

## 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 замкнутим 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 аperiodический 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;  $\omega$  – круговая частота;  $\Phi_m$  – 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  $\sigma$  – эквивалентная проводимость шихтованного материала;  $V$  – объём магнітопровода;  $A$  – площадь поперечного сечения.

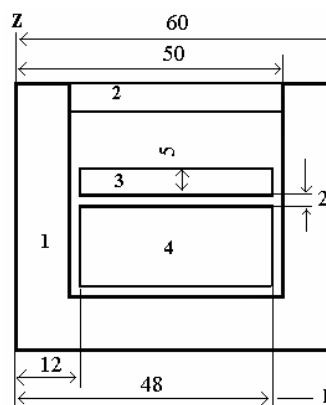


Рис. 1. Расчетная модель ИДМ

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,  $\mu_r$  – 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.

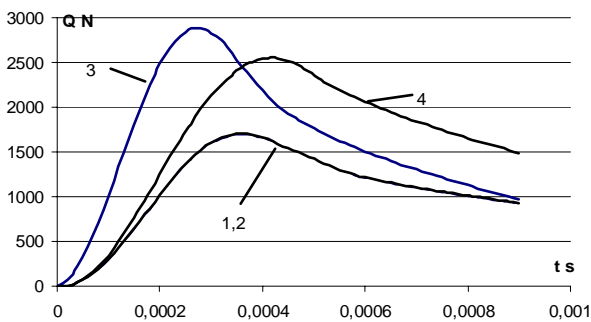


Рис. 2. Электромагнитная сила в зависимости от времени

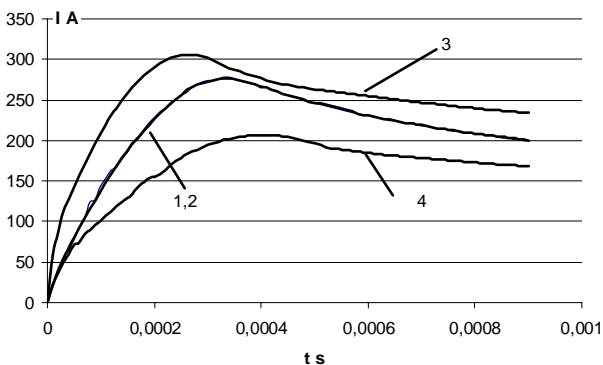


Рис. 3. Ток катушки

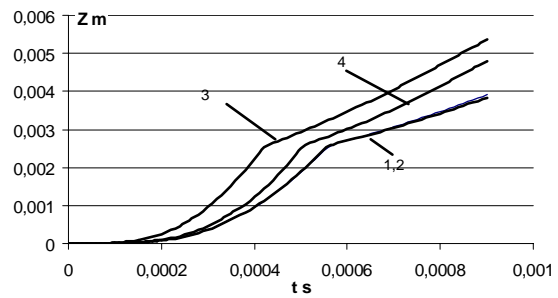


Рис. 4. Ход диска

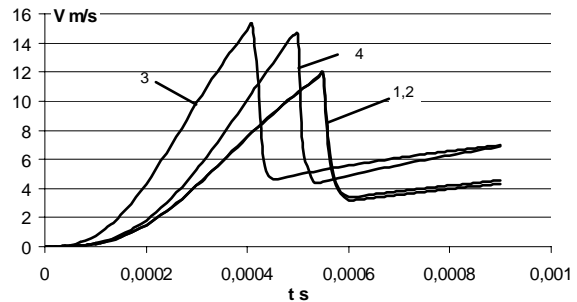


Рис. 5. Скорость диска

### 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.**