

ДИАГНОСТИКА ИСКРЕНИЯ НА КОЛЛЕКТОРЕ В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИЙ, В. С. СТУКАЧ, А. Я. ЦИРУЛИК

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Известно, что предел использования машин постоянного тока определяется коммутационной надежностью.

Основной причиной искрения электрощеток является неидентичность коммутационных циклов [1], обусловленная технологическими отклонениями и воздействием механических факторов. Важнейшей проблемой повышения надежности машин постоянного тока является разработка оптимальной системы допусков на указанные параметры, обеспечивающей устойчивую коммутацию в течение заданного периода эксплуатации.

Интенсивность искрения не может быть оценена каким-либо одним параметром. При одномерной оценке искрения нельзя также решить задачу распознавания причин искрения из-за неоднозначности вектора входных факторов при данном уровне выходного параметра, что затрудняет разработку мероприятий по повышению надежности. Необходимость решения этих задач в разумные сроки определили обращение к кибернетическим методам технического диагноза как средства анализа коммутации [2].

Диагностика относится к методам косвенных измерений параметров элементов машины, не доступных для непосредственного наблюдения. Вместо них измеряются параметры процессов, порождаемых работающей машиной и доступных для измерения.

Совокупность внутренних свойств машины (вектор входных факторов) назовем ее состоянием. Внешние процессы, являющиеся носителями диагностической информации, назовем сигналами.

Пространство сигналов является отображением пространства состояний. Для осуществимости диагноза необходимо, чтобы это отображение было взаимно однозначным, а это возможно лишь при равенстве числа независимых параметров сигнала числу степеней свободы машины, то есть числу входных факторов. Получение многомерного сигнала возможно как путем установки соответствующего числа датчиков, так и одним датчиком, измеряющим сложный сигнал, имеющий характер шума. Последнее наиболее удобно.

Нами в качестве диагностического сигнала используется осциллограмма импульсов напряжения под сбегаящим краем щетки, измеренных с помощью дополнительной щетки. Осциллограмма фотографируется с осциллографа и обрабатывается с целью определения параметров закона распределения высот импульсов напряжения. В качестве параметров избраны первые четыре момента распределений модулей высот

импульсов и высот со знаками. Обращение к этому виду сигнала обусловлено следующим.

1. Осциллограмма импульсов напряжения под сбегающим краем щетки имеет характер шумового сигнала, следовательно, может быть представлена большим числом независимых параметров. Метод настройки коммутации с помощью такой осциллограммы широко используется исследователями и практиками [1]. Осциллограмма несет информацию о правильности настройки дополнительных полюсов, о состоянии поверхности коллектора, степени идентичности коммутационных циклов. Фактически этот метод уже используется для диагностики искрения, но не формализован.

2. Возможность сравнительно простого способа получения сигнала на серийных машинах в заводских условиях.

Разработка алгоритма диагноза экспериментально-статистическими методами состоит в нахождении оператора преобразования пространства сигналов в пространство параметров состояния, то есть в определении зависимостей:

$$\begin{aligned} y_1 &= \varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n), \\ y_2 &= \varphi_2(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n), \\ &\dots \\ y_k &= \varphi_k(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n), \\ &\dots \\ y_n &= \varphi_n(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n), \end{aligned}$$

где y_k — k -тый параметр сигнала;
 x_i — i -тый входной параметр;
 n — число входных параметров.

Каждая из функций y_k определяется методом регрессионного анализа при статистически спланированном эксперименте [3, 4]. Вид функции y_k задается полиномом второй степени. Пользуясь формальной линеаризацией, уравнения (1) можно записать в матричной форме в виде системы линейных уравнений

$$Y = B \cdot X,$$

где Y — вектор — столбец параметров сигнала;
 X — вектор-столбец параметров состояния;

$$B = \begin{pmatrix} b_{10} & b_{11} & \dots & b_{1i} & \dots & b_{1n} \\ b_{20} & b_{21} & \dots & b_{2i} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{k0} & b_{k1} & \dots & b_{ki} & \dots & b_{kn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n0} & b_{n1} & \dots & b_{ni} & \dots & b_{nn} \end{pmatrix} \quad \text{— матрица коэффициентов влияния;}$$

b_{ki} — коэффициент влияния i -того фактора x_i на k -тый параметр сигнала y_k .

Нахождение зависимостей (1) сводится к определению коэффициентов влияния.

Алгоритм диагноза записывается системой уравнений

$$X = B^{-1} \cdot Y. \quad (3)$$

Множество сигналов бесконечно и даже несчетно, одному уровню искрения соответствует несчетное множество векторов сигнала в пространстве сигналов, а значит, и векторов состояний в пространстве состояний. Поэтому дальнейшей задачей в исследовании является решение задачи классификации, то есть разбиение пространства сигналов и

пространства состояний на области, соответствующие разным уровням искрения, например, по баллам искрения.

Эксперимент проводился на машинах серии П третьего габарита, имеющих следующие номинальные данные: напряжение — 220 в, ток 12,2 а, скорость вращения 1500 об/мин.

В качестве входных факторов были приняты нажатие на щетку, эксцентриситет и эллиптичность поверхности коллектора, среднеквадратическое отклонение перепадов высот ламелей коллектора, ток подпитки, оптимальное значение которого должно характеризовать отклонение от оптимальной настройки дополнительного полюса для каждой машины.

Предварительно были поставлены отсеивающие эксперименты с целью выявления и отбрасывания несущественных факторов. Анализ результатов эксперимента позволил признать несущественными при указанной скорости вращения эксцентриситет и эллиптичность коллектора и ограничиться на первом этапе исследования тремя факторами: током подпитки J_n , нажатием на щетку P и среднеквадратическим отклонением перепадов ламелей σ .

В табл. 1 приведены интервалы варьирования, с помощью которых задается переход от натуральных переменных J_n , P и σ к кодовым переменным x_1 , x_2 , x_3 соответственно.

Таблица 1

	J_n , а	P , г	σ , мк
Основной уровень ($x_i=0$)	0	370	1,045
Интервал варьирования (± 1)	1	100	0,045

Эксперимент был реализован согласно центральному композиционному ротатабельному равномерному плану при $p=3$ [3]. Испытуемые машины были подобраны так, чтобы параметр σ варьировался в соответствии с планом. Полной ортогональности плана добиться не удалось вследствие ограниченных возможностей подбора машин с необходимыми значениями σ .

Матрица планирования эксперимента представлена в табл. 2.

Для определения коэффициентов влияния b_{ki} решаются системы нормальных уравнений

$$X'X \cdot B = X'Y_k, \quad (4)$$

где X' — транспонированная матрица X ,

Y_k — вектор-столбец значений y_k в эксперименте.

Вычисление параметров сигнала и коэффициентов нормальных уравнений производилось на ЭЦВМ «Проминь», а решение систем (4) — на ЭЦВМ «Минск-1». Решение системы (4) представлено в табл. 3 коэффициентов влияния линейных и квадратичных членов и парных взаимодействий на каждый параметр сигнала. Здесь y_1 , y_2 , y_3 и y_4 — соответственно среднее, среднеквадратическое отклонение, третий и четвертый основные моменты распределения высот импульсов, а y_5 , y_6 , y_7 и y_8 — для распределения модулей высот импульсов.

Разрабатываемая система диагностики искрения, кроме своего основного назначения, явится основой для построения оптимальной системы допусков на входные параметры и разработки системы объективной оценки искрения.

Таблица 2

x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1^2 - \bar{x}_1^2$	$x_2^2 - \bar{x}_2^2$	$x_3^2 - \bar{x}_3^2$
+	+	+	+	+	+	0,4063	0,4063	-0,705
-	+	+	-	-	+	»	»	»
+	-	+	-	+	-	»	»	»
-	-	+	+	-	-	»	»	»
+	+	-	+	-	-	»	»	»
-	+	-	-	+	-	»	»	»
+	-	-	-	+	+	»	»	»
-	-	-	+	+	+	»	»	»
1,68	0	0,1765	0	0,296	0	2,2343	-0,5937	-1,674
-1,68	0	0,1765	0	-0,296	0	2,2343	-0,5937	»
0	1,68	»	0	0	0,296	-0,5937	+2,2343	»
0	-1,68	»	0	0	-0,296	»	+2,2343	»
0	0	3,8	0	0	0	»	-0,5937	+12,735
0	0	-3,8	0	0	0	»	»	+12,735
0	0	0,1765	0	0	0	»	»	-1,674
0	0	»	0	0	0	»	»	»
0	0	»	0	0	0	»	»	»
0	0	»	0	0	0	»	»	»
0	0	»	0	0	0	»	»	»
0	0	»	0	0	0	»	»	»
0	0	»	0	0	0	»	»	»
0	0	»	0	0	0	»	»	»
0	0	-	0	0	0	»	»	-0,705
0	0	-	0	0	0	»	»	-0,705

Таблица 3

I_n, a	$\frac{P}{100}, r$	$\sigma, \text{мк}$	$I_n \cdot \sigma$	$I_n \cdot \sigma$	$\frac{P}{100} \cdot \sigma$	I_n^2	$\left(\frac{P}{100}\right)^2$	σ^2	1
7,778	+2,547	0,498	0,45	-6,093	-1,14	0,3167	-0,139	2,202	-6,595
-12,488	0,3568	-53,99	0,915	9,392	-0,881	3,311	0,137	29,769	25,326
2,219	-4,691	-14,347	-0,23	0,888	5,663	-0,422	-0,176	-5,086	19,05
100,28	-62,584	-225,42	-3,0176	-85,16	42,085	3,354	2,211	39,29	234,67
-10,425	0,994	-17,544	0,452	8,433	-0,940	1,774	0,0269	11,227	6,923
-13,611	0,4045	-37,072	0,938	10,266	-0,917	3,524	0,136	20,491	17,29
15,006	-11,927	-55,295	-0,468	-12,672	6,847	0,958	0,608	15,748	50,637
136,73	-93,906	-378,0	-4,98	-112,27	65,476	3,770	3,012	70,491	374,5

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Ф. Карасев. Коммутация коллекторных машин постоянного тока. Госэнергоиздат, М.-Л., 1961.
2. Б. В. Павлов. Кибернетические методы технического диагноза. Машиностроение, М., 1966.
3. В. В. Налимов, Н. А. Чернова. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. Наука, М., 1965.
4. Планирование экспериментов, Наука, М., 1966.