

*А.М. ГРЕЧКО*, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА С ДВУХПОЗИЦИОННОЙ МАГНИТНОЙ ЗАЩЕЛКОЙ

Проведені дослідження електромагнітного приводу з двохпозиційною магнітною защіпкою для вакуумного відмикача середньої напруги. Встановлена теоретична можливість використання одного електромагнітного приводу для керування станом контактів двох вакуумних відмикачів одночасно задля реалізації системи автоматичного введення резерву.

Проведены исследования электромагнитного привода с двухпозиционной магнитной защелкой для вакуумного выключателя среднего напряжения. Установлена теоретическая возможность использования одного электромагнитного привода для управления состоянием контактов двух вакуумных выключателей одновременно для реализации системы автоматического ввода резерва.

**Введение.** В последнее время в конструкциях электромагнитных приводов (ЭМП) часто применяются высококоэрцитивные постоянные магниты на базе редкоземельных металлов. Это обусловлено возможностью получения в относительно небольшом объеме значительных тяговых усилий ЭМП и, как результат, – высоких значений сил контактного нажатия, что позволяет увеличивать диапазон значений токов короткого замыкания, отключаемых вакуумными выключателями. Таким образом, разработка новых конструкций ЭМП является актуальной задачей.

**Цель работы** – исследование ЭМП с двухпозиционной магнитной защелкой, поиск возможности расширения области его применения в вакуумных выключателях среднего напряжения.

**Основная часть.** В работе [1] рассмотрена конструкция и принцип действия ЭМП с двухпозиционной магнитной защелкой для вакуумного выключателя среднего напряжения (рис. 1). Используя рекомендации, приведенные в [2], рассчитаны размеры магнитопровода ЭМП и постоянных магнитов, обеспечивающие максимальное значение тягового усилия в режиме удержания при обесточенных обмотках и при условии отсутствия насыщения участков магнитопровода.

На рис. 1 обозначено: 1, 8 – верхний и нижний якоря; 2 – катушка включения; 3 – корпус; 4 – постоянный магнит; 5 – сердечник; 6 – шток; 7 – катушка отключения; 9 – воздушный шунт.

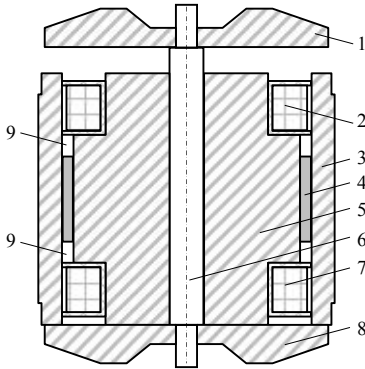


Рис. 1. Схема ЭМП с двухпозиционной магнитной защелкой.

На катушку отключения 7 подается относительно небольшой ток, который "вытесняет" встречно направленный магнитный поток постоянных магнитов 4 из области рабочих зазоров (первый рабочий зазор – между сердечником 5 и нижним якорем 8, второй – между корпусом 3 и нижним якорем 8) в область, не занятую постоянными магнитами (воздушный шунт 9). На катушку же включения 2 подается значительно больший ток, магнитный поток от которого направлен согласно с потоком постоянных магнитов – начинается движение вниз подвижной части магнитопровода: штока 6 с размещенными на нем якорями 1 и 8.

В обоих крайних положениях ЭМП развивает тяговое усилие в  $\approx 9500$  Н при отсутствии насыщения участков магнитопровода. Расчет магнитных процессов в ЭМП производился методом конечных элементов с помощью программного комплекса FEMM [3].

На рис. 2 показано распределение магнитной индукции  $B$  в рабочих зазорах ЭМП в режиме удержания при обесточенных обмотках.

На рис. 3 показана зависимость тягового усилия  $F$ , которое развивает ЭМП в режиме удержания, от магнитодвижущей силы (МДС)  $F_m$ , возникающей при подаче импульса тока на катушку отключения.

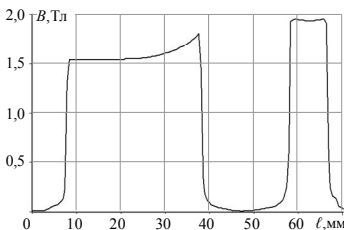


Рис. 2. Индукция в рабочих зазорах ЭМП.

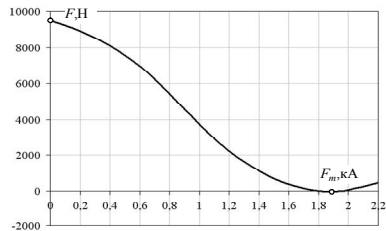


Рис. 3. тяговое усилие ЭМП.

На рис. 3 видно, что уже при  $F_m \approx 1,9$  кА наблюдается практически полное "вытеснение" магнитного потока постоянных магнитов из области рабочих зазоров в область воздушного шунта и плавное снижение тягового усилия  $F$  ЭМП с начального значения в 9500 Н до нуля.

Перевод рассматриваемого ЭМП из одного устойчивого положения в другое, в принципе, также возможен и без "вытеснения" магнитного потока постоянных магнитов, а только за счет подачи напряжения лишь на одну из катушек (для операции включения – на катушку включения, для операции отключения – на катушку отключения), как это, например, осуществляется в известной конструкции ЭМП [4]. Однако в таком случае процесс перевода ЭМП будет происходить с много большими энергозатратами, нежели с применением "вытеснения" магнитного потока постоянных магнитов, о чем свидетельствуют численные расчеты, приведенные далее.

На рис. 4 показаны зависимости тягового усилия  $F$ , которое развигает ЭМП в режиме удержания, от МДС  $F_m$ , возникающей при подаче импульса тока на катушку включения, для различных значений МДС (0; 0,5; 1; 1,5 кА), возникающей при подаче импульса тока на катушку отключения; причем подача импульсов тока на обе катушки осуществляется одновременно. На рис. 4 видно, что если перевод ЭМП из одного устойчивого положения в другое осуществляется без применения "вытеснения" магнитного потока постоянных магнитов (кривая 0 кА), то для уменьшения до нуля тягового усилия ЭМП в режиме удержания значение МДС катушки включения должно быть  $\approx 17,4$  кА.

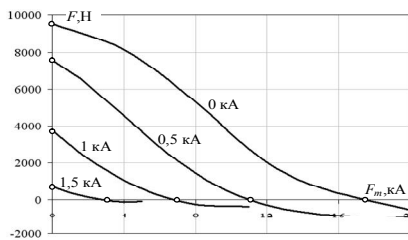


Рис. 4. Зависимости тягового усилия ЭМП от МДС катушки включения.

При заданных габаритных размерах катушки включения (ограничены конструкцией ЭМП, рис. 1) расчет ее обмоточных данных (диаметр провода  $d_m = 0,56$  мм, количество витков  $w = 680$ ) показал, что значение напряжения, необходимого для достижения указанного значения МДС, должно быть 385 В (при сопротивлении катушки в  $\approx 15$  Ом протекаемый ток равен 25,6 А).

При использовании же "вытеснения" магнитного потока постоянных магнитов катушкой отключения (например, кривая  $F_m = 1,5$  кА на рис. 4) при неизменных обмоточных данных значение МДС катушки включения должно быть всего лишь  $\approx 2,6$  кА; то есть, значение напряжения, которое подается на катушку отключения, равно  $\approx 35$  В (ток  $I =$

2,3 А), на катушку включения –  $\approx 58$  В (ток  $I \approx 3,8$  А).

Данные значения получены для режима, когда ЭМП находится в одном из устойчивых положений. Для начала движения подвижной части магнитопровода ЭМП должен обеспечить тяговое усилие, большее, чем значение противодействующей силы вакуумного выключателя, которое составляет  $\approx 500$  Н. Это *первый* этап работы. Вторым, наиболее сложным с точки зрения возможности несрабатывания вакуумного выключателя, является этап движения ЭМП при касании (замыкании) силовых контактов выключателя, в момент которого наблюдается скачкообразное увеличение противодействующей силы до  $\approx 6000$  Н. Это *второй* этап работы. Таким образом, для обеспечения работоспособности вакуумного выключателя ЭМП должен обеспечить необходимое значение тяговой силы во время двух данных этапов, так как на конечном этапе движения рабочий зазор в ЭМП достаточно мал, тяговая сила резко увеличивается и за счет массы и набранной скорости ЭМП, как правило, успешно становится на "магнитную защелку".

В табл. 1 приведены результаты расчета тягового усилия  $F$  на двух указанных этапах работы ЭМП при различном способе подачи питания: способ 1 – только на катушку включения; способ 2 – одновременно на катушку включения и отключения, то есть с применением "вытеснения" магнитного потока постоянных магнитов. Перед скобками указаны значения величин, относящиеся к катушке включения, в скобках – к катушке отключения.

Таблица 1 – Расчетные величины тягового усилия ЭМП

Первый этап работы – трогание ЭМП				
	$F_m$ , кА	$F$ , Н	$U$ , В	$I$ , А
способ 1	19,7	511	435	28,9
способ 2	11 (0,8)*	528	245 (18)	16,3 (1,2)
Второй этап работы – движение ЭМП				
	$F_m$ , кА	$F$ , Н	$U$ , В	$I$ , А
способ 1	19	6018	420	27,9
способ 2	19 (0,8)*	6031	420 (18)	27,9 (1,2)

Из табл. 1 можно сделать вывод, что применение "вытеснения" магнитного потока постоянных магнитов эффективно на этапе начала

движения (трогания) ЭМП. Во время же движения ЭМП необходим поиск "альтернативных" емкостным накопителям энергии (ЕНЭ) источников энергии, так как значения токов, протекаемых по катушкам ЭМП, являются значительными с точки зрения их коммутации электрическими аппаратами. В качестве "альтернативы" в [1] предложено использовать потенциальную энергию пружин, сопряженных со штоком 6 и якорями 1, 8 (см. рис. 1), которые способствуют перемещению ЭМП из одного устойчивого положения в другое.

Определенной модификацией данного варианта может служить использование описанного ЭМП в качестве силового механизма, который управляет бы состоянием контактов двух вакуумных выключателей одновременно, например, для реализации системы автоматического ввода резерва (АВР) с двумя трансформаторными вводами  $T1$  и  $T2$  (рис. 5) и общей секцией питания нагрузки (двигатель  $M$ ). Рассмотрим принцип работы данной системы.

В исходном состоянии ЭМП находится в положении 1. Через систему рычагов ЭМП воздействует на контакты вакуумной дугогасительной камеры (ВДК) 1, которые замыкаются и обеспечивают протекание фазных токов  $i_A$ ,  $i_B$  и  $i_C$  от трансформатора  $T1$  к двигателю  $M$ . Одновременно ЭМП удерживает контакты ВДК 2 в разомкнутом состоянии, исключая параллельное подключение трансформаторов.

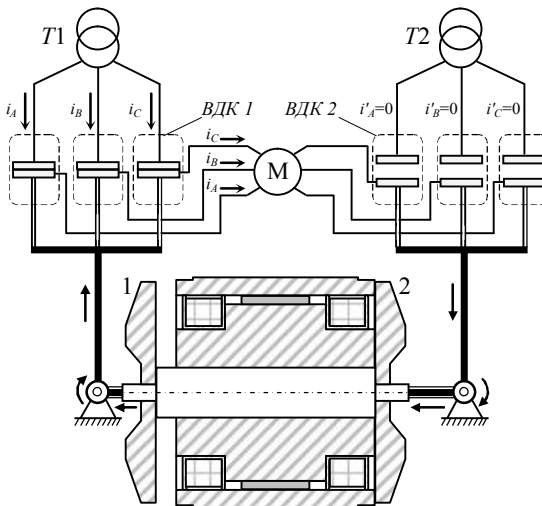


Рис. 5. Применение одного ЭМП в качестве привода двух выключателей.

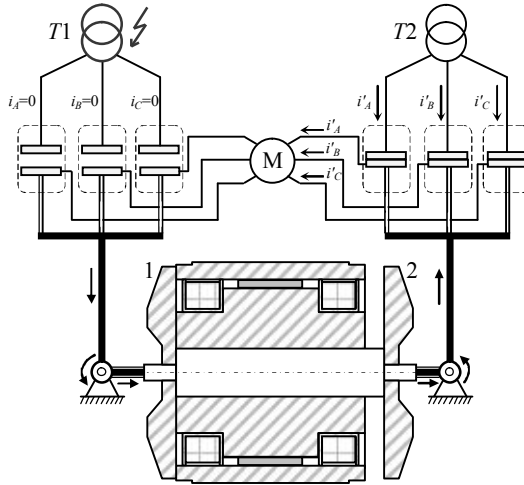


Рис. 6. Работа привода при отключении одного трансформатора ввода.

Силы удержания ЭМП в 9500 Н достаточно для управления двумя группами контактов: противодействующая сила ВДК 1 составляет  $\approx 7200$  Н, а ВДК 2 оказывает незначительное противодействие в  $\approx 420$  Н [5], вызванное силой сжатия сильфонов. Пружины контактного поджатия замкнутых контактов ВДК 1 сжаты – в них накоплена потенциальная энергия, использующаяся при переводе ЭМП из положения 1 в положение 2.

При обесточивании по какой-либо причине трансформаторного ввода  $T1$  (рис. 6) необходимо подключить двигатель  $M$  к трансформатору  $T2$  путем перевода ЭМП из положения 1 в положение 2. При этом изменится коммутационное состояние контактов ВДК: контакты ВДК 1 разомкнутся, контакты ВДК 2 – замкнутся.

Накопленная потенциальная энергия пружин контактного поджатия контактов ВДК 1 будет способствовать быстрому переключению ЭМП и подключению двигателя  $M$  к трансформатору  $T2$ . Время переключения, с одной стороны, должно быть достаточно малым для обеспечения непрерывности питания двигателя  $M$ , а с другой стороны достаточным для исключения возможности параллельного подключения трансформаторов  $T1$  и  $T2$ . Данное условие может быть выполнено путем подбора параметров ЕНЭ (емкость и напряжение) для питания катушек ЭМП. После замыкания контактов ВДК 2 их пружины поджатия

сжимаются, и в них накапливается потенциальная энергия, используемая при переводе ЭМП из положения 2 в положение 1 в случае восстановления питания на трансформаторе Т1.

**Вывод.** Таким образом, в статье проведены исследования ЭМП с двухпозиционной магнитной защелкой для вакуумного выключателя среднего напряжения, рассмотрена возможность использования данного ЭМП для управления состоянием контактов двух вакуумных выключателей одновременно для реализации системы автоматического ввода резерва.

**Список литературы:** 1. *Клименко Б.В., Гречко А.М., Ересько А.В.* Электромагнитный привод с двухпозиционной магнитной защелкой для вакуумного выключателя среднего напряжения // *Электротехника і електромеханіка.* – 2007. – № 6. – С. 40-43. 2. *Гречко А.М., Бугайчук В.М.* Исследование и расчет размеров магнитопровода электромагнита с однопозиционной магнитной защелкой // *Электротехника і електромеханіка.* – 2008. – № 2. – С. 15-20. 3. *Finite Element Method Magnetics. User's Manual 2006. Version 4.2* [Электронный ресурс] / D. Meeker // Режим доступа: <http://femm.berlios.de>. 4. *Клименко Б.В., Бугайчук В.М., Гречко А.М.* Опытный образец двухпозиционного электромагнитного привода вакуумного выключателя среднего напряжения // *Электротехника і електромеханіка.* – 2005. – № 2. – С. 23-27. 5. *Siemens 3AH Circuit breaker. Specification: Vacuum-Interrupter VS 12031.* 2005.



**Гречко Александр Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры электрических аппаратов НТУ "ХПИ". Защитил диссертацию кандидата технических наук в 2009 г. в НТУ "ХПИ" по специальности "Электрические машины и аппараты". Научные интересы связаны с проблемой усовершенствования электромагнитных механизмов электрических аппаратов.

*Поступила в редколлегию 16.02.2011  
Рецензент д.т.н., проф. Клименко Б.В.*