системи. Коефіцієнт потужності дозволяє оцінити вплив споживача, зокрема системи електромеханічного перетворення енергії, на ефективність передачі енергії електричною мережею від джерела до споживача.

При симетричних синусоїдних процесах коефіцієнт потужності представляє собою косинус кута зсуву фаз струму відносно напруги ($\cos \phi$) і визначається за величинами активної та реактивної потужностей. Відхилення процесів від симетричних, синусоїдних, що, зокрема притаманно електромеханотронним системам (ЕМТС) і обумовлено їхньою специфікою, ускладнює аналіз впливу споживача на електромережу. Такі особливості режимів роботи ЕМТС пов'язані із спотворенням синусоїдної форми струму напівпровідниковими перетворювачами та індуктивними елементами із насиченими магнітопроводами, можливою несиметрією параметрів за фазами, значним часом роботи в динамічних режимах. Коефіцієнт потужності у режимах роботи із відхиленнями від симетричних синусоїдних часто оцінюють із введенням до розгляду нарівні із активною і реактивною додаткових потужностей: несиметрії та спотворення. Практичне використання такого підходу ускладнюється проблемами визначення складових повної потужності в умовах врахування несинусоїдності і несиметрії процесів. У рамках даної роботи аналіз впливу ЕМТС на електромережу і розробка відповідних моделей здійснені з метою визначення коефіцієнта потужності для порівняльної оцінки енергетичних властивостей ЕМТС при дослідженні робочих режимів, а також для визначення критерію оптимального проектування ЕМТС з АД.

Вираз для визначення коефіцієнту потужності в умовах специфіки режимів роботи ЕМТС отримуємо, спираючися на положення, що $\cos \phi$ є зворотною величиною кореня квадратного від ступеня збільшення втрат у мережі порівняно із мінімально можливими втратами при передачі даної активної потужності і оцінюється відношенням мінімально можливих діючих значень струмів до їхніх поточних значень. Тобто, в умовах симетрії та синусоїдності коефіцієнт потужності $\alpha = \cos \phi = I_{\min} / I$ [1, 3]. У загальному випадку сумарне поточне значення діючих струмів багатофазної мережі характеризує сумарні втрати потужності в мережі і при симетрії її параметрів є середньоквадратичним значенням діючих струмів фаз

$$I_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n_M} \left(\frac{1}{T} \int_0^T i_j^2(t) dt \right)} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n_M} I_j^2},$$

де j – номер проводу симетричної живлячої мережі; n_M – їхня кількість.

Мінімально можливі діючі значення струмів мережі (і втрат у ній) у відповідності до нерівності Коши-Шварца, яка застосовується при визначенні реактивної потужності за Фрізе, буде мати місце при лінійній залежності миттєвих значень напруги, прикладеної до навантаження $u(t)$ і струму в ньому $i_{\min}(t)$ [5]. Це справедливо при довільній часовій залежності напруги. У випадку ЕМТС, відповідно до застосованої системи припущень, аналіз проводиться для багатофазної симетричної системи синусоїдних напруг. При цьому мінімальні діючі струми фаз [2], які спроможні передати задану активну потужність P , будуть однакові і дорівнюють: $I_{j \min} = P / (n_M U_f)$, а сумарне еквівалентне значення мінімальних струмів симетричної мережі становить

$$I_{\Sigma \min} = \sqrt{n_m} I_{j \min} = P / (\sqrt{n_m} U_f).$$

Останні співвідношення дозволяють отримати вираз для визначення величини коефіцієнту потужності багатофазної ЕМТС за умови симетричної системи живлення

$$\alpha = \frac{I_{\Sigma \min}}{I_{\Sigma}} = \frac{2 \sin(\pi/n_m)}{\sqrt{n_m}} \cdot \frac{P}{U_{\Sigma}} \bigg/ \sqrt{\sum_{j=1}^{n_m} I_j^2},$$

де $U_{\Sigma} = U_f 2 \sin(\pi/n_m)$ – лінійна напруга багатофазної симетричної системи живлення.

Для трифазної симетричної мережі з нульовим проводом довільного перетину вираз коефіцієнту потужності ЕМТС набуває вигляду

$$\alpha = \frac{P}{U_{\Sigma} \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_0^2 r_0 / r_f}},$$

де I_0 – діюче значення струму у нульовому проводі; r_0, r_f – опори нульового та фазного проводів мережі.

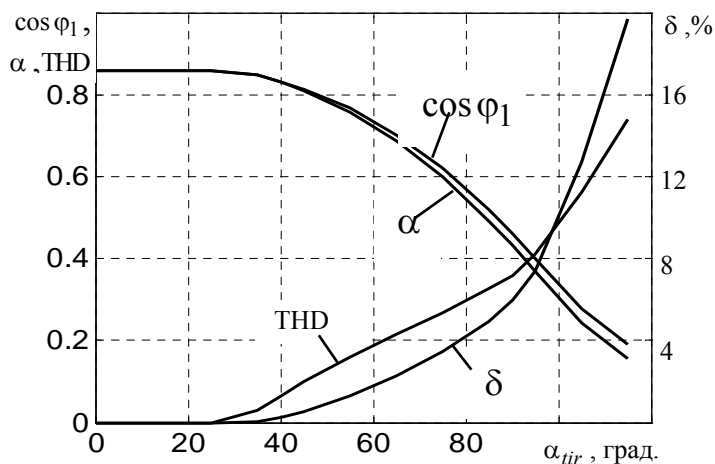
Вирази для визначення коефіцієнтів потужності у динамічних режимах можна отримати, визначивши величини середньоквадратичних струмів і потужностей за проміжок часу T , що відповідає динамічному режиму, який досліджується. Так, для трифазної симетричної мережі без нульового проводу можна записати

$$\alpha_d = \frac{I_{\Sigma \min}}{I_{\Sigma}} = \frac{1}{TU_{\Sigma 0}} \int_0^T (u_{AC} \cdot i_A + u_{BC} \cdot i_B) dt \bigg/ \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_A^2 + i_B^2 + i_C^2) dt}.$$

Застосування даного виразу, порівняно із статичним, дозволяє суттєво підвищити точність розрахунків при певних співвідношеннях між періодом пуску АД і роботи на робочій швидкості. Зокрема, таку оцінку коефіцієнту потужності слід проводити у режимі S4.

Порівняльні дослідження коефіцієнту потужності виконано на прикладі асинхронного приводу з тиристорним регулятором напруги. Математична модель для системи імітаційного моделювання реалізує засобами структурного моделювання математичну модель АД 4A355S8Y3 [4] із сталими номінальними параметрами заступної схеми. Частота обертання ротора, задана сталою, відповідає номінальному ковзанню. Блок тиристорного регулятора напруги реалізовано стандартними блоками тиристорів. Керування здійснюється величиною кута відпирання тиристорів α_{tir} відносно напруги фази A , з урахуванням зсуву 120° між фазами. Порівняння результатів розрахунку коефіцієнта потужності α за розробленим виразом здійснено із результатами розрахунку за миттєвою потужністю і за першою гармонікою. Дослідження показали, що при зроблених припущеннях про синусоїдність та симетрію параметрів живлення, результати розрахунку коефіцієнта потужності за миттєвою потужністю і за першою гармонікою практично збігаються. В подальшому аналізі порівняння виконано із розрахунком за першою гармонікою.

Графічне відображення отриманих залежностей у функції кута відпирання тиристорів α_{tir} показано на рисунку: коефіцієнта потужності за першою гармонікою $\cos \varphi_1$; коефіцієнта потужності за обґрунтованим виразом α ; розбіжності у величинах даних коефіцієнтів $\delta = (\cos \varphi_1 - \alpha) / \cos \varphi_1$; коефіцієнта частки вищих гармонік струму порівняно із основною гармонікою – THD . Видно, що при малій ступені несинусоїдності ($\alpha_{tir} \leq 45$, $THD \leq 0.1$) значення коефіцієнтів потужності α і за першою гармонікою практично збігаються: $\delta < 0.5\%$. Збільшення кута відпирання тиристорів призводить до збільшення частки струмів за вищими гармоніками, збільшення коефіцієнту THD та зниження коефіцієнту потужності. В дослідженому діапазоні коефіцієнти потужності зменшуються у 4...5 разів. Як видно з рисунку, закономірність зміни величин THD та δ змінюється при кутах приблизно більших за 90° . До початку цього режиму розбіжність значень величин α і $\cos \varphi_1$ збільшується до 7%, після – у дослідженому діапазоні майже до 20%. Величина α зменшується порівняно із $\cos \varphi_1$ внаслідок збільшення діючих значень несинусоїдних струмів мережі порівняно із струмами перших гармонік.



1. *Войтех А.А., Попович А.Н.* Рабочие характеристики асинхронной машины при несинусоидальных токах // Техн. электродинамика. – 1999. – № 2. – С. 25–28.
2. *Войтех А.А., Попович А.Н., Бибик Е.В.* Учет коэффициента мощности при оптимизации электромеханических систем для переходных и квазиустановившихся режимов работы // Техн. электродинамика. – 2003. – №2. – С. 36–42.
3. *Дрехслер Р.* Коэффициент мощности и потери в сети при несимметричном и нелинейном потребителе // Электричество. – 1982. – №2. – С. 12–16.
4. *Попович О.М.* Математична модель асинхронної машини електромеханотронної системи для імітаційного та структурного моделювання // Техн. електродинаміка. – 2010. – №4. – С. 25–32.
5. *Тонкаль В.Е., Новосельцев А.В., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., Стрелков М.Т., Яценко Ю.А.* Баланс энергий в электрических цепях. – К.: Наук.думка, 1992. – 312 с.

УДК 621.313

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОННЫХ СИСТЕМ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

А.Н.Попович, канд.техн.наук

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

E-mail: popovich1955@ukr.net

Обоснованы и исследованы уточненные выражения для определения коэффициента мощности электромеханотронных систем с учетом несимметрии параметров, несинусоидальности процессов, динамических режимов работы. Выражения предназначены для сравнительного исследования систем, формирования критериев оптимального проектирования при допущении симметрии и синусоидальности напряжений питания. Исходной информацией для расчетов являются временные зависимости токов сети и линейных напряжений. Уточнение, в сравнении с расчетами по первой гармонике и мгновенным мощностям, увеличивается с увеличением степени несинусоидальности и на примере тиристорного регулирования напряжения асинхронного двигателя достигает 20%. Библ. 5, рис. 1.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электромеханическая система, коэффициент мощности, несинусоидальность.

DEFINITION AND RESEARCH OF ELECTRICAL POWER FACTOR OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS WITH INDUCTION MOTORS

О.М.Ропович

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

e-mail: popovich1955@ukr.net

The specified expressions for definition of electrical power factor of electromechanical systems in view of asymmetry of parameters, not sinusoidal processes, and dynamic modes of operation are justified and investigated. Expressions are intended for comparative research of systems, forming of criteria of optimum projection at an assumption of a symmetric and sinusoidal supply voltage. An input information for accounts are time dependences of currents of a web and delta voltage. Specification, in comparison with accounts on the first harmonics and instantaneous powers, is augmented with increase in a degree of an aberration from sinusoidal processes, on an example of thyristor regulation of voltage of an induction motor it reaches 20 %. References 5, figures 1.

Key words: induction motor, electromechanical system, electrical power factor, not sinusoidal processes.

1. *Voitek A.A., Popovich A.N.* Operating characteristics of the asynchronous machine at not garmonic currents // Tekhnichna Elektrodynamika. – 1999. – No 2. – Pp. 25–28. (Rus)
2. *Voitek A.A., Popovich A.N., Bibik E.V.* The account of electrical power factor by optimization of electromechanical systems for transition modes of operation // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2003. – No 2. – Pp. 36–42. (Rus)
3. *Dreksler R.* Electrical power factor and losses in an electrical network at the asymmetrical and nonlinear consumer // Elektrichestvo. – 1982. – No 2. – Pp. 12–16. (Rus)
4. *Popovich A.N.* Mathematical model of the asynchronous machine of electromechanical system for imitative and structural simulation // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2010. – No 4. – Pp. 25–32. (Ukr)
5. *Tonkal V.E., Novoseltsev A.V., Denisiuk S.P., Zhuikov V.Ya., Strelkov M.T., Yatsenko Yu.A.* Balance of energy of electric circuits. – Kyiv.: Naukova dumka, 1992. – 312 p. (Rus)

Надійшла 20.02.2014