

ВІСНИК

ВІННИЦЬКОГО
ПОЛІТЕХНІЧНОГО
ІНСТИТУТУ

2 2001

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ
ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК ВІННИЦЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО ІНСТИТУТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Заснований у грудні 1993 року

Виходить 6 раз на рік

2 (35) — 2001

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Мокін Б. І., Горячев Г. В. Кореляційні моделі процесу екстракції цукру із бурякової стружки.....	5
Кучерук В. Ю., Поджаренко В. О., Кухарчук В. В., Кулаков П. І. Про доцільність контролю обмоток електричних машин за величиною добротності	13
Скидан О. Ю. Автоматизація управління процесом зволоження зерна на основі експертної інформації.....	17
Роїк О. М. Алгоритмічні методи корекції похибок перетворень параметрів елементів замкнутих кіл.....	22

БУДІВНИЦТВО

Свердлов В. Д., Войцеховський О. В., Байда Д. М. До описання деформування бетону в стиснутій зоні балочних залізобетонних елементів на стадії руйнування ...	29
--	----

ЕКОНОМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ ТА ЕКОЛОГІЯ

Сердюк В. Р., Задорожна О. Л., Купришок С. М. Впровадження гнучких систем модульного професійного навчання в Україні	36
Мороз О. В., Матвійчук С. В., Швейкіна Л. Я. Податок на додану вартість чи податок з обороту: вибір для України (теоретичний аспект)	41
Квистий Р. Н., Козловський С. В. Математичне моделювання стану валютного ринку на основі нечіткої логіки.....	47
Козловський В. О., Дмитрієв С. Д. Економічна доцільність залучення інвестицій у промисловість Вінницької області.....	59

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

Мокін Б. І., Бурденюк С. І., Гурильова Н. В. Статистичні моделі несправностей функціональних систем тролейбусів.....	68
Корженко Є. С., Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Визначення оптимальної температури води на вході в систему нагріву водогрійних котлів.....	74
Лежнюк П. Д., Кулик В. В. Формування умов самооптимізації режимів електроенергетичної системи	76

УДК 621.317.337

В. Ю. Кучерук, к. т. н.; В. О. Поджаренко, д. т. н., проф.;
В. В. Кухарчук, д. т. н., доц.; П. І. Кулаков, к. т. н.

ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ КОНТРОЛЮ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЗА ВЕЛИЧИНОЮ ДОБРОТНОСТІ

Електричні машини (ЕМ) – складні системи, що складаються з електромагнітної системи, механічної системи і системи обмоток. Якість ЕМ визначається в основному якістю обмоток [1]. Судячи з результатів статистичних досліджень причин виходу з ладу ЕМ [1], більшість відмов у функціонуванні ще нових обмоток відбувається через своєчасно не виявлені дефекти. Відмови вузлів ЕМ розподіляються таким чином: 50–95 % через пробой міжвиткової ізоляції обмоток статора; 10–40 % – через вихід з ладу підшипників; 5–10 % – інші вузли і деталі.

Обмотки ЕМ виготовляються на високомеханізованому чи автоматизованому обладнанні. Висока швидкість оброблення проводів обмотки і часта подальша деформація обмотки ведуть до великого навантаження ізоляції. Таким чином, найхарактернішим видом браку є наявність короткозамкнених витків (КЗВ) в обмотках. У зв'язку з цим представляє практичну цінність визначення міри впливу на параметри обмотки кількості КЗВ.

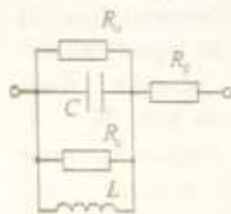


Рис. 1. Повна еквівалентна схема обмотки ЕМ

Для визначення параметрів обмотки еквівалентну схему обмотки ЕМ як індуктивного елемента необхідно представити у вигляді повної еквівалентної схеми, зображеної на рис. 1 [2]. Вона складена, виходячи з таких фізичних міркувань. Власна ємність обмотки, еквівалентна розподіленій міжвитковій ємності обмотки, підключається до вхідних записачів. Обмотка має втрати кількох видів, які еквівалентуються відповідними опорами.

Втрати в обмотці пропорційні квадрату струму. Тому вони можуть бути підраховані послідовним вмиканням у загальне коло опору R_0 . Втрати в магнітопроводі визначаються індукцією, яка, в свою чергу, визначається величиною напруги, що створює магнітний потік, зчеплений із витками обмотки. Тому опір R_c , який враховує втрати в магнітопроводі, підключається в еквівалентній схемі паралельно до індуктивності.

Втрати в ізоляції, зумовлені ємністю обмотки, $tg \delta$ і напругою, прикладеною до ємності, представляються опором R_a , який вмикається паралельно до ємності. В результаті утворюється повна еквівалентна схема обмотки ЕМ, яка дозволяє досліджувати величину добротності Q обмотки з кількісної сторони.

Уточнимо поняття добротності. Добротність обмотки – відношення реактивної енергії обмотки до активної (відповідно реактивної потужності до активної або реактивної складової повного опору до активної складової).

Виходячи з даної еквівалентної схеми обмотки і визначення поняття добротності обмотки можна одержати вираз для добротності Q

$$Q = \frac{\omega L}{R_0} \left[(1 - \omega^2 CL) + \frac{\omega^2 L^2}{(1 - \omega^2 CL)r} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R_0} \right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

де R_0 , L , C – відповідно активний опір, індуктивність і власна ємність обмотки;

$r = \frac{R_c R_a}{R_c + R_a}$, де R_c та R_a – опори втрат у магнітопроводі та ізоляції; $R_c = U^2/P_c$;

$R_a = U^2/P_a$; U – напруга на обмотці; P_c , P_a – відповідно потужність втрат у магнітопроводі та в ізоляції; ω – кругова частота.

Для нормальної роботи обмоток потрібно, щоб робоча частота обмотки була значно нижчою від резонансної, тобто $\omega \ll \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$. Інакше індуктивність і добротність обмотки будуть значно знижені внаслідок впливу власної компенсаційної ємності. Тому необхідно виконання умови $\omega^2 CL \ll 1$.

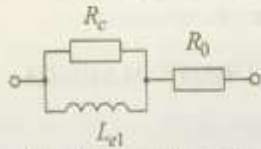


Рис. 2. Спрощена еквівалентна схема обмотки

За виконання даної умови обмотку можна представити за допомогою спрощеної еквівалентної схеми (рис. 2).

Виходячи з конфігурації кола, визначаються її еквівалентні індуктивність L_{e1} та добротність Q_1 [3]:

$$L_{e1} = \frac{LQ_c^2}{1+Q_c^2}; \tag{2}$$

$$Q_1 = \frac{Q_c}{1 + \frac{1}{Q_k Q_c} + \frac{Q_c}{Q_k}} \tag{3}$$

де $Q_k = \omega L/R_0$ – добротність обмотки; $Q_c = R_c/\omega L$ – добротність магнітопроводу.

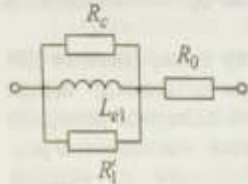


Рис. 3. Еквівалентна схема обмотки з КЗВ

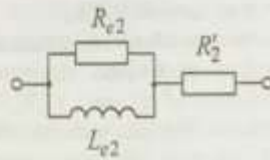


Рис. 4. Спрощена еквівалентна схема обмотки із КЗВ

За наявності КЗВ обмотку розглядають як трансформатор із короткозамкненою вторинною обмоткою (рис. 3), де R'_1 – приведений до первинних витків опір вторинної обмотки. Представляючи паралельний опір R'_1 і R_c одним еквівалентним опором R_{e1} , отримуємо схему (рис. 4), за своєю структурою аналогічну еквівалентній схемі, зображеній на рис. 2. Параметри цієї схеми виражаються таким чином [3]:

$$R_{e2} = \frac{R'_1 R_c}{R'_1 + R_c}; \tag{4}$$

$$L_{e2} = \frac{LQ_c^2}{(1+Q_c^2) \left(1 + \frac{2Q_k Q_c k}{1+Q_c^2}\right)} = \frac{LQ_c^2}{1+Q_c^2 + 2Q_k Q_c k}; \tag{5}$$

$$Q_2 = \frac{Q_c}{\left(1 + \frac{1}{Q_k Q_c} + \frac{Q_c}{Q_k(1+kQ_k Q_c)}\right) (1+kQ_k Q_c)} \frac{1}{1 + \frac{kQ_c Q_k (1+kQ_c Q_k + Q_c^2)}{1+kQ_c Q_k + Q_c^2 + Q_c Q_k (1+kQ_c Q_k)}} \tag{6}$$

У виразах (4)–(6) враховано, що якщо R_0 та R'_1 , виразити через опір одного витка r_0 , то $R_0 = W r_0$; $R'_2 = \frac{r_0 (W - W_k)^2}{W_k}$, де W і W_k – число витків обмотки і короткозамкнених витків відповідно. Враховуючи, що $W_k \ll W$, отримуємо:

$$R'_2 \cong \frac{r_0 W^2}{W_k} = \frac{R_0}{k}, \tag{7}$$

де $k = W_k/W$ – відносне число КЗВ. Тоді

$$R_{e2} = \frac{R_c}{1+kQ_k Q_c}, \tag{8}$$

оскільки $R_c/R = Q_k Q_c$.

Для практики випробовувань велике значення має випробовування обмотки статора після монтажу, оскільки саме під час монтажу може бути пошкоджена ізоляція обмотки. Дослідимо можливість використання спрощеної формули $Q \cong Q_k$ для визначення добротності обмотки із магнітопроводом.

На рис. 5 показані розраховані залежності Q_1 та Q_k від робочої частоти ω . Слід зазначити, що характер зміни функції $Q_1(\omega)$ істотно залежить від матеріалу магнітопроводу. На рис. 6 показані розрахунки відносного відхилення

$$\delta_{Q_1}(\omega) = \frac{|Q_1(\omega) - Q_k(\omega)|}{Q_1(\omega)} \cdot 100\% \quad (9)$$

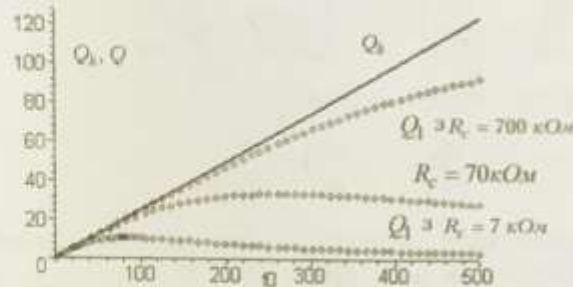


Рис. 5. Залежності $Q_k(\omega)$ та $Q_1(\omega)$

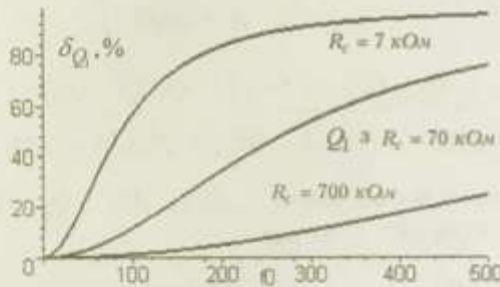


Рис. 6. Відносне відхилення $\delta_{Q_1}(\omega)$

Результати моделювання показують, що за малої потужності втрат у магнітопроводі R_2 в діапазоні частот $\omega = 0 \div 50$ Гц можна припустити, що $Q \cong Q_k$. За таких умов впливом добротності магнітопроводу Q_c на сумарну добротність Q

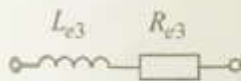


Рис. 7. Еквівалентна схема обмотки із КЗВ у вигляді найпростішої котушки індуктивності

можна знехтувати її еквівалентна схема заміщення обмотки з магнітопроводом стає ідентична еквівалентній схемі заміщення обмотки без магнітопроводу.

З урахуванням впливу магнітопроводу на сумарну добротність можна провести еквівалентне перетворення схеми обмотки із КЗВ (див. рис. 4), представивши її у вигляді найпростішої котушки індуктивності, зображеної на рис. 7. Параметри котушки індуктивності виражаються формулами:

$$R_{e3} = R_2' + \frac{\omega^2 L_{e2}^2 R_{e2}}{R_{e2}^2 + (\omega L_{e2})^2} \quad (10)$$

$$L_{e3} = \frac{R_{e2}' L_{e2}}{R_{e2}^2 + (\omega L_{e2})^2} \quad (11)$$

При цьому $\lim_{\omega \rightarrow 0} R_{e3}(\omega) = R_2'$, $\lim_{\omega \rightarrow 0} L_{e3}(\omega) = L_{e2}$.

Для теоретичного обґрунтування вибору добротності обмотки як інформативного параметра під час її тестування наведемо такі висновки. За визначенням добротність – це відношення реактивної потужності P_p до потужності активних втрат P_A . Збільшення числа КЗВ приводить до таких нерівностей:

$$\frac{dP_p}{dk} < 0; \quad \frac{dP_A}{dk} > 0. \quad (12)$$

Перша нерівність випливає з того, що зі збільшенням числа КЗВ індуктивність обмотки падає, а друга – із фактичного збільшення втрат в обмотці. Тоді, оскільки добротність обмотки падає зі зростанням числа КЗВ, одержимо:

$$\frac{dQ_1}{dk} = \frac{d}{dk} \left(\frac{P_p}{P_A} \right) = - \frac{1}{P_A} \left(\frac{dP_p}{dk} \right) + Q_1 \frac{dP_A}{dk}. \quad (13)$$

З урахуванням того, що $P_A = P_p/Q$, одержимо:

$$\frac{\Delta Q_1}{Q_1} = - \left(\frac{\Delta P_p}{P_p} \right) + \frac{\Delta P_A}{P_A}. \quad (14)$$

Аналіз формули (14) показує, що чутливість Q_1 визначається сумою чутливостей P_p та P_A . Розрахуємо чутливості $\partial L_{\omega_2}(k)/\partial k$ та $\partial Q_2(k)/\partial k$:

$$\Phi_L(k) = \frac{\partial L_{\omega_2}}{\partial k} = -2 \frac{(1+Q_c)^2 Q_k Q_c}{(1+Q_c^2 + 2Q_k Q_c k)^2}; \quad (15)$$

$$\Phi_Q(k) = \frac{\partial Q_2(k)}{\partial k} = \frac{-Q_k Q_c (Q_k Q_c + 1 + Q_c^2) (2Q_k Q_c k + Q_k Q_c + Q_c^2 + 2)}{(Q_k^2 Q_c^2 k^2 + (2Q_k Q_c + Q_c^2 Q_k^2 + Q_c^3 Q_k) k + Q_c Q_k + 1 + Q_c^2)^2}. \quad (16)$$

Результати розрахунків відносних відхилень $L_{\omega_2}(k)/L_{\omega_2}(0)$ і $Q_2(k)/Q_2(0)$ зображені на рис. 8, а $\Phi_L(k)/\Phi_L(0)$ і $\Phi_Q(k)/\Phi_Q(0)$ – на рис. 9.

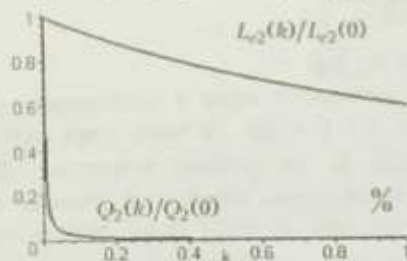


Рис. 8. Відносні відхилення $L_{\omega_2}(k)/L_{\omega_2}(0)$ і $Q_2(k)/Q_2(0)$

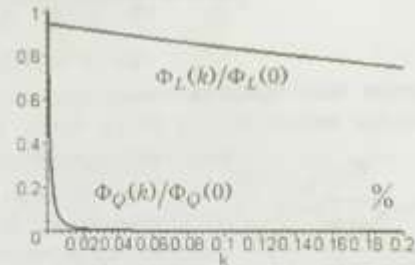


Рис. 9. Відносні відхилення $\Phi_L(k)/\Phi_L(0)$ і $\Phi_Q(k)/\Phi_Q(0)$

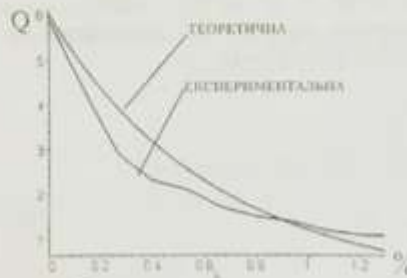


Рис. 10. Теоретична та експериментальна залежності добротності від КЗВ

Проведені дослідження дали теоретичне обґрунтування для розробки високочутливого фазового методу вимірювання добротності електричних машин [4, 5]. Результат експериментальних досліджень залежності добротності від кількості КЗВ для асинхронного двигуна типу 4А50А4 показані на рис. 10.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити такі висновки:

1. Змінення індуктивності обмотки в залежності від кількості КЗВ незначне. Тому визначення короткозамкнених витків за індуктивністю є малоефективним.
2. Величина добротності значно чутливіша до кількості КЗВ, ніж величина індуктивності.
3. Функція чутливості добротності з малими значеннями КЗВ нелінійна і має великий нахил. Це дозволяє здійснювати ідентифікацію малої кількості КЗВ, що важко здійснити іншими методами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ермолин Н. П., Жерихин И. П. Надежность электрических машин. — Л.: Энергия, 1976.
2. Русин Ю. С., Чепарухин А. М. Проектирование индуктивных элементов приборов. — Л.: Машиностроение, 1981. — 171 с.
3. Русин Ю. С., Лобеев Ю. С. Влияние короткозамкнутых витков на параметры индуктивных элементов // Известия вузов. Электромеханика. — 1984. — № 4. — С. 106—107.
4. Дзаралат Р. Х., Поджаренко В. О., Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю. Фазовый метод микропроцессорного измерения добротности электрических машин // Вимірювальна техніка та метрологія. — Львів. — 1995. — Випуск 51. — С. 19—21.
5. Пат. 23637А, Україна, МКИ, G 01 R 27/26, G 01 R 27/02. Спосіб вимірювання добротності котушок індуктивності // Куцевол М. О., Поджаренко В. О., Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю. № 96124526; Заявл. 03.12.96; Опубл. 31.08.98. Бюл. № 4. — 3 с.

Рекомендовано кафедрою метрології та промислової автоматички

Надійшла до редакції 29.02.00

Рекомендована до опублікування 4.04.00

Кучерук Володимир Юрійович — доцент, **Поджаренко Володимир Олександрович** — завідувач кафедри, **Кухарчук Василь Васильович** — професор, **Кулаков Павло Ігоревич** — старший викладач.

Кафедра метрології та промислової автоматички, Вінницький державний технічний університет

УДК 658.012.011.56:664.7

О. Ю. Скидан, асп.

АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗВОЛОЖЕННЯ ЗЕРНА НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Вступ

Використання експертної інформації для автоматизації управління технологічними процесами завжди пов'язане з труднощами її обробки та формалізації для подальшого використання у математичних моделях. Для вирішення цих проблем існує багато методів формалізації експертних знань, серед яких усе більшого значення набувають методи теорії нечітких множин [1]. Перевагами їх застосування є: практична необмеженість у кількості параметрів, можливість постійного поповнення інформаційної бази без зміни моделі, можливість гнучкої диференціації впливу різних параметрів завдяки настройці моделі [1].

У цій статті пропонується система автоматизованого управління процесом зволоження зерна на основі використання експертної інформації, з її формалізацією методами теорії нечітких множин (ТНМ).