

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Гаранин А.Ю.

Тольяттинский государственный университет

Основными достоинствами электронных автоматизированных систем управления, применяемых в настоящее время на автомобилях, являются: компактность, малая величина потребляемой мощности управления, большое быстродействие, постоянная готовность к работе. Они хорошо зарекомендовали себя как экономичные и эффективные средства управления сложными процессами на автомобиле, где требуется логическая обработка множества различных входных сигналов и выдача управляющей команды на исполнительные элементы, обеспечивающие оптимальный режим работы агрегатов в конкретных условиях эксплуатации.

Анализ технической информации позволяет предположить, что в настоящее время идет интенсивная разработка алгоритмов работы различных автоматизированных систем автомобилей, входящих в них элементов и взаимосвязей между ними. Одновременно происходит обогащение систем новыми элементами, усложняющими структуру системы, что приводит к увеличению времени ее разработки. Кроме того, важной характеристикой любой системы является выполнение требования обеспечения устойчивой работы в нестандартных ситуациях. Эта способность автоматизированной системы работать в различных условиях эксплуатации должна закладываться на самых ранних этапах проектирования и влиять на разработку исполнительных и программных средств.

Применение в автомобилях высоконадежных автоматизированных систем управления в полной мере отвечает требованиям по повышению их конкурентоспособности. Однако степень разработки большинства систем находится сейчас на недостаточно высоком уровне: существующий объем информации явно недостаточен для полного описания процессов происходящих в них, особенно в критических режимах работы. Задача сейчас состоит в интеграции разработанных и вновь разрабатываемых компонентов в связанные между собой автоматизированные системы управления различными агрегатами и узлами автомобиля.

Таким образом, чтобы сделать системы управления агрегатами автомобиля более общими и адекватными реальным задачам, следует развивать их в двух направлениях. Во-первых, необходимо обеспечить их многоканальными управляющими логическими схемами, в функции которых входит анализ поступающей от датчиков информации и выдача управляющей команды на исполнительные элементы. Во-вторых, крайне

важно иметь высоконадежные исполнительные элементы, причем это повышение надежности ни в коей мере не должно развиваться за счет увеличения их габаритов и массы.

Электромагнитный механизм применяется в большинстве случаев как исполнительный элемент автоматизированной системы управления в автомобиле. Он обеспечивает требуемый характер движения органа, регулирующего подачу жидкости или газа в рабочий агрегат, например, в двигатель внутреннего сгорания или тормозную систему и является одним из важных ее элементов.

Процессы, происходящие в автоматизированных системах автомобиля, сложны и ответственны. Поэтому если не производить учет электромагнитной и механической инерции электромагнита исполнительного элемента при моделировании работы системы, тогда во многих случаях трудно получить заданные характеристики системы. Это особенно важно при разработке новых систем, математическое моделирование работы которых необходимо выполнить в наиболее полном объеме. Кроме того, значение точности определения инерционности исполнительного элемента возрастает при проектировании системы на максимально возможную частоту управляющих импульсов для повышения точности регулирования, например, в антиблокировочной системе тормозов, где достижение оптимального давления тормозной жидкости возможно только за счет минимизации шага увеличения давления. Учет времени отпускания исполнительного электромагнита позволяет исключить возможность появления режима, при котором электромагнит может не успеть закрыть регулирующее устройство до поступления следующего управляющего импульса.

Таким образом, разработка конструкции электромагнитов, применяющихся в качестве исполнительных механизмов автоматизированных систем, является составной и неотъемлемой частью процесса их проектирования. Реализация этой концепции требует подхода, учитывающего взаимодействие различных сторон этого процесса, т.е. задача состоит в обосновании выбора параметров электромагнита исполнительного элемента исходя из его заданных эксплуатационных характеристик как на срабатывание, так и на отпусkanie, а также минимизации затрат на производство и эксплуатацию. Поставленную задачу можно решить, только выполняя расчетные исследования электромагнитов с различными параметрами на основе методики, расчетные данные которой достаточно точно совпадают с данными эксперимента.

Автором предложен [1] метод моделирования динамических характеристик электромагнита при срабатывании, учитывающий падение магнитного потенциала в стальных участках магнитной системы и нерав-

номерность их насыщения. Кроме того, автором проведены расчетно-экспериментальные исследования, подтверждающие возможность использования полученных формул и предложенного в [1] алгоритма для расчета динамических характеристик режима как срабатывания, включая нарастание тока до установившегося значения, так и режима отпускания втяжного электромагнита. Отличием алгоритма расчета режима отпускания электромагнита от режима срабатывания является замена тока обмотки вихревым током в эквивалентном контуре и измененное условие начала движения якоря $F < F_{\text{пр}}$.

Принимаем, что при моделировании режима отпускания электромагнита магнитное поле в магнитной системе создается только намагничивающей силой вихревых токов, которая находится в результате определения скорости уменьшения потоков и индуктированной в результате этого ЭДС в различных частях системы. Начальное значение потоков известно в результате проведенного ранее расчета режима нарастания тока намагничивающей обмотки до установившегося значения.

Таким образом, поскольку вихревые токи возникают только в частях магнитной системы, результат расчета режима отпускания электромагнита решающим образом зависит от точности определения величины вихревых токов в магнитопроводе и скорости их изменения. Действие вихревых токов на протекание процесса отпускания электромагнита можно найти, если представить их в виде некоторого эквивалентного тока в короткозамкнутом контуре с учетом влияния поверхностного эффекта, который в большой степени определяет величину и распределение вихревых токов. Изменение сопротивления эквивалентного контура во время переходного процесса при отпуске из-за влияния поверхностного эффекта можно учесть, применяя вывод формулы расчета сопротивления эквивалентного контура на основе уравнений, распространения плоской электромагнитной волны в проводящей среде [2].

Исходя из ранее исследованных физических процессов, происходящих при отпуске электромагнита (возникающие вихревые токи стремятся сохранить магнитный поток в якоре) подход к выводу и конечная формула расчета сопротивления эквивалентного контура при отпуске отличается от режима срабатывания.

Принимаем, что вихревые токи в якоре и других частях магнитопровода возникают под действием уменьшения только собственного магнитного поля, которое к началу режима отпускания (моменту исчезновения тока в обмотке электромагнита) достигло установившегося значения и все переходные процессы в магнитопроводе завершились.

При моделировании режима отпускания электромагнита также принимаем, что ток в обмотке прерывается мгновенно с установившегося

значения до нуля, т.е. пренебрегаем влиянием переходных процессов в выключателе. Это допущение возможно, т.к. прерывание тока питания электромагнитных исполнительных элементов в автоматизированных системах производится транзисторными ключами, время выключения которых составляет порядка $1 \cdot 10^{-9}$ с., что значительно меньше времени отпущения электромагнита.

Для подтверждения правильности теоретических выводов произведен расчет и сняты осциллограммы тока, потребляемого обмоткой электромагнита в режиме срабатывания и нарастания тока до установившегося значения, а также осциллограмма ЭДС, возникающей в обмотке в режиме отпущения электромагнита (рис.1) со следующими параметрами:

$d = 0,02078$ м; $D_{\Delta} = 0,02198$ м; $D = 0,0404$ м; $l_{\Delta} = 0,0113$ м; $l_{\kappa} = 0,0497$ м;

$\lambda_c = 0,020$ м; $h_{\phi} = 0,0058$ м; $W = 144$; $R = 1,2$ Ом; $\delta = 0,0045$ м.

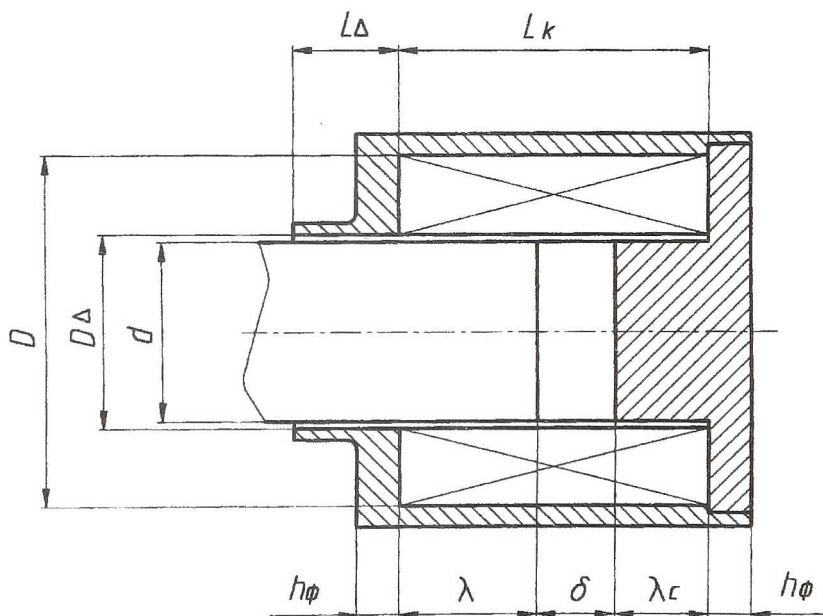


Рис.1. Эскиз электромагнита постоянного тока

Материал магнитопровода – ст 08 кп (удельное сопротивление стали принимаем $0,11$ мкОм·м). С целью уменьшения разброса экспериментальных данных противодействующее усилие создавалось подвешенным за якорь грузом суммарной массой $0,5$ кг. В качестве источника тока использовалась аккумуляторная батарея с ЭДС ($E = 13,0$ В). Изменение

тока в обмотке при срабатывании и возникающей ЭДС при отпускании регистрировалось осциллографом типа Tektronix 11401. Для минимизации времени прерывания тока в обмотке электромагнита выключение тока производилось транзисторным ключом, на базе транзистора КТ847А. Так как время отпущания электромагнита в значительной степени зависит от конечного рабочего воздушного зазора при втянутом

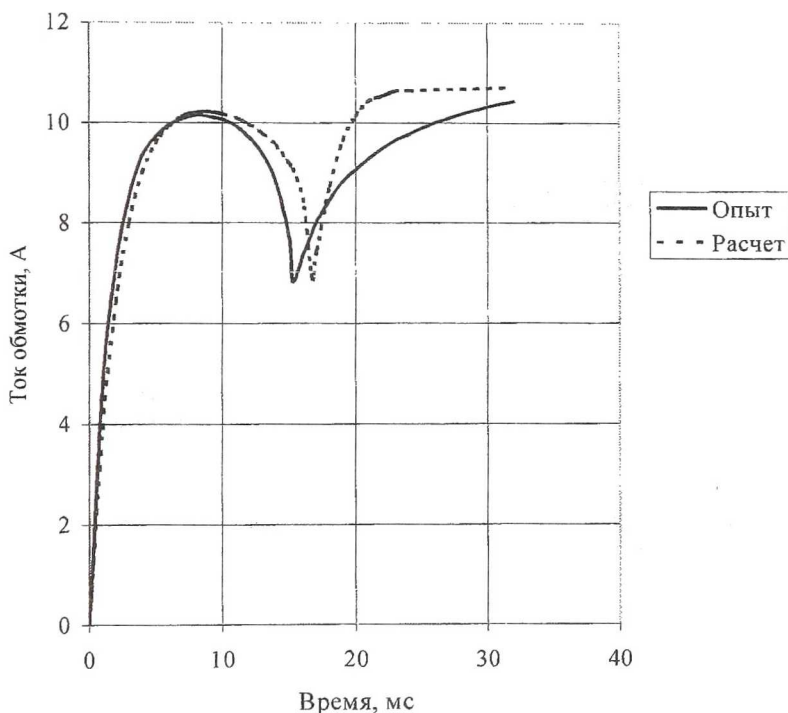


Рис.2. Изменение тока обмотки при срабатывании электромагнита

якорю, величину которого экспериментально определить очень трудно, для расчета принимаем конечный рабочий воздушный зазор равным 0,00005 м.

По результатам расчета изменения ЭДС, возникающей в обмотке в режиме отпущания электромагнита, и экспериментальным данным осциллограммы ЭДС построен график (рис.3). Для наглядности сравнение

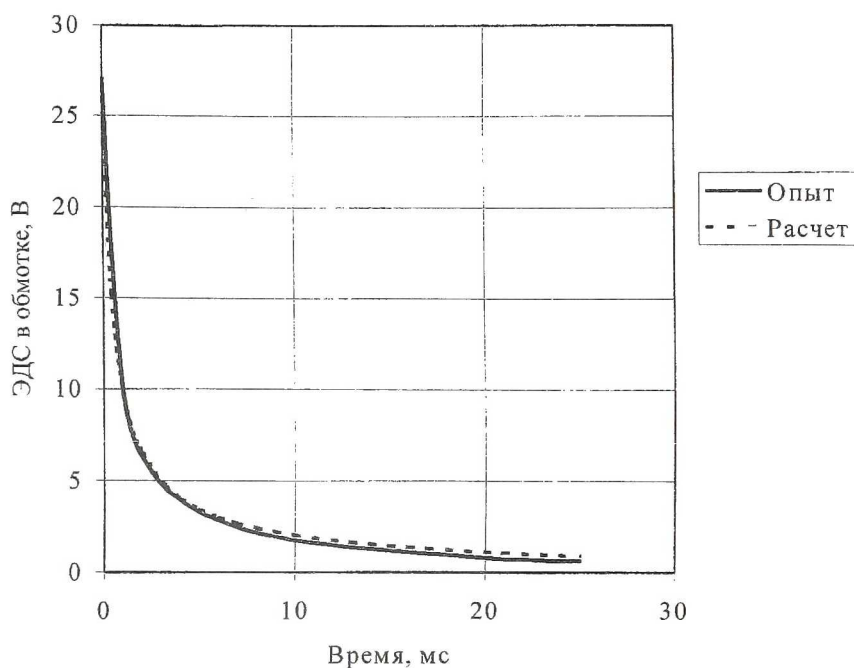


Рис.3. Изменение ЭДС в обмотке при выключении электромагнита

расчетных и экспериментальных данных ограничено начальной ветвью кривой изменения ЭДС в обмотке при выключении электромагнита (от 0 до 25 мс.). Согласно экспериментальным данным, время срабатывания электромагнита составляет 15,24 мс. Расчетное время срабатывания — 16,684 мс. Время отпущания электромагнита 72,5 мс. Расчетная величина времени отпущания — 85,095 мс. Таким образом, погрешность определения времени срабатывания исследуемого электромагнита составляет 9,5%; времени отпущания — 17,4%.

Выводы:

1. При отсутствии математического описания полного цикла работы электромагнита, используемого в качестве исполнительного элемента

в системах управления автомобилей, который включает режим срабатывания, режим нарастания тока до установившегося значения и режим отпускания, невозможно провести полное математическое моделирование работы системы, в которую он входит.

2. Проведенные расчетно-экспериментальные исследования подтверждают возможность использования методики, предложенной в [1], для расчета полного цикла работы втяжного электромагнита.

Список литературы

1. Гаранин А.Ю., Методика расчета динамических характеристик втяжного электромагнита постоянного тока., "Электротехника", № 11, 2001, с. 48-52.
2. Шлегель О.А., Горшков Б.М., Гаранин А.Ю., Попенко В.Н., Учет вихревых токов при расчете динамических характеристик электромагнита постоянного тока. "Электротехника", № 2, 2003, с. 51-54.

СЕТЕВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УЧЕТА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Кривошеев И.А., Ахмедзянов Д.А., Иванова О.Н.

Уфимский государственный авиационный технический университет,
г. Уфа

Современные средства информационных технологий – рабочие среды (FrameWork), управление потоками данных и документов (Work-Flaw), управление данными проектов и параллельного проектирования (PDM) и универсальные CAD/CAM/CAE-системы позволяют организовать системное проектирование двигателей на основе многоуровневого многоаспектного сетевого имитационного моделирования [1,3,4].

Элементы такого моделирования ГТД реализованы в системах DVIgW (Россия, <http://www.ad.ugatu.ac.ru>) [2], Gasturb (Германия, <http://www.gasturb.de>), GSP (Голландия, <http://www.nlr.nl/gsp>) и ГРАД [6]. Однако в этих моделях нет механизмов для учета точности получаемых данных и степени адекватности моделей, которые формируются в этих