

ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПО ДЛИНЕ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ЗАКРЫТОЙ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

М. Н. УЛЯНИЦКИЙ, В. В. САЛАМАТОВ

(Рекомендовано научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники.)

Якорь машины постоянного тока представляет собой систему тел с взаимной тепловой связью и различными условиями охлаждения. Из-за сложных граничных условий строгий аналитический расчет распределения температуры в обмотке якоря невозможен. Поэтому для упрощения задачи приняты следующие допущения:

1. Теплопроводностью пакета в аксиальном направлении пренебрегаем [1].
2. Температура по высоте паза и зубца принимается постоянной [2].
3. Распределение температуры по длине обмотки симметрично относительно середины пакета [2].
4. Теплоотвод по валу не учитывается.
5. За температуру окружающей среды принимается средняя температура корпуса.

В соответствии с указанными допущениями получаем расчетную схему, представленную на рис. 1. Расчет температурного поля в лобовой части обмотки сводится к решению дифференциального уравнения

$$\frac{d^2 \vartheta_{\text{л}}}{dx^2} - n^2 \vartheta_{\text{л}} + \frac{q_m}{\lambda_m f_m} = 0 \quad (1)$$

с учетом краевых условий:

$$\text{при } x = \frac{l}{2}; \quad \frac{d\vartheta_{\text{л}}}{dx} = 0, \quad \text{при } x = \frac{l_a}{2}; \quad \vartheta_{\text{л}} = \vartheta_0. \quad (2)$$

Интегрирование системы (1), (2) дает выражение распределения температуры по длине лобовой части:

$$\vartheta_{\text{л}} = C_1 e^{nx} + C_2 e^{-nx} + K, \quad (3)$$

где

$$C_1 = \frac{\vartheta_0 - K}{2 \operatorname{ch} n l_{\text{л}}} e^{-n \frac{l}{2}}; \quad C_2 = \frac{\vartheta_0 - K}{2 \operatorname{ch} n l_{\text{л}}} e^{n \frac{l}{2}};$$

$$n^2 = \frac{\Lambda_{\text{л}}}{\lambda_m f_m}; \quad \Lambda_{\text{л}} = \frac{\alpha u \lambda_{\text{л}}}{\lambda_{\text{л}} + \alpha \Delta}; \quad K = \frac{q_m}{\Lambda_{\text{л}}}.$$

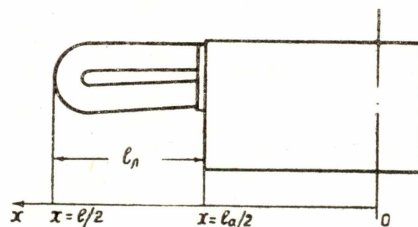


Рис. 1. Расчетная схема обмотки якоря.

Решение дифференциального уравнения распределения температуры по длине пазовой части обмотки

$$\frac{d^2\vartheta_n}{dx^2} - m^2\vartheta_n + A = 0 \quad (4)$$

с учетом граничных условий

$$\text{при } x = 0; \quad \frac{d\vartheta_n}{dx} = 0, \quad x = \frac{l_a}{2}; \quad \vartheta_n = \vartheta_0 \quad (5)$$

дает следующий результат:

$$\vartheta_n = \left(\vartheta_0 - \frac{A}{m^2} \right) \frac{\text{ch } mx}{\text{ch } m \frac{l_a}{2}} + \frac{A}{m^2}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{\kappa_c q_c + q_m}{\lambda_m \cdot f_m}; \quad \kappa_c = \frac{\lambda_{\Pi} \frac{\Pi}{\Delta_{\Pi}}}{\alpha b + \lambda_{\Pi} \frac{\Pi}{\Delta_{\Pi}}};$$

$$m^2 = \frac{\Lambda_{\Pi}}{\lambda_m f_m}; \quad \Lambda_{\Pi} = \kappa_c \alpha b.$$

Для определения ϑ_0 используем условие теплового контакта в сечении обмотки $x = \frac{l_a}{2}$

$$\frac{d\vartheta_n}{dx} = \frac{d\vartheta_l}{dx} \quad (7)$$

Из выражений (3), (6), (7) имеем

$$\vartheta_0 = \frac{\frac{A}{m} \text{th } m \frac{l_{\Pi}}{2} + nK \text{th } nl_l}{m \text{th } m \frac{l_{\Pi}}{2} + n \text{th } nl_l} \quad (8)$$

Экспериментальная проверка приведенных соотношений показала достаточно близкое совпадение опытных и расчетных данных. Это дает основание рекомендовать использование зависимостей (3), (6), (8) в инженерных расчетах для приближенной оценки термической напряженности изоляции якоря закрытых машин постоянного тока.

Условные обозначения

q_m, q_c — удельные потери в меди обмотки и стали якоря

$$q_m = \frac{P_m}{zl}; \quad q_c = \frac{P_c}{zl_a}.$$

P_m, P_c — потери в меди обмотки и стали якоря;

z — число пазов якоря;

α — коэффициент теплоотдачи поверхности якоря;

f_m — площадь сечения меди паза;

Π — периметр паза;

u — ширина лобовой части секции

$$u = \frac{\pi D_{\text{л}}}{z};$$

$D_{\text{л}}$ — внешний диаметр лобовых соединений обмотки якоря;

$\Delta_{\text{п}}$ — толщина пазовой изоляции;

$\Delta_{\text{л}}$ — толщина изоляции под бондажем;

b — ширина зубца по внешнему диаметру пакета с удвоенной высотой шлица;

$\lambda_{\text{м}}, \lambda_{\text{п}}, \lambda_{\text{л}}$ — теплопроводность меди, пазовой изоляции и изоляции под бондажем;

$l_{\text{л}}$ — половина длины лобовой части.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Постников. Проектирование электрических машин. ГИТЛ, УССР, 1960.

2. М. Н. Уляницкий. Анализ температурных полей машин постоянного тока серии П. Известия ТПИ, том 132, 1965.
