

О.С. Бешта, д-р техн. наук, Є.Г. Худий, О.В. Михайленко
(Україна, Дніпропетровськ, Національний гірничий університет)

АНАЛІЗ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН З МЕТОЮ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ

Більша частина сучасних систем електропривода характеризується високими показниками в області керування електродвигунами та високою надійністю їх захисту. Однак ці питання залишаються актуальними, незважаючи на розвиток мікроелектронної і мікропроцесорної техніки та діагностичного обладнання на їх базі.

Для вітчизняної промисловості ці питання стоять особливо гостро. Внаслідок скрутного матеріального стану промислові підприємства вимушені експлуатувати електродвигуни, що пройшли один або декілька капітальних ремонтів. Відомо, що із-за особливостей процесу ремонту значно знижується їх навантажувальна здатність електродвигунів. Експлуатація такого двигуна призводить до перегрівання його частин. Якщо новий двигун встановлюється у поєднанні з системою захисту з певними уставками, що відповідають його паспортним даним, то для відремонтованого двигуна необхідні інші підходи. Статистика свідчить, що близько 60% електродвигунів, які пройшли капітальний ремонт, після перших трьох місяців експлуатації повертаються на електроремонтне підприємство.

У теперішній час особливо актуальними є питання створення методів та систем температурного захисту і контролю режимів роботи електроприводів з використанням засобів технічної діагностики на базі мікропроцесорної техніки. МікроЕОМ та мікроконтролери, що використовуються в світових системах інтелектуального захисту, дозволяють застосовувати складні ефективні алгоритми обробки діагностичної інформації про тепловий стан конструктивних частин електродвигуна.

При розробці будь-якого типу захисту необхідно проаналізувати можливі випадки та причини виникнення аварійних режимів роботи електричної машини. Це дозволяє більш точно адаптувати розроблену систему захисту до конкретного типу електричної машини та до умов її роботи.

Основною причиною виходу з ладу асинхронних машин є проблеми з обмоткою статора. Розрізняють три типи пошкодження обмоток електродвигунів змінного струму: перегорання і пробій ізоляції, механічні пошкодження. Найбільш впливовим фактором пошкодження ізоляції є тепловий перегрів, причини якого:

- перевантаження електричної машини;
- робота в однофазному режимі (обрив фаз);
- робота на зниженій напрузі живлення;
- роботи при несиметрії живильної напруги;
- значний період пуску двигуна (затяжний пуск);

- висока частота включення – виключення електричного двигуна;
- погіршення охолодження двигуна.

Усі ці аварійні режими характеризуються підвищенням струму у всіх або двох фазах, тобто струм у фазі можливо характеризувати як критичний та основний параметр, величина якого відображує тип системи захисту в цілому. Відомо, щоб проаналізувати характеристики та властивості засобів захисту, необхідно, насамперед, знати властивості електричної ізоляції та доволі точно відтворювати (математично) фізичні процеси, що проходять всередині машини.

Електричні машини постійного струму (МПС) теж потребують захисту від аварійних режимів. Машини постійного струму найбільш розповсюджені в установках, де необхідно забезпечити широке та плавне регулювання швидкості (крани, прокатні стани).

Як було відзначено раніше, на електричні машини постійного або змінного струму впливають умови їх роботи. В аномальних режимах роботи струми в машині перевищують номінальні значення. Це сприяє перегріву, старінню обмоток та пробую ізоляції. В першу чергу, це стосується обмотки якоря МПС.

Більшість електричних машин працюють у повторно-короткочасному режимі, і, як наслідок, навантаження на валу машини має випадковий характер [1]. При цьому заводом – виробником чітко регламентовано величину навантаження для конкретного типу двигуна. Невідповідність реальних умов роботи заводським призводить до перегріву електричної машини. Основні причини виникнення аварійних режимів електричних машин:

- перевантаження в живильній мережі;
- важкий пуск двигуна;
- механічні пошкодження обмоток.

Для машин постійного струму додаються механічні пошкодження ще і колектору.

Проаналізувавши аварійні режими, сформулюємо вимоги до системи захисту електричних машин.

Головна вимога – достатня «швидкодія» системи захисту, яка забезпечить збереження роботоздатності машини. Тому під поняттям «швидкодія» слід розуміти якомога швидке відключення споживача від мережі живлення у випадку виникнення аварійної ситуації. Згідно з нормами електробезпеки та охорони праці необхідно відключити живлення електричного пристрою: це всі можливі варіанти короткого замикання, пожежі, ураження обслуговуючого персоналу та ін. В умовах підприємств може здійснюватися відключення цілої технологічної лінії. Під час розробки системи інтелектуального захисту слід акцентувати увагу на «швидкодію» опрацювання даних.

Майже всі системи захисту спрацьовують при умові перевищення струмом величини певної уставки, і при цьому не враховується специфіка роботи електричної установки. Так, залежно від характеру технологічного процесу електричний двигун може працювати в режимах, при яких спостерігається коливання електричних параметрів: напруги, струму, частоти. У таких випадках потрібно забезпечити відповідну затримку часу спрацьовування системи захис-

ту, необхідну для проведення аналізу даної ситуації та видачі керуючого сигналу на миттєве відключення у разі реальної аварії. Тому необхідно забезпечити поточний моніторинг за параметрами, що контролюються, з урахуванням специфіки електричної установки та технологічного процесу в цілому.

Розглянемо один з найбільш імовірних режимів роботи електричної машини, що може призвести до аварії. Також на прикладі цього режиму роботи машини можливо прослідити залежність «швидкодії» системи захисту від ряду технологічних чинників.

Під час пуску струм в електричних машинах може у 6-7 разів перевищувати номінальний, тому різко збільшується виділення тепла в обмотках. Інтенсивність нагріву характеризується швидкістю наростання температури обмоток статора. Для асинхронних короткозамкнених двигунів вона становить 5-7 °С за секунду. Тому, при пуску, температура досягає допустимого значення. Подальше проходження пускового струму може визвати перегрів та обгорання ізоляції. При пуску двигунів спостерігається зниження живильної напруги. Для розрахунку можливої величини зменшення напруги живлення слід враховувати загальні втрати підключених установок. Через перепад напруги зменшується обертальний момент. Наприклад, при зменшенні напруги на 15% від номінальної пусковий струм становитиме 72% від номінального [1].

Тривалість розгону машини залежить від моменту опору, створюваного робочою машиною, та від величини моменту інерції. Тому час розгону електропривода пропорційний величині моменту інерції електропривода та обернено пропорційний різниці між моментом двигуна та моментом опору. При пуску на зниженій нарузі різниця моментів зменшується, а тривалість розгону збільшується. Цей факт слід обов'язково враховувати при налагодженні «швидкодії» системи захисту. Відомо [2], що при пуску з невеликим моментом опору зниження напруги практично не впливає на нагрівання двигуна. Збільшення тривалості розгону компенсується зменшенням пускового струму. При пуску під навантаженням тривалість розгону росте значно швидше, ніж знижується пусковий струм. Тому такий пуск супроводжується інтенсивним нагрівом.

Зниження напруги призводить до значного збільшення часу розгону агрегату, при якому виділяється велика кількість тепла. Ця теплова енергія розповсюджується по всіх вузлах машини: обмотці, ізоляції, магнітопроводу статора і ротора. Причому, значна кількість цієї енергії концентрується в обмотках статора і ротора. Кількість теплової енергії, що розсіюється в обмотках, визначається за наступною формулою:

$$Q = 3I_{\Pi}^2 R t_{\Pi},$$

де I_{Π} - пусковий струм;

R - активний опір обмоток;

t_{Π} - час розгону при пуску з номінальною напругою.

Для того, щоб при пуску на зниженій нарузі обмотка не перегрівалася

більше припустимого значення, необхідно, щоб кількість тепла, що виділяється, не перевищувала кількість тепла, що виділяється при номінальній напрузі, тобто

$$3I_{II}^2 R t_{II} = 3I_{III}^2 R t_{III},$$

де I_{III} - пусковий струм при пуску зі зниженою напругою; t_{III} - час розгону під час пуску з зниженою напругою.

Тоді при пуску зі зниженою напругою час розгону

$$t_{III} = \left(\frac{U}{U_{II}}\right)^2 t_{II},$$

де U - номінальна напруга; U_{II} - знижена напруга, або

$$t_{III} = \frac{I_{III}^2}{I_{II}^2} t_{II}.$$

Наведені формули дозволяють досить точно налагодити системи захисту щодо «швидкодії».

Висновки:

– майже всі аварійні режими двигунів змінного та постійного струму характеризуються збільшенням температури обмоток і отже цей параметр є критичним і головним інформативним при роботі системи захисту;

– у реальних умовах технологічного процесу не здійснюється поточний контроль теплового стану двигуна, тому необхідно передбачити в системі захисту досить точне визначення температури критичних вузлів машини;

– під час розробки та на стадії налагодження системи захисту електричного двигуна необхідно враховувати його тип та специфіку умов роботи;

– доцільним є встановлення індивідуальних систем захисту електричного двигуна, у випадках відповідальних механізмів навіть при незначній потужності двигуна.

Таким чином, система захисту електричного двигуна має бути «персоніфікованою» як до конкретного типу двигуна, так і до умов технологічного процесу, але структура та практична реалізація повинні мати універсальну та, водночас, уніфіковану базу.

Список літератури

1. Богаенко И.Н. Контроль температуры электрических машин. – К:Техніка,1975. – 975 с.
2. Богаенко И.Н., Сердюк Ю.В., Шатуно М.А. Температурная защита асинхронных электродвигателей. – К.:Техніка,1987. – 94 с.
3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.:Энергия,1980. – 928 с.

