

ДИНАМИКА НЕЧЕТКОГО СРАБАТЫВАНИЯ БИСТАБИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО АКТУАТОРА НА БАЗЕ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

У статті розглянуто динамічні характеристики бістабільного електромагнітного актуатора на базі висококоерцитивних постійних магнітів у тому разі, коли трапляється випадок його нечіткого спрацьовування. Наведені динамічні характеристики такого актуатора, які дозволяють розібратися у фізичних явищах роботи та визначити шляхи усунення недоліків.

В статье рассматриваются динамические характеристики бистабильного электромагнитного актуатора на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов в случае, когда происходит его нечеткое срабатывание. Приведены динамические характеристики такого актуатора, позволяющие понять физические процессы работы и определить пути устранения недостатков.

Наиболее надежными и простыми приводами вакуумных выключателей средних напряжений являются электромагнитные актуаторы на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов, разработанных компанией АББ [1]. Ввиду перспективности конструкции, в Украине была разработана аналогичная (по принципу действия) конструкция [2, 3]. Причем, в разработанной конструкции была существенно усовершенствована схема питания катушек включения-отключения актуатора [4].

При испытании опытных образцов актуаторов в некоторых случаях наблюдалось либо "зависание" (недовключение) якоря, либо нечеткое срабатывание актуатора, выражающееся в двойном ударе якоря о корпус актуатора. Такой режим работы является недопустимым и требует анализа происходящих физических явлений с целью устранения недостатков. Причем анализ физических явлений возможен только на базе математической модели связывающей электромагнитные процессы в нелинейной проводящей стационарной и движущейся среде с уравнениями электрической цепи и механики [5-12].

Цель работы – расчет динамических характеристик актуатора в случае его нечеткого срабатывания.

На рис. 1 показана схема механизма выключателя. Для удобства расчетов все движущееся массы были приведены к якорю. Нетрудно заметить, что особенностью данного магнита является отсутствие механических сил противодействия (за исключением трения в шарнирах) на большей части пути якоря. Вид противодействующей характеристики, приведенной к якорю, показан на рис. 2.

Как следует из рис. 2, ход якоря до соударения контактов равен 13 мм, а полный ход – 17 мм. Уравнения движения учитывают изменение массы после касания подвижных контактов.

Что касается электрической части схемы, то в соответствии с [4] в процессе включения были задействованы обе катушки с добавочным сопротивлением, выбранным на основе [12]. Источником питания являлся конденсатор емкостью 10000 мкФ, заряженный до напряжения 220 В.

Результаты расчета приведены на последующих рисунках.

Как следует из рис. 3, после касания контактов вид кривой тока носит колебательный характер с последующим уменьшением за счет разряда емкости.

Как правило, колебания тока в цепи катушки связано с изменением скоростного режима движения якоря, что подтверждается рис. 4.

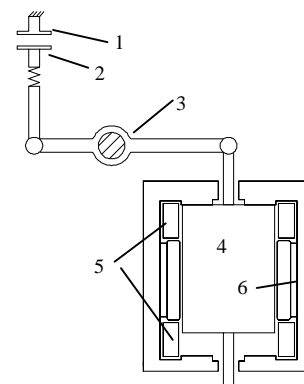


Рис. 1. Схема механики привода: 1 – неподвижный контакт; 2 – подвижный контакт; 3 – тяги; 4 – якорь; 5 – катушки; 6 – постоянные магниты

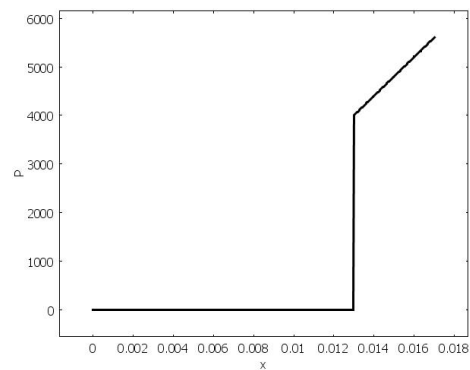


Рис. 2. Противодействующая характеристика в зависимости от хода якоря

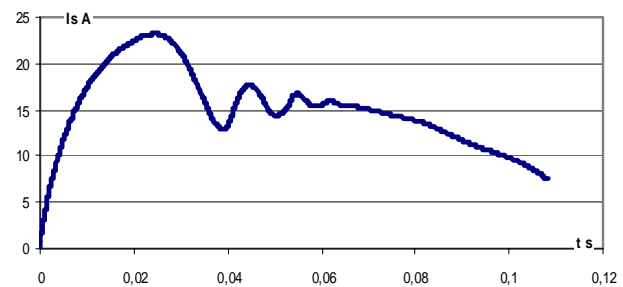


Рис. 3. Суммарный ток катушек

Как видно из рис. 4, имеет место возвратно-поступательное движение якоря после замыкания контактов, о чем свидетельствуют отрицательные значения скорости. В районе 0,08 секунд имеет место интервал времени с нулевым значением скорости, что говорит о "зависании" якоря. Далее, происходит "довключения" системы за счет выхода динамической тяговой характеристики на статические значения силы. На рис. 5 приведена зависимость пути якоря актуатора от времени.

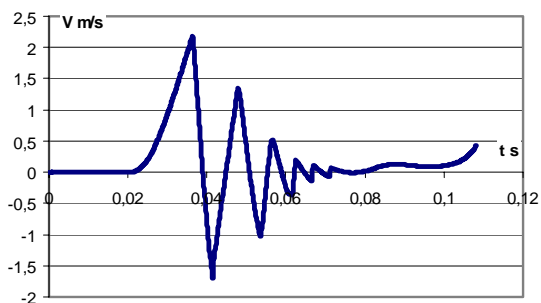


Рис. 4. Изменение скорости якоря в процессе движения

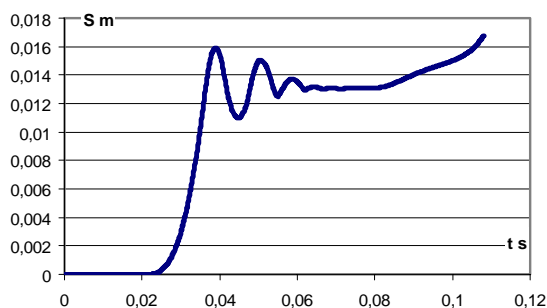


Рис. 5. Путь якоря актуатора в зависимости от времени

Если учесть, что ход якоря до момента замыкания контактов равен 13 мм, а конечное значение хода равно 17 мм, то из рис. 5 видно явное "зависание" якоря в момент касания контактов с последующим его довключением. На рис. 6 приведена временная зависимость суммарной силы (электромагнитная сила минус противодействующая сила контактного нажатия).

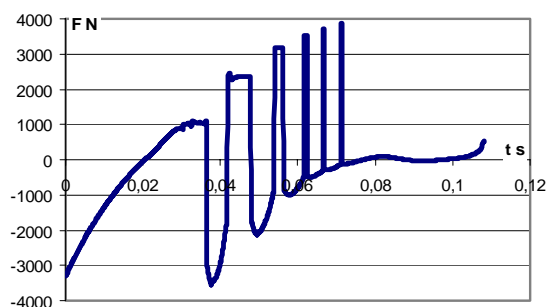


Рис. 6. Временная зависимость суммарной силы, действующей на якорь

На рис. 6 явно виден отрицательный скачок силы при первом и последующем замыкании контактов, что говорит о многократном отбросе контактов при включении. Такое явление является недопустимым в работе электрических контактов, так как в процессе вибрации контактов на них горит короткая электрическая

дуга, что может привести к последующему их свариванию. Особенно опасно это явление при включении на токи короткого замыкания, которые по ТУ могут достигать величины 100 кА действующего значения.

Причины такой работы актуатора заключаются, как правило, либо в неправильном выборе ампервитков системы, либо в некачественных материалах магнитной системы.

Пути устранения такого явления разнообразны:

- повышение напряжения источника питания;
- применение материалов с большей индукцией насыщения;
- изменение сечения намоточного провода катушки;
- увеличения величины хода контактов до их касания (уменьшение провала);
- уменьшение потерь в магнитопроводе;
- выбор более мощных постоянных магнитов и т.п.

Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. Так повышение напряжения источника питания требует установки преобразователя напряжения и увеличивает скорость соударения контактов, применение более качественных материалов существенно удорожает конструкцию, увеличение сечения провода приводит к увеличению потребляемой мощности и тока катушек, увеличение хода до касания контактов существенно увеличивает скорость соударения контактов.

Особо необходимо обратить внимание на сложный характер процессов, происходящих в магнитопроводе. На рис. 7 показан характер распределения осевой составляющей магнитной индукции в среднем сечении магнита в момент времени 30 мс. Как следует из рис. 7, в ядре магнита (расстояние 5-40 мм) индукция имеет разные направления. Это явление связано с индукционными токами, наводимыми в магнитопроводе и поверхностным магнитным эффектом.

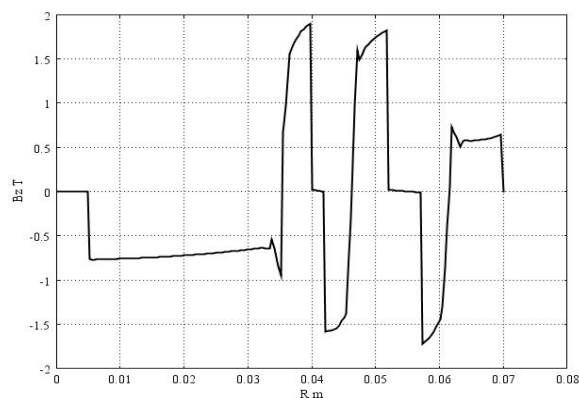


Рис. 7. Распределение индукции в среднем сечении магнита

Еще более сложный характер носит распределение индукции во всем магнитопроводе. На рис. 8 показано распределение модуля магнитной индукции в материале магнитопровода. На рис. 8 виден явно выраженный магнитный поверхностный эффект, а так же следует, что в переходных режимах работы задействовано только малая часть сечения магнитопровода.

Такая неравномерность магнитной индукции по сечению связана с неравномерным распределением вихревых токов в корпусе электромагнита, которая показана на рис. 9.



Рис. 8. Распределение модуля индукции в магнитопроводе

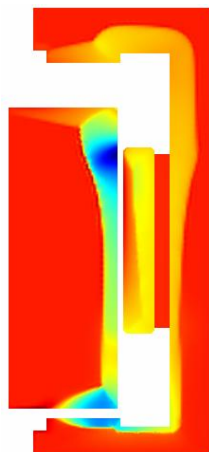


Рис. 9. Распределение вихревых токов по сечению магнита через 30 мс после включения

В этой связи приходится констатировать, что универсального решения нет, а устранение проблемы будет зависеть от конкретных условий и должно базироваться на проведении динамических расчетов электромагнитного актуатора с учетом динамики движения привода выключателя на базе решения уравнений Максвелла для неоднородной, нелинейной, проводящей среды с учетом движения якоря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакуумный выключатель с магнитным приводом VM1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.abb.com.
2. Клименко Б.В., Бугайчук В.М., Гречко А.М. Опытный образец двухпозиционного привода вакуумного выключателя среднего напряжения // *Электротехника і електромеханіка*. – 2005. – № 2. С. 23-27.
3. Клименко Б.В., Бугайчук В.М., Гречко А.М., Выровец С.В. Быстродействующий электромагнитный привод с вытеснением магнитного поля для вакуумного выключателя среднего напряжения // *Электротехника і електромеханіка*. – 2006. – № 4. С. 22-26.
4. Бугайчук В.М., Клименко Б.В., Емельянов В.Л. Обоснование целесообразности совместного использования обмоток включения и отключения в бистабильных электромагнитных приводах вакуумных выключателей // *Электротехника і електромеханіка*. – 2011. – № 4. – С. 13-15.
5. Байда Е.И. Расчет переходных процессов в электромагнитном механизме на основании уравнений электромагнитного поля // *Электротехника і електромеханіка*. – 2008. – № 6. – С. 39-43.
6. Байда Е.И. Влияние проводимости материала на динамические характеристики электромагнитных механизмов постоянного тока // *Электротехника і електромеханіка*. – 2010. – № 1. – С. 3-5.
7. Байда Е.И. Моделирование динамических характеристик электромагнитных механизмов постоянного тока с магнитной защелкой // *Электротехника і електромеханіка*. – 2010. – № 2. – С. 3-5.
8. Байда Е.И. Моделирование процесса отключения электромагнита постоянного тока с магнитной защелкой // *Электротехника і електромеханіка*. – 2010. – № 3. – С. 6-9.
9. Байда Е.И. Расчет динамики двухпозиционного электромагнита постоянного тока с магнитной защелкой // *Электротехника і електромеханіка*. – 2010. – № 4. С. 10-12.
10. Байда Е.И. Влияние формы напряжения источника питания на динамические характеристики электромагнита постоянного тока // *Электротехника і електромеханіка*. – 2010. – № 5. – С. 3-4.
11. Байда Е.И. Влияние формы поперечного сечения магнитопровода электромагнита постоянного тока на его быстродействие // *Электротехника і електромеханіка*. – 2011. – № 3. – С. 15-17.
12. Байда Е.И. Влияние добавочного сопротивления на время трогания двухпозиционного электромагнита с магнитной защелкой вакуумного выключателя среднего напряжения // *Электротехника і електромеханіка*. – 2011. – № 4. – С. 13-15.

Bibliography (transliterated): 1. Vakuumnyj vyklyuchatel' s magnitnym privodom VM1. [Elektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: www.abb.com. 2. Klimenko B.V., Bugajchuk V.M., Grechko A.M. Opytnyj obrazec dvuhpozicionnogo privoda vakuumnogo vyklyuchatelya srednego napryazheniya // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2005. - № 2. S. 23-27. 3. Klimenko B.V., Bugajchuk V.M., Grechko A.M., Vyrovets S.V. Bystrodejstvuyushij `elektromagnitnyj privod s vytesneniem magnitnogo polya dlya vakuumnogo vyklyuchatelya srednego napryazheniya // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2006. - № 4. S. 22-26. 4. Bugajchuk V.M., Klimenko B.V., Emel'yanov V.L. Obosnovanie celesoobraznosti sovместnogo ispol'zovaniya obmotok vкlyucheniya i otklyucheniya v bistabil'nyh `elektromagnitnyh privodah vakuumnyh vyklyuchatelej // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2011. - № 4. - S. 13-15. 5. Bajda E.I. Raschet perehodnyh processov v `elektromagnitnom mehanizme na osnovanii uravnenij `elektromagnitnogo polya // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2008. - № 6. - S. 39-43. 6. Bajda E.I. Vliyanie provodimosti materiala na dinamicheskie karakteristiki `elektromagnitnyh mehanizmov postoyannogo toka // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2010. - № 1. - S. 3-5. 7. Bajda E.I. Modelirovanie dinamicheskikh karakteristik `elektromagnitnyh mehanizmov postoyannogo toka s magnitnoj zaschelkoj // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2010. - № 2. - S. 3-5. 8. Bajda E.I. Modelirovanie processa otklyucheniya `elektromagnita postoyannogo toka s magnitnoj zaschelkoj // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2010. - № 3. - S. 6-9. 9. Bajda E.I. Raschet dinamiki dvuhpozicionnogo `elektromagnita postoyannogo toka s magnitnoj zaschelkoj // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2010. - № 4. S. 10-12. 10. Bajda E.I. Vliyanie formy napryazheniya istochnika pitaniya na dinamicheskie karakteristiki `elektromagnita postoyannogo toka // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2010. - № 5. - S. 3-4. 11. Bajda E.I. Vliyanie formy poperechnogo secheniya magnitoprovoda `elektromagnita postoyannogo toka na ego bystrodejstvie // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2011. - № 3. - S. 15-17. 12. Bajda E.I. Vliyanie dobavochnogo soprotivleniya na vremya trovaniya dvuhpozicionnogo `elektromagnita s magnitnoj zaschelkoj vakuumnogo vyklyuchatelya srednego napryazheniya // *Elektrotehnika i elektromehanika*. - 2011. - № 4. - S. 13-15.

Поступила 11.07.2012

Байда Евгений Иванович, к.т.н., доц.
Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт"
кафедра "Электрические аппараты"
61002, Харьков, ул. Фрунзе 21
тел. (057) 7076976
e-mail: baida_kpi@i.ua

Bayda E.I.

Fuzzy dynamic response of a bistable electromagnetic actuator based on high-coercitivity permanent magnets.

The article deals with dynamic characteristics of a bistable electromagnetic actuator based on high-coercitivity permanent magnets under its fuzzy operation. Dynamic characteristics of the actuator are presented to allow both seizing the physical processes and phenomena and specifying ways of shortcomings elimination.

Key words – dynamic response, bistable actuator, fuzzy operation.