

## КОСВЕННЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ РОЛЬГАНГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В. В. ДНЕПРОВСКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Одним из основных показателей, характеризующих работу рольганговых двигателей в режиме частых пусков и торможений, является динамическая постоянная.

Динамическая постоянная измеряет работу ускорения, производимую в течение часа, и является мерой нагрузочной способности двигателя в динамических режимах. Опытным путем динамическая постоянная определяется по выражению [1]

$$D = k \sum GD^2 \cdot z, \quad [\kappa\Gamma \cdot \text{м}^2/\text{ч.}], \quad (1)$$

где

$\sum GD^2$  — общий маховый момент, равный сумме махового момента ротора и добавочного нагрузочного махового момента, приведенного к валу двигателя,  $[\kappa\Gamma \cdot \text{м}^2]$ ;

$z$  — допустимое число циклов в час;

$k$  — коэффициент, характеризующий тип торможения;

$k=4$  — при торможении противотоком;

$k=2$  — при динамическом торможении;

$k=1$  — при самоторможении.

Допустимое число реверсов в час при заданной продолжительности включения (ПВ%) устанавливается таким, чтобы при разгоне требуемой маховой массы до синхронной скорости двигателя превышение температуры обмотки статора для соответствующего класса изоляции достигало максимально допустимого значения.

Расчетным путем динамическая постоянная определяется по формуле

$$D = \frac{3600 \Theta_{cu} \cdot S_{охл} \cdot z - 3600 P_0 \frac{ПВ\%}{100}}{\frac{P_c}{730} \left[ 1 + \frac{r_1}{r_2} \left( 1 + \frac{2I_0}{D} \right) \right]}, \quad (2)$$

где

$\Theta_{cu}$  — допустимое превышение температуры обмотки статора для класса изоляции «Н»:  $\Theta_{cu} = 120^\circ \text{C}$ ;

$S_{охл}$  — поверхность охлаждения пакета статора определяется по выражению

$$S_{охл} = \pi D_a \left( \frac{D_a}{2} + l_1 \right), \quad (3)$$

где  
 $D_a$  и  $l_1$  — наружный диаметр и длина пакета статора;  
 $P_0$  — потери холостого хода;  
 $n_c$  — синхронная скорость вращения двигателя;  
 $r_1$  и  $r_2'$  — соответственно сопротивление обмотки статора и приведенное сопротивление короткозамкнутой клетки ротора для горячего состояния двигателя;  
 $I_0$  — ток холостого хода;

$$D = \frac{u_1}{x_k} \text{ — диаметр окружности круговой диаграммы,}$$

где  
 $u_1$  — фазное напряжение, подводимое к двигателю;  
 $x_k$  — индуктивное сопротивление короткого замыкания;  
 $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи,  $[вт/м^2 \text{ } ^\circ C]$ .

Как показали результаты статистической обработки, фактические значения динамической постоянной, определенные по данным типовых испытаний для однотипных двигателей, имеют некоторый разброс. Среднее значение половины поля рассеивания для серии АР составляет 21,2% [2]. Разброс динамической постоянной объясняется нестабильностью свойств применяемых материалов, технологическими отклонениями при изготовлении двигателей и рядом других факторов. Эти отклонения являются причиной разброса коэффициента теплоотдачи.

На основании проведенных точностных расчетов установлено, что разброс динамической постоянной для двигателей серии АР в большой степени зависит от рассеивания коэффициента теплоотдачи.

В настоящее время при определении динамической постоянной расчетным путем по (2) в качестве коэффициента теплоотдачи принимается усредненная постоянная величина  $\alpha = 45 \text{ вт/м}^2 \text{ } ^\circ C$ , чем и объясняется значительное расхождение расчетных и опытных значений динамической постоянной. Поэтому определение фактических коэффициентов теплоотдачи по результатам типовых испытаний как средней величины по каждому типоразмеру позволит точнее рассчитывать динамические постоянные двигателей.

Величину коэффициента теплоотдачи для рольганговых двигателей основного исполнения (фазное напряжение — 220 в, при ПВ = 25%) можно определить из выражения (2)

$$\alpha = \frac{D \cdot \frac{n_c}{730} \left[ 1 + \frac{r_1}{r_2'} \left( 1 + \frac{I_0 x_k}{110} \right) \right] + 900 P_0}{432000 \cdot S_{\text{охл.}}} \quad (4)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания определяется из соотношения

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}, \quad (5)$$

где

$$r_k = \frac{u_1}{I_k} \text{ — полное сопротивление двигателя;}$$

$I_k$  — ток короткого замыкания для двигателя в горячем состоянии;

$$r_k = \frac{P_k}{3 I_k^2} \text{ — активное сопротивление короткого замыкания в горячем}$$

состоянии;

$P_k$  — потери короткого замыкания для двигателя в горячем состоянии.

Все данные для расчета коэффициента  $\alpha$  брались из протоколов по типовым испытаниям.

Под величиной  $\alpha$ , рассчитанной по формуле (4), подразумевается эквивалентный коэффициент теплоотдачи, определяющий условия охлаждения обмотки статора с учетом коэффициента теплоотдачи поверхности станины, внутреннего теплового сопротивления от обмотки к станине и другие.

В табл. 1 приведены средние значения коэффициента теплоотдачи  $\bar{\alpha}$  и величины, характеризующие его разброс:  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение;  $\delta_{\alpha}$  — половина поля рассеивания. Величины, характеризующие разброс коэффициента теплоотдачи, приведенные в табл. 1, могут быть использованы при расчете допусков на динамические постоянные для различных типоразмеров двигателей.

Таблица 1

Тип двигателей АР	$\bar{\alpha}$ , $вт/м^2\text{°С}$	$\sigma$ , $вт/м^2\text{°С}$	$\delta_{\alpha}$ , %
43—4	47,83	2,69	16,8
42—6	50,83	2,07	12,2
43—6	48,16	1,73	10,7
42—8	56,63	1,52	3,06
43—8	47,57	2,47	15,5
42—10	55,10	2,92	15,9
43—10	50,66	5,18	30,3
43—12	46,40	4,24	27,4
52—8	50,29	1,49	8,9
53—8	51,58	2,20	15,8
52—10	50,39	0,89	5,32
53—10	45,53	0,98	6,41
52—12	52,10	1,57	9,03
53—12	47,89	2,56	16,0
64—10	44,50	4,59	31,0
63—12	47,81	3,15	19,7
64—12	45,35	1,07	7,06
64—16	46,57	2,22	14,3
73—10	44,65	3,70	25,0
74—10	40,78	1,84	13,5
73—12	45,84	2,74	17,9
73—16	46,42	2,41	15,6
74—16	41,69	2,05	14,7

Как видно из табл. 1, средние значения коэффициентов теплоотдачи различны для различных типоразмеров двигателей. Поэтому использование усредненного коэффициента теплоотдачи  $\alpha = 45 \text{ вт/м}^2\text{°С}$ , принятого постоянным для всей серии при вычислении динамических постоянных по выражению (2), является неоправданным. Это объясняется тем, что с целью унификации для каждого габарита принята одна станина на две длины пакета статора. Кроме того, у двигателей одного и того же габарита для различных скоростей вращения также с целью унификации используется один лист статора.

Из табл. 1 видно, что усредненные значения коэффициентов теплоотдачи у двигателей первых длин одного габарита выше, чем у двигателей вторых длин. Причем разброс коэффициентов теплоотдачи двигателей для различных скоростей вращения одной и той же длины каждого габарита значительно меньше, чем для двигателей обеих длин в одном габарите. В связи с этим с целью упрощения расчетов динамических постоянных будет оправданным принять усредненные значения коэффициентов теплоотдачи для каждой длины одного и того же габарита всех полюсностей. Эти усредненные значения коэффициентов теплоотдачи приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип двигателей АР	$\alpha$ , вт/м <sup>2</sup> °С	$S_{\text{охл}}$ , м <sup>2</sup>	$\lambda$
42	54,2	0,1177	1,026
43	48,1	0,1407	1,383
52	50,9	0,2020	0,920
53	45,0	0,2483	1,315
63	47,8	0,3065	0,551
64	45,5	0,3528	0,734
73	45,6	0,4270	0,661
74	41,2	0,5020	0,892

Для определения коэффициентов теплоотдачи аналитическим путем найдем корреляционную зависимость типа

$$\alpha = b_0 + b_1 S_{\text{охл}} + b_2 \lambda + b_3 \cdot S_{\text{охл}}^2 + b_4 \lambda^2, \quad (6)$$

где

$$\lambda = \frac{l_1}{D_1} \text{ — (размерность } l_1 \text{ и } D_1 \text{ принимается одинаковой);}$$

$D_1$  — внутренний диаметр расточки статора;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  — коэффициенты регрессии.

По расчетным данным  $S_{\text{охл}}$ ,  $\lambda$  и усредненным значениям коэффициентов теплоотдачи  $\alpha$ , величины которых приведены в табл. 2, после проведения регрессионного анализа было получено следующее уравнение регрессии:

$$\alpha = 60,03 - 60,19 S_{\text{охл}} + 10,08 \lambda + 40,93 S_{\text{охл}}^2 - 9,39 \lambda^2. \quad (7)$$

Коэффициенты теплоотдачи, вычисленные по (7), имеют максимальную погрешность расхождения с опытными средними значениями — 3%. Для расчета коэффициентов теплоотдачи величины  $S_{\text{охл}}$  и  $\lambda$  берутся из табл. 2. При разработке промежуточных модификаций, что характерно для рольганговых двигателей, эти величины определяются по принятым соответственно длинам пакетов к их диаметрам.

## Выводы

1. Принятый в настоящее время для расчета динамических постоянных один усредненный коэффициент теплоотдачи для всей серии АР является неоправданным. Единый усредненный коэффициент теплоотдачи может быть принят только для одних и тех же длин пакетов статоров в данном габарите на все скорости вращения (табл. 2).

2. Для аналитического расчета усредненных коэффициентов теплоотдачи в зависимости от габарита и длины пакета статора предложена корреляционная зависимость (6, 7) в функции от основных размеров магнитопровода.

## ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 10283-69. Двигатели трехфазные короткозамкнутые асинхронные рольганговые серии АР.
- В. В. Днепровский, О. П. Муравлев, С. А. Шелехов. Выбор номинальных параметров рольганговых двигателей. «Электротехническая промышленность», 1971, № 6.