

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ШУНТОВ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ НА ТЯГОВЫЕ УСИЛИЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТЕ С ОДНОПОЗИЦИОННОЙ МАГНИТНОЙ ЗАЩЕЛКОЙ

Выровец С.В., Чепелюк А.А., к.т.н.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", кафедра "Электрические аппараты"

тел. (057) 707-69-76, E-mail: vsv@kpi.kharkov.ua, chep@kpi.kharkov.ua

Проаналізовано вплив ферромагнітного шунта в робочому проміжку на тягові зусилля в електромагніті з однопозиційною магнітною защілкою на базі висококоерцитивних постійних магнітів. Визначено раціональні розміри ферромагнітного шунта.

Проанализировано влияние ферромагнитного шунта в рабочем зазоре на тяговые усилия в электромагните с однопозиционной магнитной защелкой на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов. Определены рациональные размеры ферромагнитного шунта.

Проведенные в [1] исследования приводного электромагнита постоянного тока с однопозиционной магнитной защелкой на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов [2, 3] для вакуумных выключателей на средние напряжения подтвердили его работоспособность и высокие технические характеристики.

При проектировании таких электромагнитов необходимо стремиться к созданию в них достаточных тяговых усилий в режиме удержания якоря, соответствующих включенному состоянию выключателя, учитывая при этом требования по высокому их быстродействию (как при включении выключателя, так и при его отключении).

Одним из технических решений, направленных на уменьшение времени включения электромагнита, предложенного в [2, 3], является установка в рабочем зазоре электромагнита ферромагнитного шунта, наличие которого повышает тяговую силу на начальном ходе якоря электромагнита за счет увеличения магнитной проводимости рабочего воздушного зазора. Эскиз конструкции такого электромагнита приведен на рис. 1. Принцип действия предложенного электромагнита аналогичен электромагниту постоянного тока с однопозиционной магнитной защелкой на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов и был описан в [1, 2].

Следует отметить, что применение ферромагнитных шунтов в рабочих зазорах электромагнитов приводит к снижению тягового усилия в режиме удержания [4]. Применительно к исследуемой конструкции электромагнита это не является недостатком, так как предварительные расчеты показали достаточный запас по силе в режиме удержания электромагнита. Чрезмерно большой запас по силе может привести к снижению износостойкости электромагнита (избыток кинетической энергии подвижной части выключателя расходуется на удары деталей и др.), а также к увеличению времени отключения электромагнита (за счет увеличения времени спадания суммарного магнитного потока в рабочем зазоре при отключении, создаваемого постоянным магнитом и МДС отключающей обмотки).

Расчет магнитной системы с ферромагнитным шунтом производился методом конечных элементов с помощью программы femm [1].

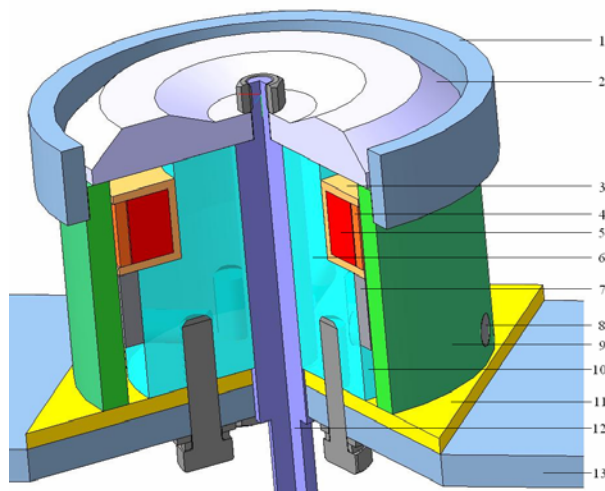


Рис. 1. Эскиз электромагнита с однопозиционной магнитной защелкой на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов с ферромагнитным шунтом в рабочем зазоре (1 – ферромагнитный шунт, 2 – якорь, 3 – каркас катушки, 4 – отключающая обмотка, 5 – включающая обмотка, 6 – сердечник, 7 – постоянные магниты, 8 – шпилька, 9 – корпус, 10 – воздушный зазор (шунт), 11 – немагнитный фланец, 12 – немагнитный шток, 13 – элемент выключателя для крепления электромагнита)

Расчетная модель (осесимметричная задача) магнитной системы исследуемого электромагнита при начальном ходе якоря приведена на рис. 2. В расчетной модели магнитной системы размеры деталей и участков магнитопровода составили (в мм): $d_{с.вн} = 20$, $d_{с.нар} = 106$ – внутренний и наружный диаметры сердечника; $d_{я.вн} = 10$, $d_{я.нар} = 137$ – внутренний и наружный диаметры дискообразного якоря; $\Delta_{узк} = 9$, $\Delta_{ут} = 19$ – высота якоря в узком и в утолщенном местах; $b_{ут} = 13$ – ширина утолщенного места в якоря; $d_{к.вн} = 117$, $d_{к.нар} = 139$ – внутренний и наружный диаметры корпуса; $h_c = h_{кп} = 89$ – высота сердечника и корпуса; $h_m = 38$, $\Delta_m = 5$ – высота и толщина постоянного магнита; $h_b = 22$, $\Delta_b = 5,5$ – высота и толщина воздушного шунта (зазора); $\delta_n = 0,25$ – величина нерабочих воздушных зазоров между постоянным магнитом и сердечником (и корпусом); $\delta_{от} = 0,1$ – вели-

чина остаточного воздушного зазора между якорем и сердечником (и корпусом); $h_k = 29$, $a_k = 20,5$ – высота и ширина пространства для установки катушки; $d_k = 80$ – внутренний диаметр намотки катушки; $h_{вкл} = 25$, $a_{вкл} = 12,7$ – высота и ширина намотки включающей обмотки; $h_{откл} = 25$, $a_{откл} = 3,3$ – высота и ширина намотки отключающей обмотки. Материал ферромагнитных деталей электромагнита – сталь 10. Материал постоянного магнита – композиция Nd-Fe-B с коэрцитивной силой 750 кА/м и остаточной магнитной индукцией 1,07 Тл. Величина рабочего зазора (ход якоря) в исследуемом электромагните – $\delta = 18$ мм. МДС включающей обмотки была определена в [1] и составила $F_{вкл, \min} = 14233$ А.

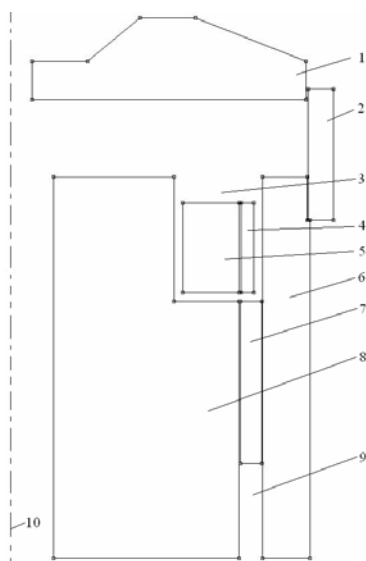


Рис. 2. Расчетная модель магнитной системы электромагнита с однопозиционной магнитной защелкой с ферромагнитным шунтом в рабочем зазоре (1 – якорь, 2 – ферромагнитный шунт, 3 – пространство для установки катушки, 4 – отключающая обмотка, 5 – включающая обмотка, 6 – корпус, 7 – постоянные магниты, 8 – сердечник, 9 – воздушный зазор (шунт), 10 – ось симметрии магнитной системы)

Для оценки влияния размеров ферромагнитного шунта в рабочем зазоре на тяговые усилия, развиваемые в электромагните, его размеры, при расчетах магнитной системы, варьировались. Величина остаточного воздушного зазора между корпусом и шунтом принималась – $\delta_{\text{шн}} = 0,1$ мм, высота прилегающей к корпусу части шунта составила 10 мм.

Для установления зависимости развиваемого в электромагните начального статического тягового усилия от высоты ферромагнитного шунта проводились расчеты тяговой силы в начальном положении якоря при различной высоте шунта в момент включения электромагнита. Толщина шунта при этом предварительно принималась $\Delta_{\text{ш}} = 11$ мм. Под высотой ферромагнитного шунта $h_{\text{ш}}$ понимали высоту части шунта, выступающей над рабочей плоскостью электромагнита. Высота шунта в расчетах варьировалась в диапазоне 16-22 мм. По результатам расчетов на рис. 3 построена зависимость развиваемого в элек-

тромагните начального тягового усилия от высоты ферромагнитного шунта в рабочем зазоре.

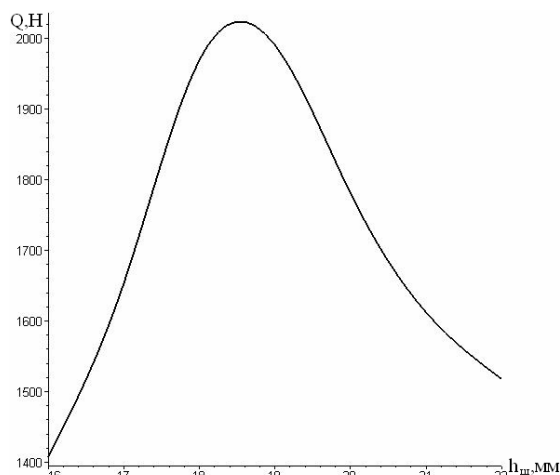


Рис. 3. Зависимость начального тягового усилия электромагнита от высоты ферромагнитного шунта

На основании анализа полученной зависимости можно сделать следующие выводы.

1. Зависимость тягового усилия электромагнита в начальном ходе якоря от высоты шунта в исследуемом диапазоне высоты шунта моноэкстремальная. Следовательно, для исследуемого конструктивного исполнения электромагнита, при заданном ходе якоря существует наиболее оптимальная высота ферромагнитного шунта, при которой обеспечивается максимум начального тягового усилия.

2. Наибольшее тяговое усилие в исследуемом электромагните составляет 2090 Н и оно развивается при высоте ферромагнитного шунта 18,5 мм, которая может быть выбрана для указанного электромагнита как наиболее приемлемая.

При найденной высоте ферромагнитного шунта, для установления зависимости развиваемого в электромагните начального тягового усилия от толщины ферромагнитного шунта, проводились расчеты тяговой силы в начальном положении якоря при различной ширине шунта, которая варьировалась в диапазоне 4-11 мм. По результатам расчетов получена зависимость развиваемого в электромагните начального тягового усилия от толщины ферромагнитного шунта в рабочем зазоре – рис. 4.

На основании анализа указанной зависимости можно сделать вывод о существовании для исследуемого конструктивного исполнения электромагнита, при заданном ходе якоря, наиболее оптимальной толщины ферромагнитного шунта, при которой обеспечивается максимум начального тягового усилия. В исследуемом электромагните эта толщина составляет 6 мм. Начальное тяговое усилие при этом – 2104 Н.

Для оценки влияния ферромагнитного шунта на тяговые усилия электромагнита на всем ходе якоря проводился расчет статической тяговой характеристики электромагнита с рациональными размерами ферромагнитных шунтов. Результаты расчета статической тяговой характеристики сведены в табл. 1.

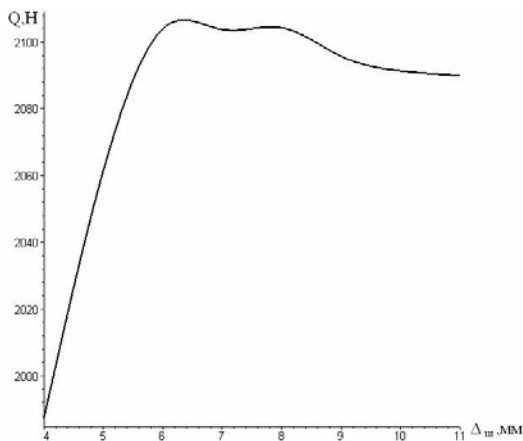


Рис. 4. Зависимость начального тягового усилия электромагнита от толщины ферромагнитного шунта

Таблица 1

Расчетная статическая тяговая характеристика электромагнита с однопозиционной магнитной защелкой с ферромагнитным шунтом в рабочем зазоре

δ , мм	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Q , Н	15935	8323	6245	4768	3615	2964	2486	2183	2024	2104

Согласно расчетам сила удержания якоря в притянутом положении в электромагните с рациональными размерами ферромагнитного шунта – 8516 Н.

На рис. 5 проведено сопоставление расчетных статических тяговых характеристик базовой конструкции электромагнита (без ферромагнитного шунта) [1] и исследуемого электромагнита с ферромагнитным шунтом, построенной по данным из табл. 1, с противодействующей характеристикой выключателя [1].

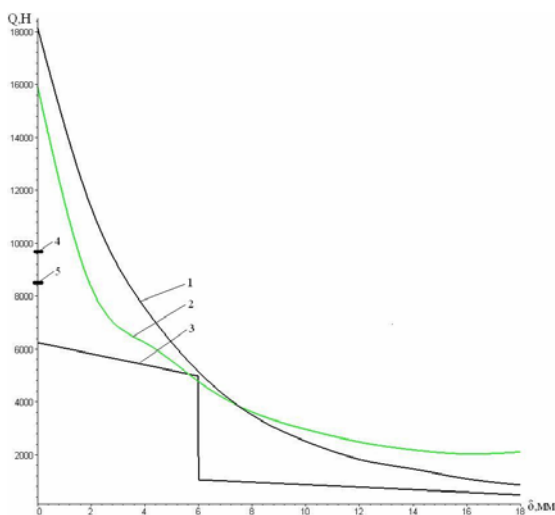


Рис. 5. Сопоставление статических тяговых характеристик электромагнитов с противодействующей характеристикой выключателя (1 – статическая тяговая характеристика базового электромагнита, 2 – статическая тяговая характеристика электромагнита с ферромагнитным шунтом, 3 – противодействующая характеристика выключателя, 4 – сила удержания якоря в базовом электромагните, 5 – сила

удержания якоря в электромагните с ферромагнитным шунтом)

Анализ зависимостей на рис. 5 позволяет сделать следующие выводы.

1. Установка ферромагнитного шунта в рабочем зазоре электромагнита приводит к существенному увеличению тяговых усилий на значительном ходе якоря (более 10 мм).

2. Начальное тяговое усилие в исследуемом электромагните с ферромагнитным шунтом в 2,45 раза превышает начальное тяговое усилие базовой конструкции электромагнита без ферромагнитного шунта.

3. Запас по тяговой силе в начальном положении якоря исследуемого электромагнита составляет 4,3. Существование такого запаса позволяет, за счет более быстрого разгона якоря, сократить время включения электромагнита.

4. Уменьшение тягового усилия в конечном положении якоря в электромагните с ферромагнитным шунтом по сравнению с базовым электромагнитом нельзя считать недостатком исследуемого электромагнита, поскольку снижение тяговой силы не превышает 12%, а запас по тяговой силе при притяннутом якоря в исследуемом электромагните составляет 1,36 раза, что гарантирует надежное удержания якоря в притяннутом положении.

5. Наличие на рисунке небольшого участка, где тяговая сила, развиваемая исследуемым электромагнитом, становится меньше противодействующей силы выключателя, не свидетельствует о не работоспособности электромагнита, поскольку в динамике, при движении якоря, он проходит этот участок по инерции за счет запасенной в подвижных частях кинетической энергии.

Таким образом, на основании проведенных исследований была подтверждена целесообразность использования в приводных электромагнитах постоянного тока с однопозиционной магнитной защелкой на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов ферромагнитного шунта в рабочем зазоре. Определение рациональных размеров ферромагнитного шунта (его высоты и толщины) позволило существенно увеличить тяговые усилия на значительном ходе якоря исследуемого электромагнита.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Выводец С.В., Чеплюк А.А. Расчет магнитной системы с однопозиционной магнитной защелкой на базе высококоэрцитивных постоянных магнитов для вакуумных выключателей // Электротехника і електромеханіка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2007. – №6. – С. 15-19.
- [2] Патент України № 15210 Электромагнітний привод // авт. Клименко Б.В., Выводец С.В., Форкун Я.Б. Оpubл.15.06.2006 р., Бюл. №16.
- [3] Клименко Б.В., Гречко А.М., Выводец С.В. Быстродействующий электромагнитный привод с вытеснением магнитного поля для вакуумного выключателя среднего напряжения // Электротехніка і електромеханіка. - Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – № 4. – С. 22-26.
- [4] Клименко Б.В. Форсированные электромагнитные системы. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 160 с.