

УДК 631.371

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ В УСТАЛЕНИХ РЕЖИМАХ

Ю.О. Стьопін, Р.В. Кушлик, кандидати технічних наук

Н.П. Перова, інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Робота присвячена дослідженню роботи асинхронних електродвигунів при несиметрії напруг у сільськогосподарських електричних мережах. Приведена математична модель електромагнітного розрахунку параметрів електродвигунів в усталених режимах при несиметрії напруг.

Асинхронний електродвигун, несиметрія напруг, математична модель, усталений режим.

Дослідження режимів роботи сільських розподільних мереж 0,38/0,22 кВ, до яких приєднано електрообладнання господарств, свідчить про те, що в наслідок значної протяжності низьковольтних мереж, а також змішаного підключення однофазних та трифазних споживачів (де загальна потужність однофазних споживачів часто перевищує потужність трифазних) має місце недопустима несиметрія струмів та напруг. У реальних умовах експлуатації електроспоживачів України несиметричний режим є звичайним робочим режимом сільських мереж 0,38/0,22 кВ [1].

Несиметрія виявляється у різкому погіршенні техніко-економічних характеристик елементів мережі (зниженні експлуатаційної надійності і терміну роботи електродвигунів, виникненні ряду негативних явищ у мережах та ін.). Додаткові втрати у лініях 0,38 кВ, розподільних і споживчих трансформаторах тільки із-за нерівномірного навантаження по фазам складають 4% від всієї електроенергії, що споживає сільське господарство.

Дослідження [3] показали, що відхилення напруги у сільських споживачів значно перевищують норми, що встановленні ГОСТ 13109-97. В господарствах, найбільш віддалених від джерел живлення, відхилення напруги знаходиться у допустимих межах тільки 54% часу, а нерівномірність навантаження фаз коливається в межах 16-22%. Математичне очікування величини несиметрії напруг за даними [2] складає 7,3%, що значно перевищує вимоги ГОСТ 13109-97. Напруга прямої послідовності складає 89% від номінальної, що на 3,5% нижче мінімально допустимої на затискачах електродвигунів за умовами їх пуску у симетричному режимі.

Мета досліджень – теоретично (на основі комплексного дослідження електромагнітних процесів) визначити допустимі параметри експлуатації асинхронних електродвигунів при несиметрії напруг.

Матеріал та методика досліджень. Аналіз електромагнітних процесів в асинхронних електродвигунах можна провести на основі математичної моделі. Для розрахунку тільки усталених режимів при несинусоїдальних напругах і струмах рівняння:

$$\begin{aligned}
 u_A &= i_A r_1 + \frac{d\Psi_A}{dt}, \\
 u_B &= i_B r_1 + \frac{d\Psi_B}{dt}, \\
 u_C &= i_C r_1 + \frac{d\Psi_C}{dt}, \\
 0 &= i_a r_2 + \frac{d\Psi_a}{dt}, \\
 0 &= i_b r_2 + \frac{d\Psi_b}{dt}, \\
 0 &= i_c r_2 + \frac{d\Psi_c}{dt},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

записуються для дійсних значень електричних величин у комплексній формі із заміною позначки похідної $\frac{d}{dt}$ на $j\omega_0$, де ω_0 – кутова частота мережі.

Результати досліджень. Так як взаємне положення фаз статора і ротора при обертанні ротора двигуна зі швидкістю ω безперервно змінюється і кут між осями фаз статора та ротора дорівнює:

$$\begin{aligned}
 \dot{U}_A &= \dot{I}_A (r_1 + jx_S) + \dot{I}_a' jx_M; \\
 \dot{U}_B &= \dot{I}_B (r_1 + jx_S) + \dot{I}_b' jx_M; \\
 \dot{U}_C &= \dot{I}_C (r_1 + jx_S) + \dot{I}_c' jx_M; \\
 0 &= \dot{I}_a' (r_2 + jx_r) + \dot{I}_A jx_M + \frac{\nu}{\sqrt{3}} [x_r (\dot{I}_b' - \dot{I}_c') + x_M (\dot{I}_B - \dot{I}_C)]; \\
 0 &= \dot{I}_b' (r_2 + jx_r) + \dot{I}_B jx_M + \frac{\nu}{\sqrt{3}} [x_r (\dot{I}_c' - \dot{I}_a') + x_M (\dot{I}_C - \dot{I}_A)]; \\
 0 &= \dot{I}_c' (r_2 + jx_r) + \dot{I}_C jx_M + \frac{\nu}{\sqrt{3}} [x_r (\dot{I}_a' - \dot{I}_b') + x_M (\dot{I}_A - \dot{I}_B)],
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

де x_s, x_r, x_M – реактивний опір схеми заміщення машини, що відповідають індуктивностям L_s, L_r, M ;

$$\nu = \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - S - \text{відносна частота обертання ротора.}$$

Для симетричної машини, що живиться симетричною та синусоїдальною системою напруг, достатньо використати в усталеному режимі тільки за одним рівнянням фаз статора і ротора, які після певного перетворення будуть відповідати рівнянням Т-подібної схеми заміщення машини та для двигуна з короткозамкненим ротором буду мати вигляд:

$$\dot{U}_A = \dot{I}_A (r_1 + jx_s) + \dot{I}'_a jx_m; \quad (3)$$

$$0 = \dot{I}'_a (r_2/s + jx_r) + \dot{I}_A jx_m$$

Усталені режими з несиметричними напругами статора можуть бути розраховані методом симетричних складових. Для складової напруг прямої послідовності рівняння будуть мати вигляд:

$$\dot{U}_{S1} = \dot{I}_{S1} (r_1 + jx_s) + \dot{I}'_{r1} jx_m; \quad (4)$$

$$0 = \dot{I}'_{r1} (r_2/s + jx_r) + \dot{I}_{S1} jx_m$$

Для складової зворотної послідовності:

$$\dot{U}_{S2} = \dot{I}_{S2} (r_1 + jx_s) + \dot{I}'_{r2} jx_m; \quad (5)$$

$$0 = \dot{I}'_{r2} ((r_2/2-s) + jx_r) + \dot{I}_{S2} jx_m$$

В перехідних режимах степінь несиметрії напруг задавалася різними амплітудами напруг U_A , U_B , U_C статора, а також різними кутами зсуву між вказаними напругами. В усталених режимах несиметрія напруг задавалася зміною величин дійсних та уявних частин напруг. Струми та напруги симетричних складових зв'язані співвідношеннями:

$$\dot{U}_{S1} = \dot{I}_{S1} Z_{11}; \quad (6)$$

$$\dot{U}_{S2} = \dot{I}_{S2} Z_{12},$$

де Z_{11} та Z_{12} – вхідні опори еквівалентних схем прямої та зворотної послідовності.

Степінь несиметрії струмів розраховується за співвідношенням $\dot{I}_{S2}/\dot{I}_{S1}$.

При малої несиметрії напруг та напруг прямої послідовності, близької до номінальної, ковзання у прямому полі значно мало, а у зворотному полі близько до 2. При цьому \dot{U}_{S1}/Z_{11} , близько до

$$I_m = \dot{U}_{S1}/Z_{11} \quad (7)$$

а Z_{12} близько до

$$r_1 + 0,5r_2' + j(x_1 + x_2') \approx z_k = r_1 + r_2' + j(x_1 + x_2') \quad (8)$$

В підсумку співвідношення струмів статора

$$\dot{I}_{S2}/\dot{I}_{S1} = \dot{U}_{S2}/Z_{12} \cdot Z_{1H}/\dot{U}_{S1} \approx \dot{U}_{S2}/\dot{U}_{S1} \cdot Z_{1H}/Z_K = \varepsilon_{HC}/Z_K^*; \quad (9)$$

Так як звичайно $z_k^* = 0,14 \div 0,20$, тоді несиметрія струмів при малих ковзаннях двигуна перевищує несиметрію напруг у 5 – 7 разів.

Висновки

За допомогою математичної моделі можна визначити параметри асинхронних електродвигунів при заданих напругах фаз статора, частоти обертання ротора w і параметрах машини. Напруги джерел живлення можуть бути несиметричними і несинусоїдальними, задані фазними або лінійними величинами, у фази статора або ротора можуть бути включені додаткові опори.

Список літератури

1. Бакумов Ю.В. Влияние температуры окружающей среды на тепловое состояние обремененных асинхронных двигателей / Ю.В. Бакумов //Электротехника. – 1974. – №3. – С. 31-33.
2. Деменин В.Н. Анализ несимметрии в сельских сетях Новосибирской области / В.Н. Деменин // Механизация и электрификация сельского хозяйства Сибири. – 1978. – №3. – С. 21 - 24.
3. Мишин В.И. Герасименко Г.С. Принцип расчета характеристик асинхронных двигателей при асимметрии напряжений - Киев.: Научные труды УСХА, 1985. – С. 32-37.
4. Нарожный В.Б. Отключение напряжения в электрических сетях / В.Б. Нарожный // Электрические станции. – 1970. – №1. – С. 55 - 59.
5. Рожавский С.М. Проблемы несимметрии в сельскохозяйственных электрических сетях / С.М. Рожавский // Энергетика и электрификация. – 1981. – вып. 1. – С. 14 - 16.

Работа посвящена исследованию работы асинхронных электродвигателей при несимметрии напряжений в сельскохозяйственных электрических сетях. Приведена математическая модель электромагнитного расчета параметров электродвигателей в установившихся режимах при несимметрии напряжений.

Асинхронный электродвигатель, несиметрия напряжений, математическая модель.

The given paper researches the work of asynchronous motors under tension asymmetry in agricultural electrical system. The paper gives mathematic model of electromagnetic calculation of motors parameters in steady-state conditions under tension asymmetry.

Asynchronous motor, voltage asymmetry, mathematical model, the default mode.