

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 622

А.В.Губенков

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТА КОНТАКТОРА СЕРИИ КТУ-4Б

Известно, что режимы работы и характеристики асинхронного электродвигателя (АД), получающего питание через протяженную кабельную сеть, существенно отличаются от режимов работы и характеристик АД без кабеля.

Наличие кабельной сети особенно оказывается на состоянии АД в режимах, сопровождающихся значительными величинами токов электродвигателя. Одним из таких режимов является пуск АД. Значительные величины пусковых токов обеспечивают рост падения напряжения на участке кабельной сети от силового трансформатора до электродвигателя и снижение напряжения на статоре АД со всеми вытекающими отсюда последствиями. Процессы, происходящие в таких электротехнических комплексах, состоящих из трансформатора, кабельной сети и электродвигателей, подробно рассмотрены, например, в [5,6].

Вместе с тем следует отметить, что в этих работах не учитывалось возможное реальное влияние коммутационной аппаратуры (пускателей) АД. Дело в том, что при изменении уровня напряжения на статоре электродвигателя из-за наличия протяженной кабельной сети в определенных режимах работы АД меняется состояние и электродвигателя и пускателя.

При питании АД через протяженную кабельную сеть в определенных режимах работы электродвигателя, пускатель и АД становятся взаимозависимыми элементами электротехнического комплекса – трансформатор – кабель – пускатель – электродвигатель.

Это означает необходимость работы по дальнейшему совершенствованию моделей [5,6], в части введения в их структуру соответствующих математических моделей коммутационной аппаратуры.

Ниже рассматривается математическая модель электромагнита контактора серии КТУ, получившего широкое распространение в рудничных пускателях. В частности рассматривается контактор серии КТУ-4Б, который используется в пускателе ПВИ-250. Рассматриваемая модель позволяет получить статические и динамические характеристики электромагнита контактора.

Описание конструкции контактора можно найти в [3]: «Контактор имеет подвижную прямеходную систему, приводимую в движение якорем электромагнита. Используемая П-образная маг-

нитная система электромагнита контактора широко используется и в других типах электромагнитов. На каждый стержень надет каркас с катушкой. Катушки соединяются последовательно и согласно, т.е. так, чтобы магнитные потоки в магнитопроводе, создаваемые токами в катушках, были направлены согласно».

П-образная магнитная система контактора КТУ-4Б представлена на рис. 1. Она состоит из якоря (1), расположенных на левом и правом стержнях сердечника (2) катушек намагничивания, которые включены последовательно и согласно.

На рисунке отображены геометрические размеры магнитной системы: L - длина стержня сердечника (высота обмотки); a, b, c, d - геометрические размеры сердечника. Для упрощения расчёта магнитной системы примем, что обмотки намотаны равномерно по всей длине стержней, т.е. распределение магнитодвижущей силы – линейно от 0, у основания сердечника, до величины равной $2\omega I$, у воздушного зазора.

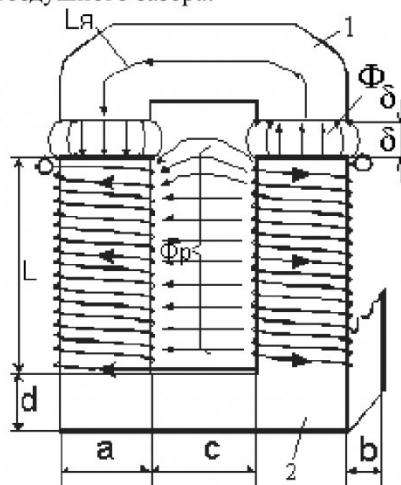


Рис. 1 - П - образная магнитная система контактора КТУ-4Б

Через рабочие зазоры δ с сопротивлением R_δ проходит рабочий поток Φ_δ . Между стержнями магнитопровода проходит плоскопараллельный поток рассеяния Φ_p .

Как видно из принципиальной электрической схемы контактора в момент включения (рис. 2), обмотки питаются выпрямленным двухполупериодным напряжением $U=380$ В.

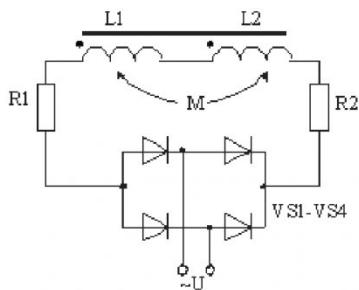


Рис. 2 .- Принципиальная электрическая схема контактора КТУ-4Б в момент включения

Произведём расчёт динамических характеристик электромагнита, работающего на постоянном напряжении. Исходные дифференциальные уравнения электромагнита [1]:

$$\begin{cases} \frac{d\psi_{kt}}{dt} = U_{kt} + i_{kt} R_{kt}, \\ \frac{dx_{kt}}{dt} = v, \\ \frac{dv}{dt} = \frac{P_{em} + P_m - P_{mh}}{M} \end{cases} \quad (1)$$

где ψ_{kt} - суммарное потокосцепление обмотки электромагнита контактора; U_{kt} - напряжение питания; i_{kt} - ток, протекающий по обмотке; R_{kt} - активное сопротивление обмотки; x_{kt} - расстояние между якорем контактора и сердечником магнитной системы (отсчитывается от положения якоря при максимальном зазоре); v - скорость движения якоря; P_{em} - электромагнитная сила притяжения якоря; P_m - сила веса якоря, в зависимости от рассматриваемой конструкции контактора, может действовать в ту же сторону, что и электромагнитная сила, или в противоположную ей сторону; P_{mh} - суммарная сила механизма, противодействующая электромагнитной; M - масса якоря.

Ток контактора i_{kt} и электромагнитная сила P_{em} есть функции, зависящие от текущего положения якоря x_{kt} , и текущего потокосцепления ψ_{kt} .

На основе методики *расчёта магнитной системы по участкам*, описанной в [1,2], была написана программа расчёта электромагнита в среде Delphi, позволяющая строить как статические, так и динамические характеристики электромагнита. Статические характеристики электромагнита контактора серии КТУ-4Б представлены на рис.3-5.

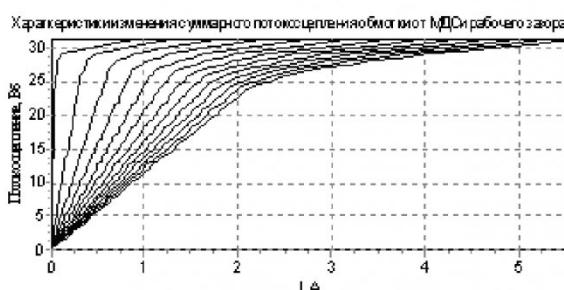


Рис. 3 - Характеристики суммарного потокосцепления при изменении магнитного зазора

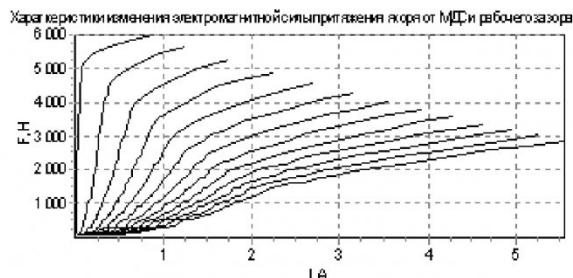


Рис.4 - Электромагнитные силы контактора при различных положениях якоря

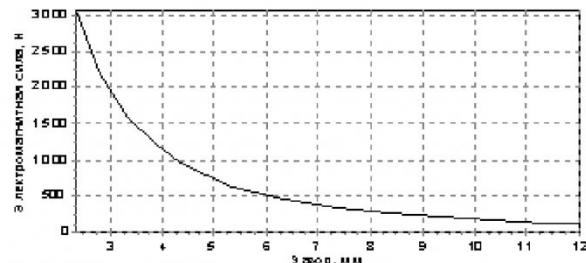


Рис. 5. Тяговая характеристика контактора

. Способ расчёта магнитной цепи по участкам вносит определённую погрешность в расчёт, т.к. изначально допускаются упрощения, которые исказжают картину магнитного поля.

Приблизиться к более точным значениям в расчёте магнитной цепи возможно при использовании математического аппарата, основанного на применении метода конечных элементов (МКЭ). При решении этих задач используется уравнение Пуассона для векторного магнитного потенциала A . $B=rot(A)$. В рассматриваемых задачах вектор индукции B всегда лежит в плоскости модели xy , а вектор плотности стороннего тока j и векторный потенциал A перпендикулярен к ней.

Из программ моделирования магнитных полей МКЭ были рассмотрены:

- Elcut ver/2.2.2.4;
- QuickField ver/ 5.0.3.49;
- комплекс программ ANSYS (R) Release 5.7.1, а в частности ANSYS/Emag 3D

Первые две программы представляют собой очень схожий между собой математический аппарат по двухмерному моделированию МКЭ с тем различием, что QuickField позволяет программно управлять моделью (её свойствами), из других приложений, таких как Excel→VBA, C++, VBA, а также имеет встроенный пакет программного управления моделью «Label Mover».

Одним из существенных недостатков этих программ является их двухмерность и, как следствие этого, невозможность учёта объёмности распределения магнитного поля. Программы учитывают объём модели тем, что производят моделирование в третьем измерении на единицу длины, т.е. на 1 метр.

В качестве примера ниже представлен рис. 6. На нем представлен результат решения в пакете ELCUT задачи магнитостатики.

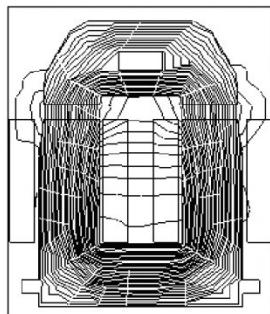


Рис. 6 - Распределение силовых линий магнитной индукции при включении контактора КТУ-4Б

Программа ANSYS/Emag 3D позволяет создавать трёхмерные модели магнитных цепей. На рис. 7 показано распределение магнитной индукции по объёму модели.

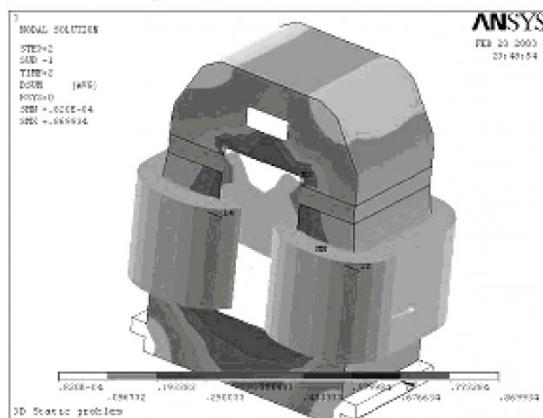


Рис. 7- Распределение магнитной индукции.

Проведённый проверочный расчёт тяговой характеристики электромагнита методом конечных элементов, показал, что погрешность, возникающая при расчёте магнитной цепи методом участков, невелика (5-10%).

При расчёте контактора также была проведена проверка полученных данных с экспериментальными данными [4] по тяговой характеристике. Расхождение не превышает 5-10%, что приемлемо для расчётов магнитных цепей. Таким образом, расчёт магнитной цепи можно проводить методом участков.

Динамические характеристики рассчитывались по системе уравнений (1) методом Рунге-Кutta 4-го порядка.

Для того, чтобы контактор мог надёжно замыкать свои главные контакты при снижении напряжения сети при пуске мощного асинхронного двигателя до 0.6 от U_n , в момент включения контактора, его электрическое сопротивление равно сопротивлению двух последовательно включённых обмоток $R_{bh}=2.257 \text{ Ом}$. Данное сопротивление является предельным по плотности тока для данных обмоток - происходит их нагрев, а при длительном режиме работы они выйдут из строя. Чтобы этого избежать, после замыкания магнитной системы, в цепь питания обмотки контактора

вводится дополнительное сопротивление $R_{don}=11\text{k}\Omega$, ограничивающее ток обмотки до значений, при которых она может работать в длительном режиме при номинальной температуре.

На рис. 8-11 представлены временные диаграммы работы контактора при введении в цепь обмотки добавочного сопротивления в момент времени $t=0.28$ с. Для просмотра динамики отключения, в момент $t=0.38$ с, введём в цепь обмотки значительное сопротивление, при котором развиваемая электромагнитная сила притяжения якоря будет меньше суммарной противодействующей. На каждом из рис. 8-11 представлено по 2 динамические характеристики, одна (1) показывает работу электромагнита на выпрямленное напряжение 380В, а другая (2)- на постоянное напряжение (среднее действующее значение) 342В.

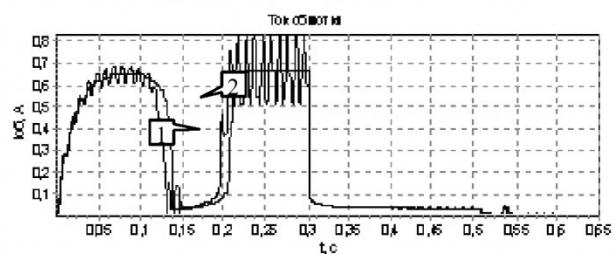


Рис. 8. Ток обмотки электромагнита контактора

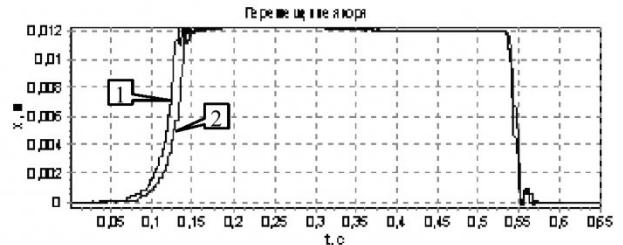


Рис. 9. Перемещение якоря контактора

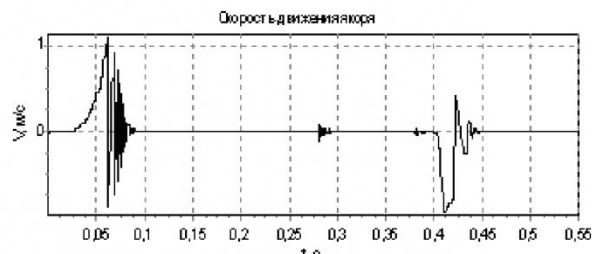


Рис. 10 .- Скорость движения якоря

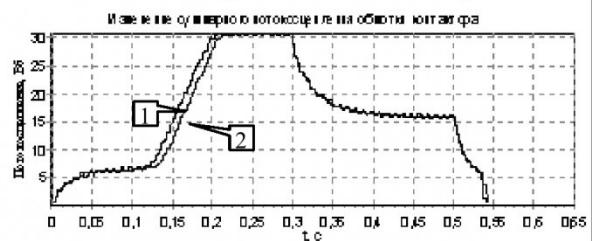


Рис. 11- Суммарное потокосцепление обмотки контактора

Спад кривой тока (практически до нуля) на участке времени от 0,07 до 0,13 с соответствует значительному росту потокосцепления (рис. 11) в эти моменты времени и, как следствие, росту

ЭДС самоиндукции, которое и уменьшает значение тока в обмотке.

Замыкание магнитной системы происходит в тот момент, когда кривая хода якоря достигает установленного значения (в данном примере $x_{kt} = 0,012, \text{м}$). Пульсации кривой перемещения, при достижении установленного значения, обусловливаются ударом якоря по полносным наконечникам, происходит «отскок» якоря в начальный момент замыкания П-образной магнитной системы и дальнейшее притяжение якоря к магнитной системе.

График скорости движения наглядно отображает силы, действующие на якорь в тот или иной

момент времени.

Сравнение полученных динамических характеристик с экспериментальными [4] показывает, что расхождение не превышает 5%. Например, по [4] ток обмотки достигает своего установленного значения за 0,138с, по данным этого расчёта за 0,14 с расхождение в 2%.

Таким образом, можно говорить о применимости исследуемой модели для описания электромеханических процессов в электромагните и о возможности ее использования при моделировании последнего в электротехническом комплексе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования: Учеб. пособие для вузов/ Гольдберг О.Д., Буль О.Б., Свириденко И.С., Хелемская С.П.; Под ред. О.Д. Гольдберга -М.: Высш. шк., 2001. 512с.: ил.
2. Буль О.Б. Компьютерная графика на QwickBasic для электрических аппаратов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГОУ. 1998.- 472с.: ил. 102
3. Чумаков В.А., Глухов М.С. Осипов Э.Р. и др. Под ред. В.В. Дегтярёва, Л.В. Седакова., Руководство по ревизии, наладке и испытанию подземных электроустановок шахт
4. Техническая информация. Разработка и испытание схемы и устройства управления контакторами КТУ-4 при снижении напряжения на их втягивающих катушках до 0.6 Ун. Государственный институт по проектированию и исследованию взрывобезопасного электрооборудования «ГИПРОНИСЭЛЕКТРОШАХТ» 1967.
5. Ещин Е.К. Моделирование электромеханических процессов многодвигательных электроприводов горных машин. – Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т, 1999. – 115с.
6. Ещин Е.К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов. Моделирование и управление.- Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т, 2003.- 247 с.

Авторы статьи:

Губенков

Александр Вячеславович

- аспирант каф. вычислительной техники и информационных технологий