

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМАХ

Розглянуто модель фізичної подібності комплексного навантаження, що складається з короткозамкнутого асинхронного електродвигуна і активних приймачів — ламп розжарювання і побутових приладів. Побудовано залежності зміни опорів окремих фаз машини від несиметрії напруг і від навантаження електродвигуна.

Комплексне сільськогосподарське навантаження складається з асинхронних електродвигунів, головним чином приводів робочих сільськогосподарських машин і механізмів, та активних приймачів електроенергії — побутових приладів та освітлення. У розрахунках несиметричних режимів в електричних мережах взагалі і в сільських мережах зокрема не враховуються зміни в величинах споживаного навантаження активної і реактивної потужностей, викликаних одночасним зниженням напруги прямої послідовності і дією напруги зворотної послідовності. Облік споживаної потужності проводиться за статичними характеристиками, побудованими для симетричних режимів.

Між тим дослідження показали, що у разі несиметрії напруг споживана комплексним навантаженням активна і реактивна потужності помітно відрізняються від прийнятих за звичайними статичними характеристиками (при відповідній рівності напруги в симетричному режимі напруги прямої послідовності) [1].

Безпосередній аналітичний розрахунок енергетичних характеристик навантаження, яке містить асинхронні двигуни, у разі несиметрії напруг практично дуже важкий через неоднаковість насичення фаз магнітної системи машин [2]. Можна показати, що оскільки струм однієї будь-якої послідовності залежить від напруг всіх послідовностей, в загальному випадку матриця еквівалентних опорів схем заміщення навантаження Z_1 , Z_2 та Z_0 , що дорівнюють відношенню напруги до струму відповідних послідовностей на вході еквівалентної схеми заміщення за наявності на затискачах навантаження одночасно напруг всіх послідовностей, має вигляд

$$Z_S = \begin{Bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 & \beta_i & \alpha_i \\ 1 & \alpha_i^{-1} & \beta_i \alpha_i^{-1} \\ 1 & \beta_i^{-1} \alpha_i & \beta_i^{-1} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \zeta_0 \\ \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

де α_i , β_i — відповідно, ступені несиметрії і невірноваженості системи струмів навантаження:

$$\zeta_0 = \frac{1}{3}(Z_A + Z_B + Z_C);$$

$$\zeta_1 = \frac{1}{3}(Z_A + aZ_B + a^2Z_C);$$

$$\zeta_2 = \frac{1}{3}(Z_A + a^2Z_B + aZ_C);$$

Z_A , Z_B , Z_C — уявні опори окремих фаз навантаження.

Активна і реактивна потужності визначаються відповідно з виразів:

$$P = 3(I_1^2 \operatorname{Re} Z_1 + I_2^2 \operatorname{Re} Z_2 + I_0^2 \operatorname{Re} Z_0);$$

$$Q = 3(I_1^2 \operatorname{Im} Z_1 + I_2^2 \operatorname{Im} Z_2 + I_0^2 \operatorname{Im} Z_0). \quad (2)$$

Отже, для розрахунку енергетичних характеристик навантаження в несиметричному режимі

необхідно, зрештою, знати опори його окремих фаз.

Численні досліди показали [2, 3], що безпосередньо для електродвигунів або для груп споживачів, у складі яких частка короткозамкнутих асинхронних електродвигунів значна, встановлення точного аналітичного зв'язку між опором фаз і несиметрією напруг практично неможливе. Як приклад вкажемо на експериментально зняті залежності опорів фаз електродвигуна марки АИР90 LB2 потужністю 4 кВт, навантаженого на 50 % і 100 %, від ступеня несиметрії підведеної системи напруг (в межах 0—18 %) і величини напруги прямої послідовності (рис. 1).

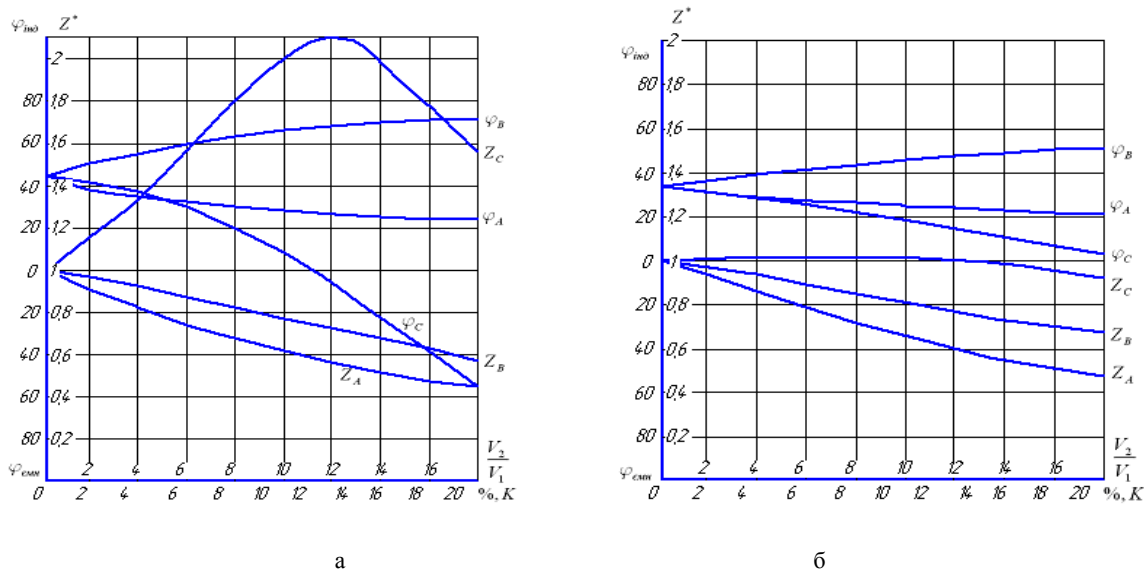


Рис. 1. Залежності опорів фаз електродвигуна навантаженого на:
а — 50 % ; б — 100 % від несиметрії напруг

На графіках видно складний характер зміни опорів окремих фаз машини, що залежить не тільки від несиметрії напруг, а й від навантаження електродвигуна. Якщо знехтувати нелінійним і неоднаковим характером зміни опорів окремих фаз, можна показати, що додаткова потужність, яка необхідна електродвигуну при несиметричній системі підведених напруг, дорівнюватиме

$$\Delta P_{д*} = \frac{\Delta P_{д}}{P_{н}} = \frac{\alpha_u^2 k_i \cos \phi_1}{\eta_{н} \cos \phi_{н}} ;$$

$$\Delta Q_{д*} = \frac{\Delta Q_{д}}{Q_{н}} = \frac{\alpha_u^2 k_i \sin \phi_1}{\eta_{н} \sin \phi_{н}} . \quad (3)$$

Таким чином, у разі значної частки асинхронних електродвигунів енергетичні характеристики комплексного навантаження слід визначати експериментально в умовах експлуатації або на моделі фізичної подібності, для визначення загального споживання електроенергії в сільському господарстві слід враховувати сільськогосподарські підприємства, ремонтні майстерні, лісопильні і т. д., а також освітлення і різні комунально-побутові електричні навантаження в громадських будівлях, житлових будинках і в інших сільських споживачів.

Відомо, що основними споживачам електроенергії в сільських районах є однофазні побутові споживачі і незначна частина сільськогосподарських підприємств [4]. На основі статистичних даних отримані середні величини співвідношень суми потужностей побутового навантаження і потужності електродвигунів, які дозволили створити модель фізичної подібності комплексного навантаження, що складається з короткозамкнутого асинхронного електродвигуна (двигун АИР112М4 5,5 кВт, 1430 об/хв) і активних приймачів — ламп розжарювання і побутових приладів.

На моделі проведені численні досліди роботи навантаження з різним співвідношенням між потужностями двигуна і активних приймачів при різних ступенях несиметрії підведених напруг.

В результаті статистичної обробки результатів дослідів отримані експериментальні залежності

$$P = f(\alpha_u; U_1) \text{ і } Q = \phi(\alpha_u; U_1),$$

які добре апроксимуються многочленами:

$$P = a - b\sqrt{\beta - 1} + c\beta;$$

$$Q = d - f\beta + h(\beta^2 - 1), \tag{4}$$

де $\beta = \sqrt{1 + 0,0445k}$; $k = \frac{\alpha_u}{U_1}$; $\alpha_u = \frac{U_2}{U_1}$; a, b, c, d, f, h — коефіцієнти, значення яких для заданого складу навантаження можуть бути отримані з кривих рис. 2.

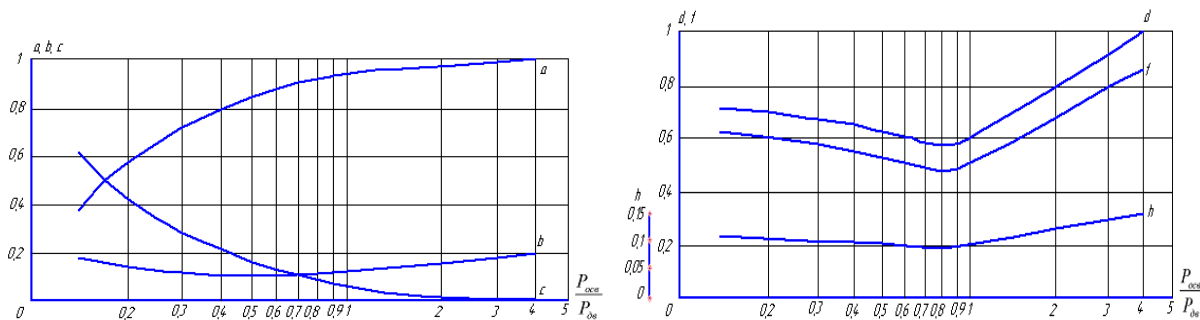


Рис. 2. Коефіцієнти для заданого складу навантаження

На рис. 3 показані залежності $P = f(\alpha_u; U_1)$ і $Q = \phi(\alpha_u; U_1)$, побудовані для співвідношень

| | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| $\frac{P_{осв}}{P_{дв}}$ | 1 – 0,00; | 4 – 0,80; | 7 – 2,00; |
| | 2 – 0,27; | 5 – 1,00; | 8 – 4,00; |
| | 3 – 0,53; | 6 – 1,33; | 9 – ∞. |

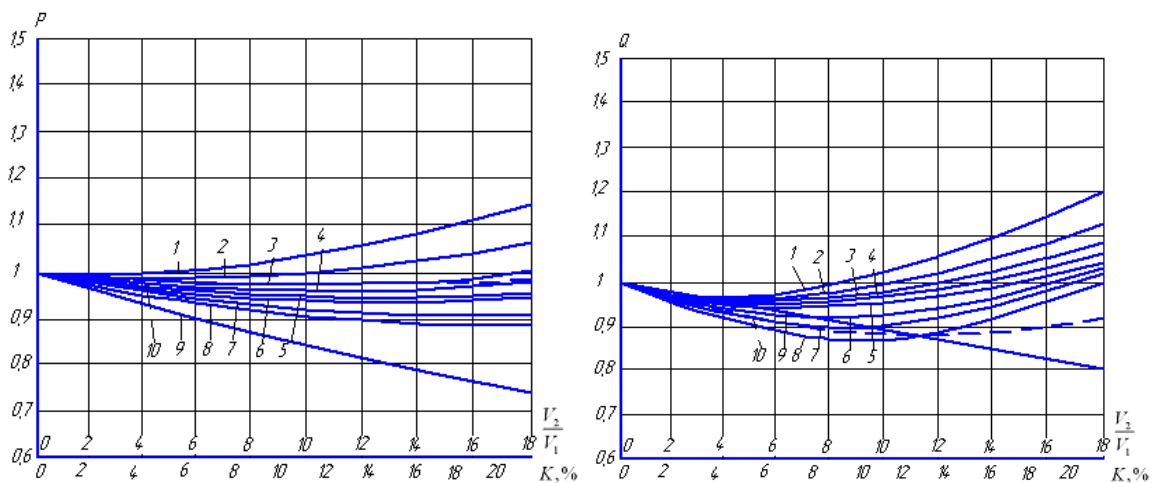


Рис. 3. Залежності активної та реактивної потужності від величини підведеної напруги прямої послідовності $P = f(\alpha_u; U_1)$ і $Q = \phi(\alpha_u; U_1)$

На цих же графіках показані характеристики одиночного електродвигуна АИР112М4 5,5 кВт в симетричному режимі (криві 10, пунктир) у разі зниження напруги до величин, що відповідають значенням напруги прямої послідовності в несиметричному режимі.

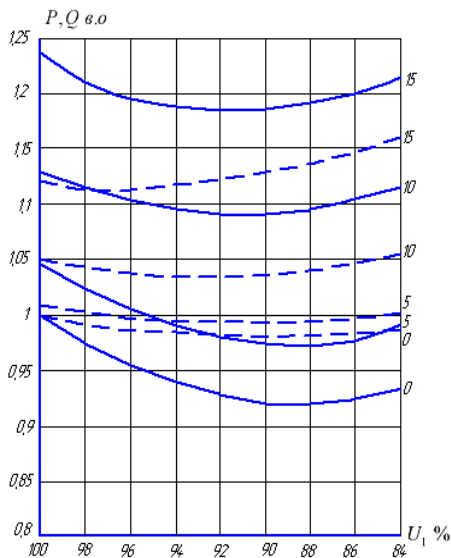


Рис. 4. Характеристики $P = f(U_1)$ і $Q = f(U_1)$ при різних значеннях напруги зворотної послідовності

На рис. 4 показані характеристики $P = f(U_1)$ і $Q = f(U_1)$ для цієї ж машини з різними значеннями $U_2 = \text{const} = 0\%; 5\%; 10\%; 15\%$. З аналізу графіків видно, що в порівнянні з роботою в симетричному режимі при відповідно зниженій напрузі споживання електродвигуном активної і реактивної потужностей помітно зростає.

Експериментальна перевірка показала, що при відношенні $\frac{P_{\text{осв}}}{P_{\text{дв}}} = 0,27$ зі ступенем несиметрії напруг на затисках навантаження близько 7,5 % і напругою прямої послідовності, що дорівнює 90 % від номінальної, відносно споживання комплексним навантаженням активної потужності перевищує приблизно на 8...9 %, а реактивної — на 13...14 % відповідне споживання в симетричному режимі при такій же зниженій до 90 % від номінальної напруги.

Для змішаного навантаження з $\frac{P_{\text{осв}}}{P_{\text{дв}}} \geq 0,27$ залежність активної потужності від $\frac{\alpha_u}{U_1}$ є практично лінійною. Залеж-

ність реактивної потужності різко нелінійна, причому критична величина K , з якою похідна $\frac{dQ}{dk}$ змінює знак, при зростанні частки активного навантаження, зсувається в область більшої несиметрії.

Висновки

Неврахування несиметрії підведених напруг в мережі спричиняє досить помітну помилку в оцінці енергетичних характеристик комплексного сільськогосподарського навантаження. Запропоновані рівняння дозволяють з достатньою для практики точністю оцінити дійсні величини потужностей, які споживаються навантаженням, при можливих в експлуатаційних режимах мереж 0,38/0,22 несиметриях напруг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Захарова З. А. Исследование совместного влияния показателей качества электроэнергии на технические характеристики асинхронного двигателя / З. А. Захарова // Электромеханика. — 1990. — № 8. — С. 16—19.
2. Кузнецов В. Г. Оценка возможности подключения несимметричной нагрузки к электрической сети по значению тока обратной последовательности / В. Г. Кузнецов, О. Г. Шполянский // Технічна електродинаміка. Серія «Силова електроніка та енергоефективність». — 2007. — Ч. 1. — С. 80—83.
3. Федоров М. М. Влияние напряжения обратной последовательности на эксплуатационные характеристики асинхронного двигателя / М. М. Федоров, О. Г. Пинчук // Наукові праці Дон НТУ «Електротехніка і енергетика». — 2003. — Вип. 67. — С. 61—64.
4. Левин М. С. Анализ несимметричных режимов сельских сетей 0,38 кВ / М. С. Левин, Т. Б. Лещинская // Электричество. — 1999. — № 5. — С. 18—22.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 25.11.11

Мірошник Олександр Олександрович — доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків