

Методологія контролю якості електричних машин

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Зростаючі вимоги до якості електричних машин вимагають вдосконалення методів і засобів їх контролю. Серед різноманіття типів електричних машин найбільш масовими є асинхронні двигуни. Асинхронні електроприводи складають біля 95% загальної кількості електроприводів. Тому ефективний контроль показників якості цих двигунів в процесі їх випробовувань є актуальною проблемою, яка розглядається.

Ключові слова: якість електричних машин, асинхронний двигун, ієрархічна модель.

Abstract

Growing requirements for the quality of electrical machines require improved methods and means of control. Among the variety of types of electric machines, the most common are asynchronous motors. Asynchronous electric drives make up about 95% of the total number of electric drives. Therefore, effective monitoring of the quality of these engines in the process of their testing is an actual problem that is being considered.

Keywords: quality electric cars, asynchronous motor, hierarchical model.

Вступ

В нинішній час багато публікацій присвячено оцінці показників якості при проектуванні асинхронних двигунів, а питанню загальної оцінки якості при їх випробовуваннях приділяється мало уваги. Крім показників надійності – важливих показників якості, стандарти на асинхронні двигуни передбачають наступні показники, які умовно називають номінальними: ККД η , коефіцієнт потужності $\cos\phi$, максимальний обертовий момент M_{\max} , початковий пусковий момент $M_{\text{пуск}}$, початковий пусковий струм $I_{\text{пуск}}$, ковзання s , мінімальний обертовий момент в процесі пуску M_{\min} , момент інерції ротора J . Номінальні показники визначають за результатами періодичних випробовувань. Але останнім підлягають лише незначна кількість двигунів. Всі двигуни, які випускаються в подальшому, підлягають сильно скороченим приймально-здавальним випробовуванням. Крім вимірювання опору обмоток і випробовування електричної міцності ізоляції обмоток, в процесі приймально-здавальних випробовувань проводять два досліді: холостого ходу (ХХ) і короткого замикання (КЗ). За результатами дослідів ХХ, КЗ і випробовувань обмоток приймають рішення про відповідність номінальних показників асинхронних двигунів вимогам стандартів. Сучасний розвиток метрологічного забезпечення і технічних засобів контролю дозволяє здійснювати більш ефективні вимірювальні алгоритми і процедури, проводити швидко обробку результатів вимірювань і тим самим суттєво підвищити функціональні можливості і ефективність роботи засобів контролю.

Основна частина

В [1] запропоновано програму приймально-здавальних випробовувань доповнити випробовуваннями в динамічному режимі роботи двигуна. В динамічному режимі неминучі виявлення відхилень показників якості від нормованих, які виражаються у змінах значень струмів в обмотках, частоти обертання, моменту інерції, моменту опору, моменту на валу, форми механічної характеристики, параметрів статорного і роторного кола, параметрів дисбалансу. З точки зору контролю зручно як модель використовувати залежність показників якості від параметрів, які розбиті на певні функціональні групи [2]. Показники якості асинхронного двигуна при приймально-здавальних випробовуваннях представимо у вигляді ієрархічної моделі попередньо прийнявши для них наступні умови:

1) Показники, які враховуються для оцінки якості двигуна при випробовуваннях, повинні бути ідентичні показникам, які враховуються при проектуванні.

2) Склад показників якості повинен відображати основні експлуатаційні характеристики двигунів.

3) Показники якості повинні бути визначені таким чином, щоб простіше було б визначати залежність між підвищенням якості двигуна і зміною при цьому будь-якої експлуатаційної характеристики.

Залежності показників якості від параметрів можуть визначати логічний або аналітичний тип моделі контролю.

Логічна модель визначає якісну форму залежності показників якості від параметрів. В логічній моделі всі показники якості можуть приймати лише два значення: “годний” (1) і “не годний” (0). Таким чином, стан об’єкту контролю у цілому також описується логічною змінною, яка приймає значення 1 при працездатному об’єкті і 0 – при непрацездатному. Такий опис достатній з точки зору прийняття рішення про працездатність об’єкта. Основним недоліком логічної моделі контролю є те, що в силу якісного зв’язку показників якості з параметрами вона не може дати повної інформації про вплив умов експлуатації і зберігання на якість функціонування об’єкту контролю, а також проводити класифікацію об’єктів контролю за категоріями якості.

В аналітичній моделі показники якості характеризуються неперервністю, тобто малі зміни значень параметрів приводять до малих змін показників якості. Правильно вибраний показник якості як функція параметрів повинен мати екстремальне значення. Екстремуму показника якості відповідають номінальні значення параметрів. Тому всяке відхилення параметрів двигуна від своїх номінальних значень приводить до погіршення значення показника якості. Аналітична модель дає кількісний зв'язок показників якості з параметрами. Цей кількісний зв'язок дає більшу інформацію при контролі, яку можна використовувати не тільки для прийняття рішення про годність об'єкта, але й для аналізу впливу умов зберігання і експлуатації на властивості об'єкту контролю, а також для діагностики несправностей. Кількісна оцінка узагальненого показника якості W може формуватися експертними методами як в [3, 4]:

$$W = a_1 \cdot W_{XX} + a_2 \cdot W_{K3} + a_3 \cdot W_D + W_D W_{ОБМ}, \quad (1)$$

де $a_1 \dots a_4$ - вагові коефіцієнти.

При експертних методах оцінки на формування узагальненого судження (оцінку якості) впливає власний досвід експертів, інтуїтивне відчуття важливості тих чи інших параметрів, різниця в оцінці однакових об'єктів контролю різними групами експертів, що особливо небажано в тих випадках, коли процес проведення експертизи достатньо тривалий, а склад експертної групи міняється [5]. Один із шляхів усунення такої неоднозначності – встановлення єдиних правил формування показників якості.

Правило 1. Правило співрозмірності масштабів вимірювань:

$$\begin{aligned} 0 \leq f(W_{XX}, W_{K3}, W_D, W_{ОБМ}) &\leq 1; \\ 0 \leq W_{XX} \leq 1; & \quad 0 \leq W_{R3} \leq 1; \\ 0 \leq W_{R3} \leq 1; & \quad 0 \leq W_D \leq 1; \\ 0 \leq W_{ОБМ} \leq 1; & \quad 0 \leq W_{пар.1} \leq 1; \end{aligned} \quad (2)$$

де $W_{пар.i}$ - показник якості i -го параметру.

Правило 2. Правило нижньої межі показника якості:

$$f(W_i, 0) = 0, \quad (3)$$

тобто при нульовій оцінці будь-якого показника якості, показник якості, який розташований вище по ієрархії, приймає значення нуля.

Правило 3. Правило верхньої межі показника якості:

$$f(W_i) = 1, \text{ при } W_1 = W_2 = \dots = W_i = 1, \quad (4)$$

тобто при одиничній оцінці всіх показників якості, показник якості, який розташований вище по ієрархії, приймає значення одиниці.

Правило 4. Перше правило взаємної незалежності показників якості:

$$f(f(W_1, \dots, W_i)) = f(f(W_1), \dots, f(W_i)), \quad (5)$$

Правило 5. Друге правило взаємної незалежності показників якості:

$$f(f(W_1, W_2), \dots, W_{i-1}, W_i) = f(W_1, W_2), \dots, W_{i-1}, W_i). \quad (6)$$

Правило 5 аналогічне відомому правилу "від переміни місць доданків сума не змінюється".

Правило 6. Правило ідентичності вимірювань:

$$i = const. \quad (7)$$

Взаємне порівняння технічних рішень і оцінка якості об'єкту контролю можливе лише у тому випадку, коли показники якості ідентичні для всіх порівнюваних об'єктів, як за методами контролю, так і за кількістю параметрів, що контролюються.

Аналіз сформульованих правил формування показників якості показує, що найбільш простою функцією, яка задовольняє їм, є функція

$$\begin{aligned} W &= W_{XX} \cdot W_{K3} \cdot W_D \cdot W_{ОБМ}; \\ W &= W_{пар. XX 1} \cdot \dots \cdot W_{пар. XX k}; \\ W &= W_{пар. K3 1} \cdot \dots \cdot W_{пар. K3 l}; \\ W &= W_{пар. D 1} \cdot \dots \cdot W_{пар. D m}; \\ W &= W_{пар. ОБМ 1} \cdot \dots \cdot W_{пар. ОБМ n}; \end{aligned} \quad (8)$$

де k, l, m, n - кількість параметрів, які формують відповідно показники якості $W_{XX}, W_{K3}, W_D, W_{ОБМ}$, тобто $W = \prod_i W_i$. Ця функція достатньо зручна для практичного використання. Графічно представити функцію (8) найбільш просто як залежність $W = W_1 \cdot W_2$. Такі в загальному вигляді принципи формування узагальненого та комплексних показників якості. Формування узагальненого показника якості здійснюється на основі комплексних показників якості та показників якості основних параметрів. В основу методики визначення показників якості основних параметрів положено функцію Йордана [5]:

$$f_\varepsilon = \frac{\cos y}{\sqrt{1 + \varepsilon \cdot \sin^2 y}} \quad (9)$$

Чудова властивість цієї функції полягає в тому, що при зміні її параметра ε в діапазоні $-1 < \varepsilon \leq \infty$ при $-\frac{\pi}{2} \leq y \leq +\frac{\pi}{2}$, форма функції змінюється від прямокутної до дельта-функції Дірака.

Для того, щоб використати функцію Йордана для формування показників якості основних параметрів, потрібно формувати її у межах поля допуску $\pm \Delta P$, параметра P і максимум функції ($f_\varepsilon(P) = 1$) повинен відповідати номінальному значенню параметру $P_{\text{ном}}$, що контролюється.

Для цього функцію Йордана потрібно перетворити. Можна показати, що необхідним вимогам

$$\text{задовольняє наступна функція: } f_\varepsilon(P) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2 \cdot \Delta P} \cdot (P - P_{\text{ном}})\right)}{\sqrt{1 + \varepsilon \cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{2 \cdot \Delta P} \cdot (P - P_{\text{ном}})\right)}} \quad (10)$$

де поле допуску $\pm \Delta P$ задається в одиницях вимірювання параметру, або

$$f_\varepsilon(P) = \frac{\cos\left(\frac{50\pi}{P_{\text{ном}} \cdot D_p} \cdot (P - P_{\text{ном}})\right)}{\sqrt{1 + \sin^2\left(\frac{50\pi}{P_{\text{ном}} \cdot D_p} \cdot (P - P_{\text{ном}})\right)}} \quad (11)$$

де поле допуску $\pm D_p$ задається у відсотках.

Вибір показника якості ε залежить від жорсткості вимог, що висуваються до проведення випробовувань. Після визначення узагальненого показника якості двигунам, що контролюються, можна присвоїти категорії якості, які присвоюються в залежності від коефіцієнта рівня якості і лімітуючих показників [3]: вища категорія при $W \geq 0.95$; перша категорія при $0.95 > W \geq 0.9$; друга категорія при $W < 0.9$.

Висновки

Таким чином запропонована ієрархічна модель асинхронних двигунів при випробовуваннях, в яку входять узагальнені, комплексні показники якості, та показники якості основних параметрів. Визначено єдині правила формування показників якості, на основі яких синтезовано функцію якості. Показники якості основних параметрів запропоновано визначати за допомогою модифікованої функції Йордана. Запропонована методика оцінки якості асинхронних двигунів дозволяє суттєво підвищити загальну якість контролю та оцінку якості двигунів, проводити їх сортування за категоріями якості, прогнозувати вплив технологічного процесу на якість виготовлення двигунів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерук В.Ю., Поджаренко А.В. Про вдосконалення програм випробувань електричних машин/ В кн. "Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини". Збірник наукових праць, випуск №3.-К.:ФАДА, ЛТД, 1999, с. 101-104.
2. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979.-432с.
3. Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. Проектирование асинхронных микродвигателей с применением ЭВМ. – М.: Высш. школа, 1980.-359с.
4. Жуков Н.А., Игнатович В.М., Муравлев О.П. Управление качеством при изготовлении асинхронных двигателей. //Стандарты и качество, 1977, №1, с.3-12.
5. Земельман И.А. О классификации погрешностей измерений. //Измерительная техника, 1985, №6, с.3-5.
6. Кучерук В.Ю. Контроль якості асинхронних двигунів при їх випробовуваннях/ Автоматизація виробничих процесів, № 2 (11), Київ, 2000, с.41-45.

Кучерук Олександр Олександрович – студент групи МІТ-15б кафедри метрології та промислової автоматики факультету автоматики та комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, fkca.mit15.kuoo1@gmail.com

Науковий керівник: **Кучерук Володимир Юрійович**— д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Alexander Kucheruk – student group МІТ-15b of the Department of Metrology and Industrial Automation of the Faculty of Automation and Computer Control Systems, Vinnitsya National Technical University, Vinnitsya, fkca.mit15.kuoo1@gmail.com

Supervisor: **Kucheruk Vladimir** – Dr. Tekhn. Sciences, Professor, Head of the Department of Metrology and Industrial Automation, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsya