

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ СИЛЬНОВЛИЯЮЩИХ
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
НА СТАБИЛЬНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АСИНХРОННЫХ РОЛЬГАНГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

В. В. ДНЕПРОВСКИЙ, С. А. ШЕЛЕХОВ

(Представлена объединенным научным семинаром кафедр
электрических машин и общей электротехники)

Качество асинхронных рольганговых двигателей серии АР характеризуется обеспечением точности следующих выходных параметров: $M_{\text{п}}$ — момент пусковой; $M_{\text{м}}$ — момент максимальный; $I_{\text{к}}$ — ток пусковой; η — коэффициент полезного действия; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности; D — динамическая постоянная; S — скольжение.

Точность выходных параметров определяется отклонениями конструктивно-технологических входных параметров. Разброс выходных параметров в разной степени зависит от разбросов входных параметров. В качестве таких параметров нами рассмотрены следующие: воздушный зазор — δ ; длины сердечников статора и ротора — l_1 и l_2 ; удельное сопротивление материала клетки ротора — $\rho_{\text{спл}}$ (для алюминиево-магниевого сплава); диаметр провода, средняя длина витка и число витков обмотки статора — $d_{\text{пр}}$, $l_{\text{м}}$ и W_1 ; сумма потерь в стали и механических — $r_{\text{ст}} + r_{\text{мех}}$ и условный коэффициент теплоотдачи — α^* .

Под величиной α^* понимается условный коэффициент теплоотдачи с теплоотдающей поверхности активной стали (наружная поверхность сердечника статора и сумма торцовых поверхностей статора и ротора) при условии допустимого превышения температуры обмотки статора. Условные коэффициенты теплоотдачи используются при проверке двигателей серии АР по нагреву для сложных режимов работы, которые часто встречаются в практике работы прокатных станов.

Выяснение причин разбросов всех входных параметров и проведение мероприятий по уточнению и при необходимости изменению технологических процессов с целью снижения разбросов каждого входного параметра требует большой и трудоемкой работы. Поэтому для проведения эффективных мероприятий по обеспечению точности выходных характеристик необходимо выделить наиболее сильно влияющие входные параметры.

Целью настоящей работы является установление наиболее сильно влияющих входных параметров на разброс выходных параметров.

Эта задача нами решена на основании общей теории точности и уравнений связи между входными и выходными параметрами.

Взаимосвязь входных x_i и выходных y_i параметров электрических машин может быть представлена в общем виде уравнением

$$y_i = \Phi_i(x_1, \dots, x_j, \dots, x_m), \quad i = 1, 2, \dots, l, m). \quad (1)$$

Система уравнений, связывающих допуски на выходные парамет-

ры с допусками на входные параметры по вероятностному методу в соответствии [1], запишется

$$\delta y_i^2 = \sum_1^m C_{ij}^2 \delta x_j^2, \quad (2)$$

где δy_i , δx_j — половина поля рассеивания соответственно для выходного и входного параметров;

C_{ij} — коэффициент влияния отклонения j -го входного параметра на разброс i -го выходного параметра.

При наличии несложных аналитических зависимостей типа (1) расчет коэффициентов влияния производится по выражению

$$C_{ij} = \frac{\partial y_i}{\partial x_j} \cdot \frac{x_j}{y_i}. \quad (3)$$

Для асинхронных двигателей аналитические выражения типа (1) для большинства выходных параметров представляют собой сложные функции. Кроме того, в технической литературе используются в основном аналитические уравнения, связывающие выходные параметры с параметрами схемы замещения и уравнения связи параметров схемы замещения с входными параметрами

$$z_k = \Phi_k(x_1, \dots, x_j, \dots, x_m), \quad (k = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m), \quad (4)$$

где z_k — соответствующий параметр схемы замещения.

В этом случае, когда выходные параметры $y_1, \dots, y_i, \dots, y_l$ являются функциями параметров схемы замещения $z_1, \dots, z_k, \dots, z_n$, а последние, в свою очередь, являются функциями входных параметров $x_1, \dots, x_j, \dots, x_m$, то определение коэффициентов влияния C_{ij} целесообразно находить, используя матричную форму записи [2].

Для определения сильно влияющих входных параметров на разброс выходных необходимо иметь матрицу средних значений коэффициентов C_{ij} по всем типоразмерам двигателей и усредненные точностные характеристики δx_j технологических процессов, принятых при изготовлении двигателей. В этом случае сильно влияющие входные параметры, определенные на основании точностных уравнений (2), будут отражать общую картину при производстве данной серии двигателей.

Настоящая работа выполнена применительно к серии асинхронных рольганговых электродвигателей, выпускаемых заводом «Сибэлектромотор».

Матрица средних значений коэффициентов влияния C_{ij} определялась следующим образом. На основании выражения (3), аналитических уравнений взаимосвязи выходных параметров с параметрами схемы замещения и аналитических зависимостей типа (4) были вычислены коэффициенты влияния параметров схемы замещения на выходные параметры — матрица «А» и коэффициенты влияния входных параметров на параметры схемы замещения — матрица «В».

Расчет элементов матриц «А» и «В» был проведен для 38 типоразмеров рольганговых двигателей основного исполнения на 380 в, 50 гц. Перемножением матриц «А» и «В» для каждого типоразмера двигателей были вычислены матрицы «С» коэффициентов влияния отклонений входных параметров на разброс выходных параметров.

После статистической обработки соответствующих коэффициентов влияния C_{ij} по всем типоразмерам двигателей, получена матрица средних значений коэффициентов влияния для двигателей серии АР.

Усредненные точностные характеристики технологических процессов вычислены по разбросам входных параметров, определенных по результатам типовых испытаний и специально поставленных эксперимен-

Таблица 1

j	Входной параметр x_j	$C_{ij}^2 \delta_{xj}^2$						
		M_{Π} $i=1$	M_M $i=2$	I_R $i=3$	η $i=4$	$\cos\varphi$ $i=5$	D $i=6$	S $i=7$
1	w_1	0	0	0	0	0	0	0
2	d_{np}	0,885	0,839	0,221	0,196	0,073	1,556	0,157
3	l_m	1,426	1,208	0,357	0,140	0,046	1,184	0,094
4	$\rho_{спл}$	9,437	0	65,338	9,915	1,858	45,158	536,15
5	δ	116,96	79,747	29,241	12,848	72,734	9,934	0,645
6	l_1	0,486	0,332	0,121	0,090	0,502	0,078	0,002
7	l_2	0,063	0,105	0,334	0,022	0,003	0,074	1,262
8	$p_{сг} + p_{мех}$	—	—	—	6,351	14,370	1,696	—
9	α	—	—	—	—	—	278,160	—
—	$\Sigma C_{ij}^2 \delta_{xj}^2$	129,26	82,231	95,612	29,562	89,586	337,84	538,30

Таблица 2

Параметр	Долевой вклад	M_{Π} $i=1$	M_M $i=2$	I_R $i=3$	η $i=4$	$\cos \varphi$ $i=5$	D $i=6$	S $i=7$
$\rho_{спп}$	$C^2_{i4} \delta^2_{x4} / \sum C^2_{ij} \delta^2_{xj}, \%$	7,3	—	68,3	33,5	2,1	13,4	99,6
δ	$C^2_{i5} \delta^2_{x5} / \sum C^2_{ij} \delta^2_{xj}, \%$	90,5	97,0	30,6	43,5	81,2	2,9	0,1
$\rho_{ст} + \rho_{мех}$	$C^2_{i8} \delta^2_{x8} / \sum C^2_{ij} \delta^2_{xj}, \%$	—	—	—	21,5	16,0	0,5	—
α	$C^2_{i9} \delta^2_{x9} / \sum C^2_{ij} \delta^2_{xj}, \%$	—	—	—	—	—	82,3	—
$d_{пр}, l_m,$ l_1, l_2	$\frac{C^2_{i2} \delta^2_{x2} + C^2_{i3} \delta^2_{x3} + C^2_{i6} \delta^2_{x6} + C^2_{i7} \delta^2_{x7}}{\sum C^2_{ij} \delta^2_{xj}}, \%$	2,2	3,0	1,1	1,5	0,7	0,9	0,3

тов [3] и замерам, проведенным в условиях массового производства двигателей серии АР.

В табл. 1 приведены составляющие вкладов $S_{ij}^2 \delta_{xj}^2$ для рассмотренных выходных параметров, вычисленные по средним значениям коэффициентов S_{ij} и средним значениям разбросов входных параметров δ_{xj} для всей серии рольганговых двигателей.

В табл. 2 приведены долевые вклады отдельных составляющих входных параметров в общем отклонении для каждого выходного параметра. Из этих таблиц видно, что основными факторами, влияющими на разброс выходных параметров асинхронных рольганговых электродвигателей, являются отклонения удельного сопротивления материала клетки ротора, воздушного зазора, механических и суммарных потерь в стали и условного коэффициента теплоотдачи. Более 95% суммарного отклонения каждого выходного параметра обусловлено разбросом именно этих входных параметров, которые по-разному влияют на отклонения отдельных технических характеристик:

- разброс величин M_{Π} и M_M более чем на 90% определяется нестабильностью воздушного зазора;

- разброс η и $\cos \varphi$ — на 99% определяется отклонениями δ , $r_{ст} + r_{мех}$ и $r_{спл}$;

- разброс динамической постоянной определяется в основном нестабильностью условного коэффициента теплоотдачи и удельного сопротивления материала клетки ротора;

- разброс скольжения полностью определяется нестабильностью удельного сопротивления сплава.

Выделение и исследование наиболее сильно влияющих входных параметров позволяет наметить самые эффективные пути проведения мероприятий по усовершенствованию технологических процессов для получения необходимой точности выходных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. П. Исаев. Допуски на характеристики электрических локомотивов. М., Трансжелдориздат, 1958.
2. З. И. Борович. Определители и матрицы. М., изд-во «Наука», 1970.
3. В. В. Днепровский, О. П. Муравлев. Влияние конструктивных и технологических факторов на удельное электрическое сопротивление клеток роторов у асинхронных двигателей для рольгангов. «Электротехническая промышленность», серия «Технология электротехнического производства», М., ОВНИИЭМ, выпуск 5—6 (38—39), 1972.