

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДОСТАТОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ УСЛОВИЯХ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

О.И. Хомутов, Д.А. Свистёлко, А.А. Грибанов

Техническое обслуживание и ремонт асинхронного электродвигателя (АД) на предприятиях связан главным образом с повышением надежности наиболее слабых его элементов, а именно – обмотки статора. Существует множество методов реализующих эту идею, как то [1]:

- совершенствование технических средств защиты электродвигателей (ЭД) от аварийных режимов;
- разработка эффективных методов диагностирования состояния электродвигателей;
- разработка технических средств измерения и контроля эксплуатационных и диагностических параметров;
- разработка эффективных методов прогнозирования технического состояния электродвигателей на основе использования математических моделей процесса старения изоляции;
- совершенствование технологии ремонта электродвигателей.

Объединяя все эти методы мы, в конечном итоге, должны получить техническое средство диагностики прогнозирующее в достаточном приближении состояние электроизоляционной системы АД. Прогнозирование состояния электродвигателей создает предпосылки для определения рациональных сроков проведения профилактических мероприятий и ремонтов. Такое прогнозирование целесообразно проводить на основе использования математических моделей изменения состояния наиболее "слабого" элемента данной электротехнической системы – изоляции обмоток статора, определяющей работоспособность этой электротехнической системы в целом. К настоящему времени разработано множество математических моделей старения изоляции электродвигателей, позволяющих прогнозировать изменение ее технического состояния в реальных условиях эксплуатации [1-4], но многие из них описывают лишь определенные стороны процесса старения изоляции ЭД. Необходимо знать момент выхода его из строя, а точно опреде-

лить, сколько он проработает до отказа (в часах) с учетом простоев эти модели не позволяют. На сегодняшний момент модели, наиболее полно отражающие процесс старения, разработаны И.А. Гутым на кафедре ЭПП АлтГТУ. Разработанная им динамическая стохастическая модель старения изоляции АД сложна по структуре и для практического использования. Основное достоинство данной модели заключается в точности прогнозирования технического состояния изоляции на основе обобщенного диагностического параметра (ОДП) $P_{норм}$, применяемого при диагностике по методу волновых затухающих колебаний (ВЗК), при этом ошибка одношагового прогноза в среднем составляет 2-5%. Многомерная динамическая стохастическая модель старения изоляции электродвигателей описывается следующим стохастическим разностным уравнением [1]:

$$P_{изТ} = \sum_{i=1}^{m_1} a_i P_{изТ-i} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^{m_2} d_{ji} X_{jТ-i} + \psi(T) + E_i, \quad (1)$$

где $P_{изТ}$ – значение ОДП в момент времени T ;
 $X_{jТ}$ – значение параметров вектора X , учетных воздействующих факторов в момент времени T ;

n – размерность вектора X ;

a_i, b_i – оценки авторегрессионных параметров процессов входных и выходного параметров модели;

$\psi(T)$ – функция детерминированного временного тренда процесса старения;

m_1, m_2 – первичные параметры модели;

E_T – возмущения.

Процесс старения изоляции двигателей в реальных условиях эксплуатации представляет собой сочетание трендовой и случайной составляющих. Тренд процесса старения изоляции можно экстраполировать простой стандартной функцией.

По экспериментальным данным подконтрольной эксплуатации и диагностики электродвигателей были получены кривые изменения ОДП в функции времени, что позволи-

ло выделить трендовую составляющую, которую можно экстраполировать логистической кривой вида:

$$P_{из}(T) = \frac{1}{1 + b \cdot \exp(-c \cdot T)}, \quad (2)$$

где $P_{из}(T)$ – функция изменения ОДП;
 b, c – параметры трендовой кривой;
 T – время эксплуатации, мес.

Так как в уравнение детерминированной модели старения изоляции АД в явном виде входит переменная времени эксплуатации, то на основе данного уравнения можно произвести расчет полного и остаточного ресурса работы изоляции обмоток.

Техническое состояние изоляции электродвигателя считается работоспособным, если параметр $P_{норм}$ находится в пределах зоны $P_{норм}(t) \geq P_{нормдоп}$. При выходе данного параметра за нижнюю границу указанного диапазона наиболее вероятно выход из строя АД по причине разрушения и износа изоляции его статорной обмотки. Таким образом, полный срок службы изоляции можно определить из соотношения (2):

$$T = -\frac{\ln\left(\frac{1-P}{b \cdot P}\right)}{c}. \quad (3)$$

Тогда остаточный ресурс работы изоляции АД $t_{ост}$ на данный момент времени t будет рассчитываться по формуле

$$t_{ост} = T - t. \quad (4)$$

Для определения остаточного ресурса необходимо знать параметры трендовой кривой, характеризующие условия эксплуатации АД:

$$\begin{cases} c = \frac{-\ln\left(\frac{1-p}{P \cdot b}\right)}{T}; \\ b = \frac{1-P}{P \cdot \exp(-c \cdot T)}. \end{cases} \quad (5)$$

В процессе эксплуатации ЭД может быть подвержен ремонту или ТО, что ведет к изменению параметров трендовой кривой и величины P . Зная время, прошедшее до ТО и диапазон изменения диагностического параметра изоляции АД, мы можем с большой точностью определить на сколько изменится его остаточный ресурс.

Учитывая все вышеперечисленное возможно создание диагностического устройства, реализующего метод ВЗК с использованием детерминированной модели старения изоляции. Прибор должен выполнять следующие функции:

- 1) подает прямоугольный импульс на вход обмотки АД;
- 2) обрабатывает диагностическую информацию и выводит результат расчета остаточного ресурса;
- 3) запоминается моторесурс АД;
- 4) блокирует запуск АД с выводом световой сигнализации.

На основе прогнозируемых остаточных сроков службы изоляции АД можно определить время замены состаренных АД на новые и планировать проведение капитальных ремонтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гутов И.А. Прогнозирование состояния электродвигателей на основе использования многофакторных моделей старения изоляции: Дис ... канд. техн. наук: 05.20.02. - Защищена 26.12.97: Утв. - Барнаул, 1997. - 259 л.: ил.
2. Математическая модель для оценки качества межвитковой изоляции непропитанных статорных обмоток асинхронных электродвигателей / Б.П. Берлинбау, Ю.В.Гандель, О.Д.Гольдберг, А.И. Петрошенко, П.М. Хазановский // Электротехническая промышленность. Сер. Электрические машины. - 1976. - №1(59). - С. 16-17.
3. Костыренко Я.И. Математическая модель для прогнозирования надежности межвитковой изоляции всыпных обмоток при ее продавлении // Изв. вузов. Сер. Электротехника. - 1971. - №11. - С.1233-1239.
4. Матялис А.П., Стрельбицкий Э.И. Модель надежности корпусной изоляции // Изв. Томского политехнического института. - 1972. - Т.229. - С.36-46.