

ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ІЗ ВРАХУВАННЯМ РЕЖИМУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Постановка проблеми. Під час проектування відповідальних систем електроприводів важливий аспект, що розглядається — це забезпечення заданих показників надійності. Дана стаття присвячена проблемі уточненого визначення безвідмовності електричної машини для загальнопромислового електроприводу. Під безвідмовністю розуміємо властивість електромеханічної системи виконувати потрібні функції в певних умовах експлуатації впродовж заданого напрацювання. Зокрема, стаття присвячена визначенню поправного коефіцієнта, який враховує вплив навантаження та режимів експлуатування електричної машини на основі аналізу механічних, електричних та теплових процесів, які протікають в ній. Дана проблема актуальна для електроприводів, які функціонують у короткочасних та повторно-короткочасних режимах роботи.

Практичний аспект розв'язання цієї проблеми пов'язаний з підвищенням точності прогнозування показників надійності, як окремих елементів, так і електроприводу в цілому.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз надійності електроприводів передбачає врахування процесів взаємного впливу елементів один на одного. Некоректно, наприклад, розглядати електричну машину окремо від інших елементів та алгоритму керування. Також, на напрацювання електроприводів суттєвий вплив чинять такі фактори, як зміни режимів роботи (запускання, гальмування, реверсування), температурні фактори та явища перерозподілу навантаження. У даній статті розглядається аналіз безвідмовності електричної машини. Виділяємо у літературі два основних підходи [1 — 3], які використовують з цією метою. Перший підхід полягає в тому, що електричну машину умовно розбивають на складові елементи, зокрема, обмотки, підшипникові вузли тощо. Показники надійності кожного із елементів визначають окремо, а тоді формують модель відмов загалом. Недоліком вказаного підходу є те, що розгляд елементів незалежно один від одного вносить у розрахунки похибку, адже під час функціонування машини вони чинять вплив один на одного. Незважаючи на цей недолік, наведений підхід є базовим в інженерній літературі, адже забезпечує уніфікованість та універсальність. Другий підхід заснований на тому, що електрична машина розглядається як «чорна скринька». Показники надійності визначають на основі врахування впливів окремих стресових факторів. Недолік даного підходу полягає в тому, що складно визначити параметри виразів, які описують окремі впливи. Також, отримані вирази є не універсальними і можуть бути застосовані лише для того типу машин, який розглядається.

Постановка завдання. Розробити метод уточненого визначення поправного коефіцієнта, який враховує вплив навантаження та режиму експлуатування електричної машини.

Викладення основного матеріалу. Відомо, що напрацювання електричної машини є випадковою величиною, яку характеризують законом розподілу. У такому випадку закон розподілу називають моделлю відмов об'єкта $R(t)$. Під час проведення дослідження розглядаються та порівнюються обидва підходи, проте, теоретичні викладки подані у даній публікації, ґрунтуються на другому. Приймаємо, що поправний коефіцієнта K , який враховує вплив навантаження та режим експлуатування, змінює лише масштаб часу t і не впливає на тип чи форму моделі відмов. Тобто поправний коефіцієнт входить у вирази, для прикладу, експоненціальної моделі відмов, моделі відмов Вейбулла та моделі відмов Релея так

$$R(t) = e^{-K \lambda t}, \quad R(t) = e^{-\left(\frac{K t}{\alpha}\right)^\beta}, \quad R(t) = e^{-\frac{K t}{\sigma^2}},$$

де $\lambda, \alpha, \beta, \sigma$ — параметри типових моделей відмов, які використовують для опису електричних машин.

Для електричних машин, які функціонують у повторно-короткочасних та переміжних режимах поправний коефіцієнт пропонуємо визначати як середнє за цикл роботи, тривалість якого приймаємо рівною T

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T k(t) dt,$$

де $k(t)$ — миттєве значення поправного коефіцієнта.

Фізичне значення миттєвого поправного коефіцієнта — це зведена відносна швидкість зношування електричної машини залежно від навантаження її елементів. Значення цього коефіцієнта для номінального режиму експлуатування дорівнює 1. Вплив пуско-гальмівних режимів, температурний вплив тощо змінюють це значення. У випадку перевантаження машини коефіцієнт стає більшим 1, а при недовантаженні — меншим. У загальному випадку, миттєвий поправний коефіцієнт для електричної машини є функціональною залежністю:

$$k(t) = f(u(t), i(t), m(t), \omega(t), \theta(t)),$$

де $u(t)$ — напруга живлення на затискачах обмотки, $i(t)$ — струм, який протікає через затискачі обмотки, $m(t)$ — момент на валу, $\omega(t)$ — частота обертання вала, $\theta(t)$ — температура машини.

Наведена функціональна залежність $k(t)$ складна як для визначення, так і для користування, тому, у першому наближенні, для машин, які функціонують у тривалому режимі, застосовуємо спрощений вираз:

$$k(t) = f\left(\frac{p(t)}{P_n}, \theta(t)\right),$$

де $p(t)$ — миттєва потужність машини, яка є добутком $m(t) \omega(t)$ або $u(t) i(t)$, залежно від того у якому режимі працює машина — генератора або двигуна; P_n — номінальна потужність машини.

Для повторно-кратковчасних та переміжних режимів роботи даний підхід не застосовують [3, 4] внаслідок умовності величини номінальної потужності, а також первинності впливу на безвідмовність саме пікових перевантажень окремих характеристик машини. Введемо припущення, що :

$$k(t) = k_u\left(\frac{u(t)}{U}, \theta(t)\right) k_i\left(\frac{i(t)}{I}, \theta(t)\right) k_m\left(\frac{m(t)}{M}, \theta(t)\right) k_\omega\left(\frac{\omega(t)}{\Omega}, \theta(t)\right),$$

де k_u — коефіцієнт, який враховує вплив перенапруг та температури на стан обмоток машини, зокрема, на стан ізоляції; U — номінальна напруга живлення; k_i — коефіцієнт, який враховує вплив стрибків струму та температури на стан обмоток та контактних вузлів (для машин постійного струму має суттєвий внесок у порівнянні із машинами змінного струму); I — номінальний струм живлення; k_m — коефіцієнт, який враховує вплив перевантаження за крутним моментом та температури на вал, підшипники та інші елементи конструкції машини, що несуть механічне навантаження; M — номінальний момент; k_ω — коефіцієнт, який вплив частоти обертання та температури на вал, підшипники та інші обертові елементи конструкції машини; Ω — номінальна частота обертання.

Структуру аналітичного виразу k_u , k_i , k_m та k_ω та значення параметрів цих виразів вибираємо із літературних джерел. Внаслідок громіздкості цих виразів їх не наведено. Зауважимо, що у різних джерелах поправні коефіцієнти, що відповідають одним і тим же явищам можуть мати різні регресійні вирази або бути незалежними від температури машини $\theta(t)$.

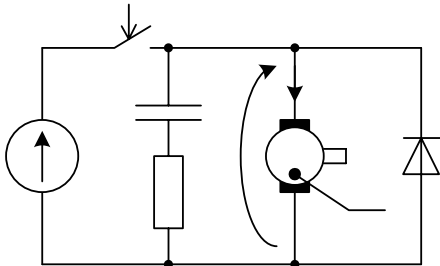


Рис. 1. Функціональна схема досліджуваного електроприводу

При погіршенні умов експлуатації машини спостерігається зростання значення поправного коефіцієнта. Такий підхід кількісно вказує як впливає зміна заданої характеристики електроприводу на показники його безвідмовності.

Висновки. Набув подальшого розвитку метод визначення показників безвідмовності електричних машин, шляхом розробки уточненої моделі надійності типу «чорна скринька», яка враховує електричні, механічні та теплові процеси, що протікають в машині. Запропонований підхід забезпечує уточнене визначення поправного коефіцієнта, який враховує вплив навантаження та режимів експлуатації електричної машини. Використовуючи значення поправного коефіцієнта, для електричної машини визначені уточнені значення таких показників безвідмовності як гамма-процентне напрацювання та середнє напрацювання до відмови. Подальші дослідження скеровані на розробку моделей надійності напівпровідникових силових елементів (діоди, транзистори, тиристори), конденсаторів, резисторів та дроселів. Розроблена множина моделей використовуватиметься для уточненої кількісної оцінки показників безвідмовності електроприводів.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обеспечение надежности асинхронных двигателей / П. И. Захарченко, И. Г. Ширнин, Б. Н. Ванев, В. М. Гостищев. — Донецк, 1998. — 324 с.
2. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment: NSWC-06/LE10. — Maryland, USA: Naval Surface Warfare Center, 2006. — 414 с.
3. MIL-HDBK-217F, Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment. — Washington, USA: DOD, 1991. — 205 с.
4. Лозинський О.Ю., Сахарчук Т.М., Щербовських С.В.

Дослідження виконуються на моделі електроприводу постійного струму з широтно-імпульсною модуляцією (рис. 1). Для двигуна, який працює в такій системі складена електрична, механічна та теплова моделі (рис. 2). Для досліджуваного електроприводу складено тахограми та навантажувальні діаграми, які відповідають короткочасним, повторно-кратковчасними та переміжним режимам роботи для різних значень коефіцієнта інерції та тривалості вмикання. На основі описаного підходу виконані розрахунки миттєвого значення поправного коефіцієнта $k(t)$ протягом заданого циклу роботи. На основі миттєвих значень визначена усереднена інтегральна оцінка цього коефіцієнта K .

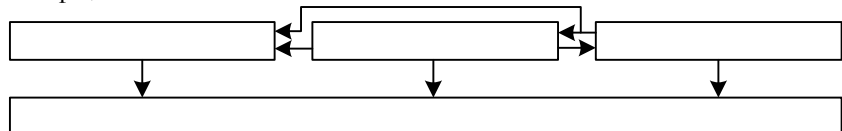


Рис. 2. Схема взаємодії моделей досліджуваного електроприводу