

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРОФИЛОГРАММ КОЛЛЕКТОРА МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

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

Практика эксплуатации машин постоянного тока и многочисленные исследования показывают, что факторы механического характера оказывают весьма существенное влияние на коммутационный процесс. Среди этих факторов главное значение имеют характеристики рабочей поверхности коллектора — эксцентриситет, эллиптичность, перепады высот соседних ламелей. Оценка геометрии поверхности коллектора производится обычно путем анализа профилограмм, снимаемых с помощью миниметров относительно неподвижной базы. При этом определяется общий бой коллектора, обусловленный эллиптичностью и эксцентриситетом поверхности, и перепады высот соседних ламелей как разность показаний миниметра на соседних ламелях.

Такой способ определения перепадов между ламелями принципиально неверен. Разница в показаниях миниметра на разных ламелях обусловлена не только разновысотностью ламелей, но и эксцентричной посадкой коллектора на вал, эллиптичностью поверхности коллектора. При определении перепадов таким способом эксцентричность поверхности коллектора вносит ошибку, изменяющуюся по величине синусоидально с частотой вращения. Эллиптичность вносит ошибку, изменяющуюся синусоидально с двойной частотой.

Максимальные ошибки $\Delta h_{\text{экс}}$ и $\Delta h_{\text{элл}}$, вносимые соответственно эксцентриситетом и эллиптичностью, равны:

$$\Delta h_{\text{экс}} = e \cdot \sin \frac{2\pi}{K}, \quad \Delta h_{\text{элл}} = E \cdot \sin \frac{4\pi}{K}, \quad (1)$$

где e — эксцентриситет коллектора, $мк$;

E — эллиптичность, определяемая полуразностью длин полуосей эллипса, $мк$;

K — число коллекторных ламелей.

Для машин серии П, исследуемых на кафедре электрических машин, при допустимом техническими условиями бое коллектора $2e = 2E = 30$ $мк$ и при $K = 56$ эти ошибки примут значение:

$$\Delta h_{\text{экс}} = 1,67 \text{ мк}, \quad \Delta h_{\text{элл}} = 3,33 \text{ мк},$$

т. е. в 2—3 раза могут превышать действительные перепады. Среднеквадратическое отклонение перепадов σ для этих машин часто не превышает одного микрона.

Характер влияния эксцентриситета и эллиптичности коллектора на искрение щеток иной, чем характер влияния разновысотности ламелей.

Влияние эксцентриситета и эллиптичности существенно может проявиться лишь в том случае, если ускорения щетки, создаваемые этими факторами, превысят ускорение щетки, создаваемое пружиной, и щетка будет открываться от поверхности коллектора. Для предотвращения этого явления необходимо, чтобы эксцентриситет и эллиптичность не превышали значений, определяемых выражениями:

$$e \leq \frac{P \cdot g}{4\pi^2 G \cdot n^2} \text{ и } E \leq \frac{P \cdot g}{16\pi^2 G \cdot n^2}, \quad (2)$$

где P — давление пружины;

g — ускорение силы тяжести;

G — вес щетки;

n — скорость вращения коллектора.

Для машин серии П второго габарита при $P=0,3$ кг, $G=0,03$ кг, $n=2000$ об/мин. допустимые значения эксцентриситета и эллиптичности могли бы иметь значения $e=2250$ мк, $E=563$ мк, что в сотни раз больше значений, предусматриваемых техническими условиями (30 мк). Это свидетельствует о том, что, по крайней мере, в машинах с небольшими скоростями вращения эллиптичность и эксцентриситет не достигают величин, при которых они могли бы оказать существенное влияние на коммутацию. На кафедре электрических машин исследовалось влияние на коммутацию различных факторов. Составляющие дисперсии искрения, обусловленные влиянием эксцентриситета и эллиптичности равны соответственно 0,0058 и 0,137, а составляющая, обусловленная перепадами пластин, равна 0,102. Неидентичность коммутационных циклов, обусловленная механическими факторами, связана в первую очередь с разновысотностью ламелей, приводящей к нестабильности щеточного контакта.

Сказанное объясняет необходимость правильного определения перепадов ламелей коллектора.

Авторами разработана и использована при анализе коммутации машин серии П методика обработки профилограмм коллекторов, снимаемых с помощью миниметра, позволяющая определить эксцентриситет, эллиптичность и истинные перепады между ламелями.

Существо методики сводится к следующему. Из профилограммы определяются:

$$a_1 = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^k y_i \cdot \sin \frac{2\pi}{K} \cdot i}{K};$$

$$a_2 = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^k y_i \cdot \cos \frac{2\pi}{K} \cdot i}{K};$$

$$a_3 = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^k y_i \cdot \sin \frac{4\pi}{K} \cdot i}{K};$$

$$a_4 = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^k y_i \cdot \cos \frac{4\pi}{K} \cdot i}{K}.$$
(3)

Здесь a_1 и a_2 — амплитуды соответственно синусной и косинусной составляющих первой гармоники, обусловленной эксцентриситетом, $мк$;

a_3 и a_4 — амплитуды соответственно синусной и косинусной составляющих второй гармоники, обусловленной эллипсностью, $мк$;

y_i — i -тое значение профилограммы, соответствующее i -той ламели, $мк$;

K — число ламелей.

Эксцентриситет и эллиптичность определяются по формулам:

$$e = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}, \quad E = \sqrt{a_3^2 + a_4^2}. \quad (4)$$

Далее из всех значений y_i вычитаются соответствующие i -той ламели значения указанных гармонических, в результате чего получаются «чистые» высоты ламелей h_i , не искаженные эксцентриситетом и эллиптичностью. Перепады между ламелями определяются выражением:

$$\Delta h_i = h_i - h_{i+1}, \quad (i = 1, 2, \dots, K - 1), \\ \Delta h_K = h_K - h_1. \quad (5)$$

Дисперсия перепадов

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^K (\Delta h_i)^2}{K}. \quad (6)$$

При $K=56$ и $K=72$ расчеты оказываются трудоемкими, поэтому обработка профилограмм осуществлялась на ЭЦВМ «Проминь» и «Минск-1».

Обработка профилограмм в том виде, как она представлена выше, трудоемка при большом числе ламелей, но ее можно упростить, если для отыскания тригонометрической линии регрессии использовать лишь часть точек профилограммы, равномерно распределенных по окружности коллектора. Можно определить минимальное количество точек, обеспечивающее необходимую точность. Так как эллиптичность вносит большую ошибку, чем такой же по величине эксцентриситет, то расчет проведем для эллиптичности.

Величина эллиптичности

$$E = \hat{E} \pm \sqrt{\frac{D}{N-m-1}}, \quad \text{где} \quad (7)$$

\hat{E} — оценка E , найденная в результате регрессионного анализа,

N — необходимое для расчета число точек профилограммы,

$m = 4$ — число параметров линии регрессии.

D — остаточная дисперсия, в данном случае — дисперсия перепадов ламелей.

На основании выражения (1)

$$\Delta h_{\text{элл}} = \hat{E} \cdot \sin \frac{4\pi}{K} \pm \sqrt{\frac{D}{N-m-1}} \cdot \sin \frac{4\pi}{K} = \Delta h_{\text{элл}} \pm \Delta, \quad (8)$$

неучтенная ошибка в определении перепада

$$\Delta = \sqrt{\frac{D}{N-m-1}} \cdot \sin \frac{4\pi}{K}. \quad (9)$$

Так как миниметром перепады измеряются с точностью до одного микрона, Δ целесообразно принять равной 0,1—0,15 $мк$. Тогда для машин серии П минимальное необходимое количество точек профилограммы

для определения e и E при $K=56, 72$ и 84 будет равно соответственно $32, 22$ и 17 — при $\Delta=0,1$ *мк* и $17, 12$ и 10 — при $\Delta=0,15$ *мк*.

Выводы

1. Предлагаемая методика обработки профилограмм коллектора позволяет:
 - а) определить из профилограммы эксцентриситет и эллиптичность коллектора;
 - б) определить истинные перепады высот ламелей, не искаженные эллиптичностью и эксцентриситетом.
2. Методика обработки весьма проста при использовании ЭЦВМ.
3. При допущении погрешности 10—15 проц. объем вычислений невелик, что позволяет вести обработку профилограмм без средств механизации вычислений.