ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 172 1967

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

О. П. МУРАВЛЕВ, Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИЙ

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Инженерные методы расчета электрических машин в настоящее время разработаны достаточно полно. Эти методы основаны на предположении, что все параметры машины строго соответствуют расчетным, а такие величины, как удельное сопротивление проводниковых материалов, диаметр провода, длины пакетов ротора и статора и т. п., имеют неизменные значения, определяемые по усредненным характеристикам. Однако в реальных условиях указанные величины всегда имеют больший или меньший разброс, т. е. являются случайными величинами.

Качество электрических машин характеризуется степенью соответствия параметров изготовленной машины заданным расчетным параметрам. В связи с этим возникает вопрос о необходимости проведения расчета допусков на параметры машины. Чтобы оценить влияние технологии изготовления на выходные параметры машины, нами аналитически определена связь между допусками на выходные параметры и точностными показателями технологии.

Будем считать выходными параметрами технические характеристики (пусковой и максимальный моменты, пусковой ток, коэффициент полезного действия и коэффициент мощности), а входными — основные и локальные размеры, а также характеристики применяемых материалов (величина воздушного зазора, диаметр провода, удельное сопротивление материала обмоток и т. п.).

Введем следующие обозначения:

$\bar{x}$ — вектор входных параметров;

$\overline{\Delta x}$ — вектор отклонений входных параметров;

$\bar{y}$ — вектор выходных параметров;

$\overline{\Delta y}$ — вектор отклонений выходных параметров;

$\bar{z}$ — вектор параметров электрической схемы замещения;

$\overline{\Delta z}$ — вектор отклонений параметров электрической схемы замещения.

Составляющие векторов приведены в приложении 1.

Соответствие между $\overline{\Delta y}$ и $\overline{\Delta x}$ устанавливается матрицей коэффициентов влияния C

$$\overline{\Delta y} = C \cdot \overline{\Delta x}. \qquad (1)$$

Для асинхронных двигателей матрицу C лучше определять по формуле

$$C = A \cdot B, \qquad (2)$$

где

A — матрица, устанавливающая зависимость $\overline{\Delta y}$ от $\overline{\Delta z}$;

B — матрица, устанавливающая зависимость $\overline{\Delta z}$ от $\overline{\Delta x}$.

Методика определения коэффициентов матриц A и B приводится в [1, 2].

При расчете допусков возникают две задачи, которые можно решить на основании выражения (1):

1. Провести поверочный расчет допусков на выходные параметры по известным допускам на входные — прямая задача расчета допусков.

2. По известным допускам на выходные параметры определить допуски на входные — обратная задача.

При расчете допусков должен быть использован вероятностный метод, который наиболее хорошо согласуется с экспериментом. Уравнения для расчета допусков этим методом имеют вид

$$\delta^2_{y_i} = c^2_{i1}\,\delta^2_{x_1} + \ldots + c^2_{ij}\delta^2_{x_j} + \ldots + c^2_{im}\,\delta^2_{x_m}, \qquad (3)$$

$$i = 1, 2, \ldots, l, \quad j = 1, 2, \ldots, m,$$

где

c_{ij} — коэффициент влияния j-го входного параметра на i-й выходной;

δ_{yi} и δ_{xi} — половина поля допуска в процентах для выходных и входных параметров;

l — число выходных параметров;

m — число входных параметров.

Для решения прямой задачи достаточно вычислить коэффициенты влияния c_{ij}, определить действительные значения δx_j для существующей технологии и подсчитать δ_{yi} по выражению (3). Методика определения δx_j описана в [2].

Для всех входных параметров были определены действительные поля рассеивания $2\,\delta x_j$, которые соответствуют технологии изготовления асинхронных двигателей мощностью 1,0÷7,5 квт на заводе «Сибэлектромотор»:

$$\delta_{w_1} = 0 \div 2{,}0\%; \text{ при } w_1 \leqslant 50 \quad \delta_{w_1} = 0;$$

$$\delta_{l_m} = 0{,}80 \div 1{,}20\%; \quad \delta_{z_2} = 0;$$

$$\delta_{\rho_{Al}} = 45{,}5 - 2{,}05 P_н, \text{ где } P_н \text{ — в квт}; \qquad (4)$$

$$\delta_\delta = 12{,}0 \div 15{,}0\%, \quad \text{для } 2p = 2;$$

$$\delta_\delta = 13{,}5 \div 18{,}5\%, \quad \text{для } 2p > 2;$$

$$\delta_{l_1} = 5{,}88 - 0{,}0173\, l_1; \text{ где } l_1 \text{ — в мм}; \qquad (5)$$

$$\delta_{l_2} = 7{,}07 - 0{,}0347\, l_2; \text{ где } l_2 \text{ — в мм}; \qquad (6)$$

$$\delta_{P_{ст}+P_{мех}} = 60 - 0{,}059(P_{ст} + P_{мех}), \text{ где } P_{ст} + P_{мех} \text{ — в вт}; \qquad (7)$$

Отклонение диаметра провода $d_{пр}$ можно определить по ГОСТ 2112-62 «Проволока медная круглая электротехническая» и ГОСТ 6132-52 «Проволока алюминиевая».

Практическое решение обратной задачи можно получить, если выделить два наиболее сильно влияющих входных параметра и перейти от системы равенств (3) к системе неравенств, а остальные допуски на входные параметры взять для существующей технологии. Из табл. 1, в которой приведены долевые вклады ряда входных параметров, следует, что можно перейти к системе неравенств

$$c^2_{i4}\delta^2 x_4 + c^2_{i5}\delta^2 x_5 \leqslant \delta^2 y_i - \sum_{j \neq 4;\,5} c^2_{ij}\delta^2 x_j. \qquad (8)$$

При расчете таблицы использованы средние значения c_{ij} и δ_{xj} для двигателей 1—÷4 габаритов серии А02 и 3 и 4 габаритов серии А (АО).

Таблица 1.

Входные параметры	Выходные параметры				
	$M_п$	$M_т$	$I_к$	η	$\cos\varphi$
$x_4=\rho_{Al}$	0,928	—	0,597	0,296	—
$x_5=\delta$	0,064	0,716	0,288	—	0,818
$x_9=P_{ст}+P_{мех}$	—	—	—	0,648	—
Суммарная доля учитываемых параметров	0,922	0,716	0,885	0,944	0,818

Графическая интерпретация системы (8) дает область приемлемых значений допусков на удельное сопротивление алюминия обмотки ротора и воздушный зазор. При числе неизвестных допусков на входные параметры большем двух решение обратной задачи может быть произведено путем нахождения чебышевской точки системы неравенств методами линейного программирования.

Таким образом, на основании полученной нами связи между конструкцией асинхронных электродвигателей и точностными характеристиками технологии изготовления можно производить расчеты допусков как на выходные, так и на входные параметры машины.

Приложение 1

Условные обозначения

$y_1=M_п$ — пусковой момент;
$y_2=M_m$ — максимальный момент;
$y_3=I_к$ — ток короткого замыкания;
$y_4=\eta$ — коэффициент полезного действия;
$y_5=\cos\varphi$ — коэффициент мощности;
$z_1=r_1$ — активное сопротивление обмотки статора;
$z_2=r'_2$ — приведенное активное сопротивление обмотки ротора;
$z_3=x_к$ — индуктивное сопротивление короткого замыкания;
x_1 — индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;
x'_2 — приведенное индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора;
$z_4=x_m$ — индуктивное сопротивление взаимоиндукции;
$x_1=w_1$ — число витков фазы обмотки статора;
$x_2=d_{пр}$ — диаметр провода обмотки статора;
$x_3=l_m$ — средняя длина полувитка обмотки статора;
$x_4=\rho_{Al}$ — удельное сопротивление материала обмотки ротора;
$x_5=\delta$ — величина воздушного зазора;
$x_6=l_1$ — длина пакета статора;
$x_7=l_2$ — длина пакета ротора;
$x_8=z_2$ — число целых стержней обмотки ротора;
$P_{ст}$ — потери в стали;
$P_{мех}$ — потери механические;
$xq = P_{ст} + P_{мех}$;

$\lambda_{п1}$ — проводимость рассеяния паза статора;
$\lambda_{к1}$ — проводимость рассеяния коронок зубцов статора;
λ_{s1} — проводимость рассеяния лобовых частей обмотки статора;
$\lambda_{п2}$ — проводимость рассеяния паза ротора;
$\lambda_{к2}$ — проводимость рассеяния коронок зубцов ротора;
λ_{s2} — проводимость рассеяния лобовых частей обмотки ротора;

$$c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m};$$

$$x_к = c_1 x_1 + c_1^2 x_2';$$

$$r_к = c_1 r_1 + c_1^2 r_2';$$

$$\sum\lambda_1 = \lambda_{п1} + \lambda_{к1} + \lambda_{s1};$$

$$\sum\lambda_2 = \lambda_{п2} + \lambda_{к2} + \lambda_{s2}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Обеспечение необходимой точности при производстве асинхронных двигателей. Электротехника, № 7, 1966.
2. О. П. Муравлев. Исследование влияния точностных характеристик техпроцесса на качество и надежность асинхронных электродвигателей. Диссертация, Томск, 1966.