

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ АПЕРИОДИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ ЁМКОСТИ НА ИНДУКТОР

У статті розглянуто порівняльний аналіз швидкодії ІДМ різних типів. У якості прикладу, розглянуто математичну модель індукційно-динамічного механізму без магнітопроводу, з незамкненим ферромагнітним магнітопроводом та суцільним ферромагнітним магнітопроводом. Дані якісні та кількісні оцінки отриманих результатів.

В статті розглядається порівняльний аналіз швидкодії ІДМ різних типів. В якості прикладу розглянуті моделі індукційно-динамічних механізмів без магнітопроводу, з незамкненим ферромагнітним магнітопроводом і замкненим ферромагнітним магнітопроводом. Дані кількісні та якісні оцінки отриманих результатів.

Индукционно-динамические механизмы достаточно часто используются в качестве быстродействующего привода в различных устройствах. Высокое быстродействие таких систем обеспечивается наличием накопительной ёмкости, которая отдаёт накопленную энергию индуктору за сравнительно короткое время. В качестве накопителей энергии наиболее часто используются электролитические конденсаторы, которые имеют значительную ёмкость при относительно высоких напряжениях. Использование электролитических конденсаторов не допускает их перезаряда. В этой связи простейшим решением является шунтирование катушки диодом, обеспечивающим апериодический характер разряда ёмкости. Также необходимо отметить, что одним из основных вопросов при проектировании ИДМ является вопрос о его быстродействии. В этой связи чаще всего рассматривают ИДМ не имеющие магнитной системы и ИДМ с магнитной системой. Данная проблема является актуальной, так как сравнительный анализ достаточно сложен.

В настоящей статье рассматриваются следующие конструкции: 1) ИДМ без магнитной системы; 2) ИДМ с разомкнутым магнітопроводом; 3) ИДМ с замкнутым магнітопроводом; 4) ИДМ с имитацией шихтованного магнітопровода.

В качестве основного критерия принималось быстродействие системы.

Общий вид расчетной системы и ее размеры показаны на рис. 1 в цилиндрической системе координат. Для первой задачи относительная магнитная проницаемость областей 1 и 2 равна единице; для второй задачи – проницаемость 2 равна единице, а область 1 является ферромагнетиком; в третьем случае – области 1 и 2 представляют собой ферромагнетик. Имитация шихтовки осуществлялась изменением проводимости материала магнітопровода на основании приближенных формул:

$$p_0 \cdot m \cdot \left(\frac{B_m}{B_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 = \frac{\omega^2 \cdot \Phi_m^2}{2 \cdot r_e}, \quad (1)$$

где p_0 – удельные потери; m – масса магнітопровода; B_m – магнитная индукция; B_0 – справочное значение магнитной индукции; f – частота; f_0 – справочное значение частоты; ω – круговая частота; Φ_m – магнитный поток; r_e – эквивалентное сопротивление магнітопровода.

На основании (1), определив r_e , можно определить эквивалентную проводимость:

$$\sigma = \frac{V}{r_e \cdot A^2}, \quad (2)$$

где σ – эквивалентная проводимость шихтованного материала; V – объём магнітопровода; A – площадь поперечного сечения.

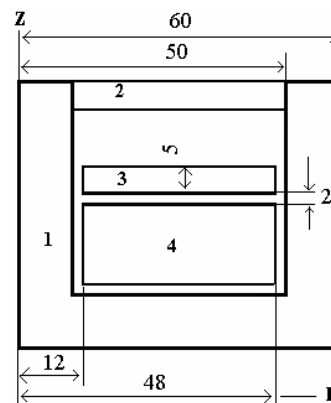


Рис. 1. Расчетная модель ИДМ

Относительная эквивалентная магнитная проницаемость с учетом шихтовки определялась по формулам:

$$R_{st} = \frac{L}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot c \cdot W}; R_i = \frac{L}{\mu_0 \cdot (1-c) \cdot W}; \quad (3)$$

$$R = \frac{R_{st} \cdot R_i}{R_{st} + R_i} = \frac{L}{W \cdot \mu_0 \cdot (1-c + c \cdot \mu_r)},$$

тогда

$$\mu_e = 1 - c + \mu_r \cdot c, \quad (4)$$

где R – магнитные сопротивления стали и изоляции; L – длина участка; W – толщина участка магнітопровода; c – коэффициент заполнения сечения сталью.

Формулы (1-3) являются приближенными, но так как динамика ИДМ незначительно зависит от значения проводимости (разница на порядок даёт практически одинаковые значения динамических характеристик), а при $c = 0,9$ влияние шихтовки на магнитную проницаемость невелико, то и ошибка в динамических расчетах будет небольшой.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Толщина медного диска 3-5 мм, катушка 4 намотана медным проводом, число витков – 100 (рис. 1). Напряжение заряда конденсатора – 800 В; ёмкость – 100 мкФ; начальная противодействующая сила – 5 Н; контактное нажатие – 50 Н; жёсткость противодействующих пружин – $1 \cdot 10^3$ и $2 \cdot 10^3$ Н/м. Форма противодействующей характеристики – контакторная. Значение эквивалентной проводимости шихтованного магнітопровода принималось (на основании 1,2)

$3,2 \cdot 10^4$ S/m, μ_r – нелинейная функция, зависящая от модуля максимального значения магнитной индукции.

Математическая формулировка задачи подробно описана в [1]. Расчетная система уравнений:

$$\begin{cases} \sigma_i \cdot \frac{\partial A_{\varphi i}}{\partial t} + \nabla \times (\mu_i^{-1} \cdot \nabla \times A_{\varphi i}) = J_{\varphi 4} \\ L \cdot \frac{d^2 q}{dt^2} + R \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{W}{S_4} \cdot \iiint_V \frac{\partial A_{\varphi 4}}{\partial t} \cdot dV = \\ \begin{cases} (U_c - \frac{q}{C}), & \text{если } U_c - \frac{q}{C} > 0 \\ 0, & \text{если } U_c - \frac{q}{C} \leq 0 \end{cases} \\ \frac{d}{dt} (m(z) \cdot v) = Q - P(z), \quad \frac{dz}{dt} = v \end{cases} \quad (4)$$

Система (4) представляет собой уравнения электромагнитного поля, электрической цепи и динамику движения тела с переменной массой. Начальные условия – нулевые.

Электромагнитная сила определяется как

$$Q = \iiint_V (\vec{J}_3 \times \vec{B}) \cdot dV, \quad (5)$$

где J_3 – плотность наведенного тока в диске.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Результаты расчетов представлены в виде графиков, на которых приняты следующие обозначения: 1 – ИДМ с замкнутым магнитопроводом; 2 – ИДМ с разомкнутым магнитопроводом; 3 – ИДМ без магнитопровода; 4 – ИДМ с шихтованным магнитопроводом. Расчеты проводились при одинаковых исходных данных до фиксированного момента времени равного 0,9 мс.

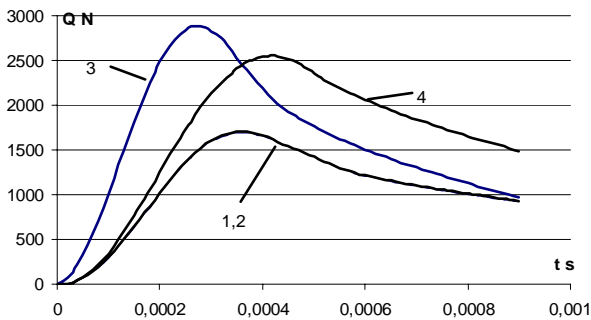


Рис. 2. Электромагнитная сила в зависимости от времени

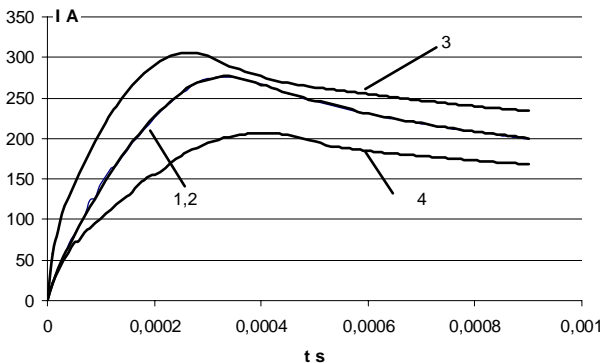


Рис. 3. Ток катушки

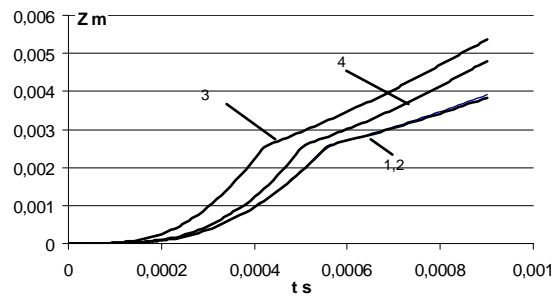


Рис. 4. Ход диска

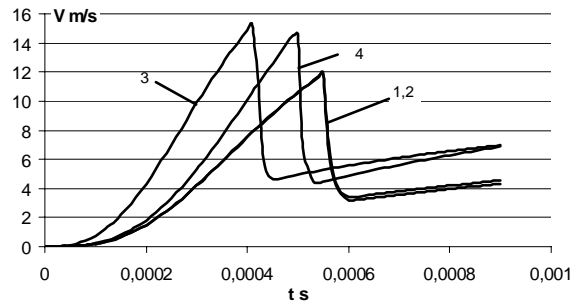


Рис. 5. Скорость диска

ВЫВОДЫ

На основании полученных данных можно заключить:

- более быстродействующим за расчетный период времени является ИДМ без магнитной системы;
- характеристики ИДМ с замкнутым и разомкнутым магнитопроводом идентичны при указанном расчетном времени;
- применение шихтованного магнитопровода улучшает показатели по сравнению со сплошным;
- большее время трогания ИДМ с ферромагнитным магнитопроводом можно объяснить значительной индуктивностью системы и дополнительными потерями энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байда Е.И. Математическое моделирование индукционно-динамических систем // Электротехника і електромеханіка. – 2009. – № 5. – С. 13-16.

Bibliography (transliterated): 1. Bajda E.I. Matematicheskoe modelirovanie indukcionno-dinamicheskikh sistem // Elektrotehnika і elektromehanika. – 2009. – № 5. – S. 13-16.

Поступила 27.04.2011

Байда Евгений Иванович, к.т.н., доц.
Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт"
кафедра "Электрические аппараты"
61002, Харьков, ул. Фрунзе 21
тел. (057) 707-69-76, e-mail: baida@kpi.kharkov.ua

Bayda E.I.

Comparative analysis of various induction dynamic system designs under a capacitor's aperiodic discharge to an inductor.

The article presents comparative analysis of different-type induction dynamic mechanisms speed. As an example, models of induction dynamic mechanisms without a magnetic core, with an open ferromagnetic core, and with a closed ferromagnetic core are considered. Quantitative and qualitative estimations are given.

Key words – induction dynamic mechanism speed; various designs; comparative analysis.