

К РАСЧЕТУ ПРОВОДИМОСТИ ПАЗОВОГО РАССЕЯНИЯ ОБМОТКИ
СТАТОРА УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА

В. З. ХОРЬКОВА

(Представлена научным семинаром кафедры электрических машин и отделом
электрических машин НИИ АЭМ)

При расчете проводимости пазового рассеяния обмотки статора ударного генератора принято использовать известные выражения [1]. Например, для однослойной обмотки, лежащей в открытом прямоугольном пазу,

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{1}{3} \frac{h_1}{b_{\text{п}}} + \frac{h_2}{b_{\text{п}}}, \quad (1)$$

где h_1 — высота меди обмотки,
 h_2 — высота клина и прилегающей изоляции над медью,
 $b_{\text{п}}$ — ширина паза.

Выражение (1) получено из условий, что поток рассеяния проходит только поперек паза перпендикулярно его стенкам. В [2] нами показано, что при значительном уменьшении высоты начинает сказываться поток рассеяния через дно паза, который существенно возрастает, и при $h_{\text{п}} < 0,5b_{\text{п}}$ пренебрегать этим потоком при расчетах становится невозможным.

Известно, что электромагнитная энергия поля проводника с током в каком-либо объеме с $\mu = \text{const}$ может быть определена как

$$W = \frac{1}{2} \int_{\nu} A \delta d\nu, \quad (2)$$

где A — векторный потенциал магнитного поля,
 δ — вектор плотности тока,
 ν — объем, занимаемый магнитным полем.

В то же время

$$W = \frac{1}{2} LI^2,$$

где L — индуктивность проводника,
 I — ток, протекающий по проводнику.

Откуда

$$L = \frac{2W}{I^2}. \quad (3)$$

Воспользуемся выражениями для плотности тока и векторного потенциала, приведенными нами в [2]

$$\delta = a_0 + \sum_n a_n \cos nky,$$

где

$$a_0 = \frac{l2\delta}{a\delta\delta_n}; \quad \kappa = \frac{2\pi}{\delta_n};$$

$$a_n = \frac{I}{a\delta} \frac{2}{n\pi} [\sin n\kappa\Delta + (-1)^n \sin n\kappa\Delta],$$

Δ — толщина пазовой изоляции,
 a, δ — размеры стержня обмотки статора без изоляции,
 n — любое целое число

$$A_I = \sum_n B_n (e^{n\kappa x} + e^{-n\kappa x}) \cos n\kappa y.$$

$$A_{II} = -2\pi a_0 (x - s_1)^2 + \sum_n \left(D_n e^{n\kappa x} + E_n e^{-n\kappa x} + \frac{4\pi a_n}{n^2 \kappa^2} \right) \cos n\kappa y$$

$$A_{III} = -2\pi a_0 (s_2 - s_1) [2x - (s_1 + s_2)] + \sum_n (G_n e^{n\kappa x} + F_n e^{-n\kappa x}) \cos n\kappa y$$

$$B_n = \frac{2\pi a_n}{n^2 \kappa^2} (e^{-n\kappa s_1} - e^{-n\kappa s_2})$$

$$E_n = B_n - \frac{2\pi a_n}{n^2 \kappa^2} e^{n\kappa s_1}$$

$$G_n = B_n - \frac{2\pi a_n}{n^2 \kappa^2} (e^{-n\kappa s_1} - e^{-n\kappa s_2})$$

$$F_n = B_n - \frac{2\pi a_n}{n^2 \kappa^2} (e^{n\kappa s_1} - e^{n\kappa s_2}).$$

$s_1; s_2; s_3$ — сечения по высоте паза, рис. 1.

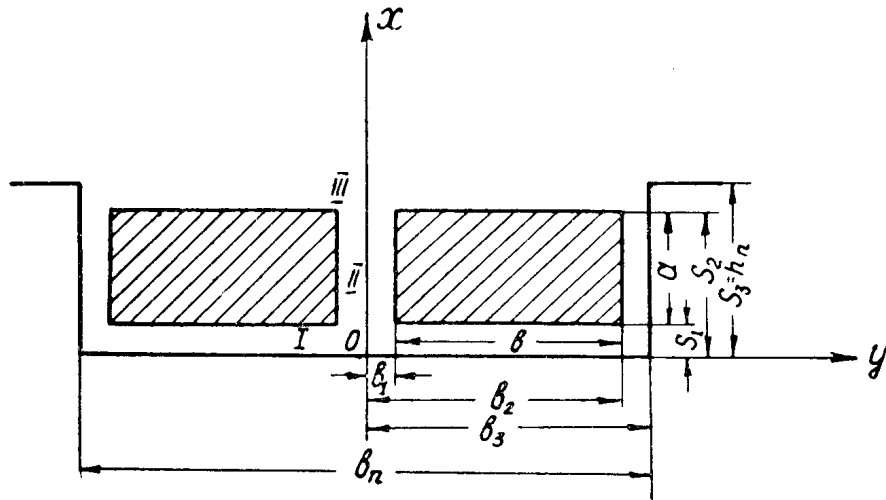


Рис. 1. Паз статора

Определив энергию электромагнитного поля в каждой из трех областей по высоте паза, находим энергию электромагнитного поля паза. После ряда преобразований

$$W = -0,1 \mu_0 I^2 l \left\{ \left[\frac{s_3 - s_2}{\delta_n} + \frac{s_3 - s_1}{3\delta_n} + \frac{(s_3 - s_2)^2}{(s_2 - s_1)\delta_n} \right] \times \right.$$

$$\times \frac{1}{\pi^4} \cdot \frac{\theta_{\Pi}^3}{a\theta^2} \sum_{n=2,4,\dots} \frac{\sin^2 n\kappa\Delta}{n^4} + \frac{1}{4\pi^5} \frac{\theta_{\Pi}^4}{a^2\theta^2} \sum_n \frac{\sin^2 n\kappa\Delta}{n^5} \times$$

$$\times \left[(e^{n\kappa s_2} - e^{-n\kappa s_2}) - (e^{n\kappa s_1} - e^{-n\kappa s_1}) \right] e^{-n\kappa s_3} \} \quad (4)$$

Знак минус в выражении (4) говорит о том, что плотность собственной магнитной энергии данного ограниченного по размерам контура будет уменьшаться в случае расширения объема, занимаемого магнитным полем этого тока. Выражение энергии следует брать по модулю [3]. Обозначив выражение в фигурных скобках (4) через $\lambda_{\Pi w}$, получаем, согласно выражению (3)

$$L_{\Pi} = 0,2 \mu_0 l_{\Pi w}, \quad (5)$$

$\lambda_{\Pi w}$ — проводимость пазового рассеяния с учетом действительной картины поля в пазу

$$\lambda_{\Pi w} = \frac{1}{3} \frac{h_1}{\theta_{\Pi}} + \frac{h_2}{\theta_{\Pi}} + \frac{h_2^2}{a\theta_{\Pi}} \frac{1}{\pi^4} \frac{\theta_{\Pi}^3}{a\theta^2} \sum_{n=2,4,\dots} \frac{\sin^2 n\kappa\Delta}{n^4} + \frac{1}{4\pi^5} \frac{\theta_{\Pi}^4}{a\theta^2} \times$$

$$\times \sum_{n=2,4,\dots} \frac{\sin^2 n\kappa\Delta}{n^5} [(e^{n\kappa s_2} - e^{-n\kappa s_2}) - (e^{n\kappa s_1} - e^{-n\kappa s_1})] e^{-n\kappa s_3}. \quad (6)$$

Представляет интерес сравнить полученное значение $\lambda_{\Pi w}$ с выражением λ_{Π} (1). Результаты расчета представлены на рис. 2. Очевидно, что при $h_{\Pi} \geq 0,5\theta_{\Pi}$ выражение (1) дает значения, практически совпадающие с $\lambda_{\Pi w}$ (6).

При $h_{\Pi} < 0,5\theta_{\Pi}$ выражение (1) дает заниженные значения пазовой проводимости, причем погрешность резко возрастает с уменьшением вы-

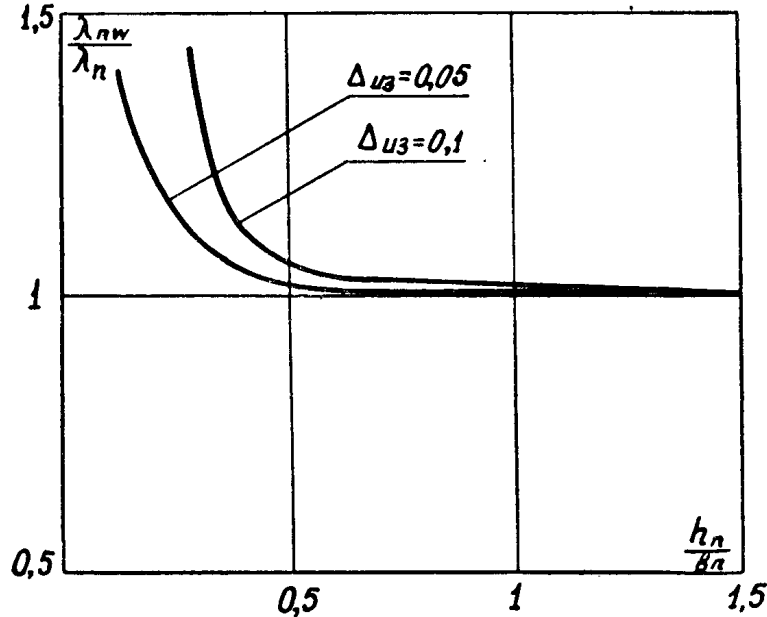


Рис. 2. Зависимость $\frac{\lambda_{\Pi w}}{\lambda_{\Pi}}$ от соотношения $\frac{h_{\Pi}}{\theta_{\Pi}}$ и Δ_{U3}

соты паза. Очевидно также, что при малой высоте паза существенную роль играет толщина изоляции стержня. Таким образом, при значениях

$h_n \ll 0,5\sigma_n$ проводимость пазового рассеяния следует рассчитывать с учетом потоков рассеяния через дно паза по выражению (6).

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Постников. Проектирование электрических машин. ГИТД, СССР, 1960.
 2. В. З. Хорькова. К расчету электромагнитного поля пазового рассеяния ударных генераторов. Наст. сб. трудов «Известия ТПИ», 1972.
 3. В. А. Говорков. Электрические и магнитные поля. «Энергия», М., 1968.
-