

**РАСЧЕТ ЗОН ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

О. П. МУРАВЛЕВ, Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИЙ

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Соответствие выходных параметров электрических машин допускам ГОСТ 183-66 может быть установлено по результатам весьма трудоемких типовых испытаний или более простых контрольных. В последнем случае необходимо знание алгоритма, отображающего границы значений выходных параметров в границы значений параметров контрольных испытаний.

В практике электромашиностроительных заводов в качестве этих границ используются зоны, разработанные О. Д. Гольдбергом [1]. Существенным недостатком этих зон является необходимость для их расчета результатов типовых испытаний. Расчет их очень трудоемок.

В данной работе предлагается метод расчета зон, свободных от указанных недостатков.

Этот метод основан на методике расчета допусков, разработанной в ТПИ, и имеет с ней ряд общих вычислительных операций. Это значительно упрощает расчет зон и позволяет выполнить их на стадии проектирования одновременно с расчетом допусков.

В работах [2, 3, 4] показано, что между отклонениями входных и выходных параметров существует линейная связь, определяемая матрицей коэффициентов влияния S . Можно показать, что связь между параметрами контрольных испытаний и входными параметрами также линейна:

$$\overline{\Delta U} = F \overline{\Delta V}, \quad (1)$$

где

$\overline{\Delta U} = (\Delta I_0, \Delta P_0, \Delta I_k, \Delta P_k)$ — вектор отклонений параметров контрольных испытаний, составляющие которого являются отклонениями тока и потерь холостого хода и короткого замыкания при контрольных испытаниях;

$\overline{\Delta V} = (\Delta \delta, \Delta r_{Al}, \Delta (P_{ст} + P_{мех}))$ — вектор отклонений существенно влияющих входных параметров.

Здесь и далее использованы условные обозначения работы [2].

Выражение (1) в развернутой форме

$$\left. \begin{aligned} \Delta I_0 &= f_{11} \cdot \Delta \delta \\ \Delta P_0 &= f_{23} \cdot \Delta(P_{ст} + P_{мех}) \\ \Delta I_K &= f_{31} \cdot \Delta \delta + f_{32} \cdot \Delta \rho_{A1} \\ \Delta P_K &= f_{41} \cdot \Delta \delta + f_{42} \cdot \Delta \rho_{A1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Элементы матрицы F

$$\begin{aligned} f_{11} &= d_{13} \cdot l_{31}; & f_{23} &= d_{24} \cdot l_{44}; & f_{31} &= d_{32} \cdot l_{21}; \\ f_{32} &= d_{31} \cdot l_{12}; & f_{41} &= d_{42} \cdot l_{21}; & f_{42} &= d_{41} \cdot l_{12}; \\ d_{13} &= -\frac{x_m}{x_1 + x_m}; & d_{24} &= \frac{P_{ст} + P_{мех}}{P_0}; & d_{31} &= -\frac{\Gamma_K^2}{\Gamma_K^2 + x_K^2}; \\ d_{32} &= -1 - d_{31}; & d_{42} &= 2d_{32}; & d_{41} &= -1 - d_{42}; \\ l_{12} &= \frac{c_1^2 \Gamma_2^1}{\Gamma_K}; & l_{31} &= -1; & l_{44} &= 1; \\ l_{21} &= -\frac{c_1 x_1}{x_K} \cdot \frac{\lambda_{K1}}{\sum \lambda_1} - \frac{c_1^2 x_2'}{x_K} \cdot \frac{\lambda_{K2}}{\sum \lambda_2}. \end{aligned}$$

Предлагаемый метод изложим на примере расчета зон допустимых значений параметров контрольных испытаний двигателей АО 32-4А. Значения элементов матрицы c и необходимых допусков на входные параметры взяты из работ [2, 3, 4].

Все расчеты проводятся в относительных единицах.

Для расчета ΔU необходимо знать только допуски для трех величин: δ , ρ_{A1} и $P_{ст} + P_{мех}$. Неучет оставшихся входных параметров дает среднеквадратическую ошибку при достоверности 0,997, равную для i -го выходного параметра

$$\delta_i = \sqrt{c_{i1}^2 \delta_{w_1}^2 + c_{i2}^2 \delta_{d_{np}}^2 + c_{i3}^2 \delta_{i_1}^2 + c_{i6}^2 \delta_{I_T}^2 + c_{i7}^2 \delta_{I_2}^2 + c_{i8}^2 \delta_{z_2}^2} \quad (3)$$

Исходные данные для расчета зон

Допуски на выходные параметры:

$$\begin{aligned} \delta_{M_n} &= -20\%; \delta_{M_m} = -10\%; \delta_{I_K} = +15\%; \delta_{\eta} = -4,88\%; \delta_{\cos \varphi} = -4,98\%; \\ \delta_{w_1} &= 1\%; \delta_{d_{np}} = 3,0\%; \delta_{I_m} = 1,0\%; \delta_{I_1} = 4,15\%; \delta_{I_2} = 3,60\%; \delta_{z_2} = 0. \end{aligned}$$

Матрица коэффициентов влияния входных параметров на выходные $\|c_{ij}\|$

-1,543	0,904	-0,634	0,748	0,703	-0,462	0,030	-0,203	0,000
-1,570	0,860	-0,508	0,000	0,310	-0,204	-0,265	0,290	0,000
-1,772	0,456	-0,317	-0,126	0,352	-0,231	-0,407	0,473	0,000
-0,033	0,261	-0,130	-0,0347	-0,0556	0,0829	-0,0288	0,0394	-0,0568

Средние значения параметров контрольных испытаний (они могут быть рассчитаны или взяты из опыта):

$$\bar{I}_0 = 1,525 \text{ а}; \bar{P}_0 = 128,4 \text{ вт}; \bar{I}_K = 2,27 \text{ а}; \bar{P}_K = 186 \text{ вт}.$$

Уравнения границ зон для входных параметров

$$\begin{aligned} c_{i4} \delta_{\rho_{A1}} + c_{i5} \delta_{\delta} + c_{i9} \delta_{P_{ст} + P_{мех}} = \delta_{yi} \pm \delta_i, \\ i = 1, 2, \dots, 5. \end{aligned} \quad (4)$$

Знак δ_i берется обратным знаком допуска δ_{yi}

Перепишем систему (4) в численном виде

$$\begin{aligned}
0,748\delta_{\rho_{AI}} + 0,703\delta_{\delta} &= -20 + 13,9 = -16,27 \\
0,310\delta_{\delta} &= -10 + 10,9 = -6,70 \\
-0,126\delta_{\rho_{AI}} + 0,352\delta_{\delta} &= 15 - 8,18 = 12,14 \\
-0,0347\delta_{\rho_{AI}} + 0,0556\delta_{\delta} &= 0,0568\delta_{P_{ст} + P_{мех}} = -4,80 + 0,76 = \\
&= -4,01 - 0,236\delta_{\delta} = -4,98 + 2,95 = -3,26.
\end{aligned}
\tag{5}$$

На основании системы (5), на рис. 1 построены границы области допустимых значений δ и ρ_{AI} . По ρ_{AI} область практически неограничена из-за малого влияния этого параметра на к. п. д. Основываясь на фактическом максимальном значении $(\Delta\rho_{AI})_{\max} + 40\%$ [3], условно ограничиваем область сверху линией СД.

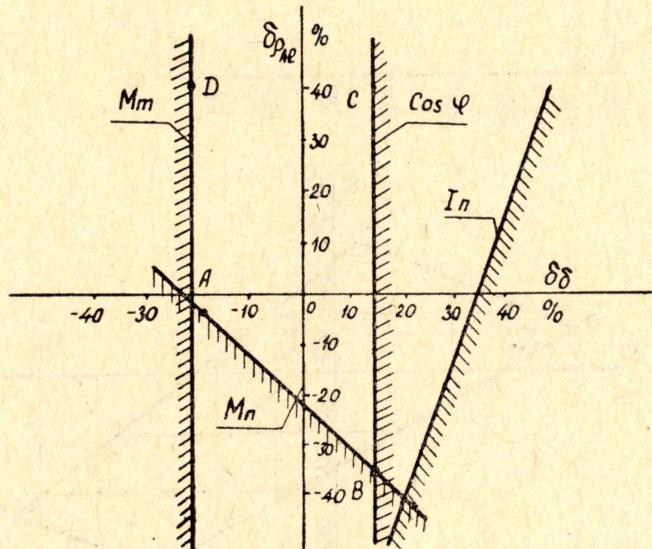


Рис. 1.

Уравнения границ допустимых значений параметров контрольных испытаний (2) в численном виде

$$\begin{aligned}
\Delta I_0 &= 0,937 \delta_{\delta} \\
\Delta P_0 &= 0,624 \delta_{P_{ст}} + P_{мех} \\
\Delta I_K &= 0,354 \delta_{\delta} - 0,126 \delta_{\rho_{AI}} \\
\Delta P_K &= 0,704 \delta_{\delta} + 0,105 \delta_{\rho_{AI}}
\end{aligned}
\tag{6}$$

Выражение (6) является алгоритмом перевода вершин многоугольника ABCD (рис. 1) на плоскости I_0-I_K , I_K-P_K , P_K-P_0 . Соединив полученные точки в таком же порядке, получим новые многоугольники, которые ограничивают зоны допустимых значений I_0 , I_K , P_0 , P_K . Допустимые зоны для параметров контрольных испытаний представлены на рис. 2. Ниже приводится расчет координат вершин многоугольников в осях I_0-I_K , I_K-P_K и P_K-P_0 .

Зона I_0-I_K

$$\begin{aligned}
I_{0A} = I_{0D} &= \bar{I}_0 + \bar{I}_0 \cdot 10^{-2} \cdot 0,937 (-21,6) = \bar{I}_0 (1 - 0,202) = 1,22a, \\
I_{0B} = I_{0C} &= \bar{I}_0 + \bar{I}_0 \cdot 10^{-2} \cdot 0,937 \cdot 13,8 = \bar{I}_0 (1 + 0,130) = 1,72a, \\
I_{KA} &= \bar{I}_K + \bar{I}_K \cdot 10^{-2} \cdot 0,35 \cdot (-21,6) - 0,126 \cdot (-1,47) = \bar{I}_K (1 - 0,0741) = 2,10a, \\
I_{KB} &= \bar{I}_K + \bar{I}_K \cdot 10^{-2} \cdot 0,352 \cdot 13,8 - 0,126 \cdot (-34,7) = \bar{I}_K (1 + 0,0922) = 2,48a,
\end{aligned}$$

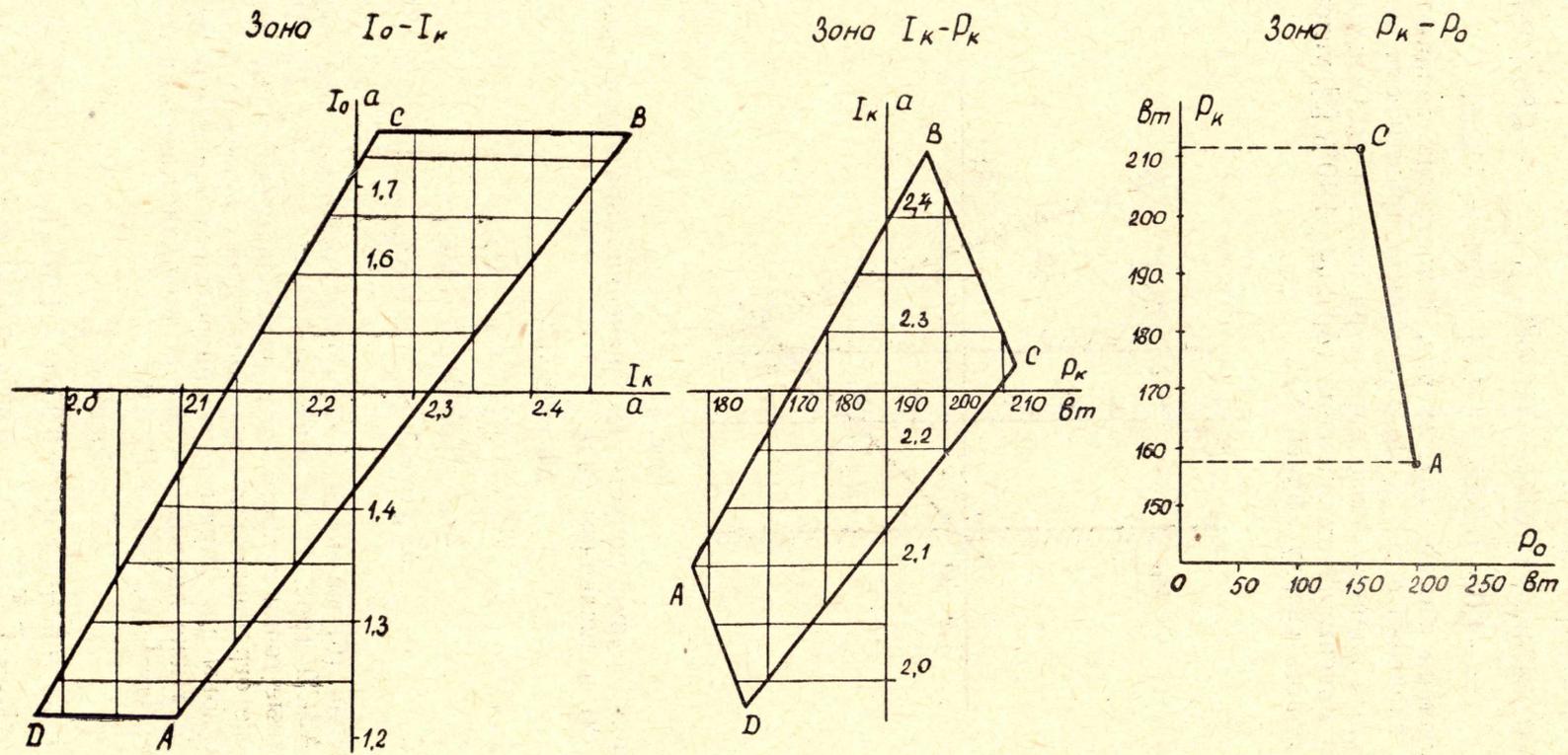


Рис. 2. Допустимые зоны для электродвигателей АО 32-4А.

$$I_{KC} = \bar{I}_K + \bar{I}_K \cdot 10^{-2} \cdot 0,352 \cdot 13,8 - 0,126 \cdot 40 = \bar{I}_K (1 - 0,0019) = 2,27 \text{ а.},$$

$$I_{KD} = \bar{I}_K + \bar{I}_K \cdot 10^{-2} \cdot 0,352 \cdot (-21,6) - 0,126 \cdot 40 = \bar{I}_K (1 - 0,1264) = 1,98 \text{ а.}$$

Зона $I_K - P_K$

Координаты точек по оси I_K такие же, как и для зоны $I_0 - I_K$.

$$P_{KA} = \bar{P}_K + \bar{P}_K \cdot 10^{-2} \cdot [0,704 \cdot (-21,6) + 0,105(-1,47)] =$$

$$= \bar{P}_K (1 - 0,1536) = 157,46 \text{ вт.}$$

$$P_{KB} = \bar{P}_K + \bar{P}_K \cdot 10^{-2} \cdot [0,704 \cdot 13,8 + 0,105(-34,7)] = \bar{P}_K (1 + 0,0606) = 197,3 \text{ вт.}$$

$$P_{KC} = \bar{P}_K + \bar{P}_K \cdot 10^{-2} \cdot [0,704 \cdot 13,8 + 0,105 \cdot 40] = \bar{P}_K (1 + 0,0139) = 211,8 \text{ вт.}$$

$$P_{KD} = \bar{P}_K + \bar{P}_K \cdot 10^{-2} \cdot [0,704 \cdot (-21,6) + 0,105 \cdot 40] =$$

$$= \bar{P}_K (1 - 0,00110) = 165,6 \text{ вт.}$$

Зона $P_K - P_0$

Зона $P_K - P_0$ не ограничена по минимальному значению P_0 . Ограничение области по максимально допустимому значению P_0 можно сделать, если принять для P_K крайние значения (точки А и С).

Из уравнения для к. п. д. (5)

$$\delta_{P_{ст} + P_{мех}} = - \frac{4,01 - 0,0347\delta_{p_{A1}} - 0,0556\delta_0}{0,0568}$$

Тогда

$$P_{0A} = 0,624\bar{P}_0 (1 + \delta_{P_{ст} + P_{мех}}^{(A)}) = 0,624\bar{P}_0 (1 + 0,578) = 202,5 \text{ вт.}$$

$$P_{0C} = 0,624\bar{P}_0 (1 + \delta_{P_{ст} + P_{мех}}^{(B)}) = 0,624\bar{P}_0 (1 + 0,204) = 154,6 \text{ вт.}$$

Для зон $I_0 - I_K$ и $I_K - P_K$ линии АВ представляют собой ограничение по пусковому моменту, ВС — по коэффициенту мощности, ДА — по максимальному моменту и линия ДС — проведена условно.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Д. Гольдберг. Методика расчета технических норм на допустимые значения параметров контрольных испытаний трехфазных асинхронных электродвигателей. Информационно-технический сборник, вып. 19(103), 1956, ЦБТИ, МЭП.

2. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Влияние технологии изготовления на выходные параметры асинхронных электродвигателей (в этом же сборнике).

3. О. П. Муравлев. Исследование влияния точностных характеристик технологического процесса на качество и надежность асинхронных электродвигателей. Диссертация, Томск, 1966.

4. О. П. Муравлев, Э. К. Стрельбицкий. Обеспечение необходимой точности при производстве асинхронных двигателей. Электротехника, № 7, 1966.