

РАСЧЕТ ДИНАМИКИ ДВУХПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПОСТОЯННОГО ТОКА С МАГНИТНОЙ ЗАЩЕЛКОЙ

У статті розглянуто питання розрахунку динамічних характеристик двоохпозиційного електромагніту постійного струму з магнітною защілкою. Розраховано час спрацьовування механізму в залежності від джерела струму (постійна напруга, ємнісний накопичувач) та схеми підключення котушки відключення (замкнута або розімкнена).

В статье рассматривается вопрос расчета динамических характеристик двухпозиционного электромагнита постоянного тока с магнитной защёлкой. Рассчитано время срабатывания механизма в зависимости от источника питания (постоянное напряжение, ёмкостной накопитель) и схемы подключения катушки отключения (закорочена или разомкнута).

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья является результатом работы по проектированию приводного механизма переключения потока жидкости. Требования, предъявляемые к такому приводу, были следующие: одинаковое время переключения, как в прямом, так и в обратном направлении; малое энергопотребление; постоянное значение противодействующей силы.

Анализ литературы и конструкций приводных электромагнитов позволил заключить, что наиболее подходящей конструкцией является двухпозиционный электромагнит постоянного тока с постоянными магнитами (магнитная защёлка). Такие электромагниты на базе постоянных магнитов из редкоземельных металлов широко используются как зарубежными, так и отечественными производителями [1, 2]. Эти электромагниты характеризуются достаточно высоким быстродействием (за счет перераспределения потока постоянного магнита и предварительно подмагниченного магнитопровода); отсутствием потребления электроэнергии в стационарном режиме работы; достаточно высокой надежностью.

К недостаткам данного магната можно отнести наличие двух катушек, одна из которых является (условно) включающей, а другая (так же условно) отключающей. Как правило, питание катушки отключается по достижении якорем электромагнита некоторого конечного значения рабочего воздушного зазора. Для облегчения процесса коммутации и защиты изоляции катушек параллельно им включается диод. Но при этом в отключающей катушке будут индуцироваться токи, замыкающиеся через диод. В этом случае необходимо определить их влияние на процесс срабатывания электромагнита в каждом конкретном случае. Кроме того, питание катушек может осуществляться как от источника постоянного напряжения, так и емкостного накопителя и выбор того или иного источника питания, как оптимального, так же остается под вопросом. Описанные задачи достаточно сложны но, в конечном счете, определяют работу приводного электромагнита. Решение такой задачи актуально, так как позволяет определить динамические параметры системы.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Провести расчет динамики двухпозиционного электромагнита постоянного тока с магнитной защелкой при питании катушки от источника постоянного

напряжения и ёмкостного накопителя, оценив при этом влияние короткозамкнутой отключающей катушки на время срабатывания.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ

Вид электромагнита в осесимметричной системе показан на рис. 1.

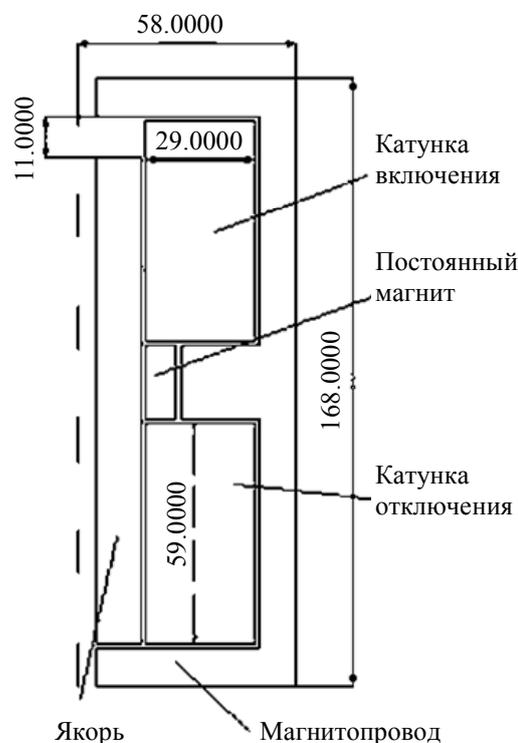


Рис. 1. Расчетная модель двухпозиционного электромагнита с магнитной защёлкой

Уравнение для векторного магнитного потенциала в нестационарной постановке для осесимметричной задачи без учета токов смещения в общем виде запишется:

$$\sigma \cdot \frac{\partial A_{\varphi}(t)}{\partial t} + \nabla \times (\mu^{-1} \cdot \nabla \times A_{\varphi}(t)) = J_{\varphi}(t) \quad (1)$$

В (1) предполагается, что вид уравнения изменяется в зависимости от расчетной области.

Плотность тока катушки определяется на основании уравнения для электрической цепи. Пренебрегая неравномерностью тока в отдельном проводящем витке для катушки включения можно записать:

$$R \cdot i(t) + \frac{w}{S} \cdot \iiint_V \frac{\partial A_{\Phi}}{\partial t} \cdot dV = U(t), \quad (2)$$

где $i(t)$ – ток катушки; R – активное сопротивление катушки; w – число витков катушки; S – площадь поперечного сечения катушки; V – объем катушки; $U(t)$ – приложенное напряжение, вид которого зависит от источника питания.

Аналогичным будет и уравнение для катушки отключения, замкнутой через диод:

$$R \cdot i(t) + \frac{w}{S} \cdot \iiint_V \frac{\partial A_{\Phi}}{\partial t} \cdot dV = 0. \quad (3)$$

Уравнения движения якоря известны и были подробно рассмотрены в предыдущих статьях, например [3]. Для однозначности решения задача должна быть дополнена начальными условиями, которые для уравнений поля запишутся в виде:

$$A_{\Phi}(0, r, z) = f(r, z), \quad (4)$$

где $f(r, z)$ – распределение магнитного потенциала в расчетных областях при обесточенной катушке в нижнем (см. рис. 1) положении якоря, полученное на основании решения стационарной задачи для магнитного потенциала при наличии в системе постоянного магнита.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

В качестве основных исходных данных были заданы: приведенная масса якоря – 2,5 кг; активное сопротивление катушки – 46 Ом; число витков – 3200; напряжение – 200 В; емкость – $200 \cdot 10^{-6}$ Ф; противодействующая сила – 150 Н.

Для ферромагнитного сердечника и якоря задавалось значение относительной магнитной проницаемости в функции модуля магнитной индукции. Расчеты динамики проводились для электрической проводимости материала электромагнита равной 2 MS/m.

РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Решение задачи проводилось численными методами (метод конечных элементов) в нестационарном режиме на деформируемой сетке решателем с автоматическим (в зависимости от получаемого результата) выбором временного шага для временного интервала (0-0,07 с). Ход якоря – 10 мм. Расчеты проводились для следующих вариантов:

1. Постоянное напряжение, катушка отключения а) разомкнута; б) замкнута накоротко.
2. Источник энергии – накопительная ёмкость, катушка отключения а) разомкнута; б) замкнута накоротко.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

На первом этапе проводился расчет динамики электромагнита с разомкнутой катушкой отключения. На рис.2 показана зависимость пути от времени.

Как следует из графика (рис. 2) время срабатывания электромагнита составляет величину равную 0,044 с. Однако, расчеты показывают, что пиковое значение ЭДС в катушке отключения составляет величину порядка 120 В, что составляет 60 % от напряжения, приложенного к катушке включения. В этой

связи, на следующем этапе был проведен расчет динамики электромагнита при замкнутой накоротко катушке отключения. Зависимость пути якоря от времени для этого случая показана на рис. 3.

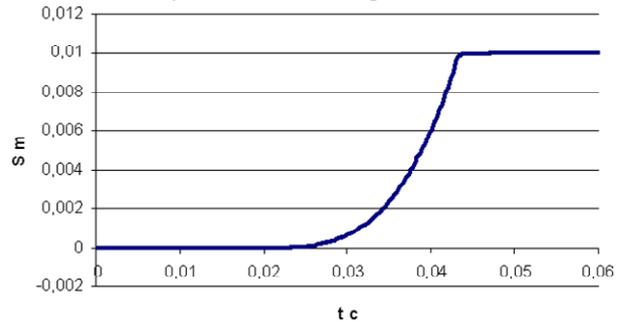


Рис. 2. Зависимость пути якоря от времени при разомкнутой катушке отключения

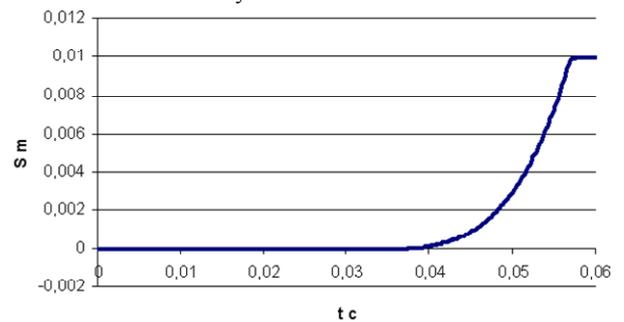


Рис. 3. Зависимость пути якоря от времени при замкнутой катушке отключения

Как следует из рис. 2, время срабатывания увеличилось до 0,057 с, т.е. практически на треть.

На втором этапе, исследовалось влияние катушки отключения на динамику электромагнита в случае питания катушки включения от ёмкостного накопителя. На рис. 4 показан график зависимости пути от времени при разомкнутой катушке отключения.

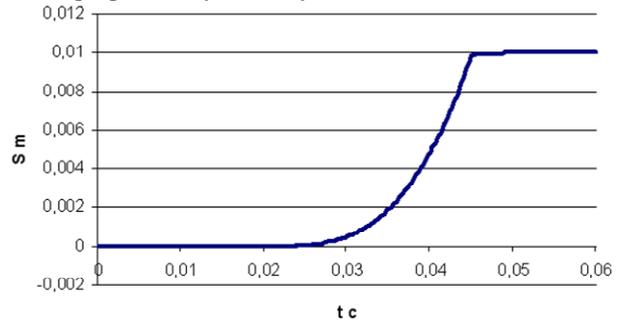


Рис. 4. Зависимость пути якоря от времени при разомкнутой катушке отключения

Время включения составляет величину 0,045 с. На рис. 5 показано изменение напряжения на емкости.

Остаточное напряжение на ёмкости равно 157 В, или 78,5 % от начального. Аналогичные графики были построены при замкнутой катушке отключения.

На рис. 6 показано значение хода в зависимости от времени, а на рис. 7 – напряжение на ёмкости.

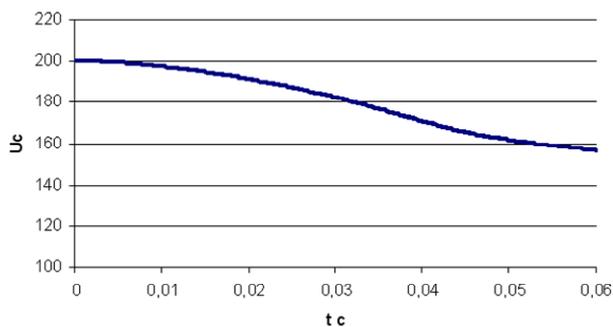


Рис. 5. Напряжение на ёмкости при разомкнутой катушке отключения

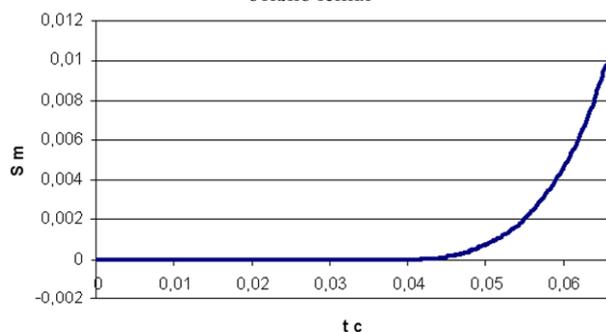


Рис. 6. Зависимость пути якоря от времени при замкнутой катушке отключения

Время включения составляет величину порядка 0,066 с, что на 46 % больше аналогичного значения при разомкнутой катушке.

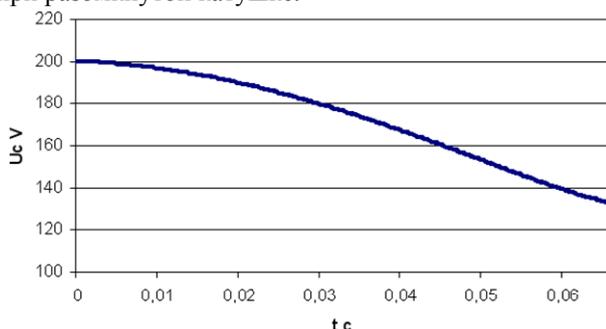


Рис. 7. Напряжение на ёмкости при замкнутой катушке отключения

Остаточное напряжение на ёмкости равно 132 В, что составляет величину 66 % от начального напряжения.

На рис. 8 показано распределение z составляющей магнитной индукции, которое свидетельствует о сложности процессов, протекающих в магнитах такого вида.

ВЫВОДЫ

На базе разработанной математической модели динамики двухпозиционного электромагнита постоянного тока с магнитной защёлкой были проведены расчеты по определению влияния катушки отключения на время срабатывания. В расчетах показано, что в случае подключения катушки включения на постоянное напряжение, замыкание катушки отключения приводит к увеличению времени срабатывания электромагнита на 30 %. В случае подключения катушки включения к ёмкостному накопителю, время включения увеличивается на 46 %, а остаточное напряжение

уменьшается на 16 % по сравнению вариантом разомкнутой катушки отключения.

На основании расчетов можно заключить: быстроедействие и увеличения остаточного напряжения на конденсаторе можно добиться усложнением схемы управления, подключая шунтирующий диод только на время работы катушки.

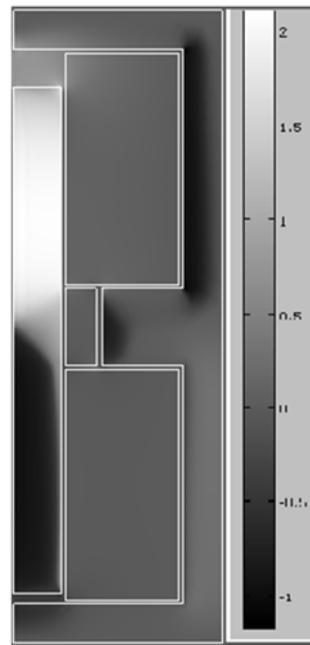


Рис. 8. Распределение z составляющей магнитной индукции в магнитопроводе

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.В. Клименко, В.М. Бугайчук, А.М. Гречко. Опытный образец двухпозиционного привода вакуумного выключателя среднего напряжения // Электротехника і електромеханіка. – 2005. – № 2. – С. 23-27.
2. Б.В. Клименко, В.М. Бугайчук, А.М. Гречко, С.В. Выровец. Быстродействующий электромагнитный привод с вытеснением магнитного поля для вакуумного выключателя среднего напряжения // Электротехника і електромеханіка. – 2006. – № 4. – С. 22-26.
3. Е.И. Байда. Моделирование динамических характеристик электромагнитных механизмов постоянного тока с магнитной защёлкой // Электротехника і електромеханіка. – 2010. – № 2. – С. 3-5.

Поступила 18.06.2010

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

E.I. Bayda

Calculation of dynamics twoposition electromagnet of direct-current with magnetic catch.

In the article the question of calculation dynamic descriptions twoposition electromagnet of direct-current is examined with a magnetic catch. Time of wearing-out of mechanism is expected depending on the source of feed (permanent tension, by a capacity store) and chart of connecting of spool of disconnecting (short-out or broken a secret).

Key words – electromagnet, magnetic catch, mechanism, direct-current.