

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЁТ ВТЯЖНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПОСТОЯННОГО ТОКА С КОРПУСОМ В ВИДЕ СКОБЫ

Бершадский И.А., Шленнёв С.В.

Донецкий государственный технический университет

ilya@elf.dgtu.donetsk.ua

serguei@elf.dgtu.donetsk.ua

In paper the features of numerical calculation of performances of a sucking electromagnet of a direct current surveyed, the body which one looks like a clamp

Электромагнитом с втяжным якорем (броневым) будем называть такой электромагнит, у которого катушка охвачена снаружи неподвижным якорем магнитопровода, а рабочий зазор располагается внутри катушки. Конструкции таких магнитных систем применяются как на постоянном, так и на переменном токе..

Согласно [1] могут быть выделены следующие типы броневых электромагнитов:

1. Втяжной электромагнит с цилиндрическим якорем и корпусом (ярмом):
 - а) с одним рабочим зазором;
 - б) с двумя рабочими зазорами;
 - в) с ненасыщенным магнитным шунтом.
2. Втяжной электромагнит с корпусом, шихтованным из листовой электротехнической стали:
 - а) с прямоугольным якорем;
 - б) с Т-образным якорем;
 - в) с Т-образным якорем и Е – образным ярмом.

Особенности характеристик втяжных электромагнитов определяются тем, что их якорь располагается внутри намагничивающей обмотки (частично или полностью) и в процессе срабатывания погружается в неё. Электромагниты такого типа нашли широкое применение в приводах, выключателях, ударных машинах, магнитных подвесах, реле и др.

Ряд работ [2,5] посвящался расчёту броневых электромагнитов типа 1 а). При этом проводился аналитический расчет распределения потока в трёх зонах, соответствующих: глубине погружения якоря в катушку λ , рабочему воздушному зазору δ и длине неподвижного сердечника λ_c . Следует отметить, что подобный расчёт проводился с учётом ряда допущений, которые ограничивали область применения выведенных соотношений. Так, например, решение уравнений распределения магнитного поля в электромагните при его насыщении проводилось в предположении, что в пределах каждого из участков с достаточной степенью точности отрезок кривой намагничивания может быть заменен отрезком прямой.

Кроме того, расчет с учетом насыщения стали выполнен только для конструкции броневых электромагнитов с плоскими торцами якоря и стопа, имеющими форму круглого цилиндра. Если якорь имеет коническую форму, то дополнительная погрешность в расчетах вызывается за счет насыщения конца конуса и стенки отверстия. При углах $2\alpha < 30^\circ$ (рис. 1) этот эффект сказывается особенно сильно.

Принимая во внимание изложенное выше, можно сделать вывод о целесообразности использования методов теории поля для получения зависимостей между искомыми величинами (магнитный поток, развиваемое усилие и т.д.) и исходными данными (размеры магнитной системы, намагничивающая сила обмотки, характеристики материала системы и др.).

Известно, что в ряде электрических аппаратов (реле времени ЭВ117) применяется втяжные электромагниты с корпусом в виде скобы (рис.1). Определение их характеристик по аналитическим соотношениям [2, 3] затруднено, так как требуется существенная переработка последних.

Представляется целесообразным обратиться к известным программам расчета магнитных полей по методу конечных элементов [4]. Принимаемые в расчетах допущения о плоскопараллельном характере поля являются справедливыми, так как в электромагните рассматриваемого типа в рабочем зазоре «выпучивание» магнитного потока не оказывает существенного влияния, а в областях, занятых обмотками, вообще может учитываться только составляющая магнитного потока, нормальная к оси магнитной системы.

В задачу исследований входит:

- получить картину силовых линий магнитного поля втяжного электромагнита с корпусом в виде скобы;
- установить зависимость степени насыщения магнитной системы от величины плотности тока в обмотке;
- выяснить влияние на индукцию в рабочем зазоре следующих конструктивных факторов: диаметра якоря d_2 , угла при вершине конуса якоря 2α , величины воздушного зазора δ ;
- по расчетным данным найти индукцию B_r в рабочем зазоре, которая позволяет определить силу, развиваемую электромагнитом с коническим стопом.

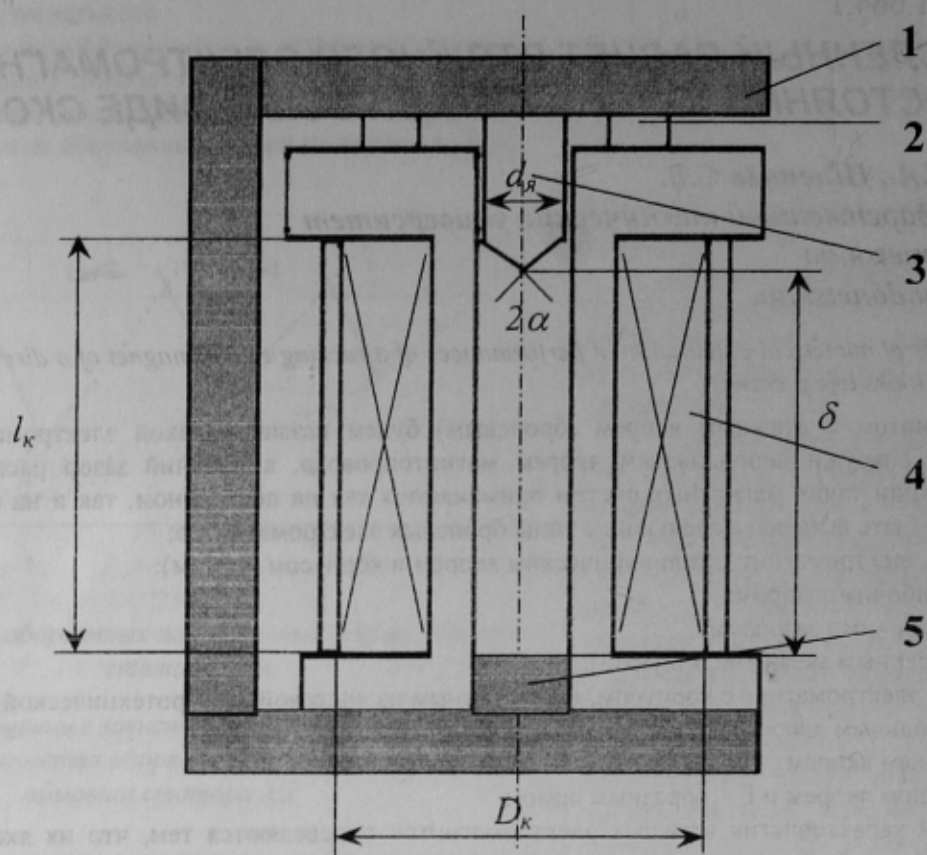


Рисунок 1 – Эскиз втяжного электромагнита с корпусом в виде скобы:
 1 – корпус; 2 – фланец; 3 – яркость; 4 – катушка; 5 – стоп

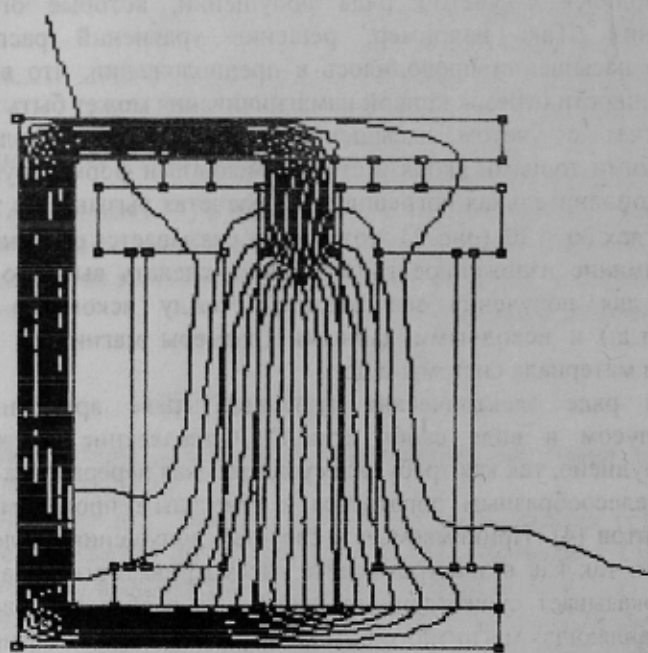


Рисунок 2 – Линии индукции магнитного поля

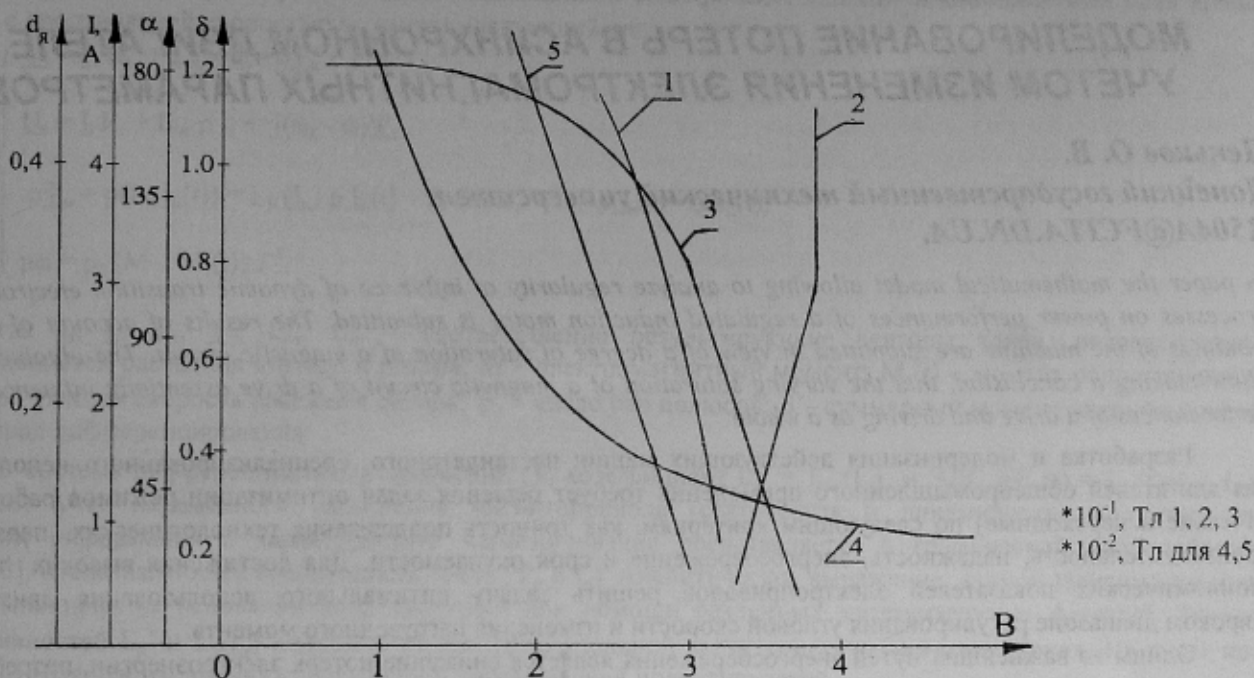


Рисунок 3 – Зависимость от конструктивных факторов магнитной индукции втяжного электромагнита в зазоре вблизи полюсного наконечника

1 - $d_n(B)$, 2 - $I_w(B)$, 3 - $2\alpha(B)$ при δ_{max} , 4 - $\delta(B)$, 5 - $2\alpha(B)$ при δ_{min} .

Примечание. Все размеры приведены в дюймах

Известно [3], что если электромагнит должен развивать силу $F_{э,срб}$, то расчет сечения сердечника S_c производится для эквивалентного электромагнита, совершающего одинаковую полезную работу при одной и той же намагничивающей силе и сечении сердечника, но имеющего плоские торцевые поверхности

$$F_k = F_n' \sin^2 \alpha = \frac{B_T^2 S_T}{2\mu_0} \sin^2 \alpha, \quad (1)$$

где F_k , F_n' – действительная сила электромагнита с коническим стопом и приведенная сила эквивалентного электромагнита с плоскими торцевыми поверхностями;

α – угол при вершине конуса (рис.1);

B_T – необходимая индукция в рабочем зазоре с учетом выпучивания.

Некоторые результаты исследований на сетке из 19500 треугольных элементов приведены на рис.2 и рис.3.

Анализируя распределение силовых линий магнитной индукции (рис.2) можно отметить, что втягивание якоря происходит как за счет действия магнитного потока, проходящего через торцевую поверхность, так и за счет действия потока рассеяния, который проходит через боковую поверхность. С уменьшением рабочего зазора δ влияние потоков рассеяния становится менее заметным.

Представляется важным также последить изменение начальной электромагнитной силы втяжного электромагнита при изменении формы торцов с плоской на коническую.

По данным расчетов (рис. 2) резкое уменьшение индукции B_T (в 2,5 –3 раза при δ_{min} , остальные параметры постоянны) наблюдается в случае, когда $2\alpha \rightarrow 180^\circ$.

Эти же соотношения качественно сохраняются при δ_{max} (уменьшение индукции в 1,5-2 раза). Таким образом, без изменения конструкции втяжного электромагнита и его намагничивающей силы можно существенно улучшить тяговую характеристику. Рекомендуемый угол 2α согласно нашим данным $40^\circ \leq 2\alpha \leq 80^\circ$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитенко А.Г., Пекер И.И. Расчет электромагнитных механизмов на вычислительных машинах. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 216 с.
2. Гаранин А.Ю. Расчет втяжного электромагнита постоянного тока // Электротехника. 2000. №10. С. 54-58.
3. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). - М.: Энергия, 1971. –560 с.
4. Бершадский И.А., Шестакин Н.С. Математическое моделирование магнитного поля указателя тока короткого замыкания // Известия вузов. Электромеханика.-1999. - №3. – С.85-89.
5. Буткевич Г.В. и др. Задачник по электрическим аппаратам. – М.: Высшая школа, 1987. – 199 с.