

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИНДУКЦИОННЫХ МИКРОМАШИН НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

А. Н. ГАВРИЛОВ, А. А. КАМЕНСКИЙ

Проблема точности выходных параметров является одним из основных вопросов при обеспечении физической взаимозаменяемости.

Во многих приборах и элементах систем управления выходными параметрами являются физические величины и их точность зависит как от геометрических погрешностей, так и от физических свойств входящих узлов и деталей.

Отклонение геометрических характеристик от номинала вызывает погрешность физических параметров схемы замещения, которые обуславливают разброс выходных параметров изделия. Величина погрешности выходных параметров определяется не только величиной погрешности входного параметра, но и степенью влияния рассматриваемого входного параметра на выходной [1, 2].

Выходной параметр Y_i можно рассматривать как функцию входных параметров x_j .

$$y_i = f_i(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n).$$

Выходной параметр вследствие погрешностей изготовления отличается от номинального.

$$y_i + \Delta y_i = f_i(x_1 + \Delta x_1, \dots, x_j + \Delta x_j, \dots, x_n + \Delta x_n),$$

где y_i, x_j — номинальные значения параметров;

$\Delta y_i, \Delta x_j$ — отклонения параметров от номинала.

Переходя к конечным приращениям и пренебрегая членами второго порядка малости, выражение для погрешности в безразмерной форме можно записать в следующем виде:

$$\frac{\Delta y_i}{y_i} = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{\delta f_i(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)}{\delta x_j} \frac{x_j}{f_i(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)} \frac{\Delta x_j}{x_j}.$$

Выражение, стоящее перед погрешностью входного параметра и определяющее степень влияния этой погрешности на погрешность выходного параметра, является коэффициентом влияния.

$$a_{ij} = \frac{\delta f_i(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)}{\delta x_j} \frac{x_j}{f_i(x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)}.$$

В том случае, если выходной параметр y_i зависит от параметров x_j , а последние в свою очередь являются функцией параметров z_k

и аналитические зависимости между ними являются достаточно сложными, то для определения коэффициентов влияния параметров z_k на параметры y_i удобнее применить матричную форму записи. Коэффициенты влияния a_{ij} параметров x_j на параметры y_i составляют матрицу A , а коэффициенты влияния b_{jk} параметров z_k на параметры x_j составляют матрицу B . Коэффициенты влияния c_{ik} параметров z_k на выходные параметры y_i определяются перемножением матриц A и B .

В системах автоматики в качестве исполнительных элементов широкое применение нашли индукционные микромашины, особенно двухфазные машины с полым ротором, для которых определены коэффициенты влияния по вышеприведенной методике и рассчитаны отклонения выходных параметров.

Определены коэффициенты влияния a_{ij} параметров схемы замещения (r_c — активное сопротивление обмотки, x_c — индуктивное сопротивление, x_m — индуктивное сопротивление цепи намагничивания, r_p — активное сопротивление полого ротора) на выходные параметры: I_n — пусковой ток, M_n — пусковой момент, v_{xx} — относительная теоретическая скорость холостого хода. Коэффициенты влияния определялись на основе уравнений, приведенных в [3], с учетом принятых допущений и при условии, что параметры схемы замещения одной фазы могут быть выражены через квадрат коэффициента трансформации и соответствующие параметры другой фазы.

$$a_{I,x_c} = - \frac{X x_c}{R^2 + X^2},$$

$$a_{I,r_c} = - \frac{R r_c}{R^2 + X^2}.$$

$$a_{I,x_m} = - \frac{x_m}{R^2 + X^2} \left[R \frac{2r_p^3 x_m}{(r_p^2 + x_m^2)^2} + X \frac{(r_p^2 - x_m^2) r_p^2}{(r_p^2 + x_m^2)^2} \right],$$

$$a_{I,r_p} = - \frac{r_p}{R^2 + X^2} \left[R \frac{(x_m^2 - r_p^2) x_m^2}{(r_p^2 + x_m^2)^2} + X \frac{2x_m^3 r_p}{(r_p^2 + x_m^2)^2} \right],$$

где
$$R = r_c + \frac{x_m^2 r_p}{r_p^2 + x_m^2}; \quad X = x_c + \frac{x_m r_p^3}{r_p^2 + x_m^2};$$

$$a_{M,r_c} = a_{I,r_c}; \quad a_{M,x_c} = a_{I,x_c};$$

$$a_{M,x_m} = 2 \left(\frac{r_p^2}{r_p^2 + x_m^2} + a_{I,x_m} \right);$$

$$a_{M,r_p} = \frac{x_m^2 - r_p^2}{r_p^2 + x_m^2} + 2a_{I,r_p};$$

$$a_{v,r_c} = \frac{2(1 - \alpha^2)^2 r_c x_m (2x_c + x_m)}{(1 + \alpha^2)^2 r_p (2r_c + 2x_c + x_m)^2} \frac{1}{v_{xx}};$$

$$a_{v,x_c} = - \frac{4(1 - \alpha^2)^2 r_c x_c x_m}{(1 + \alpha^2)^2 r_p (2r_c + 2x_c + x_m)^2} \frac{1}{v_{xx}};$$

$$a_{v,x_m} = \frac{2(1 - \alpha^2)^2 r_c x_m (2r_c + 2x_c)}{(1 + \alpha^2)^2 r_p (2r_c + 2x_c + x_m)^2} \frac{1}{v_{xx}};$$

$$a_{v,r_p} = - \frac{2(1 - \alpha^2)^2 r_c x_m}{(1 + \alpha^2)^2 r_p (2r_c + 2x_c + x_m)^2} \frac{1}{v_{xx}},$$

где скорость теоретического холостого хода выражается эмпирической приближенной формулой $V_{xx} = \frac{2\alpha}{1+\alpha^2} + \frac{2(1-\alpha^2)^2 r_c x_m}{(1+\alpha^2)^2 r_p (2r_c + 2x_c + x_m)}$. Точность формулы возрастает с увеличением коэффициента сигнала α , и при $\alpha = 0,6 \div 1,0$ и реальных параметрах схемы замещения ошибка составляет менее 1% от значений, рассчитанных по формуле, приведенной в [3].

Коэффициенты влияния конструктивных размеров, а именно, величины воздушного зазора δ , длины пакета статора l , диаметра полового ротора D_p и толщины его стенки Δ на параметры схемы замещения имеют следующий вид:

$$b_{x_m, l} = 1; \quad b_{x_m, \delta} = -1;$$

$$b_{r_p, l} = \frac{2lp^2S}{D_p^2 + 2lp^2S}; \quad b_{r_p, \Delta} = -1;$$

$$b_{r_p, D_p} = \frac{D_p^2 - 2lp^2S}{D_p^2 + 2lp^2S}; \quad b_{x_c, l} = 1,$$

где p — число пар полюсов;

S — вылет роторного стакана.

Для двигателей-генераторов серии ДГ рассчитаны отклонения выходных параметров по допускам на конструктивные размеры (δ , l , D_p , Δ). Для активного сопротивления обмотки допуск также был взят конструктивный, так как электрическое сопротивление обмотки в основном определяется колебанием удельного электрического провода и его диаметра.

В табл. 1 представлены расчетные отклонения в процентах выходных параметров ДГ, причем реальные отклонения достаточно хорошо согласуются с расчетными. Так, например, для ДГ — 1ТА реальные отклонения пускового момента M_n составляют $\pm 6\%$, пусковых токов $I_n \pm 3,5\%$, а скорости холостого хода $\pm 2\%$.

Таблица 1

Метод расчета	Выходные параметры	Отклонения параметров от средних			
		ДГ-1ТА	ДГ-2ТА	ДГ-3ТА	ДГ-5ТА
Метод max-min	M_n	7,456	6,722	6,712	5,912
	I_n	6,988	5,718	4,935	4,859
	γ_{xx}	3,533	3,174	2,354	2,682
Теоретико-вероятностный метод	M_n	4,864	4,546	4,654	3,931
	I_n	3,75	2,861	2,416	2,399
	γ_{xx}	2,493	2,228	1,673	1,897

Результаты эксперимента и расчета показали, что на основе полученных выражений возможно достаточно точно оценить влияние допусков основных конструктивных размеров машины на ее выходные параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Гаврилов. Технология авиационного приборостроения, Оборонгиз, 1963.
2. В. П. Гусев, А. В. Фомин и др. Расчет электрических допусков радиоэлектронной аппаратуры, Советское радио, 1963.
3. Ю. С. Чечет. Электрические микромашины автоматических устройств, Энергия, М., 1964.