

УДК 621.3.018.782.3.001.2

И. Х. ХАЙРУЛЛИН, Ю. И. ШАВАЛЕЕВА

АКСИАЛЬНЫЕ СИЛЫ В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ДЕМПФЕРЕ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

Рассмотрены электромагнитные переходные процессы, в неявнополюсном магнитоэлектрическом демпфере с полым ротором. Получены математические выражения для расчета аксиальных сил, действующих на полый ротор в переходных режимах. *Малоинерциальные демпферы ; переходные процессы ; полый ротор ; аксиальные силы*

В малоинерциальных демпферах и микромашинах с полым ротором при расчетах и проектировании основное внимание уделяется определению электромагнитного момента, как в переходных, так и в установившихся режимах [1–4]. Аксиальные силы, возникающие при работе в установившемся режиме, определены в [5]. Поскольку они могут влиять на работу подшипников, необходимо определить и оценить эти силы и в переходном режиме.

Наиболее интенсивные электромагнитные переходные процессы возникают при практически мгновенном разгоне немагнитного ротора до некоторой максимальной скорости [3]. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть переходные процессы при таких же допущениях, что и в [1], в системе координат неподвижной относительно индуктора. При этом принимается, что ротор не имеет с одной стороны вылетов, а с другой имеется массивное дно (рис. 1).

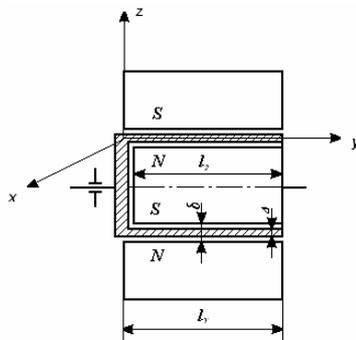


Рис. 1

В системе координат, неподвижной относительно индуктора, уравнение, полученное в работе [1], можно переписать в виде:

$$\frac{\partial^2 H_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_2}{\partial y^2} - \mu_0 \sigma k_d \frac{\partial H_2}{\partial t} - \mu_0 \sigma v \frac{\partial H_2}{\partial x} = \mu_0 \sigma v \frac{\partial H_{1m}}{\partial x} e^{j\alpha x}, \quad (1)$$

где H_{1m} – амплитуда напряженности магнитного поля постоянных магнитов в зазоре, σ – удельная электрическая проводимость материала ротора, v – линейная скорость ротора относительно системы координат, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, k_d – коэффициент приведения. Решение этого уравнения определяется в виде:

$$\begin{aligned} \dot{H}_2 &= (\dot{H}'_{2m} + \dot{H}''_{2m}) e^{j\alpha x} = \\ &= \left[(C_1 sh \lambda_1 y + C_2 ch \lambda_1 y + A_1) e^{-\frac{t}{T}} e^{j\omega t} + (C_3 sh \lambda_2 y + C_4 ch \lambda_2 y + A_2) \right] e^{j\alpha x}, \quad (2) \end{aligned}$$

где H'_{2m} – комплексная амплитуда аperiodической составляющей магнитного поля ротора, которое, затухая, вращается вместе с ротором, H''_{2m} – комплексная амплитуда периодической составляющей магнитного поля ротора, неподвижной относительно индуктора, $\alpha = \frac{\pi}{\tau}$,

$\tau = \frac{\pi D}{2p}$ – полюсное деление. Это аналогично процессам в синхронных машинах при рассмотрении переходных процессов.

Комплексные амплитуды плотности токов δ_{ym} и δ_{xm} находятся в виде:

$$\delta_{ym} = -j\alpha \dot{H}_{2m}, \quad \delta_{xm} = \frac{\partial}{\partial y} \dot{H}_{2m}, \quad (3)$$

при $y=0$, $\delta_{xm}=0$. Это позволяет определить C_1 и C_3 $C_1=0$ и $C_3=0$. При $y=a$ $\delta_{ym}=0$,

поэтому $C_2 = -\frac{A_1}{ch\lambda_1 a}$, $C_4 = -\frac{A_2}{ch\lambda_2 a}$, где

$$a = \frac{l_1 + l_2}{2}, \quad A_2 = -\frac{j\epsilon}{1 + j\epsilon} H_{1m} - \text{находится решением уравнения для установившегося режима,}$$

$\epsilon = \frac{\mu_0 k_d \sigma \omega}{\alpha^2}$. При $t=0$ потокосцепление поля ротора с обмоткой ротора равно 0, то есть

$$\int_0^a \mu_0 k_d H_m dy = 0. \text{ Это позволяет найти } A_1:$$

$$A_1 = -A_2 \frac{1 - \frac{th\lambda_2 a}{\lambda_2 a}}{1 - \frac{th\lambda_1 a}{\lambda_1 a}}.$$

Электромагнитная постоянная определяется, как в [1], в виде:

$$T = \frac{\epsilon}{\omega} = \frac{\mu_0 \sigma k_d \tau^2 k_d}{\pi^2}. \quad (4)$$

Плотность δ_{xm} , необходимая для определения аксиальных сил, находится как:

$$\delta_{xm} = \frac{\partial}{\partial y} \dot{H}_{2m} = -\frac{A_1 \lambda_1}{ch\lambda_1 a} sh\lambda_1 y e^{-\frac{t}{T}} e^{j\omega t} - \frac{A_2 \lambda_2}{ch\lambda_2 a} sh\lambda_2 y. \quad (5)$$

Аксиальные силы, действующие на ротор, зависят от составляющей плотности тока:

$$F_y = -\pi D \Delta \frac{1}{2} \operatorname{Re} \int_0^a \delta_{xm} B_{1m} dy = -\pi D \Delta \frac{1}{2} B_{1m} \times \\ \times H_{1m} \operatorname{Re} \left[1 - \frac{th\lambda_2 a}{\lambda_2 a} \right] \left[-\frac{j\epsilon}{1 + j\epsilon} e^{-\frac{t}{T}} e^{j\omega t} - + \frac{j\epsilon}{1 + j\epsilon} \right]. \quad (6)$$

Из (6) следует, что с ростом $\lambda_2 a$ аксиальные силы, действующие на ротор, растут, при $\lambda_2 a \rightarrow \infty$ являются наибольшими и, поскольку $\frac{th\lambda_2 a}{\lambda_2 a} \rightarrow 0$, могут быть определены как:

$$F_y = \pi D \Delta \frac{B_{1m}^2}{2\mu_0 k_d} \times \\ \times \left[-\frac{\epsilon^2}{1 + \epsilon^2} + \frac{\epsilon^2}{1 + \epsilon^2} e^{-\frac{t}{T}} \cos \omega t - \frac{\epsilon}{1 + \epsilon^2} e^{-\frac{t}{T}} \sin \omega t \right]. \quad (7)$$

При $\omega t = \pi$ и медленном затухании апериодической составляющей тока, аксиальная сила может достигать максимального значения, равного:

$$F_y = -\pi D \Delta \frac{B_{1m}^2}{2\mu_0 k_d} \frac{2\epsilon^2}{1 + \epsilon^2}, \quad (8)$$

т. е. удвоенного значения силы в установившемся режиме, что должно учитываться при проектировании электрических машин с полым ротором. Полученные результаты решения позволяют определять и оценивать аксиальные силы, действующие на полый ротор в переходных и установившихся режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хайруллин, И. Х.** Электромагнитные переходные процессы в магнитоэлектрическом тормозе с полым ротором / И. Х. Хайруллин // Электричество. 1978. № 5. С. 85–87.
2. **Исмагилов, Ф. Р.** Электромагнитные переходные процессы в тормозах и муфтах / Ф. Р. Исмагилов, И. Х. Хайруллин // Электричество. 1998. №5. С. 37–40.
3. **Лопухина, Е. М.** Асинхронные микромашины с полым ротором / Е. М. Лопухина, Г. С. Сомихина. М.: Энергия, 1967. 488 с.
4. **Сыромятников, В. С.** Стыковочные устройства космических аппаратов / В. С. Сыромятников. М.: Машиностроение, 1967. 216 с.
5. **Хайруллин, И. Х.** Электромагнитные расчеты в электрических машинах / И. Х. Хайруллин. Уфа, 1988. 72 с.

ОБ АВТОРАХ



Хайруллин Ирек Ханифович, проф. каф. электромех. Дипл. инж.-электромех. (Ивановск. энерг. ин-т, 1963). Д-р техн. наук по элементам и устр. упр. (УАИ, 1981). Иссл. в обл. электромех. преобр. энергии.



Шавалеева Юлия Ирековна, асп. той же каф. Дипл. экон. по информ. системам (УГАТУ, 2002). Готовит дис. по ИС для проект. электромех. систем.