

МОДЕЛЮВАННЯ ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ

Костерев М.В., д.т.н., проф., Митнік О.О., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій

Вступ. Проблема забезпечення надійності електропостачання споживачів має ряд аспектів:

- по-перше, створення високонадійного електрообладнання, його експлуатація відповідно до нормативних документів, підтримання його працездатного стану (працездатність), під яким розуміється такий стан, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської (проектної) документації (ГОСТ 27.002-89);

- по-друге, проектування схеми електричної системи, управління процесом її функціонування, спрямовані на забезпечення споживачів електричної енергії необхідної якості та обсягу;

- по-третє, рівень професійної підготовки персоналу електричної системи.

Однак в процесі функціонування системи неможливо гарантувати безвідмовну експлуатацію в силу того, що термін експлуатації електрообладнання є величиною випадковою і, крім того, обладнання часто функціонує в нерегламентованих режимах, що призводять до прискорення витрачання ресурсу. У зв'язку з цим, з огляду на економічні умови, в енергосистемах проводять різноманітні діагностичні заходи, цілою яких є:

- визначення поточного стану підсистеми електричної системи або об'єкта, розпізнавання дефектів електрообладнання;

- визначення залишкового ресурсу об'єкта, прогнозування його працездатності;

- оцінка можливості продовження або відновлення працездатності обладнання;

- оцінка впливу відмови електрообладнання на зниження режимної працездатності підсистеми ЕС.

В цих об'єктивно існуючих умовах функціонування енергосистем потрібно формування нового підходу до оцінки і прогнозу технічного стану електрообладнання і його впливу на режим енергосистеми на базі безперервного моніторингу стану режиму і обладнання і прийняття превентивних рішень. В умовах поступового старіння електрообладнання, обмеженості матеріальних ресурсів для інвестиційних вкладень, зниження запасів міцності в обладнанні останніх поколінь, а також значна вірогідність роботи електрообладнання за межами нормованих параметрів гостро ставить питання визначення ризику експлуатації електрообладнання за межами нормованого строку служби. Особливу актуальність у зв'язку з цим набувають питання оцінки ризику пошкоджень в першу чергу зношеного

електрообладнання підсистем ЕЕС в умовах наявності дефекту і з урахуванням режиму підсистеми. Як показує практика експлуатації реальних енергосистем достатньо навіть виникнення не запроектованих збурень (наприклад, КЗ), щоб електрообладнання, яке має значну ступінь зносу, було пошкоджено.

Завдання оцінки і прогнозування режиму підсистем ЕЕС, зокрема вузлів навантаження, з урахуванням технічного стану електрообладнання відноситься до погано формалізованих і слабо структурованих завдань. [2]. При вирішенні такого завдання слід враховувати:

- випадковість оцінок контрольованих параметрів;
- невизначеність через відсутність, нечіткості, неточності інформації про об'єкт;
- можливість прийняття помилкового рішення (невиправдані витрати при передчасному ремонті або збиток через відмову обладнання).

З урахуванням сказаного при розробці моделей і методів для достовірної оцінки і прогнозування режимів вузлів навантаження доцільно поєднання нечіткої логіки, статистичних та імовірнісних методів.

Аналіз літературних джерел та постановка задачі. Існуючі в даний час методи обліку навантаження при коротких замиканнях [4, 5, 9, 10] дають можливість враховувати вплив асинхронного навантаження на підживлення місця короткого замикання. Однак вони не враховують реально існуючих неточностей інформації про параметри елементів вузла навантаження, включаючи еквівалентні асинхронні двигуни. З урахуванням зношеності обладнання, зокрема вимикача, при КЗ на відгалуженні з шин навантаження може бути отримано невірний результат щодо відключаючої здібності вимикача. Тому доцільно використовувати методи і алгоритми, на основі яких визначати струми КЗ від асинхронних двигунів в умовах неточності вихідної інформації.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи являється розробка алгоритму визначення струму підживлення точки КЗ від асинхронного двигуна для оцінки відключає спосіб вимикача, встановленого на відгалуженні від шин вузла навантаження.

Модель асинхронного двигуна і алгоритм оцінки струму КЗ з урахуванням неточності вихідної інформації.

У розглянутій математичній моделі асинхронного двигуна не враховуються електромагнітні перехідні процеси в обмотках статора і активний опір [1]:

$$U_d = e_d - x'_s I_q; U_q = e'_q + x'_s I_d; de'_q / dt = -1/T_d \cdot e'_q - \omega \cdot s \cdot e'_d + N/T_d \cdot I_d$$

$$de'_d / dt = -1/T_d \cdot e'_d + \omega \cdot s \cdot e'_q - N/T_d \cdot I_q;$$

$$ds / dt = 1 / T_j [m_c - (e'_q \cdot I_q + e'_s \cdot I_d)]; N = x_s - x'_s$$

В цих рівняннях:

x_s – синхронний опір, (в.о.); x'_s – переходний опір, (в.о.);

U_d, U_q – складові напруги по поздовжній і поперечній осях відповідно, (в.о.)

I_d, I_q – складові струму статора по поздовжній і поперечній осях відповідно, (в.о.); m_c – момент опору механізму, (в.о.); s – ковзання двигуна, (в.о.);

T_d – постійна часу обмотки ротора, (сек.); T_j – постійна інерції ротора, (сек.);

e_d e_q – перехідні ЕРС по поздовжній і поперечній осях, (в.о.); t – час, (сек.).

Для урахування неточності завдання вихідної інформації використовується метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) [8], у відповідність з яким параметри схеми заміщення двигуна варіюються в межах $\pm 10\%$: $x = x_n + \Delta x \cdot \varepsilon$, де ε - випадкове число, отримане через генератор випадкових чисел з діапазону 0-1.

З використанням випадково отриманих значень параметрів двигуна виконується розрахунок усталеного режиму і визначаються струми, що посилаються двигуном до місця КЗ.

Після виконання N статистичних випробувань визначається математичне сподівання струму КЗ. Алгоритм розрахунку усталеного режиму асинхронного двигуна зображений на рис. 1.

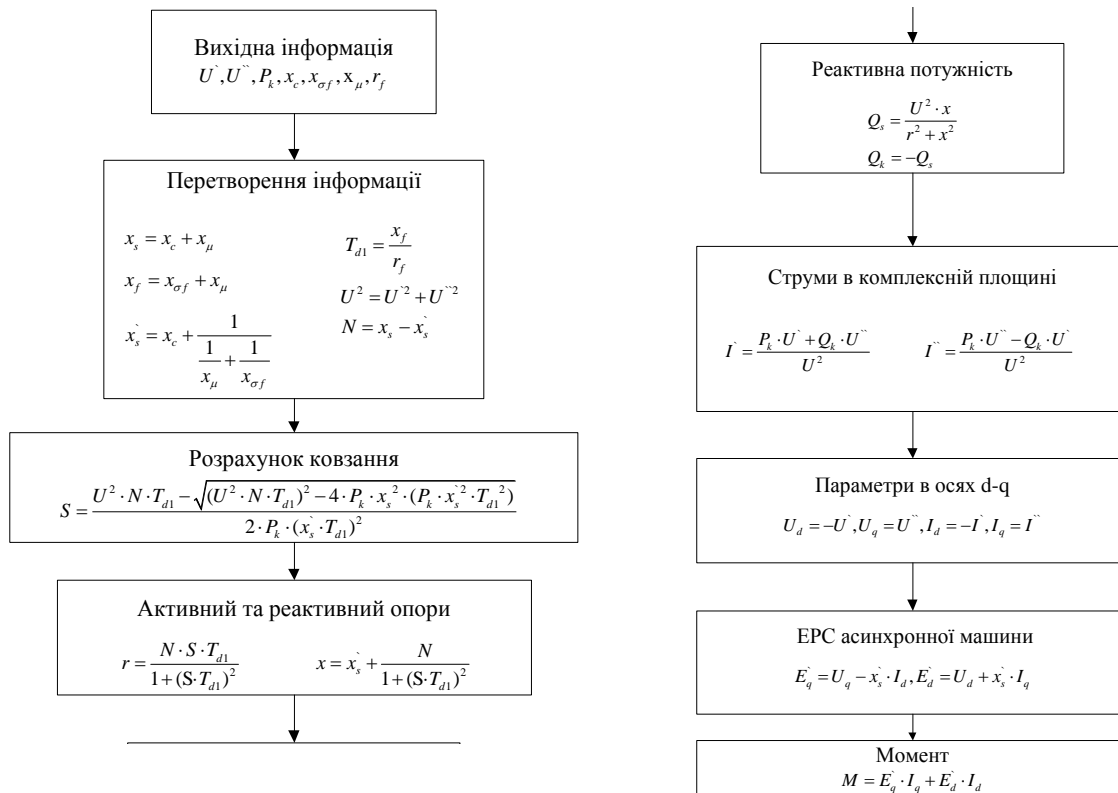


Рисунок 1 – Алгоритм розрахунку усталеного режиму асинхронного двигуна

Приклад. Розрахунок усталеного режиму АД. Схема заміщення АД приведена на рис. 2.

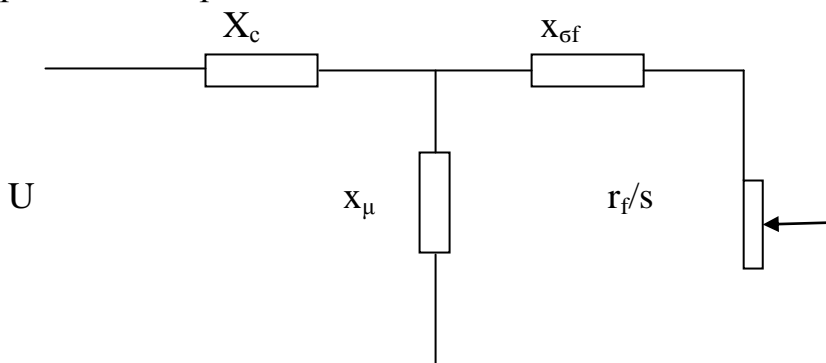


Рисунок 2 – Схема заміщення АД

Параметри АД:

$$x_c = 0.071; x_{\sigma f} = 0.154;$$
$$x_\mu = 3.267 \quad r_f = 0.009$$

Режим: $U_k = 1.05 + j0.3$ $P_k = -0.9$

1. Розрахунок параметрів:

$$x_s = x_c + x_\mu = 0.071 + 3.267 = 3.338; \quad x_f = x_{\sigma f} + x_\mu = 0.154 + 3.267 = 3.421;$$

$$x_s' = x_c + \frac{1}{\frac{1}{x_\mu} + \frac{1}{x_{\sigma f}}} = 0.071 + \frac{1}{\frac{1}{3.267} + \frac{1}{0.154}} = 0.218$$

$$N = x_s - x_s' = 3.338 - 0.218 = 3.12; \quad T_{d1}(\text{рад}) = \frac{x_f}{r_f} = \frac{3.421}{0.009} = 380.111;$$

$$T_d(\text{сек}) = \frac{T_{d1}}{314} = \frac{380.111}{314} = 1.211; \quad U^2 = 1.05^2 + 0.3^2 = 1.193; \quad U = 1.092$$

2. ковзання двигуна:

$$S = \frac{U^2 \cdot N \cdot T_{d1} - \sqrt{(U^2 \cdot N \cdot T_{d1})^2 - 4 \cdot P_k \cdot x_s^2 \cdot (P_k \cdot x_s'^2 \cdot T_{d1}^2)}}{2 \cdot P_k \cdot (x_s' \cdot T_{d1})^2} = -0.007326$$

3. Розрахунок r і x

$$r = \frac{N \cdot S \cdot T_{d1}}{1 + (S \cdot T_{d1})^2} = -0.992; \quad x = x_s' + \frac{N}{1 + (S \cdot T_{d1})^2} = 0.574$$

4. Визначення реактивної потужності:

$$Q_s = \frac{U^2 \cdot x}{r^2 + x^2} = 0.521;$$

$$Q_k = -Q_s = -0.521$$

5. Обчислення струмів:

$$I' = \frac{P_k \cdot U' + Q_k \cdot U''}{U^2} = -0.924$$

$$I'' = \frac{P_k \cdot U'' - Q_k \cdot U'}{U^2} = 0.232$$

6. Складові в площинах d-q

$$U_d = -U' = -1.05$$

$$U_q = U'' = 0.3$$

$$I_d = -I' = 0.924$$

$$I_q = I'' = 0.232$$

7. Визначення ЕРС:

$$E_q' = U_q - x_s' \cdot I_d = 0.099$$

$$E_d' = U_d + x_s' \cdot I_q = -0.999$$

8. Момент двигуна

$$M = E_q' \cdot I_q + E_d' \cdot I_d = -0.9$$

9. Періодична складова струму кз в початковий момент часу визначається наступним чином:

$$E^{\wedge} = \sqrt{E_q^{\wedge 2} + E_d^{\wedge 2}} = 1.004; I_{кз} = \frac{E^{\wedge}}{x_s} = 4.605$$

При варіації параметрів двигуна в діапазоні $\pm 20\%$ були проведені 50 розрахунків струму кз, результати яких представлені на рис. 3.

Діапазон	№	К-сть
3,8-4,0	1	3
4,0-4,2	2	3
4,2-4,4	3	6
4,4-4,6	4	12
4,6-4,8	5	8
4,8-5,0	6	7
5,0-5,2	7	4
5,2-5,4	8	1
5,4-5,6	9	6
5,6-6,0	10	1

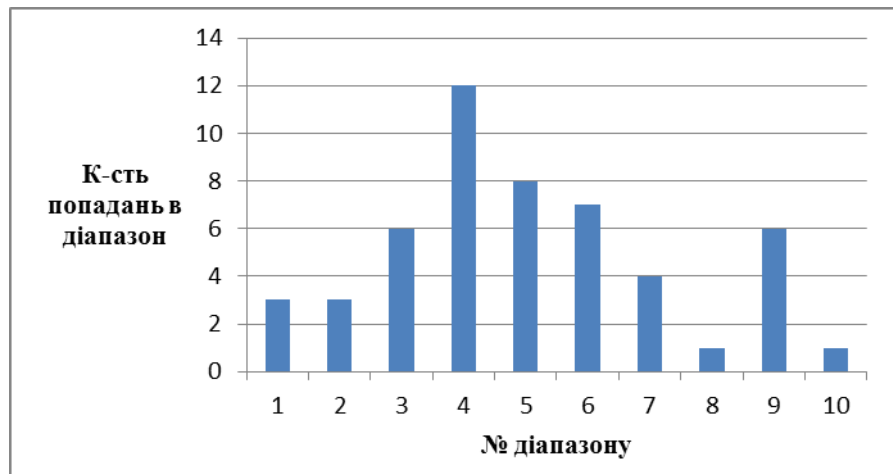


Рисунок 3 – Схема заміщення АД

Висновок. В умовах реально існуючої неточності вихідної інформації за параметрами асинхронного двигуна доцільно використовувати метод статистичних випробувань для визначення струму підживлення місця КЗ від асинхронних двигунів, що дає більш достовірні результати в порівнянні з детермінованим підходом. Це дає можливість приймати більш правильні превентивні заходи при вирішенні експлуатаційних завдань, пов'язаних з підвищенням надійності електропостачання.

Перелік посилань

1. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме / Н.В. Костерев. – К.: Вищ. шк., 1986. – 168 с.
2. Костерев М.В. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем / М.В. Костерев, Є.І. Бардик. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 148с.
3. Kosterev M.V., Bardyk E.I., Litvinov V.V. Risk Estimation of Induction Motor Fault in Power System // WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS. – 2013, October, Vol.8. - pp.217 – 226.
4. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 520 с.
5. Гуревич Ю.Е. Устойчивость нагрузки электрических систем / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова, Э.А. Хачатрян. – М.: Энергоиздат, 1981. – 209 с.
6. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И.А. Сыромятников. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 527 с.
7. Сивокобыленко В.Ф. Переходные процессы в системах электроснабжения собственных нужд электростанций / В.Ф. Сивокобыленко, В.К. Лебедев. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2002. – 136 с.
8. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 312 с.
9. Неклепаев Б.Н. Вероятностные характеристики коротких замыканий в энергосистемах / Б.Н. Неклепаев, А.А. Востросаблин // Электричество. – 1999. – № 8. – С. 15–23.
10. РД 153 – 34.0 – 20.527 – 98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред. Б.Н.Неклепаева – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 152 с.