

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ВРЕМЯ ТРОГАНИЯ ДВУХПОЗИЦИОННОГО ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА С МАГНИТНОЙ ЗАЩЕЛКОЙ ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

У статті розглянуто питання впливу додаткового електричного опору на швидкість двопозиційних електромагнітів постійного струму з магнітною защілкою.

В статті розглядається питання впливу додаткового опору на швидкість двопозиційних електромагнітів постійного струму з магнітною защілкою.

В настоящее время все более широкое распространение получают принципиально новые конструкции приводных электромагнитных механизмов – электромагнитов с магнитной защелкой. Это стало возможным благодаря появлению нового поколения магнитных материалов – высококоэрцитивных постоянных магнитов из редкоземельных металлов. В таких магнитных системах удержание подвижной части магнитопровода в конечном положении якоря осуществляется за счет магнитного поля постоянного магнита, что приводит к отсутствию потребления электроэнергии из внешней цепи в режиме удержания. Причем электромагнитная сила при достаточно малых конечных зазорах может достигать значительных величин. На сегодняшний день такие электромагнитные системы являются наиболее перспективными, а само их появление кардинально повлияло на конструкцию электрических аппаратов, сделав их более простыми и в тоже время более надежными. Все сказанное в полной мере относится и к приводным электромагнитам вакуумных выключателей среднего напряжения.

Конструкция такого электромагнита вакуумного выключателя фирмы АББ показана на рис. 1.

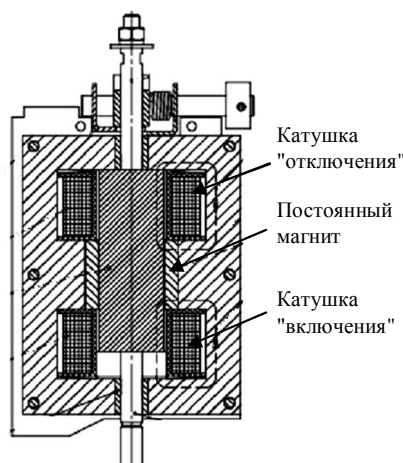


Рис. 1

Постоянные магниты (рис. 1) удерживают якорь в одном из двух устойчивых положений, а переключение положения якоря осуществляется подачей постоянного напряжения на соответствующую катушку.

При проектировании новых электромагнитов такого типа, как правило, стремятся к уменьшению габаритов устройства и снижению трудоемкости изготовления при заданных тяговых параметрах.

Одним из путей достижения этой цели является изменение конструкции электромагнита (рис. 1) на несимметричный электромагнит броневое типа, показанный на рис. 2. На рис. 2 электромагнит показан в положении "отключено" в осесимметричной системе координат. Из рис. 2 видна несимметрия верхнего и нижнего якоря, обеспечивающая требуемые силы в его начальном и конечном положениях. Такой электромагнит установлен в качестве приводного на вакуумном выключателе серии ВБ-4, выпускаемый "АВМ АМПЕР" г. Кременчуг.

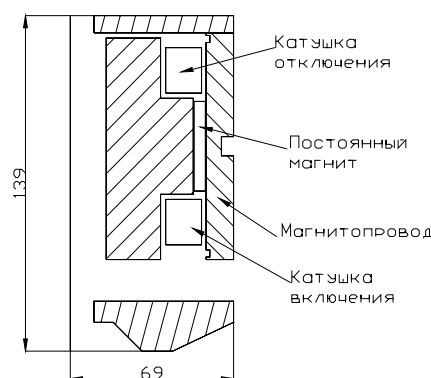


Рис. 2

Преимуществом такой конструкции является наличие двух воздушных зазоров, обеспечивающих электромагниту высокое быстродействие и значительное тяговое усилие в конечном положении якоря. Недостатком такого электромагнита являются довольно большие ампервитки включения, определяемые двумя воздушными зазорами. Известно, что

$$i \cdot w = \frac{U \cdot S_m}{l_s \cdot \rho}, \quad (1)$$

где i – ток; w – число витков; U – напряжение сети; S_m – сечение медного провода; l_s – средняя длина витка; ρ – удельное электрическое сопротивление провода.

Питание катушки осуществляется, как правило, либо от автономного источника питания, либо от емкости, либо от комбинации первого и второго источников. Однако, в любом случае, значение напряжения является нормированной величиной и равно (110-220)В постоянного тока. Следовательно, при заданных габаритах магнита повысить ампервитки системы можно только за счет увеличения сечения медного провода, которое, в свою очередь, приведет к существенному увеличению потребляемого тока:

$$i = \frac{U \cdot S_m}{\rho \cdot l_s \cdot w} \quad (2)$$

Если учесть, что увеличение сечения провода при заданных размерах катушки приводит к уменьшению числа витков, то очевидно, что ток будет значительным. Большие токи катушки ужесточают тепловой режим работы, осложняют коммутацию цепи схемой управления, а также влияют на работу автономных источников питания.

Одним из возможных вариантов решения проблемы увеличения ампервитков системы при сохранении значения напряжения является подключение к электрической цепи двух катушек [1], что позволяет увеличить ампервитки системы без увеличения напряжения источника и сечения провода.

Целью данной работы было исследование динамики изменения электромагнитной силы во времени, определение времени трогания и динамики электромагнита (рис. 2) при подключении катушек к источнику питания.

Электромагнит (рис. 2) показан в положении "отключено". Значение электромагнитной силы в начальном положении якоря магнитов равно: минус 2100 Н, а в конечном положении – 8700 Н.

Задачу расчета можно сформулировать следующим образом: провести нестационарный расчет электромагнитного поля в нелинейной, неоднородной проводящей среде при подключении катушек электромагнита на постоянное напряжение. Причем, "отключающая" катушка (которая, как правило, не используется при включении) подключалась к напряжению 220 В параллельно "включающей" через изменяемое добавочное сопротивление.

Результаты расчета для электромагнита с неподвижным якорем показаны на рис. 3.

Зависимость времени трогания (нулевое значение электромагнитной силы) от величины добавочного сопротивления показано на рис. 4.

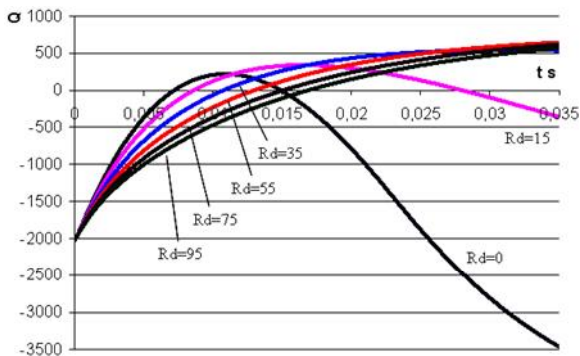


Рис. 3. Зависимость значений электромагнитной силы от добавочного сопротивления

Как следует из рис. 4, время трогания пропорционально величине добавочного сопротивления. Однако выбор небольшого значения добавочного сопротивления может не только не ускорить срабатывание, но и привести к обратному результату. Если по каким-то причинам якорь электромагнита не придет в движение, то через 15 мс электромагнитная сила меняет знак (рис. 3, $R_d = 0$ Ом) и движение будет не-

возможно. Аналогичный результат можно получить в случае снижения питающего напряжения.

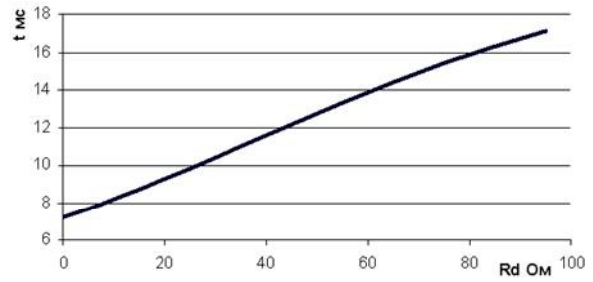


Рис. 4. Зависимость времени трогания от добавочного сопротивления

Такой же эффект наблюдается и для $R_d = 15$ Ом, но с некоторым запаздыванием. На рис. 5 показаны токи "включающей" (Tok_1) и "отключающей" (Tok_2) катушек при неподвижном якоре в случае $R_d = 0$ Ом.

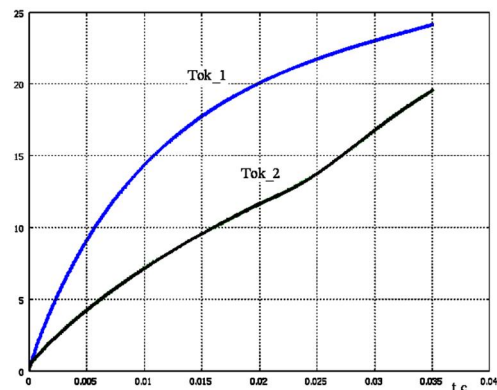


Рис. 5. Токи "включающей" и "отключающей" катушек

Из рис. 5 следует, что появлению "отрицательной" силы (рис. 3) соответствует ток "отключающей" катушки порядка 9 А. С учетом активного сопротивления катушки равного 7,8 Ом для устранения эффекта обратной силы и максимального быстродействия добавочное сопротивление должно быть не менее:

$$R_d = \frac{220}{9} - 7,8 = 16,6 \text{ Ом.}$$

Для окончательного определения параметров электромагнита необходим расчет его динамических характеристик с учетом противодействующих сил.

Результаты такого расчета представлены на последующих рисунках. Так на рис. 6 показаны графики хода якоря в зависимости от времени для разных значений добавочного сопротивления в цепи катушки отключения.

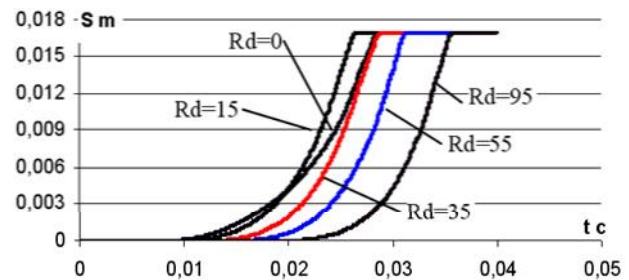


Рис. 6. Зависимость хода якоря от времени

Из рис. 6 следует, что минимальное время срабатывания имеет место при добавочном сопротивлении равном 15 Ом.

На рис. 7 показаны зависимости электромагнитной силы от времени.

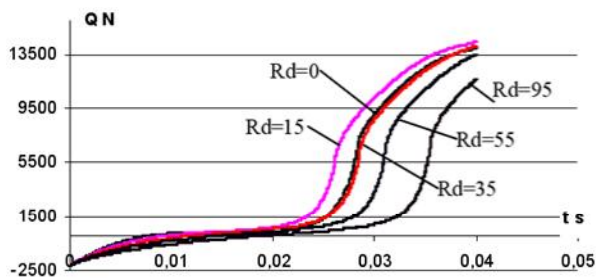


Рис. 7. Временная зависимость электромагнитной силы

На рис. 8, 9 показаны графики динамики изменения токов во включающей катушке и катушке отключения.

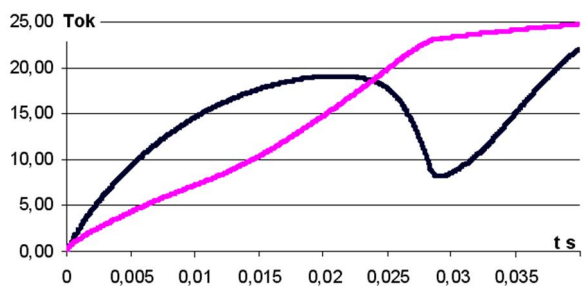


Рис. 8. Токи катушек при $R_d = 0$

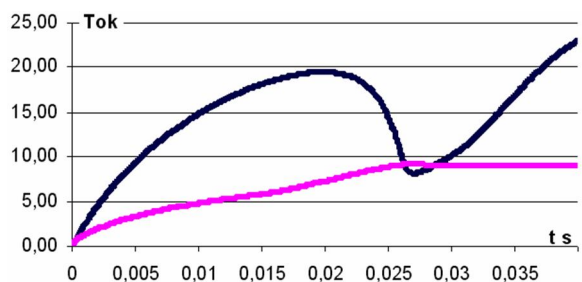


Рис. 9. Токи катушек при $R_d = 15$ Ом

Как следует из рис. 8, 9 максимальные значения тока в процессе движения якоря несколько различны. Поэтому, было проанализировано максимальное суммарное значения тока, потребляемое магнитом в процессе включения в зависимости от величины добавочного сопротивления. На рис. 10 показаны значения токов катушек включения и отключения, а на рис. 11 – суммарный ток, потребляемый магнитом.

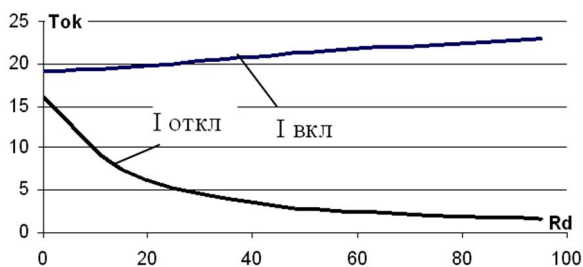


Рис. 10. Токи катушек в зависимости от R_d

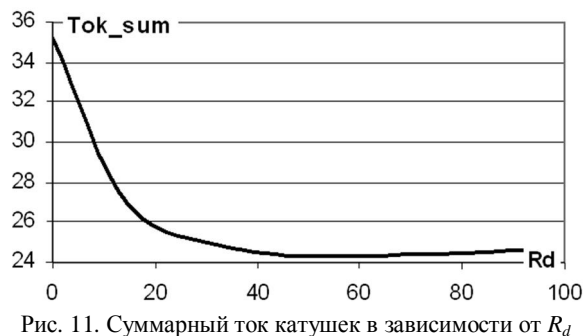


Рис. 11. Суммарный ток катушек в зависимости от R_d

Как следует из рис. 10, 11, ток катушки включения изменяется незначительно, а ускоренное срабатывание электромагнита достигается за счет значительного тока отключающей катушки. Суммарный ток, потребляемый магнитом, имеет экстремум в области $R_d = 50-55$ Ом и в дальнейшем изменяется незначительно.

Таким образом, ускорить срабатывание электромагнита можно путем увеличения потребляемой мощности (рис. 11). Однако, требуемая энергия, необходимая для срабатывания, не может быть ниже определенного значения.

Снижение энергии возможно только за счет изменения конструкции магнита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугайчук В.М., Клименко Б.В., Емельянов В.Л. Обоснование целесообразности совместного использования обмоток включения и отключения бистабильных электромагнитных приводов вакуумных выключателей // Электротехника і електромеханіка. – 2011. – № 3. – С. 21-24.

Bibliography (transliterated): 1. Bugajchuk V.M., Klimenko B.V., Emel'yanov V.L. Obosnovanie celesoobraznosti sovместного ispol'zovaniya obmotok vklyucheniya i otklyucheniya bistabil'nyh `elektromagnitnyh privodov vakuumnyh vyklyuchatelej // Elektrotehnika i elektromehaniка. - 2011. - № 3. - S. 21-24.

Поступила 04.06.2011

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. Influence of additional resistance on pre-start time of two-position electromagnetic drive with magnetic latch for mv vacuum circuit-breaker

The article discusses the influence of additional resistance to the on-off speed of a DC electromagnet with a magnetic latch.
Key words – additional resistance, electromagnet, VCB.