

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Черный А.П.

Кременчугский государственный политехнический университет

apch@polytech.poltava.ua

Principles of electric machines diagnostic systems design are presented on the basis of the analysis of a great number of diagnostic features reflecting the relations of internal and external characteristics defining machine operating conditions. The selection is based on the maximum-identity criterion. Given principles are accomplished in electric machines functional diagnostics system design. The fragment of program for fault tracing and primary fault correction is given. The program makes possible adding, editing and clearing the primary fault characteristics and forming ties for next emergency conditions.

Введение. Система функциональной диагностики является одной из составных частей системы мониторинга и обследования электрических машин. Основная задача системы функциональной диагностики – распознавание текущего состояния объекта, которое описывается множеством диагностических признаков [1] отражающих взаимосвязи внутренних и внешних параметров. Такими диагностическими признаками могут служить параметры установившегося режима, изменяющиеся по характерным законам, которые зависят от места и типа первичных неисправностей. Каждая конкретная неисправность характеризуется одним или несколькими внешними признаками. В одном случае внешний признак указывает непосредственно на наличие конкретной неисправности, в другом случае характеризует неисправность только косвенно. Таким образом, для диагностики и прогнозирования состояния электрической машины и привода необходимо знать характер изменения параметров при различных первичных неисправностях и выбрать из них определяющие.

Цель работы. Целью работы является разработка принципов построения систем диагностики электрических машин на основе анализа множества диагностических признаков отражающих взаимосвязи внутренних и внешних параметров характеризующих режим работы.

Материал и результаты исследований. В практике математического анализа и моделирования реакцию привода, т.е. изменение параметров режима работы при различных аварийных состояниях, можно определить решением дифференциальных уравнений, описывающих функционирование привода при наличии первичных неисправностей. При этом принимается предположение о том, что каждому состоянию привода соответствует вполне определенное внешнее проявление в виде определенного характера изменения параметров.

В общем виде система уравнений, представляющих математическую модель привода имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n Y_{il} \left(t, \tau, \frac{d}{dt} A \right) = F_l(t, \tau, Z, x), \quad (1)$$

где $Y(\cdot)$ - вектор функций времени, характеризующий параметры привода; Z - вектор функций времени, характеризующий внешние и внутренние воздействия и первичные неисправности; $F(\cdot)$ - нелинейная функция, связывающая параметры привода с первичными неисправностями; Y_{il} - многочлен относительно операторов дифференцирования векторов коэффициентов параметров.

Задавшись типовыми функциями первичных неисправностей Z и решая систему уравнений (1) определяют реализацию параметров $y_i(t)$, соответствующих каждому аварийному состоянию.

Эффективным методом описания математических моделей объекта диагностирования является представление его в виде абстрактной динамической системы, процесс функционирования которой состоит в изменении состояния под действием внешних и внутренних возмущений. Математическая модель подобной системы определяется как функционал переменных [5]:

$$y = F(T, X, Z, S, S_0, C^*, C, L^*, L), \quad (2)$$

где T - множество моментов времени t ; X, Y - множества входных x и выходных y сигналов системы; S - множество состояний S системы; S_0 - замкнутая область состояний системы, ограничивающая возможные перемещения S в процессе функционирования; $C^*(T, X, S) = P^*$, $C(T, X, S) = P$ - операторы переходов, отражающие изменения состояния системы под действием внешних и внутренних возмущений; $L^*(T, X, S) = Y^*$, $L(T, X, S) = Y$ - операторы выходов, описывающие формирование выходного сигнала под действием внутренних и внешних возмущений.

Покажем применение аппарата технической диагностики для определения неисправностей в электрических машинах промышленных электроприводов.

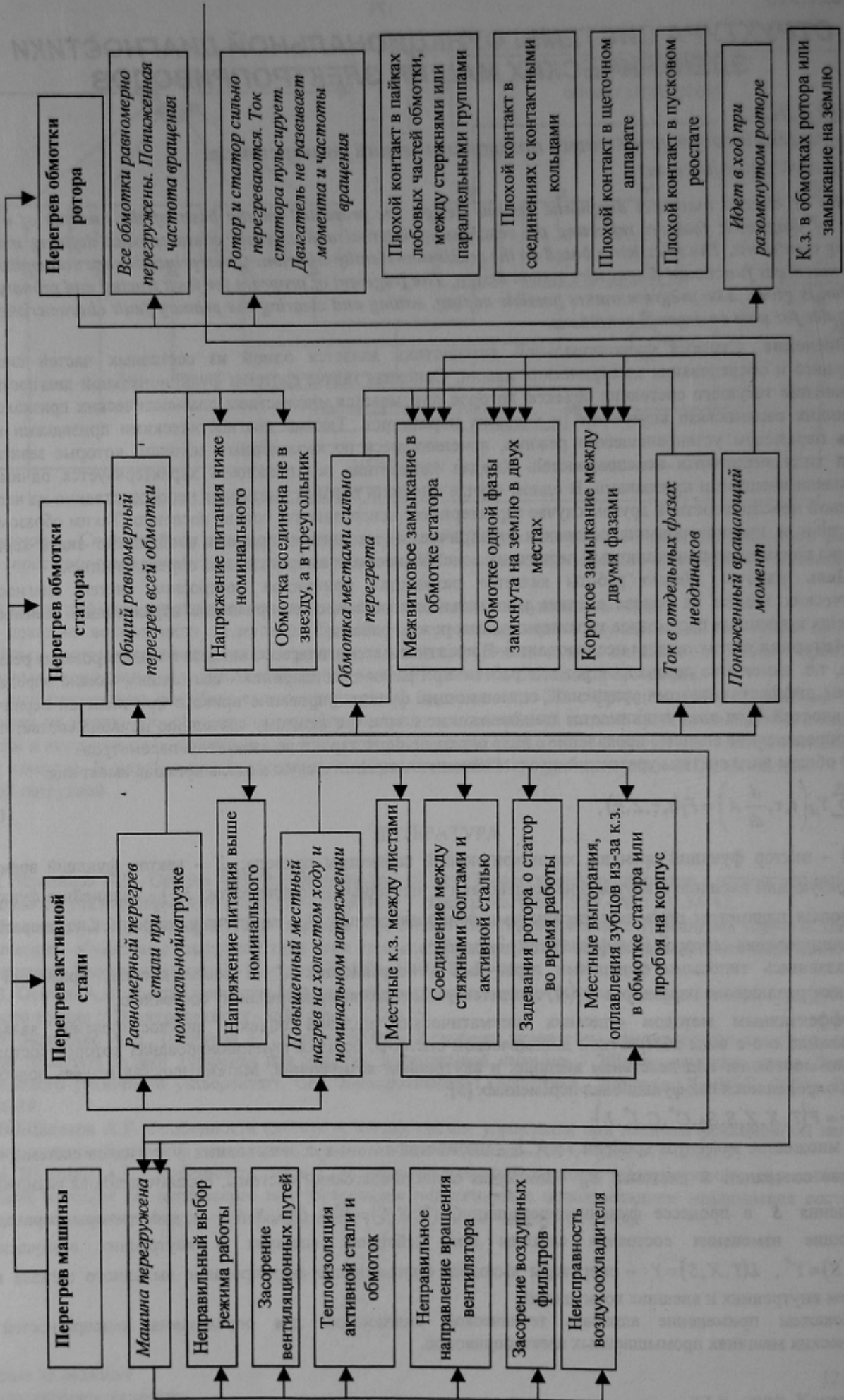


Рисунок 1 – Неисправности и диагностические признаки при перегреве асинхронного двигателя

На рис.1 приведены первичные неисправности и диагностические признаки перегрева асинхронного двигателя [3]. Неисправности даны жирным шрифтом, их признаки – курсивом, а причины неисправностей – обычным шрифтом.

Входные и выходные сигналы объекта представим в виде ориентированного графа, вершины которого представляют события – наличие или отсутствие конкретной неисправности, а дуги – причинно-следственные связи между событиями.

Рассмотрим один из фрагментов рис.1 соответствующего перегреву обмотки статора. Ориентированный граф представлен на рис. 2.

Входной сигнал x - соответствует признаку перегрев обмотки статора, вершины графа e_i – события: “общий равномерный перегрев всей обмотки”, “Обмотка местами сильно перегрета” и др., дуги графа z_j – первичные неисправности. Связь между событиями и первичными неисправностями опишем системой логических уравнений, которая учитывает состояние объекта диагностирования:

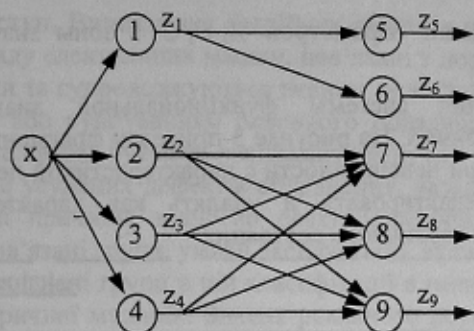


Рисунок 2 – Ориентированный граф неисправностей АД по признаку “Перегрев обмотки статора”

$$\begin{aligned} z_1 &= e_1 \wedge x; \\ z_2 &= e_2 \wedge x; \\ z_3 &= e_3 \wedge x; \\ z_4 &= e_4 \wedge x; \\ z_5 &= e_5 \wedge z_1; \\ z_6 &= e_6 \wedge z_6; \\ z_7 &= e_7 \wedge z_2 \wedge z_3 \wedge z_4; \\ z_8 &= e_8 \wedge z_2 \wedge z_3 \wedge z_4; \\ z_9 &= e_9 \wedge z_2 \wedge z_3 \wedge z_4. \end{aligned} \quad (3)$$

Множество событий $e_i (i=1..N)$ и первичных неисправностей $z_j (j=1..s)$ образуют таблицу функций неисправностей (ТФН) (таблица 1), пересечению строк и столбцов которой соответствуют результаты проверок R_{ij} . Сформированная ТФН обладает известными свойствами [5], что позволяет использовать ее при построении алгоритмов диагностирования.

Таблица 1.

Таблица функций неисправностей

| | e_1 | e_2 | e_3 | e_4 | e_5 | e_6 | e_7 | e_8 | e_9 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| z_1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| z_2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| z_3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| z_4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| z_5 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| z_6 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| z_7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| z_8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| z_9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Проанализировав таблицу видно, что в ней могут существовать неоднозначности, вызванные тем, что априори полагают наличие только одной неисправности.

В этом случае выбор определяющих параметров можно производить по критерию чувствительности признака к изменениям, происходящим в приводе, вызванном первичной неисправностью [2].

Коэффициент чувствительности определяется зависимостью:

$$k_i = \frac{\partial y}{\partial z_j} \frac{z_j^*}{y}, \quad (4)$$

если в процессе моделирования получена аналитическая (или другая) связь параметра с характеристикой первичной неисправности $y = f(z_j^*)$, где z_j^* - характеристика

первичной неисправности.

Применение данного метода вызывает затруднения, если допустить, что возможно появление нескольких первичных неисправностей одновременно или коэффициенты чувствительности внешних признаков одинаковы.

Совместное влияние факторов приводит к неопределенности, т.е. неразличимости отдельных модификаций по значениям исследуемого диагностического параметра. Приведенные показатели отражают, что диагностические параметры обладают комбинационной информативностью, вследствие чего использование комбинаций диагностических параметров по другим показателям: вибрация, скорость вращения, развиваемый момент, потребляемая мощность, составляющие мощности и пр. дает возможность раскрыть все неопределенности и увеличить количество распознаваемых состояний. Это достигается при преобразовании непрерывного диагностического параметра в многозначную логическую величину

$$G_{i+a-i}(Z) = \{n_{i+a-i}(Z)\}, \quad (5)$$

где $G_{i+a-i}(Z)$ - значение диагностического параметра; $n_{i+a-i}(Z)$ - многозначная логическая величина; Z - модификация.

На основе этого можно разработать многозначную логическую диагностическую модель удобную для

применения при построении технических средств диагностирования.

Методика отбора диагностических параметров основывается на критерии максимальной индивидуальности. Параметр, обладающий максимальной индивидуальностью, принимается в качестве базового. Отбор диагностических параметров, позволяющих решить задачу распознавания, осуществляется методом последовательных дополнений. При этом вначале выбирается дополняющий параметр, комбинационная информативность которого, в сочетании с базовым, оказывается максимальной. Затем к полученной базе добавляется третий параметр и т.д. до полного распознавания [4].

Полученная многозначная логическая модель может быть представлена в виде матрицы, причем столбцами матрицы являются номера значений каждого диагностического параметра предъявленных состояний, а строками номера всех диагностических параметров набора. Логическая модель легко преобразуется в двоичную. При этом признаком неисправности является логическое произведение логических функций значений диагностических параметров:

$$\{Z\} = \{a_{it}\} \wedge \{b_{it}\} \wedge \{c_{it}\}, \quad (6)$$

где a_{it}, b_{it}, c_{it} - двоичные переменные, определяющие попадание параметров A, B, C в зоны значений, в которых определена неисправность Z в момент времени t .

Изложенные принципы реализованы при построении системы функциональной диагностики электрических машин: постоянного тока, асинхронных и синхронных. На рисунке 3 приведен фрагмент работы программы по поиску неисправности и корректировке первичной неисправности с характеристикой первичной неисправности. Введенные опции позволяют добавлять, редактировать и удалять как характеристики первичных неисправностей, так и формировать связи для нового аварийного состояния.

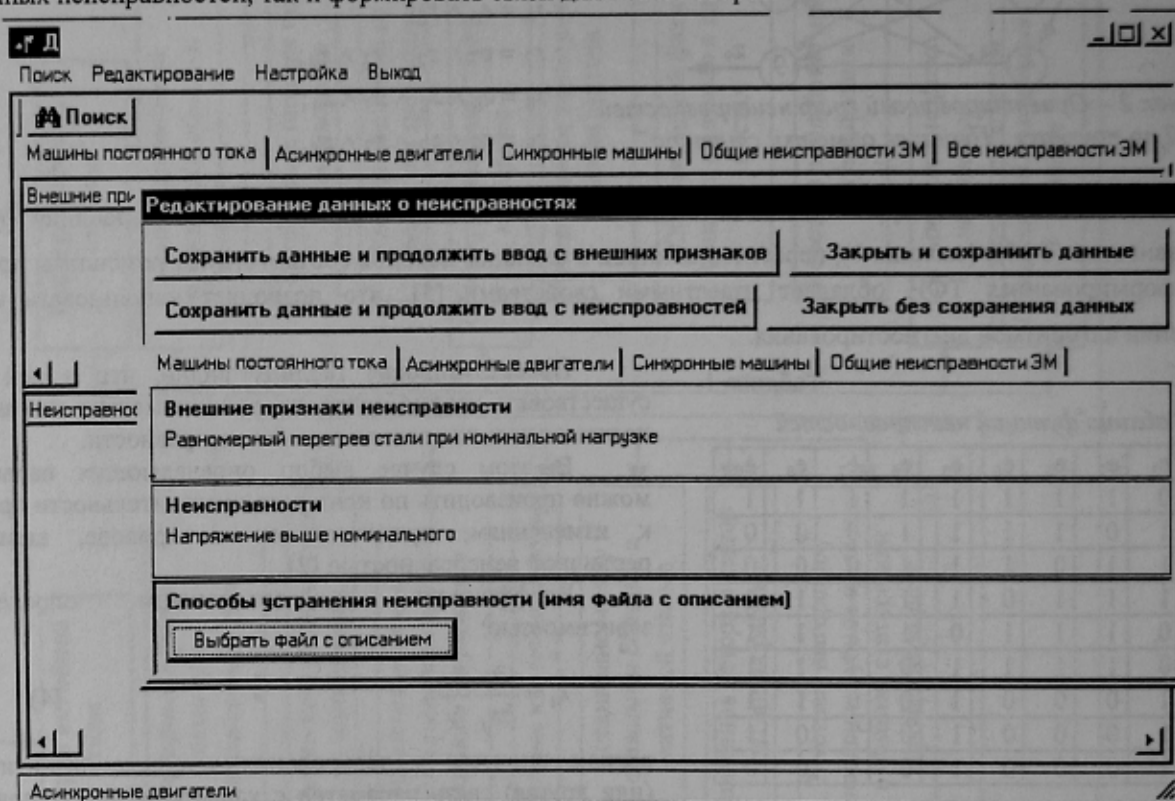


Рисунок 3 – Фрагмент программы по поиску неисправности электрических машин

Рассмотренная система функциональной диагностики может быть отнесена к классу экспертных систем, так как, зачастую пополнение информационных связей базируется на индивидуальном опыте персонала эксплуатирующего данную систему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
2. Биргер И.А. Определение диагностической ценности признаков // Кибернетика. – 1968. - №3. – с.80-85.
3. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин/ Под ред. Р.Б.Уманцева.-9-е изд., перераб. и доп. – Л.:Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 336 с.
4. Потапов В.Д., Кузнецов В.Ф., Дроздов И.А. Методика выбора параметров диагностической модели главных электроприводов экскаваторов. – Горный журнал. – М.: Наука. – 1980., №5, с.46-48.
5. Осипов О.Н., Усынин Ю.С. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов. – М.: Энергоатомиздат, 1991.- 160 с.

Надано до редакції:
Рекомендовано до друку:

29.10.2003
д.т.н., проф. Родькін Д.І.