

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ '14

Молодежная секция

Сборник докладов
7–11 апреля 2014 г.

Санкт-Петербург
2014

УДК 001.08
3-13

3-13 Завалишинские чтения: молодежная секция. Сб. докл. / СПб.: ГУАП., 2014.
149 с.: ил.
ISBN 978-5-8088-0955-0

Помещенные в сборнике доклады отражают весь спектр направлений научных работ, проводимых факультетом от проектирования отдельных элементов и устройств, технологий их создания, решения вопросов диагностики и разработки прикладного программного обеспечения, до построения сложных систем и комплексов, различных по своему функциональному назначению.

Оргкомитет конференции

- Ю. А. Антохина* – кандидат экономических наук, доцент, ректор ГУАП
А. А. Оводенко – доктор технических наук, профессор, президент ГУАП
Л. И. Чубраева – доктор технических наук, чл.-корр. РАН, директор Института инновационных технологий в электромеханике и энергетике
В. Ф. Шишлаков – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления в технических системах
А. А. Ефимов – доктор технических наук, профессор кафедры управления в технических системах
А. Л. Ронжин – доктор технических наук, профессор кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

ISBN 978-5-8088-0955-0

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2014

УДК 621.313

А. С. Аполиarov

студент кафедры управления в технических системах

В. В. Колесников

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK НА ОСНОВЕ СПЕКТРОВ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ

Асинхронные машины с короткозамкнутым ротором широко используются в современной промышленности из-за их надежности, низкой стоимости и простоты обслуживания. В большинстве случаев неисправности в работе двигателей возникают в обмотках статора и в клетке ротора. Тем не менее, передовыми средствами *on-line* диагностики можно обнаружить неисправности в их начальной фазе до катастрофических аварий на двигателе, которые могут вызвать продолжительные простои времени и огромные затраты в промышленной среде. Около 30–40% дефектов и неисправностей асинхронных машин происходят в обмотках статора, 10% – в роторе, 40% – в подшипниках, а остальные – во вспомогательных устройствах машины [1].

На данный момент для диагностики асинхронных двигателей (АД) в промышленных электроприводах непосредственно в производственном процессе принято два метода: на основе анализа спектра тока и спектра мгновенной мощности. Для использования первого метода необходимы сигналы токов одной или двух фаз статора. Этот метод привлекателен простотой измерения данных. Второй метод требует данных по трем фазам токов и напряжений, является более сложным, однако дает более надежные результаты [2].

Целью работы является создание модели диагностирования дефектов асинхронных машин в среде Matlab/Simulink на основе спектрального анализа мгновенной мощности и годографов вектора Парка.

Идея диагностирования дефектов заключается в следующем. Как известно, мгновенная мощность фазы определяется [3]

$$p(t) = UI \left[\cos \left(2\omega t - \varphi - \frac{\pi}{6} \right) + \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{6} \right) \right],$$

где U , I – действующее значение фазного напряжения и тока, соответственно; ω – круговая частота тока; φ – угол сдвига фаз.

В случае работы без дефекта в спектре мгновенной мощности будет присутствовать только постоянная составляющая и вторая гармоника с частотой питания сети.

При наличии дефекта активная мощность выражается

$$P(t) = P_0 + \frac{MUI}{2} \left\{ \cos \left[(2\omega + \omega_{osc})t - \varphi - \frac{\pi}{6} \right] + \cos \left[(2\omega - \omega_{osc})t - \varphi - \frac{\pi}{6} \right] + 2 \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{6} \right) \cos(\omega_{osc}t) \right\}$$

где P_0 – активная мощность, M – коэффициент модуляции, зависящий от величины дефекта, ω_{osc} – круговая частота вращения в рад/сек.

Как известно из литературы, диагностирование дефектов можно выполнить на основе спектрального анализа мгновенной мощности, либо на основе анализа магнитного поля двигателя, путем построения годографов в d - q осях потокосцеплений статора (ротора), токов и напряжений. Если дефекты в электрической машине отсутствуют, то поле по форме круговое. Поэтому, если d и q составляющие потока подать на выход X и Y графопостроителя, то траектория движения луча на экране представляет собой окружность с центром в начале координат [4, 5]. Наличие дефектов в электрической машине вызывают изменения в ее магнитном поле, оно становится эллиптическим, а при работе от

преобразователя и наличии высших гармоник приобретает сложную форму. Задав заранее величину дефекта, можно промоделировать годографы вектора Парка, соответствующие заданному дефекту. В зависимости от дефекта годограф меняется по форме от окружности до эллипса. Величины осей эллипса, а также угол наклона большей оси эллипса к положительной оси координат X зависит от степени дефекта и сочетания дефектов в фазах. При этом меняется и спектральный состав мгновенной мощности.

При создании модели для диагностирования дефектов асинхронной машины с короткозамкнутым ротором в базовую модель АД [5, 6] добавляем следующие блоки: *3-PhaseBreaker* (имитация обрыва фаз); *3-PhaseFault* (имитация межфазного короткого замыкания и замыкания фазы на землю); четыре блока графопостроителей *XYGraph* (чтобы наблюдать годографы тока и напряжения статора, а так же потокосцепления статора и ротора). Кроме этого с помощью блока *Powergui* (графический интерфейс) проводим гармонический анализ мгновенной мощности фазы. Кривую мощности получаем с помощью блока *Product*, на входы которого через два блока *Selector* поступают сигналы фазных тока и напряжения. На рис.1 приведена разработанная имитационная модель.

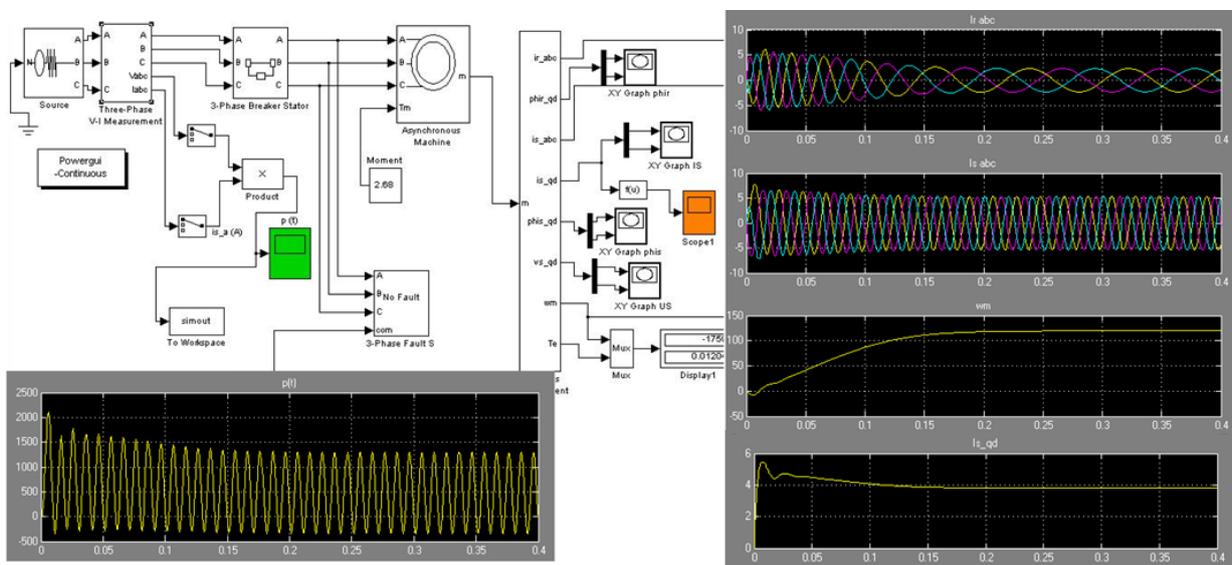


Рис. 1. Модель диагностирования АД при работе без дефекта с осциллограммами токов ротора, статора, частоты вращения, модуля вектора Парка (справа) и мгновенной мощности (слева)

Кроме этого отдельно на рис. 2 приведены годографы и спектр мгновенной мощности фазы А.

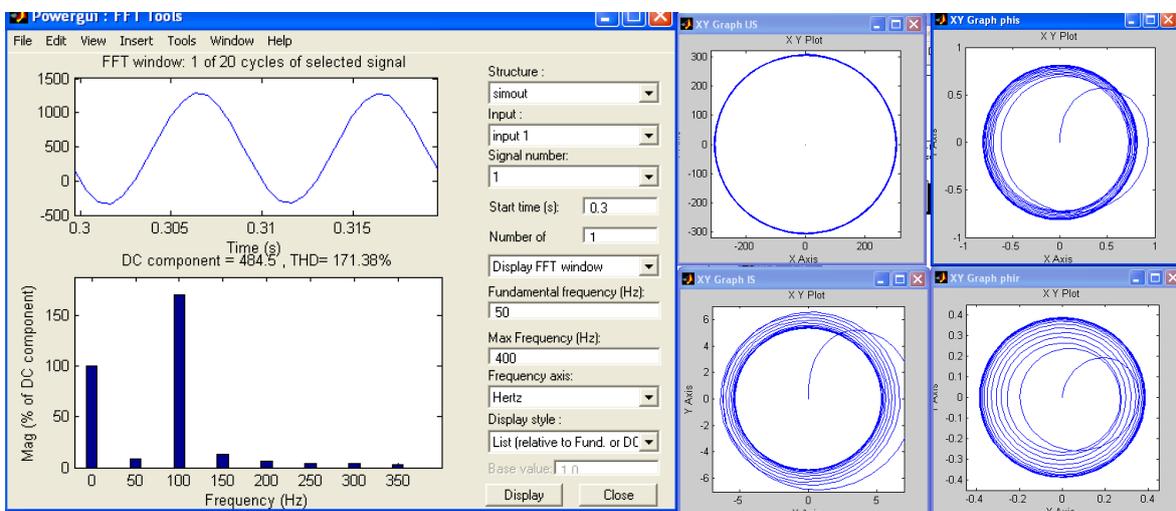


Рис. 2. Спектр мгновенной мощности фазы А и годографы векторов Парка

На основе разработанной модели были промоделированы следующие дефекты: замыкания фаз статора на землю; замыкания фаз между собой. Результаты моделирования были занесены в базу данных, на основе которой можно диагностировать дефекты статора.

На рис. 3, 4 для примера приведены спектры мощности и годографы АД при различных дефектах в обмотках статора.

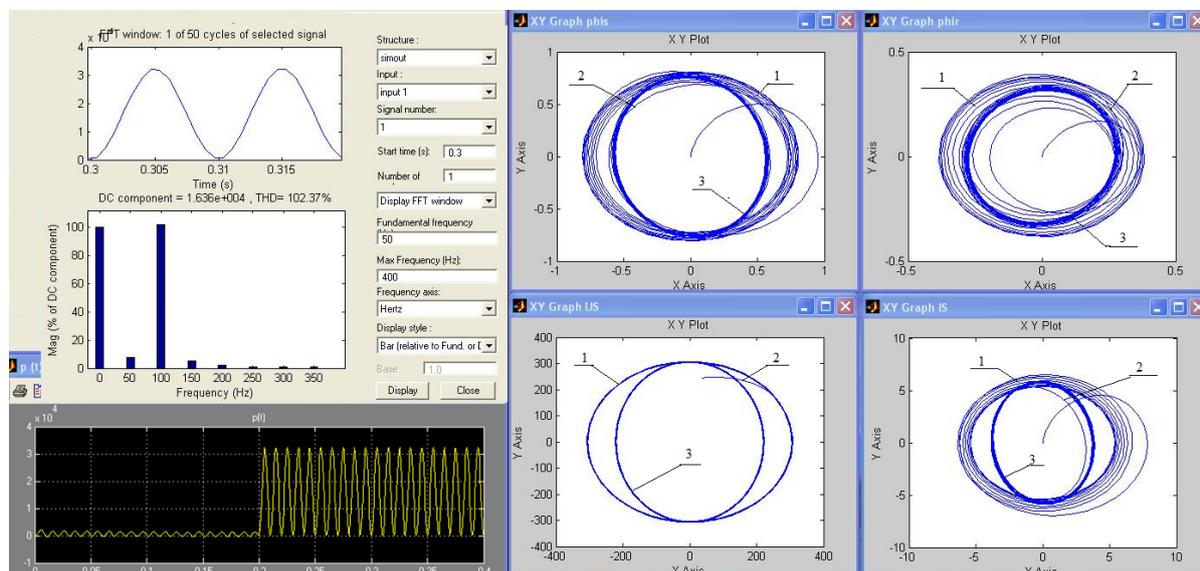


Рис. 3. Спектр мгновенной мощности и годографы векторов Парка при коротком замыкании фазы А на землю

В зависимости от дефекта меняется как форма годографа, так и его спектр. При этом кривые 1 соответствуют годографам при работе без дефекта; 2 – эволюции рабочей точки в переходном режиме; 3 – годографам при работе с дефектом.

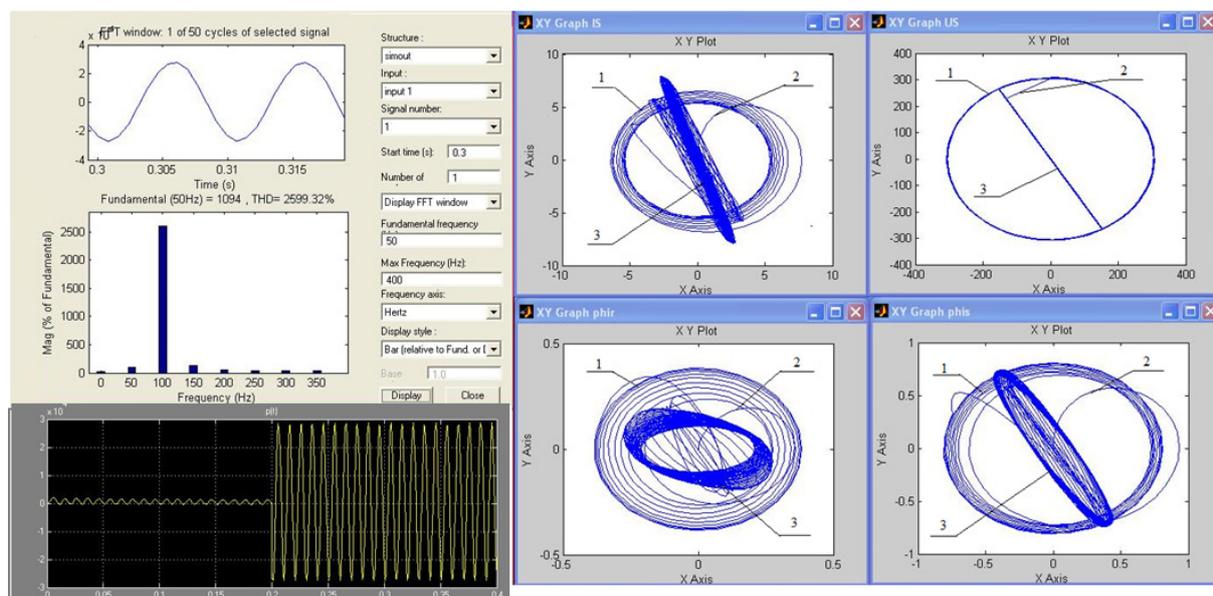


Рис. 4. Спектр мгновенной мощности и годографы векторов Парка при коротком замыкании между фазами А и В

Проанализировав полученные спектрограммы мощности и годографы тока и напряжения, потокосцепления статора и ротора можно сказать что:

- в спектрограмме мгновенной мощности исправного состояния двигателя присутствует постоянная составляющая и вторая гармоника мощности, годографы представляют собой окружность;
- при замыкании одной фазы на землю возрастает только первая гармоника, при этом годографы принимают форму эллипса;
- при коротком замыкании двух фаз *A* и *B* резко возрастает вторая гармоника, при этом годографы имеют форму эллипса, малая ось значительно уменьшена.

Вывод. Данная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором на основе анализа спектров мощности и годографов вектора Парка позволяет точнее моделировать дефекты в обмотках статора, видеть их влияние на работу двигателя.

Библиографический список

- 1 Ciprian H. Wavelet Analysis and Park's Vector Based Condition Monitoring of Induction Machines. / H. Ciprian, L. Szabó // Journal of Computer Science and Control Systems, Vol.4, No 2, 2011, pp 35 -38.
- 2 [http://www.kdu.edu.ua/statti/2012-2-1\(73\)/29.pdf](http://www.kdu.edu.ua/statti/2012-2-1(73)/29.pdf)
- 3 Mohamed El Hachemi Benbouzid. A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection / IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 47, No. 5, 2000, pp 984 -992.
- 4 Колесников В.В. Моделирование вентильных двигателей в среде Matlab / Simulink / В.В. Колесников // Завалишинские чтения'12: Сб. докладов / СПб ГУАП. СПб. 2012. С. 118-122.
- 5 Миронов Р.В. Моделирование дефектов асинхронной машины в среде Matlab / Simulink / Р.В. Миронов, В.В. Колесников // 66 Междун. Студ. н /к ГУАП: Сб. докл в 2ч. Ч1. Технические науки / / СПб ГУАП. СПб. 2013. С..193-196
- 6 Герман-Галкин С. Г., Кардонов Г. А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. – СПб.: Корона принт, 2003. – 256 с.

УДК 658.562.47

В. Г. Бороян

студент кафедры управления в технических системах

Е. В. Сударикова

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Мехатронные системы (МС) представляют собой класс исполнительных устройств. Они обеспечивают повышение надежности и качества формирования выходных механических характеристик исполнительного устройства за счет выполнения ряда функций средствами электроники. Обобщенная функциональная схема МС приведена на рис. 1.

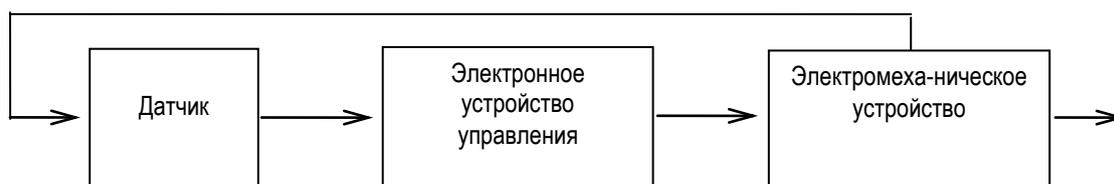


Рис. 1. Функциональная схема МС

МС широко используются в качестве измерительных, исполнительных, регулирующих, программирующих и других органов, обеспечивая работоспособность информационных и измерительных систем, систем связи и автоматического управления, роботомеханизированных систем, систем автоматического управления технологическими процессами и др.

Условия эксплуатации МС разнообразны. Однако общее требование уменьшения габаритных размеров и массы МС приводит к постоянному ужесточению и усложнению режимов их работы по нагрузкам, скоростям, вибрациям и ряду других воздействий. Одновременно с этим неуклонно растут и требования к надежности.

Для МС, и особенно МС малой мощности, характерно большое разнообразие типов и их конструктивных исполнений. Каждая конструкция имеет свои особенности, свои слабые звенья и поэтому требует своего особого подхода при проектировании, расчете надежности и проведении испытаний. В качестве примера рассматривается МС, входящая в состав промышленного робота.

Ее электромеханический блок (ЭМБ) и электронное устройство управления (ЭУУ) конструктивно выполнены в виде отдельных блоков, что упрощает анализ надежности. Эскиз конструкции ЭМБ приведен на рис. 2, блок-схема силовой цепи ЭУУ, управляющей работой ЭМБ, представлена на рис. 3.

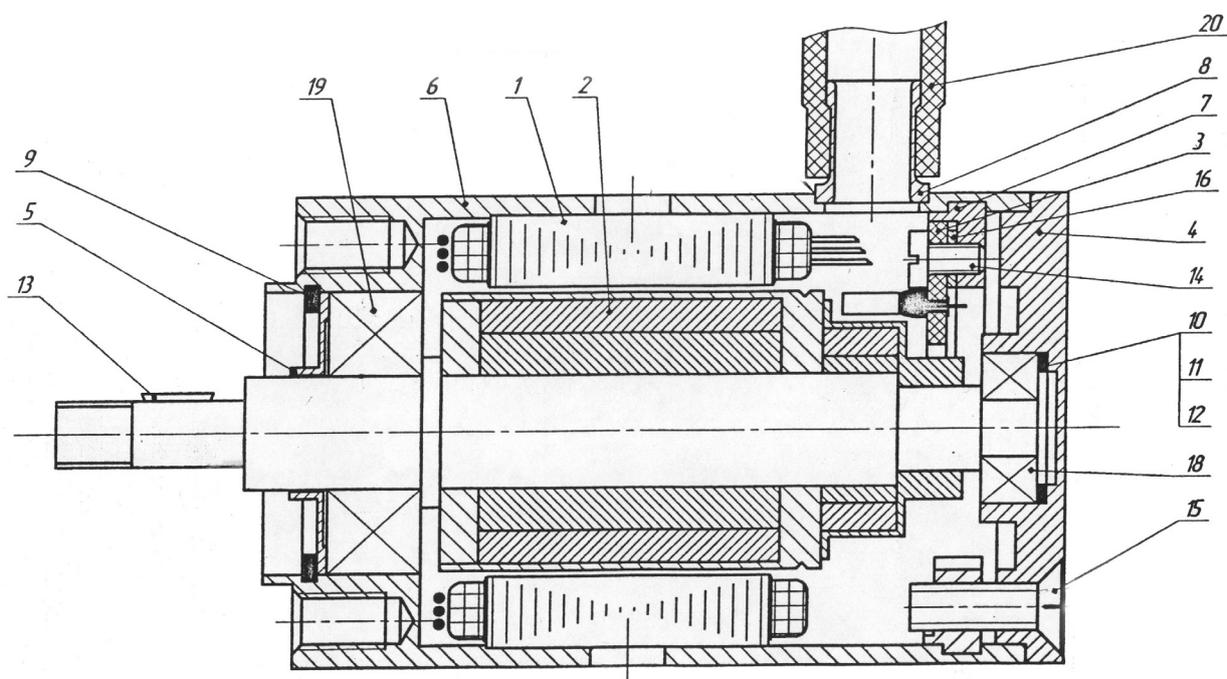


Рис. 2. Эскиз конструкции ЭМБ МС:

- 1 – статор; 2 – ротор; 3 – плата датчика; 4 – задний щит; 5 – крышка; 6 – корпус; 7 – сухарь; 8 – штуцер;
 9 – кольцо; 10, 11, 12 – шайбы; 13 – шпонка; 14, 15 – винты; 16 – шайба; 17 – розетка;
 18 – ШП (3×8×3); 19 – ШП (6×15×5); 20 – трубка; 21 – вал

Коллекторных щеток эта МС не имеет, что выгодно отражается на ее надежности. В рассматриваемой МС ЭУУ выполняет те же функции, что и коллекторно-щеточный узел в обычных двигателях постоянного тока, т.е. изменяет направление тока в проводниках секций обмотки якоря при переходе из зоны действия полюса одной полярности в зону действия другой полярности. За счет этого вращающий момент, создаваемый током, протекающим в секции, всегда сохраняет одно и то же направление.

Принцип работы МС состоит в следующем. Фазы статорной обмотки подключены к источнику постоянного тока через силовые ключи ЭУУ, управляемые по сигналам датчика положения ротора (ДПР), рис. 3.

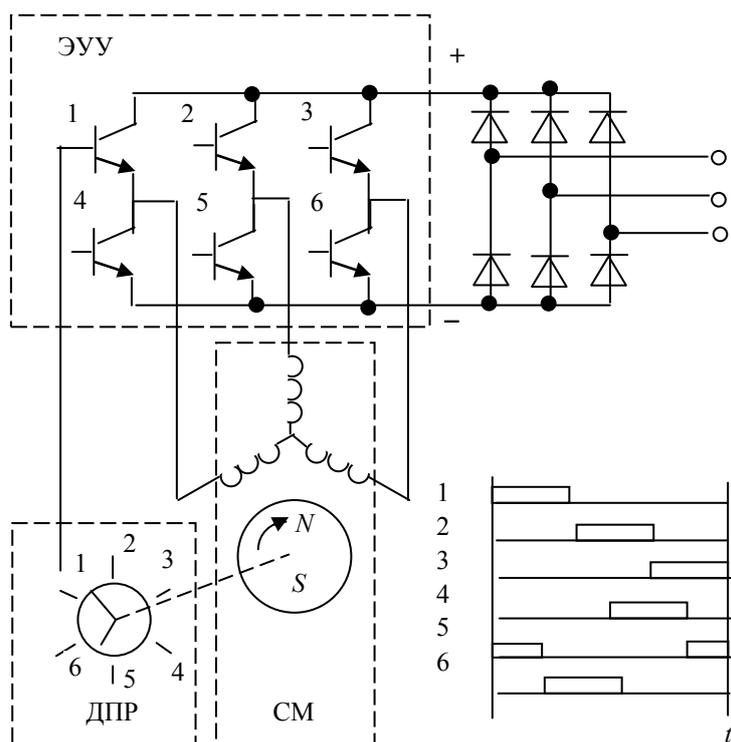


Рис. 3. Блок-схема силовой цепи МС

В ЭМБ с постоянными магнитами наибольшее распространение получила трехфазная обмотка, соединенная звездой. Чувствительные элементы 1–6 ДПР при его вращении осуществляют включение транзисторных ключей ЭУУ. Последовательно включенные ключи 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6, образующие так называемые стойки, работают в противофазе. В целях исключения сквозных токов через стойку сигнальный сектор ДПР принят равным 120° . Таким образом, в любой момент времени работают две фазы, а ток в фазах обмотки реверсируется в те моменты, когда ротор поворачивается на 180° относительно предыдущего положения той же фазы. При изменении положения ротора и заданной последовательности работы ключей обеспечивается однонаправленный вращающий момент двигателя. Изменение направления вращения обеспечивается путем переключения входных цепей силовых ключей каждой стойки. Другой путь реверсирования двигателя заключается в переключении начала и конца каждой фазы.

По своей структуре МС является сложным изделием. К основным узлам МС относятся: обмоточные, ДПР, опорный, преобразовательный (ЭУУ). Элементы этих узлов работают в различных динамических условиях, а протекающие в них процессы деградации имеют разную физическую природу и разные скорости. При этом деградационные процессы, протекающие в каждом из элементов, не интенсифицируют процессов деградации остальных элементов изделия. Поэтому МС можно рассматривать как систему, состоящую из не связанных по критерию надежности элементов. Элементы, главным образом лимитирующие работоспособность изделия в целом, называются «слабыми» [1].

«Слабыми» элементами МС традиционно считаются шариковые подшипники (ШП) ЭМБ и транзисторы силовых транзисторных ключей ЭУУ. Как правило, именно они характеризуются наиболее напряженными условиями работы и наиболее подвержены деградационным процессам, определяющим ресурсные отказы МС в целом.

На разброс надежности ШП узлов ЭМБ МС (рис. 2) большое влияние оказывают погрешности изготовления вала 21, корпуса 6, крышки 5, заднего щита 4, кольца 9, шайб 10–12. Наследственные погрешности изготовления этих деталей часто оказываются соизмеримыми с допусками, исчисляемыми несколькими микрометрами.

Исключительно большое значение для надежности ШП узлов МС имеют погрешности при сборке [2]. К ним относятся: перекосы колец ШП из-за непараллельности и перпендикулярности посадочных мест, изменение формы беговых дорожек при посадке, неправильный выбор величины зазора или натяга, ошибки при выборе количества вводимой в ШП смазки. Закрепление винтами 15 заднего щита 4 приводит к возникновению погрешностей формы опорных поверхностей, что также вызывает искажения дорожек качения ШП. Потеря точности деталей на сборке является закономерной. Величина радиального биения вала 21 может определяться, в том числе, изменением формы оси вала 21 из-за непараллельности торцов собираемых на нем деталей.

Все погрешности изготовления и сборки МС сказываются на техническом состоянии и режимах работы ее ШП, определяя разброс параметров надежности. Как показывает анализ статистики ресурсных отказов, именно опоры вращения являются наименее надежными элементами ЭМБ МС.

Надежностные свойства ЭУУ обусловлены свойствами материалов электрорадиоизделий (в том числе количеством посторонних примесей, степенью загрязненности поверхности кристаллов и другими дефектами), старением материалов и действующими тепловыми и повышенными электрическими нагрузками.

В ЭУУ наиболее нагруженными являются элементы в силовых цепях, формирующих токи и напряжения для ЭМБ. Для МС с силовой частью ЭУУ на транзисторах (рис. 3) таким элементом является транзистор силового транзисторного ключа. Как следует из таблицы [3], именно транзистор по сравнению с другими элементами ЭУУ обладает наименьшей надежностью.

Таблица

Значение интенсивности отказов элементов ЭУУ на транзисторах

Наименование элементов	$\lambda, 10^{-6} 1/ч$
резисторы	0,040
конденсаторы керамические	0,150
конденсаторы электролитические	0,135
диоды кремниевые	0,200
транзисторы германиевые	0,900
транзисторы кремниевые	0,500
трансформаторы импульсные	0,170

Таким образом, МС является сложным изделием, и ее надежность зависит от надежности ее основных частей – магнитной системы, обмоток статора и ротора, подшипников, коллектора или контактных колец, щеточного устройства, электрорадиоизделий. Выход из строя любой из этих частей приводит к отказу в работе МС. При этом отказу обычно предшествуют внутренние изменения в МС, как-то: возрастание потерь, температуры нагрева, потребляемой мощности и т.д.

Опыт показывает, что даже наилучшие конструкции МС, совершенная технология их изготовления и правильная эксплуатация не исключают полностью возникновения отказов в работе [4].

Библиографический список

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10-ти т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1988. Т. 5.: Проектный анализ надежности / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. 316 с.
2. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. 223 с.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10-ти т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1990. Т. 10.: Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности / Под ред. В.А. Кузнецова. 336 с.
4. Гондуров С.А., Захаров О.Г. Определение наработки на отказ по результатам эксплуатации. // Вести в электроэнергетике, №1, 2010, С. 22.

УДК 621.313.019.3

В. Г. Бороян

студент кафедры управления в технических системах

Е. В. Сударикова

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

ИСПЫТАНИЯ ОБМОТОК МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА НА НАДЕЖНОСТЬ

Мехатронная система (МС) является исполнительным устройством промышленного робота, обладающим высоким качеством формирования выходных механических характеристик. Надежность МС в значительной степени определяется надежностью ее обмоток, которая, в свою очередь, зависит от состояния их изоляции. Последняя работает в сложных, часто неблагоприятных условиях.

При эксплуатации промышленного робота на изоляцию обмоток МС одновременно воздействуют электрические (напряжение, ток), тепловые (нагрев), механические (вибрация, удары) и другие нагрузки. Они вызывают в изоляции возникновение соответствующих процессов старения: электрического, теплового, механического [1]. Проникающая из окружающей среды влага также обуславливает старение изоляции и значительно уменьшает сопротивление обмоток. Старение изоляции выражается в ухудшении ее электрофизических характеристик, ограничивая срок ее службы.

Кроме процессов старения, ухудшение качества изоляции в процессе эксплуатации также может быть обусловлено ее технологическими дефектами (так называемая «неоднородность изоляции» – вмятины, морщины и др.), а также качеством намотки.

Основной характеристикой изоляции, определяющей надежность работы МС, является ее электрическая прочность – напряжение, по достижении которого происходит пробой изоляции [1].

При выходе МС с завода-изготовителя или после их ремонта они подвергаются испытаниям на электрическую прочность изоляции путем приложения испытательного напряжения между токоведущими частями и между токоведущими частями и корпусом. Это напряжение несколько ниже пробивного, но значительно превышает номинальное рабочее, и при его приложении не должен наступать пробой изоляции.

Испытания могут быть непрерывными или циклическими. В первом случае на протяжении всего периода испытаний, вплоть до отказа, образцы находятся под стабильной нагрузкой. При циклических испытаниях образцы периодически подвергаются воздействиям всех основных видов нагрузок [2]. Т.к. одновременное воспроизведение нагрузок практически затруднительно, испытываемые МС подвергаются воздействиям различных факторов последовательно, причем каждый из циклов включает все виды воздействий.

Далее предлагается один из возможных способов проведения контрольных испытаний обмоток МС на надежность (безотказность и/или долговечность). Испытания являются циклическими и проводятся в нормальном режиме (не являются ускоренными) на всех образцах выборки.

При испытаниях на безотказность их целью является определение средней наработки до отказа и вероятности безотказной работы изоляционной конструкции или готового изделия при определенной температуре и заданном уровне прочих воздействий. Цель испытаний на долговечность – определение среднего ресурса обмоток при заданных эксплуатационных нагрузках.

Объектами испытаний являются макеты обмоток и натурные образцы МС или – при соответствующем конструктивном исполнении – натурные образцы их электромеханического блока (ЭМБ). В качестве макетов обмоток используются макеты роторов и статоров, выполненные из материалов, указанных в технической документации (ТД) на изделие, но с низким классом точности, и намотанные проводом в соответствии с требованиями ТД. Испытания макетов дешевле и проще, но дают менее ценные для определения надежности сведения, чем испытания ЭМБ в целом, т.к. поведение изоляционных материалов в эксплуатации зависит от условий их применения. Поэтому макеты и натурные об-

разцы испытываются параллельно.

Объем выделяемой на испытания выборки определяется по ТД на изделие. Например, методом случайного отбора формируется выборка из 60 макетов (30 макетов роторов и 30 макетов статоров) и 15 натуральных образцов.

Подготовка объектов испытаний проводится в соответствии с ТД на изделие, например, следующим образом.

– собранные (намотанные) макеты обмоток пропитывают лаком или компаундом и при необходимости покрывают эмалью. Марки провода и пропиточного лака, вязкость и концентрация лака и покровной эмали, количество пропиток и покрытий и их режимы, а также режимы сушки должны соответствовать применяемым при изготовлении МС данного типа. До начала испытаний изоляцию макетов проверяют повышенным напряжением заданной частоты в течение заданного времени (например, 1 мин.);

– ЭМБ МС для испытаний изготавливаются по принятой технологии, причем в их ШП закладывается нагревостойкая смазка. До начала испытаний на надежность изоляцию ЭМБ подвергают установленным для нее проверкам (производится внешний осмотр обмоток, проверяется идентичность сопротивлений фаз и измеряется сопротивление изоляции) и испытаниям повышенным напряжением. МС проходят обкатку в течение 2–3 часов на холостом ходу в режиме реверсов или пусков-остановов.

В качестве воздействующих факторов испытаний выбраны: температура, вибрация, влажность и электрическое напряжение. Основным воздействием служит нагрев, и испытания проводятся при повышенных температурах по сравнению с длительно допустимой для данного класса изоляции.

Испытания проводятся при нескольких различных температурах, которые отличаются друг от друга не менее чем на 20 °С. При этом наименьшая испытательная температура должна быть на 15–30 °С выше предельной допустимой температуры предполагаемого для изоляции класса нагревостойкости [3]. Например, испытательные температуры составляют: 130, 150, 180 °С.

Испытания являются циклическими. На каждом цикле образцы подвергаются воздействию всех факторов (температуры, вибрации, влажности, электрического напряжения). Испытательные температуры и длительность их воздействия в каждом цикле рассчитываются так, чтобы старение изоляции во всех циклах было примерно одинаковым.

На каждом цикле испытаний перед началом воздействия каждого из факторов испытаний для всех образцов выборки проводится измерение контролируемых параметров изоляции и параметров-критериев работоспособности МС. Например, для макетов измеряются сопротивление между проводниками и между корпусом и катушкой. В качестве параметров-критериев работоспособности МС используются, например, напряжение питания, потребляемый ток, частота вращения. Предельные значения контролируемых параметров обмоток и параметры-критерии работоспособности МС определены в ТД на конкретный тип МС.

Режим испытаний – нормальный, устанавливается на каждом цикле испытаний в соответствии с методикой и одинаково для всей выборки.

Один цикл испытаний принимается равным приблизительно 0,1 ожидаемого ресурса и заключается в следующем.

1. *Воздействие температуры.*

Для теплового старения объекты испытаний помещаются в предварительно нагретые до необходимых температур (например, 130, 150, 180 °С) три камеры тепла и влаги, по 10 макетов роторов и статоров и 5 натуральных образцов в каждый. Продолжительность цикла теплового старения определяется по специальным таблицам в зависимости от класса нагревостойкости материала [1]. Например, для температуры 130 °С – 17 суток, 150 °С – 6 суток, 180 °С – 1 сутки.

По окончании цикла макеты (по 10 штук роторов и статоров) и натурные образцы (по 5 штук) извлекаются из каждой камеры тепла и влаги без предварительного охлаждения – т.о. изоляция макетов подвергается тепловым ударам. Для всех объектов испытаний проводится измерение параметров изоляции и параметров-критериев работоспособности МС. Результаты фиксируются в протоколе испытаний.

2. *Воздействие вибрации.*

2.1. После теплового старения макеты закрепляются на вибростенде и подвергаются воздействию вибрации с постоянной частотой (например, 20–50 Гц) при заданном ускорении (например, 1,5 g) в течение заданного времени (например, 1 ч). Направление вибрации должно быть перпендикулярно плоскости катушек макетов. По окончании вибрационного воздействия макеты снимаются с вибростенда.

2.2. Натурные образцы подключаются к источнику питания и выдерживаются во включенном состоянии при номинальном напряжении питания в течение заданного времени (например, 2 ч).

Для всех объектов испытаний проводится измерение параметров изоляции и параметров критериев работоспособности МС. Результаты фиксируются в протоколе испытаний.

3. *Воздействие влажности.*

Объекты испытаний помещаются в три камеры тепла и влаги. Режим увлажнения (относительная влажность, температура, продолжительность воздействия) определяются исполнениями и категориями МС в соответствии со стандартами или по ТД на изделие. Например, при температуре 130°C и относительной влажности 95% объекты испытаний выдерживают 8 часов, при 150°C и относительной влажности 90% – 4 часа, при 180°C и 85% – 1 час.

Для всех объектов испытаний проводится измерение параметров изоляции и параметров критериев работоспособности МС. Результаты фиксируются в протоколе испытаний.

4. *Воздействие электрического напряжения.*

После увлажнения все объекты испытаний находятся в камерах тепла и влаги, где подвергаются испытанию напряжением. Частота испытательного напряжения должна соответствовать ТД на изделие.

4.1. Для макетов устанавливаются две величины испытательных напряжений: (1) между проводниками и (2) относительно корпуса и между катушками. Они не должны превышать максимально возможных, установленных в ТД соответствующих значений, более чем на 10%. Регулирование испытательного напряжения производится плавно или мелкими ступенями. Например, испытание начинается с напряжения, равного 1/3 испытательного напряжения. Время подъема напряжения от половинного до полного значения – 10 с. Полное испытательное напряжение выдерживается: между параллельными проводами – 1 мин, для остальных элементов конструкции – 10 мин. Затем напряжение плавно снижается до 1/3 его значения; питание отключается.

4.2. Для натуральных образцов величина испытательного напряжения устанавливается максимально возможной в соответствии с ТД на изделие. Образцы испытываются в режиме пусков-остановов на холостом ходу или в режиме реверсов. Количество реверсов или пусков-остановов должно составлять 1/10 числа реверсов или пусков-остановов, нормированного для расчетного ресурса МС данного типа.

Для всех объектов испытаний проводится измерение параметров изоляции и параметров критериев работоспособности МС. Результаты фиксируются в протоколе испытаний.

5. Проводится новый цикл испытаний в соответствии с пп. 1–4. В качестве критерия завершения испытаний принят выход из строя всех образцов, фиксируемый по результатам испытания напряжением. При этом выходом из строя считается первый отказ любой части конструкции.

По окончании испытаний рассчитываются показатели надежности выборки.

При испытаниях на безотказность определяются средняя наработка до отказа и вероятность безотказной работы изоляционной конструкции или натурального образца при определенной температуре и заданном уровне прочих воздействий. Показатели рассчитываются для макетов роторов, макетов статоров и натуральных образцов по отдельности.

Средняя наработка до отказа определяется как математическое ожидание наработки объекта до первого отказа

$$T_{\text{ср}}^{\text{отк}} \Big|_{\theta=\theta_k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i^{\text{отк}} \Big|_{\theta=\theta_k} \quad [\text{ч}],$$

где $T_{\text{ср}}^{\text{отк}}|_{\theta=\theta_k}$ – средняя наработка объекта испытаний до отказа при температуре $\theta = \theta_k$, $k = 1, 2, 3$;

$T_i^{\text{отк}}|_{\theta=\theta_k}$ – наработка i -го испытанного образца при температуре $\theta = \theta_k$ до первого отказа; N – число испытанных образцов ($N=10$ – число макетов; $N=5$ – натуральных образцов).

Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет. Для случая постоянной интенсивности отказов $\lambda|_{\theta=\theta_k} \approx \text{const}$ средняя наработка до отказа $T_{\text{ср}}^{\text{отк}}|_{\theta=\theta_k} = \frac{1}{\lambda|_{\theta=\theta_k}}$. Вероятность безотказной работы объекта в течение заданной наработки t определяется как

$$P(t)|_{\theta=\theta_k} = e^{-\frac{t}{T_{\text{ср}}^{\text{отк}}|_{\theta=\theta_k}}} \text{ [безразмерн.]}$$

При испытаниях на долговечность определяется средний ресурс обмоток при заданных эксплуатационных нагрузках.

Ресурс испытанного образца определяется как суммарное время воздействия данной испытательной температуры во всех циклах испытаний до выхода образца из строя. Для выборки средний ресурс обмоток при данной температуре определяется как среднее арифметическое ресурсов отдельных образцов

$$T_{\text{ср}}|_{\theta=\theta_k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i|_{\theta=\theta_k},$$

где $T_{\text{ср}}|_{\theta=\theta_k}$ – средний ресурс объекта испытаний при температуре $\theta = \theta_k$, $k = 1, 2, 3$; $T_i|_{\theta=\theta_k}$ – ресурс i -го испытанного образца при температуре $\theta = \theta_k$; N – число испытанных образцов ($N=10$ – число макетов; $N=5$ – натуральных образцов).

При этом средний ресурс для макетов роторов, макетов статоров и для натуральных образцов определяются по отдельности.

По результатам контрольных испытаний выборки делается заключение о надежности (безотказности и/или долговечности) всей партии.

Библиографический список

1. Ермолин Н.П. Надёжность электрических машин / Н.П. Ермолин, И.П. Жерихин. Л.: Энергия, 1976. 248 с.
2. Надёжность и эффективность в технике: Справочник в 10-ти т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1989. Т. 6.: Экспериментальная отработка и испытания / Под общ. ред. Р.С. Судакова, О.И. Тескина. 376 с.
3. Егорова О.Ю., Егоров А.Б. К вопросу определения текущего остаточного ресурса изоляции электрических машин / Технические науки – от теории к практике. № 11 (24): сборник статей по материалам XXVIII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. С. 126-132.

УДК 681.5

Д. В. Василюк

студент кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНОЙ ПОДВЕСКОЙ АВТОМОБИЛЯ

Активная подвеска автомобиля управляет вертикальным перемещением колес относительно кузова. Система позволяет уменьшить до минимума крен кузова в стационарных (равномерное, прямолинейное движение) и нестационарных (разгон, торможение, поворот, буксировка прицепа) режимах движения автомобиля [1, 2]. Эта технология позволяет производителям повысить уровень комфорта в автомобиле для различных типов дорог без ущерба для управляемости. Подвеска автомобиля выполняет одновременно несколько важных функций, от ее конструкции и рабочих характеристик зависят управляемость, устойчивость, плавность хода и другие свойства автомобиля, определяющие его безопасность, комфортность, надежность и экономичность.

В качестве объекта управления (ОУ) (рис. 1,а) для моделирования процесса адаптивного управления была разработана программная модель подвески одного колеса автомобиля. Можно отказаться от модели автомобиля с четырьмя колесами, поскольку при таких предполагаемых параметрах управления (сравнительно слабые воздействия на подвеску, высокое быстродействие ~ 0.01 с) управление по каждому из колес можно полагать независимым.

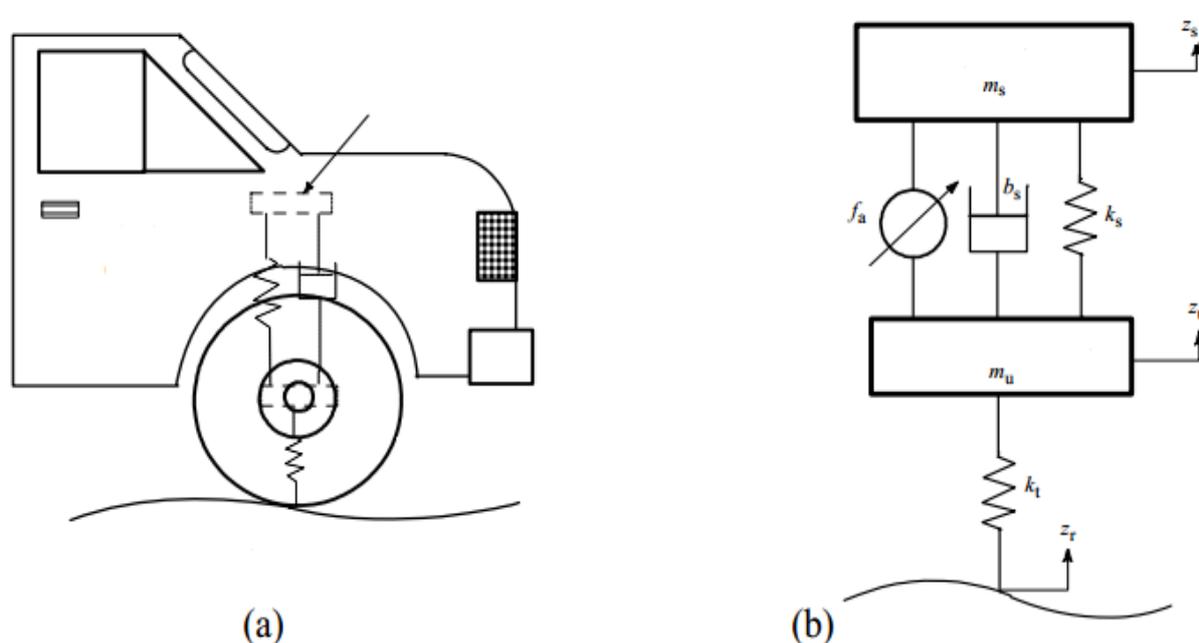


Рис. 1. Описание активной подвески автомобиля

Объект можно описать следующей системой уравнений (рис. 1,б):

$$\begin{cases} m_s \ddot{z}_s = -k_s(z_s - z_u) - b_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + u, \\ m_u \ddot{z}_u = k_s(z_s - z_u) + b_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) - k_t(z_u - g) - u. \end{cases}$$

где m_s и m_u – массы кузова и колеса; z_s , z_u и g – вертикальное перемещение кузова, колеса и дороги соответственно; k_s – коэффициент жесткости пружины; k_t – коэффициент жесткости колеса; u – управляющее воздействие.

При моделировании были приняты следующие параметры объекта: $m_s = 290$ кг, $k_t = 49$ Н/м, $k_s = 16,812$ Н/м, $m_u = 59$ кг, $b_s = 1$ Н/м/с.

С помощью пакета Simulink соберем математическую модель активной подвески (рис. 2):

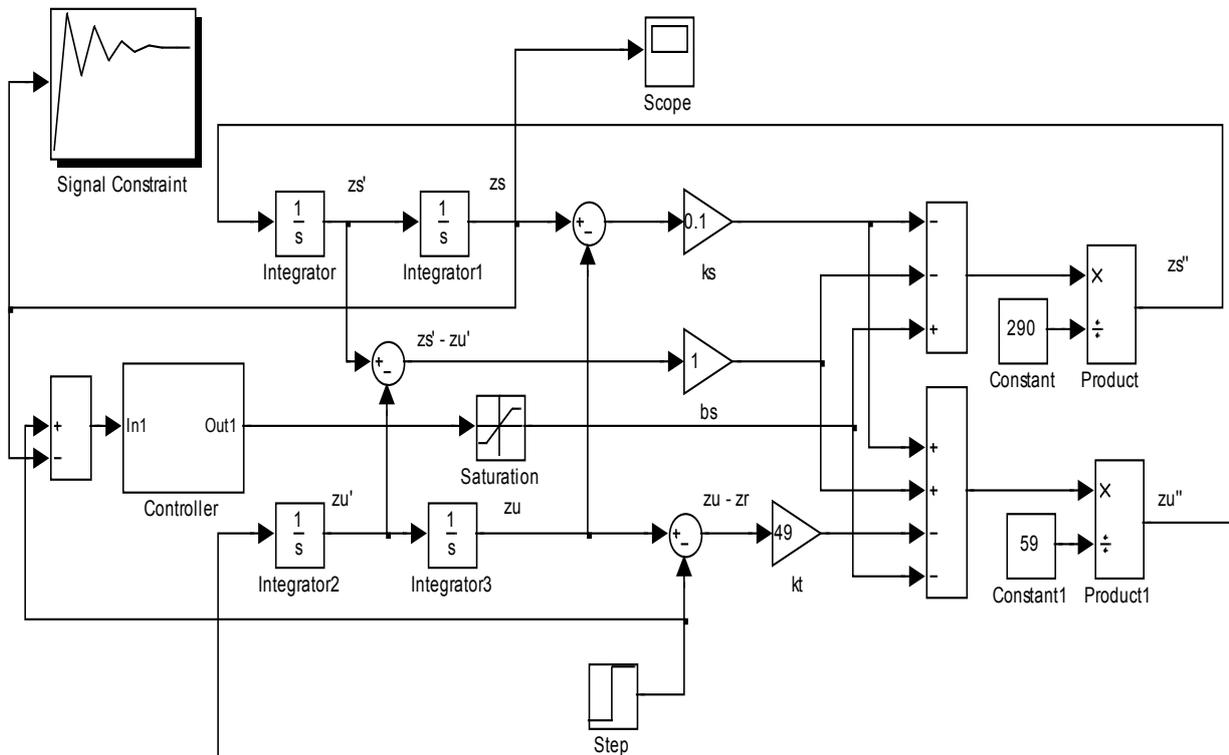


Рис. 2. Блок-схема системы управления активной подвеской автомобиля в Simulink/MatLab

Для управления активной подвеской был использован ПИД-регулятор, параметры которого были оптимизированы с помощью утилиты SimulinkResponseOptimization.

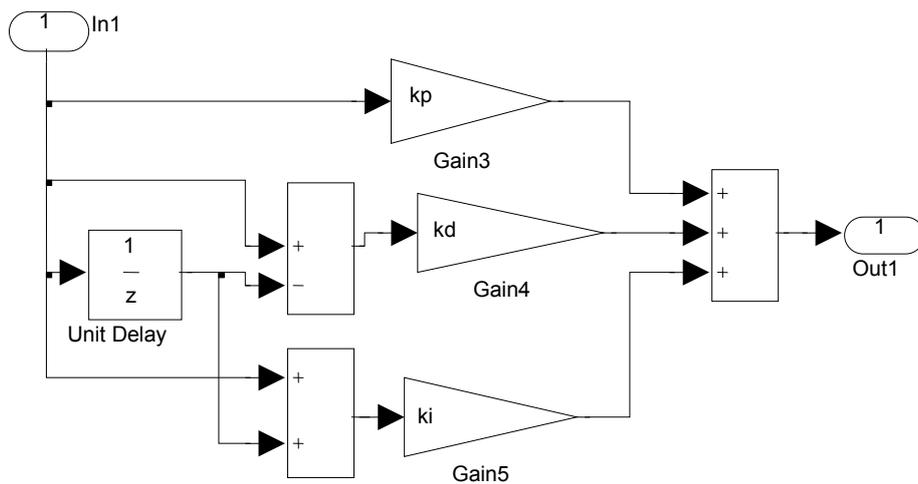


Рис. 3. Цифровой ПИД-регулятор активной подвески

На рис. 3 и 4 представлены графики переходных процессов в системе при подаче на вход единичного скачка.

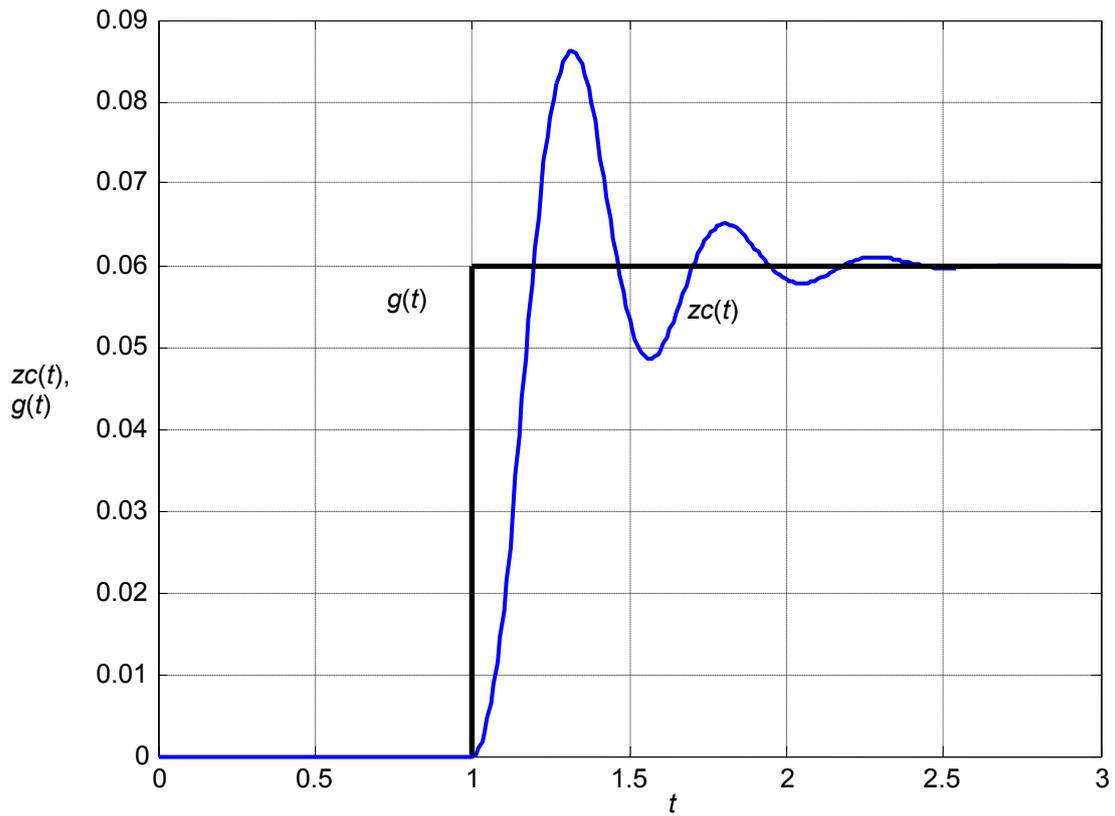


Рис. 4. Переходный процесс при управлении активной подвеской

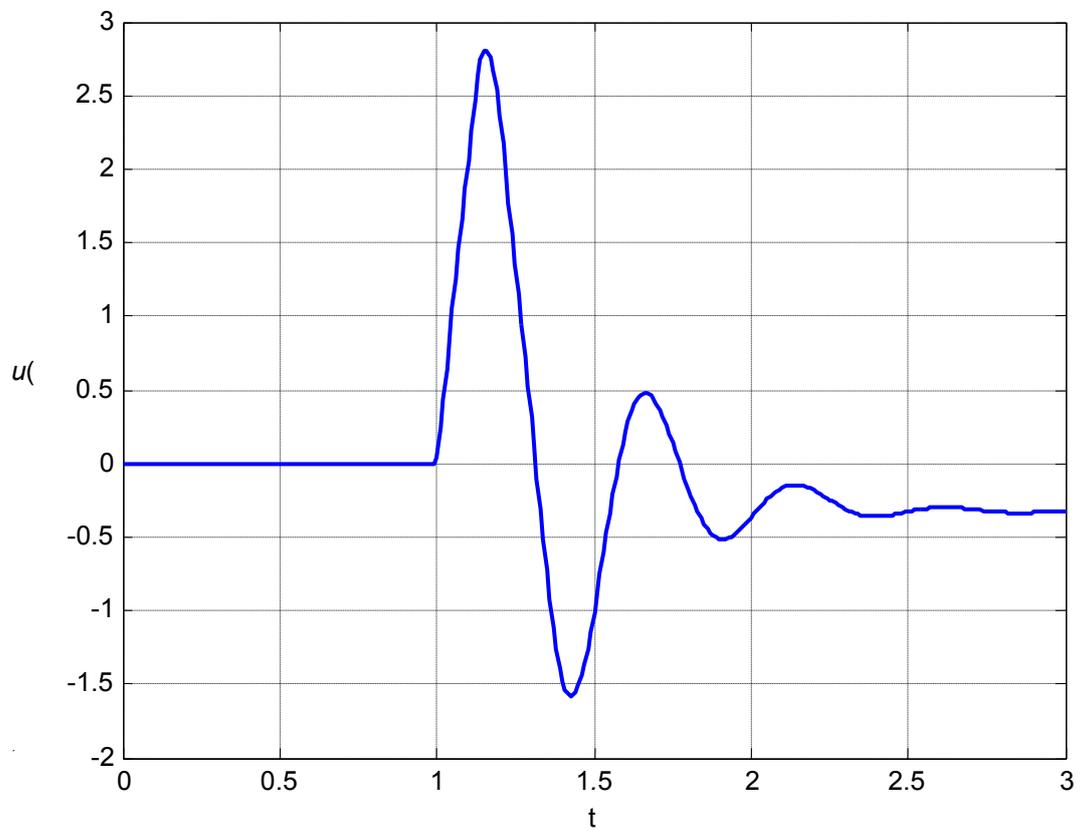


Рис. 5. Сигнал управления

Результаты моделирования подтверждают преимущество использования активной подвески автомобиля, поскольку для пассивного варианта подвести переходные процессы продолжаются значительно дольше.

Дальнейшее развитие системы управления активной подвеской может использовать следующие факторы:

- качество работы может быть повышено за счет использования нелинейного закона управления, который может быть реализован на базе нечеткой логики;
- математическая модель может быть уточнена за счет учета ряда факторов – трение, создаваемое колесом и дорожным покрытием, скорость движения автомобиля и т.д.

Библиографический список

1. Chen, H.Y.; Huang, H.J.(2005). Adaptive sliding controller for active suspension system, *Proceedings of International Conference on Control and Automation*, Vol. 1, 282-287.
2. Жданов А.А., Норкин Н.А., Гуриев М.А. Некоторые практические приложения метода автономного адаптивного управления // Сб. научн. тр. Искусственный интеллект в технических системах. Вып. № 19.- М.: Гос.ИФТП. 1998. С. 72-99.

УДК 621.326

В. А. Волкодаев

студент кафедры управления в технических системах

В. С. Акопов

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

УПРАВЛЕНИЕ ДОРОЖНЫМ ПРОСВЕТОМ АВТОМОБИЛЯ

Любой автолюбитель, желающий купить автомобиль, должен решить, какой автомобиль ему нужен: скоростной и экономичный автомобиль для езды по шоссе; джип для езды по бездорожью или нужен автомобиль, занимающий среднее положение между первыми двумя категориями автомобилей.

Предназначенный одновременно для езды по дорогам и по бездорожью автомобиль – это звучит как «квадратура круга». Обычно настоящие внедорожники сильно уступают простым легковым автомобилям на асфальте. Во всем виноваты так необходимые на бездорожье большой дорожный просвет и высокий центр тяжести.

Эти качества не совместимы с быстрым прохождением поворотов и курсовой устойчивостью на высоких скоростях. Ситуацию усугубляет большое аэродинамическое сопротивление, обуславливающее высокий расход топлива. С другой стороны, малые ходы подвески и ее «жесткая» легковая настройка не позволяют применять легковой автомобиль на бездорожье.

Регулировка дорожного просвета (клиренса) решает это противоречие. Вседорожное применение обеспечивает четырехуровневая пневмоподвеска.

Клиренсом автомобиля является просвет между самой нижней точкой кузова и дорожным полотном. Дорожный просвет обычно указывается в миллиметрах. Иногда указывают два значения – просвет под передней осью и под задней, в случае переднеприводного автомобиля эти значения более или менее близки. Изменение клиренса осуществляется за счет изменение высоты подвески. Подвески бывают разных типов.

В целом, все подвески делятся на два больших типа, имеющих принципиально различный характер работы – зависимые и независимые [1].

В зависимой подвеске, приведенной на рис. 1, колеса одной оси жестко связаны между собой. Они всегда параллельны друг другу (или иногда имеют небольшой заданный на этапе проектирования развал), и на ровном покрытии перпендикулярны поверхности дороги. На неровном покрытии перпендикулярность колес дороге может нарушаться (средняя картинка на рис. 1).

В зависимой подвеске колеса одной оси так или иначе жестко связаны между собой, и перемещение одного колеса оси однозначно влияет на другое.

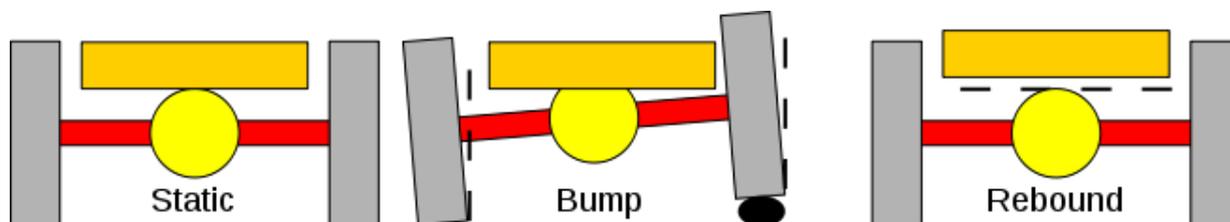


Рис. 1. Конструкция зависимой подвески

Это самый старый вариант подвески, унаследованный автомобилем еще от конных экипажей.

Тем не менее, она непрерывно совершенствовалась, и применяется в том или ином виде до сих пор. Наиболее совершенные варианты такой подвески (например, «Де Дион») уступают независимым лишь по ряду параметров, и то незначительно, и только на неровной дороге, имея при этом ряд важных преимуществ перед ними (в первую очередь то, что, в отличие от независимых подвесок, колея колес не меняется), они всегда параллельны друг другу.

В независимой подвеске, приведенной на рис. 2 перемещение одного колеса не влияет, или практически не влияет на другое. Характер их перемещения друг относительно друга и относительно дороги задается геометрией конкретной подвески.

В независимой подвеске колеса одной оси не имеют жесткой связи, и перемещение одного из них либо никак не влияет на второе, либо имеет на него лишь небольшое влияние. При этом установочные параметры – такие, как колея, развал колес, а в некоторых типах и колесная база – меняются при сжатии и отбое подвески, иногда в весьма значительных пределах.

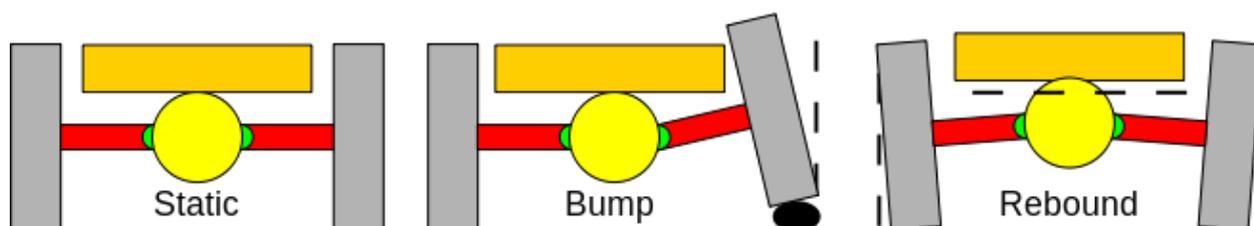


Рис. 2. Конструкция независимой подвески

В данной работе нас будут интересовать независимые подвески, при помощи которых имеется возможность регулировки клиренса. К таковым, прежде всего, относятся пневмоподвески. В настоящее время пневмоподвеска довольно широко применяется на грузовиках и полуприцепах. Легковые автомобили также оборудуются пневмоподвеской, однако это касается в большей степени машин бизнес-класса. В пневматической подвеске в качестве упругих элементов применяются пневмоупоры на каждом колесе. Основным предназначением пневмоподвески является обеспечение более высокого уровня безопасности и комфорта при вождении. Можно выделить три основных типа пневмоподвески: одно-, двух- и четырехконтурная. Также следует отметить, что пневмоподвеска может входить в комплектацию автомобиля, а может устанавливаться и самостоятельно.

Четырехконтурная система является наиболее сложной, но и наиболее функциональной. В такой системе осуществляется регулировка пневмоподпора каждого колеса. В четырехконтурных системах, упрощенная схема которой приведена на рис. 3, как правило, применяется электронный блок управления, который в совокупности с датчиками осуществляет автоматическую регулировку давления в пневмоэлементах.

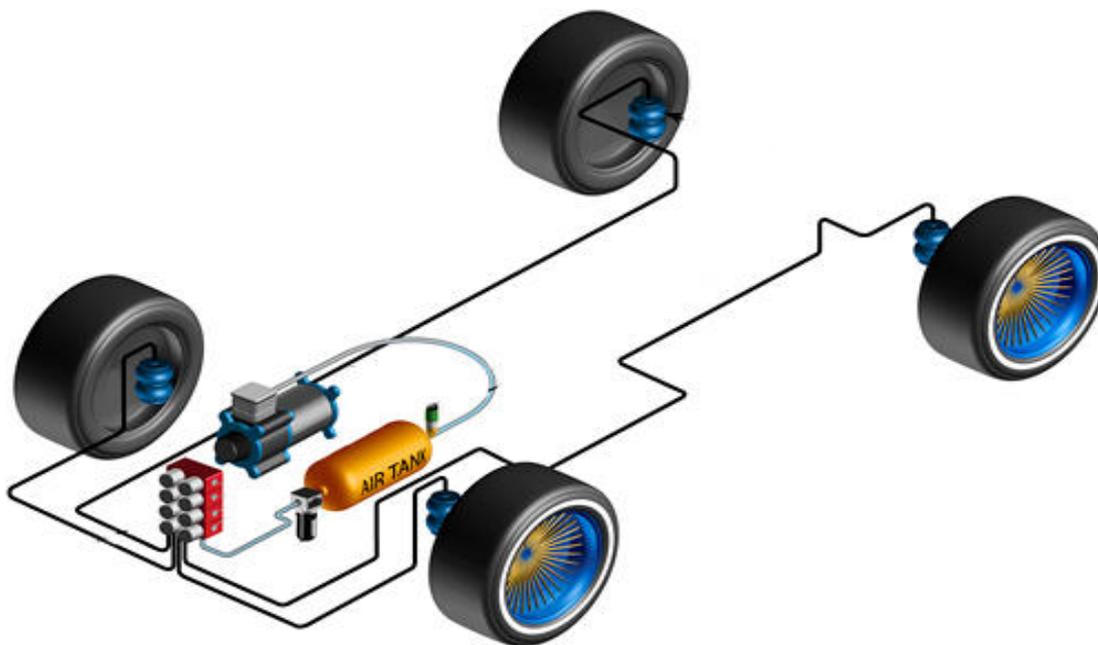


Рис. 3. Упрощенная схема четырехконтурной системы

На рис. 3 показаны лишь основные элементы пневмоподвески: четыре колеса, ресивер, компрессор, блок управления и трубопроводы.

Как и любая другая система, пневмоподвеска имеет свои достоинства и недостатки. Основным достоинством пневматической подвески является высокая плавность хода автомобиля и отсутствие каких-либо шумов, так как в качестве упругого элемента используется сжатый воздух. Однако в зависимости от предназначения автомобиля, пневмоподвеска может быть и, напротив, – жесткой. К достоинствам также можно отнести автоматическое регулирование клиренса и жесткости отдельных стоек в движении.

Частота собственных колебаний кузова в основном определяется характеристиками упругих элементов (жесткостью) и величиной подрессоренной массы. Большая масса или мягкие упругие элементы обуславливают низкую частоту собственных колебаний кузова и большой ход подвески (амплитуду). Небольшая масса или жесткие упругие элементы обуславливают высокую частоту собственных колебаний кузова и малый ход подвески. В зависимости от индивидуальной восприимчивости частота собственных колебаний кузова ниже 1 Гц может вызывать тошноту у человека. Частоты более 1,5 Гц ухудшают комфортность езды, а, начиная с величины около 5 Гц, колебания ощущаются как вибрация.

С учетом изложенного, предлагается синтезировать регулятор системы управления колебаниями кузова автомобиля [2]. Информацию о колебаниях кузова вдоль продольной или поперечной осей система получит в результате обработки показаний датчиков дорожного просвета. Регулятор должен обеспечивать комфортные для пассажиров параметры колебаний кузова: частоту, амплитуду и коэффициент демпфирования.

Библиографический список

1. Иванов А.М., Солнцев А.Н., Гаевский В.В. Основы конструкции автомобиля. / М. ООО Книжное издательство «За рулем», 2007г. 320 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. / М.: Наука, 2003 г. 752 с.

УДК 621.331.064

Я. В. Грегулева

студентка кафедры управления в технических системах

В. С. Акопов

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В АВТОМОБИЛЕ

Одной из самых распространенных проблем, с которой автолюбителям приходится сталкиваться с наступлением холодов, является запотевание стекол машины изнутри (рис. 1). Это создает водителю дополнительные трудности на дороге, снижая видимость, и повышая риск попадания в аварийные ситуации.



Рис. 1. Снижение видимости из-за запотевания стекла автомобиля

Избавиться от конденсата с помощью современных химических средств, как правило, удается ненадолго: уже через несколько дней влага вновь оседает на стеклах, вынуждая владельца авто брать в руки тряпку, смоченную спецраствором, и снова обрабатывать салон. А различные хитрости, к которым прибегают водители в борьбе с запотевшими стеклами, не могут похвастаться универсальностью. Тем не менее, победить конденсат можно.

Причиной появления конденсата является охлаждение поверхности стекла ниже температуры точки росы – состояния воздуха, при котором он больше не может поглощать влагу, и жидкость тут же выпадает на любых предметах в виде капель. В холодное время года, когда способность растворения влаги в воздухе существенно снижена, достаточно провести в салоне автомобиля при закрытых окнах несколько минут, как стекла начнут запотевать от дыхания находящихся внутри людей. Источником конденсата служит любая влага, попадающая в салон автомобиля. Создать проблему могут не только резиновые коврики, плохо просушенные после посещения автомойки, но и обычный термос с горячим чаем, открытый в машине по пути на работу.

По законам термодинамики влага оседает на тех предметах, которые имеют наиболее низкую температуру. Поэтому автомобильные стекла, постоянно охлаждающиеся снаружи, служат прекрасным сборщиком конденсата.

Одним из способов борьбы с конденсатом может стать наличие в салоне автомобиля предмета [1], температура которого постоянно будет ниже температуры стекол. Народные умельцы, используя эти познания в физике, иногда оснащают свои машины алюминиевой трубкой, один конец которой выводится в салон, а другой наружу, крепясь к решетке радиатора. Алюминий является одним из самых

легко охлаждаемых металлов, поэтому вся влага, попадающая в воздух внутри машины, будет скапливаться на такой трубке. Однако устанавливать в машине подобное хитроумное устройство либо постоянно возить с собой контейнер с сухим льдом для сбора конденсата (автолюбители практикуют и такое) – далеко не самые практичные и удобные варианты решения проблемы.

Более простым средством борьбы с запотеванием автомобильных стекол является искусственное снижение влажности в салоне. Сделать это можно несколькими способами. В первую очередь, необходимо обеспечить приток внутрь машины свежего воздуха. Для этого необходимо почаще проветривать салон и не лениться открывать боковые стекла даже тогда, когда за «бортом» минусовая температура, а ваш «железный конь» оснащен новейшей вентиляционной системой. Кроме этого, стоит отрегулировать потоки воздуха, которые поступают в автомобиль через салонный фильтр, направив их на ветровое и передние боковые стекла. При этом сам фильтр необходимо менять через 30–40 тыс. км пробега машины, так как его засорение снижает эффективность работы вентиляционной системы.

Если в вашей машине установлен кондиционер, то его также можно использовать для борьбы с запотеванием стекол [2]. Он прекрасно выкачивает влагу из воздуха и при работе в режиме обогрева способен длительное время защищать стекла автомобиля от конденсата. Однако такой метод решения проблемы запотевших стекол имеет один существенный недостаток – если температура воздуха на улице опустилась до 3–5 градусов ниже нуля, то автомобильный кондиционер попросту не будет работать. Во многих машинах предусмотрена автоматическая блокировка кондиционеров в случае нарушения температурного режима. Но даже если она и отсутствует, проблемы это не решит – задняя панель этого устройства в режиме отопления на морозе очень скоро замерзнет, и ваш кондиционер рискует выйти из строя.

Современные автомобили, как правило, оснащены системой электрического подогрева заднего стекла, что также помогает в борьбе с оседанием на нем конденсата. Способ эффективный, но, увы, не годится для «любимиков», так как нихромовая проволока, используемая при прошивке стекол, очень сильно снижает уровень обзора водителю.

В физике существует такое понятие, как смачиваемость поверхности – свойство любого твердого вещества удерживать на себе влагу. Чем ниже этот показатель, тем меньше влаги оседает на предмете. На этом принципе основано действие всех без исключения препаратов автомобильной химии, которые предназначены для борьбы с конденсатом. Существуют и народные методы снижения смачиваемости поверхности путем протирки автомобильных стекол поваренной солью, долькой лимона, нашатырным спиртом и т.д. Но, как правило, использование различных препаратов в этом случае дает кратковременный эффект. И дело не в том, что наука пока не придумала действенный способ бороться с конденсатом химическим либо механическим путем: в природе попросту не существует твердых веществ с нулевой смачиваемостью поверхности. Поэтому специальные растворы, предназначенные для защиты стекол от конденсата, «работают» 1–3 дня, после чего процедуру приходится повторять.

Тем не менее, автохимия сегодня является одним из самых доступных средств для защиты стекол машины от запотевания. Следует лишь помнить, что перед тем, как нанести препарат, обрабатываемую поверхность необходимо обезжирить. Иначе вы зря потратите деньги на автомобильную химию, которая на неочищенном стекле не даст ожидаемого эффекта. Обезжиривать стекла лучше всего медицинским спиртом либо бытовыми химическими средствами для чистки полированных поверхностей, которые эффективно удаляют жир и практически не оставляют радужных маслянистых разводов.

Предлагается еще два способа для решения этой проблемы.

Первый представляется новым, осуществляется с помощью инфракрасного датчика, который применяется в системах под названием «датчик дождя» и устанавливается в салоне автомобиля вплотную к лобовому стеклу. Предлагается этот датчик устанавливать вплотную на лобовое стекло, но теперь снаружи. Как только стекло изнутри запотеет (как бы дождь возник внутри салона), датчик влажности срабатывает сигнал о состоянии влажности поступает на бортовой компьютер, в салоне автомобиля и автоматически включается обдув. Инфракрасное излучение или тепловое излучение (не

является вредным для человека) – это вид распространения тепла, который можно сравнить с теплом от горячей печи, солнца или батареи центрального отопления.

Второй предлагаемый в данной работе способ – это использование гидростата. Но уже внутри автомобиля. Он позволяет контролировать влажность и при достижении пороговых значений включает или отключает приточные/вытяжные приборы. Данный прибор является беспроводным. Он передает информацию по радиоканалу, например, блоку реле, который включает обдув вентилятора. Объем воздуха, проходящего через кабину автомобиля, возрастает, соответственно его влажность снижается.

Отметим, что оба выше предложенных способа работают автоматически и не доставляют водителю лишних неудобств при управлении транспортным средством.

Библиографический список

1. Хернер А., Риль Х-Ю Автомобильная электрика и электроника. Издательство «За рулем» 2013, 624 с.
2. Соснин Д. А., Яковлев В. Ф. Новейшие автомобильные электронные системы: Издательство СО-ЛОН-Пресс, 2005, 240 с.

УДК 621.3.08

С. Г. Жаворонков

студент кафедры управления в технических системах

С. Ю. Мельников

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RLC-ЦЕПИ

При моделировании в программе Multisim работы последовательной RLC-цепи, подключенной к гармоническому источнику ЭДС, измерение угла сдвига фаз между напряжениями на элементах и током в ней сопряжено с определенными трудностями. При параллельном соединении резистора, катушки индуктивности и конденсатора проблем с определением фазы нет, так как все эти элементы одним своим выводом подключены к «земле», относительно которой производится измерение.

В наборе виртуальных измерительных инструментов, имеющихся в программе моделирования электронных схем Multisim, отсутствует фазометр. Поэтому фазовый сдвиг измеряется с помощью виртуального осциллографа путем сопоставления моментов времени, в которые сравниваемые сигналы проходят через ось времени. Для того чтобы в последовательной RLC-схеме все анализируемые с помощью осциллографа сигналы были измерены относительно «земли», можно воспользоваться следующим приемом.

Добавим в схему источники напряжения, управляемые напряжением V_2-V_4 с коэффициентом передачи равным единице (рис. 1), получив, таким образом, датчики напряжения. Выводы датчика напряжения можно подключить к любым двум узлам, тогда на выходе формируется напряжение, равное разности потенциалов между этими узлами, умноженное на коэффициент передачи. Так как этот коэффициент выбран равным единице, выходное напряжение зависимого источника равно измеряемому напряжению. Таким образом, зависимые источники измеряют напряжения на резисторе R_1 , катушке индуктивности L_1 и конденсаторе C_1 . Все отрицательные выводы зависимых источников заземлены. Это позволяет измерять напряжения на элементах и их фазовый сдвиг с помощью виртуального четырехканального осциллографа.

Данный метод является исключительно теоретическим (потому что в лабораторных условиях невозможно применить источник напряжения, управляемый напряжением). Но можно создать схему на операционном усилителе (ОУ), которая выполняет такую же функцию. Обычно используют зависимый источник напряжения в качестве дифференциального усилителя, то есть устройства, которое усиливает разность напряжений на своих входах.

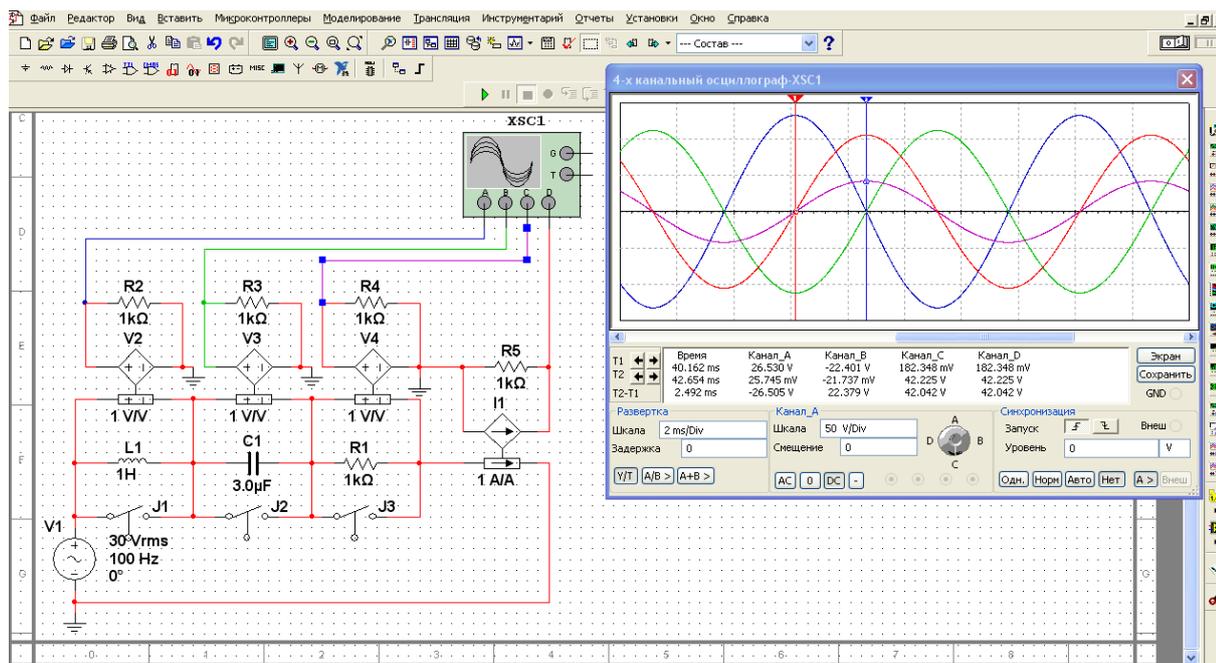


Рис. 1. Моделирование последовательной RLC -цепи в Multisim

Как известно, ток и напряжение в цепи с гармоническим источником совпадают по фазе. Поэтому фазовый сдвиг между током в цепи и напряжениями на элементах можно наблюдать, сравнивая осциллограммы напряжения на резисторе и других элементах цепи. Однако для определения амплитудного значения тока в цепи необходимо разделить амплитуду напряжения на резисторе (в вольтах) на его номинальное значение (в омах).

Для того чтобы наблюдать на экране виртуального осциллографа синусоиду тока в RLC -цепи, необходимо включить в схему датчик тока и создать сигнал напряжения, соответствующий значению тока. В программе Multisim можно использовать для этой цели источник напряжения, управляемый током с коэффициентом передачи в 1 Ом. При этом устройство будет реагировать на ток, а его выходное напряжение, измеряемое осциллографом, будет численно равно величине тока.

Элемент $I1$ – это источник напряжения, управляемый током. Его выходное напряжение равно измеряемому току в последовательно RLC -цепи. Коэффициент передачи источника равен 1 Ом. Он выражается в омах, так как выходное напряжение датчика равно коэффициенту передачи, умноженному на ток (измеренный в амперах). Чтобы выходное напряжение измерялось в вольтах, а ток – в амперах, необходимо коэффициент передачи выражать в омах. В схему добавлен резистор $R5$, чтобы избежать ошибки при моделировании в Multisim, которая возникнет, если к узлу подключен только один компонент. Выбранное значение (1 кОм) резистора $R5$ никак не влияет на схему, то есть является произвольным.

На виртуальном осциллографе (рис. 1) представлены: ток в цепи (красный цвет синусоиды), напряжения на катушке индуктивности (синий), конденсаторе (зеленый) и резисторе (фиолетовый). Для измерения фазового сдвига между напряжениями и током используем маркеры (вертикальные линии) 1 и 2, установленные в местах пересечения сигналами оси времени. Они позволяют определить сдвиг во времени соответствующих синусоид, который автоматически вычисляется виртуальным осциллографом. Величина временного сдвига ($T2-T1$) между током и напряжениями на реактивных элементах ($L1$ и $C1$) составляет 2.492 мс \approx 2.5 мс. При частоте источника 100 Гц (периоде 10 мс) это соответствует фазовому сдвигу между напряжением и током в 90 градусов, что соответствует его теоретическому значению для идеализированных реактивных элементов электрической цепи.

Ключи $J1-J3$ в схеме на рис. 1 позволяют путем шунтирования исключать из цепи те или иные элементы для исследования RC , RL и LC -цепей.

Таким образом, использование зависимых источников напряжения и тока позволяет решить проблему измерения фазовых сдвигов в последовательной *RLC*-цепи, подключенной к гармоническому источнику.

Библиографический список

1. Хернтер М. Е. MultiSim 7. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 488 с.: ил.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1996.- 354 с.: ил.

УДК 621.313

Д. А. Жарков

студент кафедры управления в технических системах

В. В. Колесников

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

В настоящее время на объектах энергетики и промышленных предприятиях имеется большее количество сложного электротехнического оборудования содержащего электроприводы с асинхронными двигателями (АД). Большая часть оборудования электростанций и крупных промышленных предприятий жестко связана между собой в едином технологическом цикле, поэтому нарушение работы в каком-либо из механизмов может оказать существенное воздействие на весь технологический процесс в целом. Такие нарушения приводят к значительному материальному ущербу. Приблизительно 30 – 40% всех неисправностей в асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором – дефекты статора, повреждения элементов ротора – 10%, повреждения элементов подшипников – 40% и другие повреждения – 12% [1].

В последнее время за рубежом и у нас в стране развиваются методы диагностики состояния электрических машин, основанные на мониторинге потребляемого тока с последующим спектральным анализом полученного сигнала, что позволяет с высокой степенью достоверности определять состояние различных элементов двигателя. Важным преимуществом такого подхода является то, что проведение мониторинга тока электродвигателя может быть выполнено как непосредственно на нем, так и в электрошите питания (управления) в режиме онлайн [2].

Из обзора литературы, посвященного диагностированию дефектов АД, видно, что вопросы, касающиеся моделирования дефектов асинхронных машин в среде MatLab/Simulink, рассмотрены не достаточно [3, 4].

Целью данной работы является составление модели диагностирования АД с короткозамкнутым ротором в среде MatLab/Simulink на основе вектора тока Парка.

На базе библиотечной модели моделирования асинхронной машины в среде MatLab/Simulink [4] была разработана схема, позволяющая исследовать дефекты в обмотках статора АД на основе годографов векторов Парка тока, напряжения, потокосцепления, а также на основе анализа их спектров. Для этого были введены следующие блоки: *3-Phase Breaker* – для имитации обрыва фаз, *3-Phase Fault* – для имитации межфазного короткого замыкания и замыкания фазы на землю; четыре блока *XY Graph* – чтобы наблюдать годографы тока и напряжения статора, а так же потокосцепления статора и ротора. В блоке измерений переменных (*Machines Measurement*) дополнительно были выбраны выходные сигналы i_{s_qd} и u_{s_qd} , то есть составляющие тока и напряжения статора по осям *q-d*, соответственно. Кроме этого в схему включаем дополнительно блок *Fcn*, чтобы на его выходе получить модуль вектора тока Парка, спектр которого определяется в блоке графического интерфейса

Powergui. На рис.1 показана имитационная схема для диагностирования дефектов АД с временными зависимостями (справа), годографами (в центре) и спектром вектора тока Парка для случая бездефектной работы.

На основе разработанной модели были промоделированы следующие электрические дефекты обмоток статора: межфазные замыкания обмоток; замыкания на землю; обрывы обмоток.

Результаты моделирования были занесены в базу данных, на базе которой можно диагностировать дефекты статора. На рис. 2 для примера приведены годографы АД с короткозамкнутым ротором с различными дефектами статора. При этом кривые 1 соответствуют эволюции рабочей точки в переходном режиме, 2 – годографы при работе без дефекта, 3 – годографы при работе с дефектом.

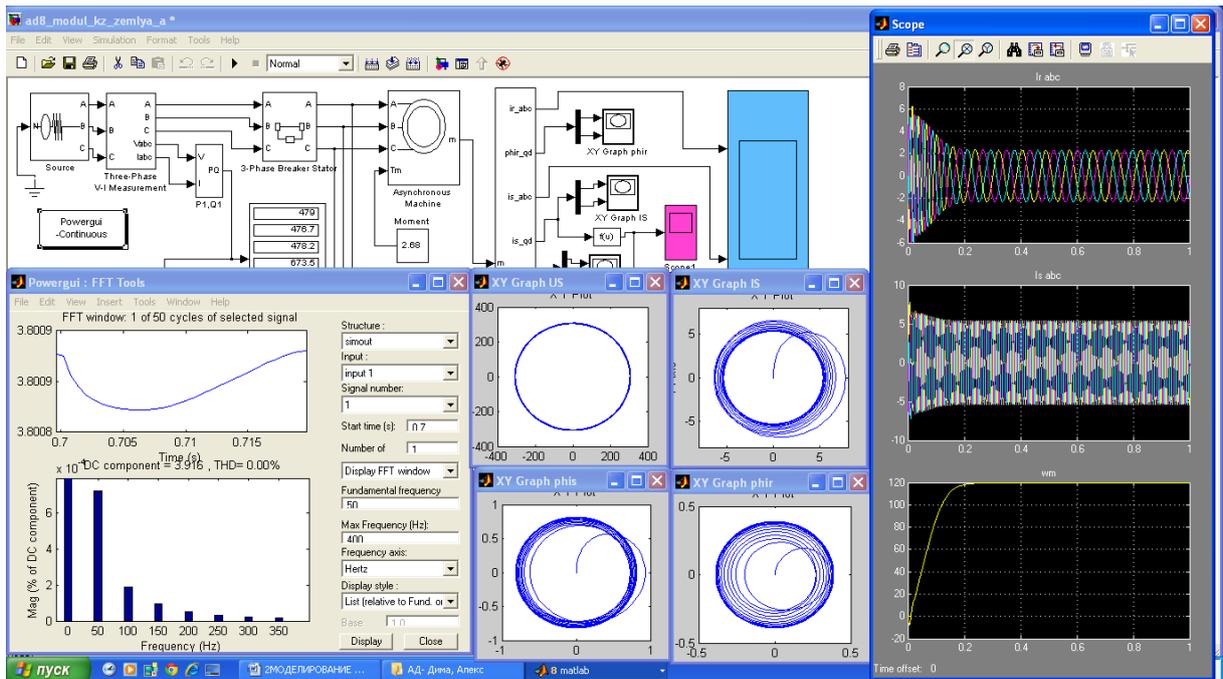
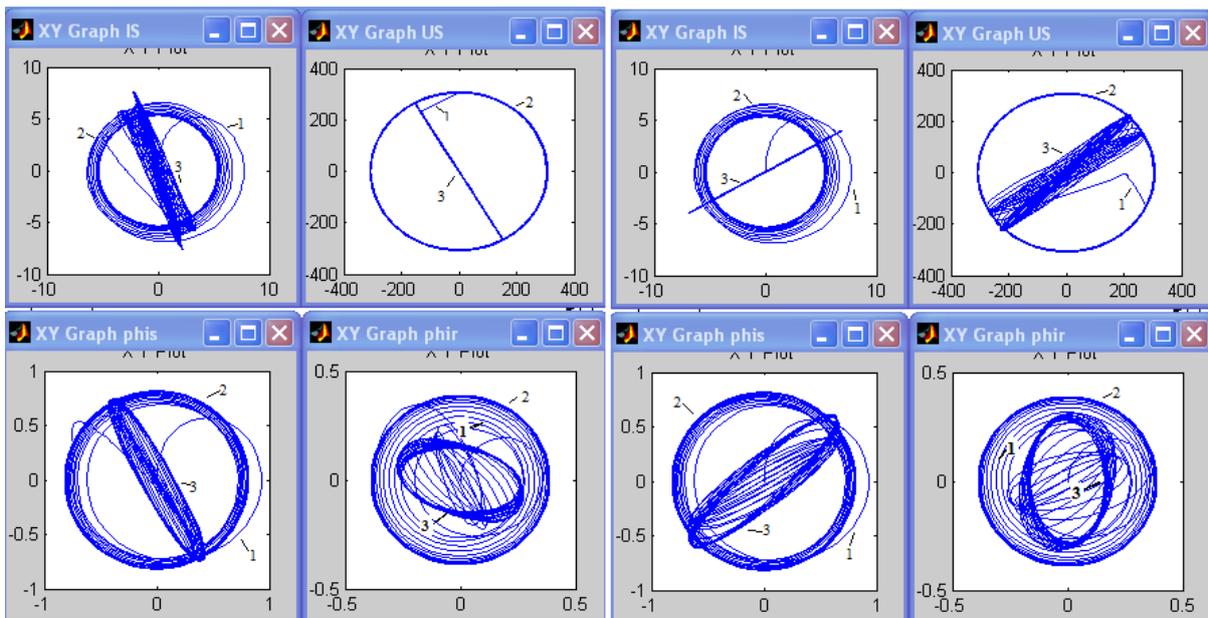


Рис. 1. Схема моделирования дефектов в АД с короткозамкнутым ротором



а)

б)

Рис. 2. Годографы токов, напряжений, потокоцеплений статора и ротора АД при дефекте в статоре: а) замыкание фаз А и В; б) обрыв фазы С

На рис. 3 показаны спектры вектора Парка тока при различных дефектах в обмотках статора.

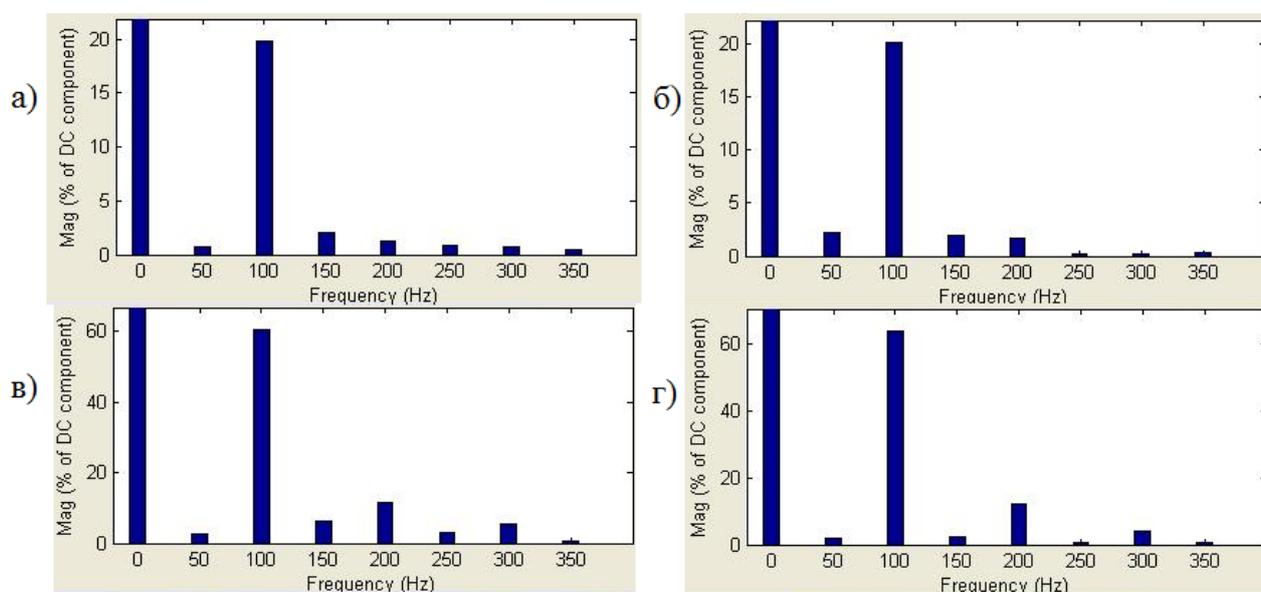


Рис. 3. Спектры вектора тока Парка при коротком замыкании:
а) фазы А на землю; б) фазы В на землю; в) замыкание фаз В и С; г) обрыв фазы В

Проанализировав полученные годографы тока, напряжения и потокосцеплений статора и ротора можно сказать что:

- для исправного двигателя годографы представляют собой окружность;
- при дефекте в статоре годограф принимает форму эллипса, по виду которого можно определить не только наличие дефекта, но и вид дефекта, его степень и поврежденную фазу. Степень развития дефекта можно определить по изменению диаметров большой и малой осей эллипса, а номер поврежденной фазы – по наклону большой оси;
- в спектрах модуля тока Парка в исправном состоянии присутствует только постоянная составляющая (годограф вектора тока Парка окружность), в случае дефекта появляется дополнительно вторая гармоника частоты сети, а также гармоники связанные с частотой скольжения;
- степень развития дефекта можно определить по величине второй гармоники в спектре тока Парка: чем больше гармоника, тем серьезнее дефект.

Вывод: Данная имитационная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором позволяет моделировать дефекты в обмотках статора, исследовать их влияние на работу двигателя, а также диагностировать возникающие дефекты в статоре.

Библиографический список

1. Петухов В. С. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения / В. С. Петухов // Новости электротехники / 2008. - №1(49).
2. Седунин А. М. Контроль технического состояния асинхронных двигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока / А. М. Седунин, Д. О. Афанасьев, Л. Г. Сидельников // Пермь.
3. Миронов Р.В. Моделирование дефектов асинхронной машины в среде Matlab / Simulink / Р.В. Миронов, В.В. Колесников // 66 Междун. Студ. н /к ГУАП: Сб. докл в 2ч. Ч1. Технические науки // СПб ГУАП. СПб. 2013. С..193-196
4. Герман-Галкин С. Г. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК/ С. Г. Герман-Галкин, Г. А. Кардонов. СПб.: Корона принт, 2003. – 256 с.

УДК 629.76.051

А. А. Зайцев

студент кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГИРОДИНОМ

Гироскоп – вращающееся инерциальное устройство, применяемое для высокоточной ориентации и стабилизации, как правило, космических аппаратов, обеспечивающее правильную ориентацию в полете и предотвращающее беспорядочное вращение.

Гироскоп обладает двумя степенями свободы относительно корпуса космического аппарата. Одна из них связана с вращением силового гироскопа (СГ) вокруг его оси симметрии, создающим вектор кинетического момента, а другая – с поворотом оси вращения силового гироскопа.

Расположение основных устройств гироскопа относительно приборной системы координат (X_n, Y_n, Z_n), связанной с основанием СГ и неподвижной относительно космического аппарата, и вид упругой деформации, приведенной к местам установки подшипников, показаны на рис. 1.

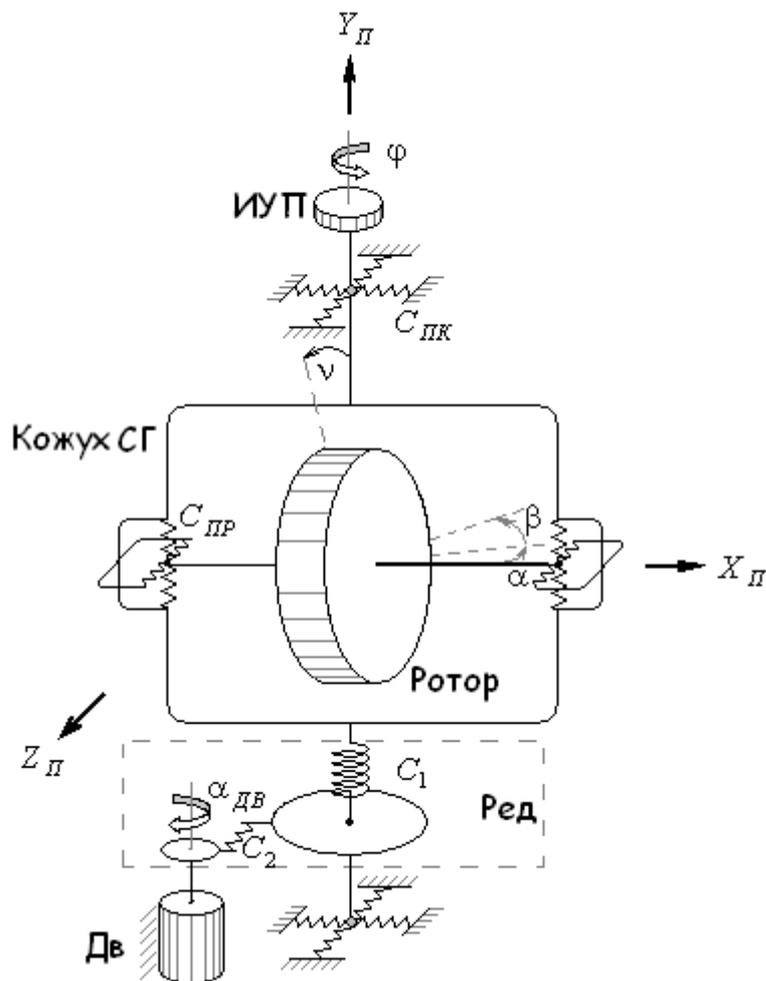


Рис. 1. Двухступенной силовой гироскоп

На рис. 1 представлены: ИУП – измеритель углового положения; Ред – редуктор; Дв – двигатель; α, β, ν, ψ – углы упругих деформаций вала ротора, подшипников ротора и кожуха СГ, подвеса СГ, подшипников подвеса СГ; ϕ – угол поворота подвеса; $\alpha_{\text{дв}}$ – угол поворота вала двигателя; $C_{\text{пк}}$ – коэффициент жесткости подвеса кожуха; $C_{\text{пр}}$ – коэффициент жесткости подвеса ротора; C_1 – коэффициент жесткости редуктора; C_2 – коэффициент жесткости люфтовывбирающего устройства.

Исполнительный электропривод является составной частью СГ и предназначен для управления вектором кинетического момента (поворотом оси подвеса) силового гироскопа со скоростью, соответствующей цифровому управляющему коду, вырабатываемому системой управления (СУ) космического аппарата, а также для формирования и выдачи в систему управления кодовой информации об угловом положении вектора кинетического момента.

ИЭП должен включать в себя:

- исполнительный двигатель, установленный на оси подвеса силового гироскопа;
- редуктор;
- измеритель углового положения (ИУП) оси подвеса СГ и обратной связи системы ИЭП, установленный на оси подвеса СГ;
- электронный блок управления приводом (БУП).

Принцип работы данной системы должен быть основан на сравнении кодов текущего угла, получаемого от ИУП, с опорным, полученным в блоке БУП путем интегрирования кода скорости полученного из СУ и выдаче управляющего напряжения, соответствующего скорректированной разнице кодов этих углов, на силовую часть¹.

Цифровая часть должна быть разработана с использованием специализированного микроконтроллера (МК), который должен принимать управляющие сигналы от СУ в виде кода скорости и преобразовывать его с помощью цифрового интегратора в соответствующий код угла $\alpha_{\text{зад}}$, а также принимать код угла оси подвеса $\alpha_{\text{фак}}$ от ИУП. Регулятор вырабатывает сигнал управления, соответствующий сигналу рассогласования $\delta\alpha = \alpha_{\text{зад}} - \alpha_{\text{фак}}$, с учетом управляющего сигнала, оцениваемого наблюдателем. Коммутатор, получив ШИМ-сигналы от МК, переключает соответствующие ключи, обеспечивая подачу напряжения на обмотки статора и вращение вала двигателя. Таким образом, скорость вращения вала двигателя пропорциональна коду скорости поступающего от СУ.

Вектор управляющего момента, создаваемый СГК, определяется векторным произведением кинетического момента и скорости вращения СГ относительно оси подвеса. Так как кинетический момент является величиной постоянной, то величина управляющего момента прямо пропорциональна скорости вращения СГ.

Структурная схема цифрового исполнительного электропривода включает в себя: персональный компьютер; электронный модуль управления; микроконтроллер (МК); драйвер; бесконтактный моментный двигатель постоянного тока; редуктор; измеритель углового положения; силовой гироскоп.

Однокристалльные МК со встроенными функциями управления двигателями до недавнего времени не обладали мощной вычислительной способностью и не могли реализовывать сложные алгоритмы управления (бездатчиковое управление, векторное управление). С другой стороны, мощные вычислительные процессы, способные выполнить расчет необходимых алгоритмов управления, не обладали интегрированными периферийными устройствами, позволяющими осуществлять эффективное управление электродвигателями (аналого-цифровыми преобразователями, ШИМ-генераторами и т.п.). Для построения систем управления необходимо было дополнительно устанавливать недостающие периферийные устройства в виде отдельных компонентов или сопроцессоров, что делает систему управления сложной, громоздкой, дорогой и менее надежной.

¹ Коновалов А.С., Якимовский Д.О. Управление электроприводами космических аппаратов в особых режимах / Информационно - управляющие системы. №6 (37), 2008. С.26-31.

Для решения поставленной задачи необходимо выбрать МК с входящим набором периферийных устройств, в максимальной степени удовлетворяющих требованиям разрабатываемого ИЭП, и возложить на него решение следующих задач:

- прием и интегрирование входного управляющего кода скорости для определения расчетного угла поворота подвижной части ИЭП;
- прием и преобразование в код выходных данных с датчика угла и использование этих данных в качестве сигнала обратной связи по углу поворота подвеса и в качестве сигнала датчика положения ротора двигателя;
- вычисление рассогласования заданного и фактического значения углов;
- вычисление рассогласования заданного и фактического значения тока по продольной и поперечной проекции (в системе координат жестко скрепленной с ротором двигателя);
- реализация цифровых регуляторов контуров тока и угла;
- измерение токов в фазах двигателя и преобразование их в коды;
- генерирование центрированных синусоидальных широтно-импульсных сигналов, необходимых для управления трехфазным коммутатором с двигателем в качестве нагрузки.

Анализ элементной базы показал, что поставленным требованиям наиболее полно удовлетворяют МК 1986BE1T фирмы Миландр. 1986BE1T является микроконтроллером со встроенной Flash-памятью программ и построен на базе высокопроизводительного процессорного RISC ядра. МК работает на тактовой частоте до 144 МГц и содержит 128 Кбайт *Flash*-памяти программ и 48 Кбайт ОЗУ. Периферия включает в себя контроллер USB интерфейса со встроенным аналоговым приемопередатчиком и со скоростью передачи 12 Мбит/с (*Full Speed*) и 1.5 Мбит/с (*Low Speed*), стандартные интерфейсы UART и SPI, авиационные интерфейсы по ГОСТ 18977-79 и ГОСТ Р52070-2003, цифровой интерфейс *Ethernet* со скоростью передачи 10/100 Мбит, интерфейсом MII и со встроенным аналоговым приемопередатчиком, контроллер внешней системной шины позволяющий работать с внешними микросхемами статического ОЗУ и ПЗУ, NAND *Flash* памятью и другими периферийными устройствами. МК содержит четыре 32-ти разрядных таймера с четырьмя каналами схем захвата и ШИМ с функциями формирования «мертвой зоны» и аппаратной блокировки. Также микроконтроллер содержит системный 24-х разрядный таймер и два сторожевых таймера. МК содержит 12-ти разрядный высокоскоростной (до 512 Квыб/с) АЦП с возможностью оцифровки информации с 8 каналов, встроенного датчика температуры и опорного напряжения, два 12-ти разрядных ЦАП.

Встроенные RC генераторы HSI (8 МГц) и LSI (40 кГц), внешние генераторы HSE (2...16 МГц) и LSE (32 кГц) и две схемы умножения тактовой частоты PLL для ядра и USB интерфейса позволяют гибко настраивать скорость работы МК.

Архитектура системы памяти за счет матрицы системных шин позволяет минимизировать возможные конфликты при работе системы и повысить общую производительность. Контроллер DMA позволяет ускорить обмен информацией между ОЗУ и периферией без участия процессорного ядра.

Встроенный регулятор для формирования питания внутренней цифровой части формирует напряжения 1,8 В и не требует дополнительных внешних элементов. Таким образом, для работы микроконтроллера достаточно одного внешнего напряжения питания в диапазоне от 2,2 до 3,6 В. Также в МК реализован батарейный домен, работающий от внешней батареи при отсутствии основного питания. В батарейном домене могут быть сохранены специальные флаги, а также работают часы реального времени. Встроенный детектор напряжения питания может отслеживать уровень внешнего основного питания и уровень напряжения питания на батарее. Аппаратные схемы сброса по просадке питания позволяют исключить сбойную работу микросхемы при выходе уровня напряжения питания за допустимые пределы.

УДК 621.3.078.3

А. Ю. Зимин, А. А. Федяевс

студенты кафедры управления в технических системах

В. А. Атанов

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

РАЗРАБОТКА БЛОКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОДЧИНЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Одной из задач диагностирования электроприводов является проверка правильности их функционирования. Она должна выполняться непосредственно в процессе работы приводов без использования специальных, тестовых режимов, и, тем более, без размыкания обратных связей. Решение поставленной задачи связано с организацией непрерывного контроля функционирования электропривода.

Рассмотрим пример организации непрерывного контроля привода подачи стола фрезерного станка с числовым программным управлением ЧПУ. Система подчиненного регулирования содержит основной контур регулирования скорости и внутренний, подчиненный контур регулирования тока. Структурная схема привода дана на рис. 1, где принято [1]: $W_\phi(p)$ – фильтр на входе системы подчиненного регулирования; $W_{pc}(p)$ – регулятор скорости; $W_{pt}(p)$ – регулятор тока; $W_{tp}(p)$ – тиристорный преобразователь напряжения; $W_{дэ}(p)$ – электрическая часть двигателя с управлением по якорной цепи; $W_{дм}(p)$ – механическая часть двигателя; $K_{дт}$ – датчик тока якоря двигателя; $K_{дс}$ – датчик скорости вращения вала двигателя.

С контрольных точек привода на блок диагностирования БД подаются сигналы: U_y – напряжение на выходе цифроаналогового преобразователя ЧПУ; U_ϕ – напряжение на выходе фильтра; U_{pt} и U_{pc} – напряжение на выходе регулятора тока и регулятора скорости; U_{tp} – напряжение на выходе тиристорного преобразователя; $U_{дт}$ – напряжение на выходе датчика тока двигателя; $U_{дс}$ – напряжение на выходе датчика скорости двигателя (рис. 2).

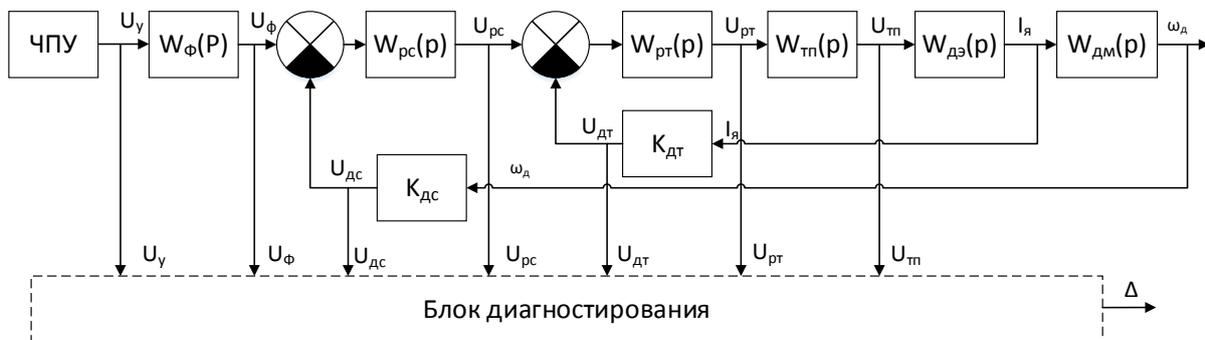


Рис. 1. Структурная схема электропривода подачи станка с блоком диагностирования

Привод рассматриваем в линейном плане, тогда передаточные функции его динамических звеньев представляются в виде:

- фильтра

$$W_\phi(p) = \frac{U_\phi(p)}{U_y(p)} = \frac{1}{8\tau p + 1} \quad (1)$$

- регулятора скорости

$$W_{pc}(p) = \frac{U_{pc}(p)}{U_\phi(p) - U_{дс}(p)} = K_{pc} \frac{\tau_{pc} p + 1}{\tau_{pc} p}; \quad (2)$$

- регулятора тока

$$W_{pm}(p) = \frac{U_{pm}(p)}{U_{pc}(p) - U_{dm}(p)} = K_{pm} \frac{\tau_{pm}p + 1}{\tau_{pm}p}; \quad (3)$$

- тиристорного преобразователя

$$W_{mn}(p) = \frac{U_{mn}(p)}{U_{pm}(p)} = \frac{K_{mn}}{\tau p + 1}; \quad (4)$$

- звена тока двигателя на участке от напряжения $U_{тп}$ до напряжения датчика тока $U_{дт}$

$$W_{dz}(p) = \frac{U_{dm}(p)}{U_{mn}(p)} = \frac{1/R_{я}}{T_{я}(p) + 1} K_{dm}; \quad (5)$$

- двигателя на участке от напряжения $U_{тп}$ до напряжения датчика скорости $U_{дс}$

$$W_{dm}(p) = \frac{U_{dc}(p)}{U_{mn}(p)} = \frac{1/R_{я}}{T_{я}(p) + 1} \frac{K_{м}}{Jp} K_{dm}; \quad (6)$$

K_{pc} и T_{pc} , $K_{рт}$ и $T_{рт}$, $K_{тп}$, $K_{дт}$, $K_{дс}$ – передаточные коэффициенты и постоянные времени соответствующих динамических звеньев; τ – постоянная времени тиристорного преобразователя; $R_{я}$, $T_{я}$ – активное сопротивление и постоянная времени якорной цепи двигателя; $K_{м}$, J – механическая постоянная двигателя и момент инерции якоря двигателя.

В процессе работы момент нагрузки на валу двигателя изменяется. Закон изменения неизвестен, но может быть учтен при диагностике. В нашем случае статическим моментом сопротивления подачи пренебрегаем [2].

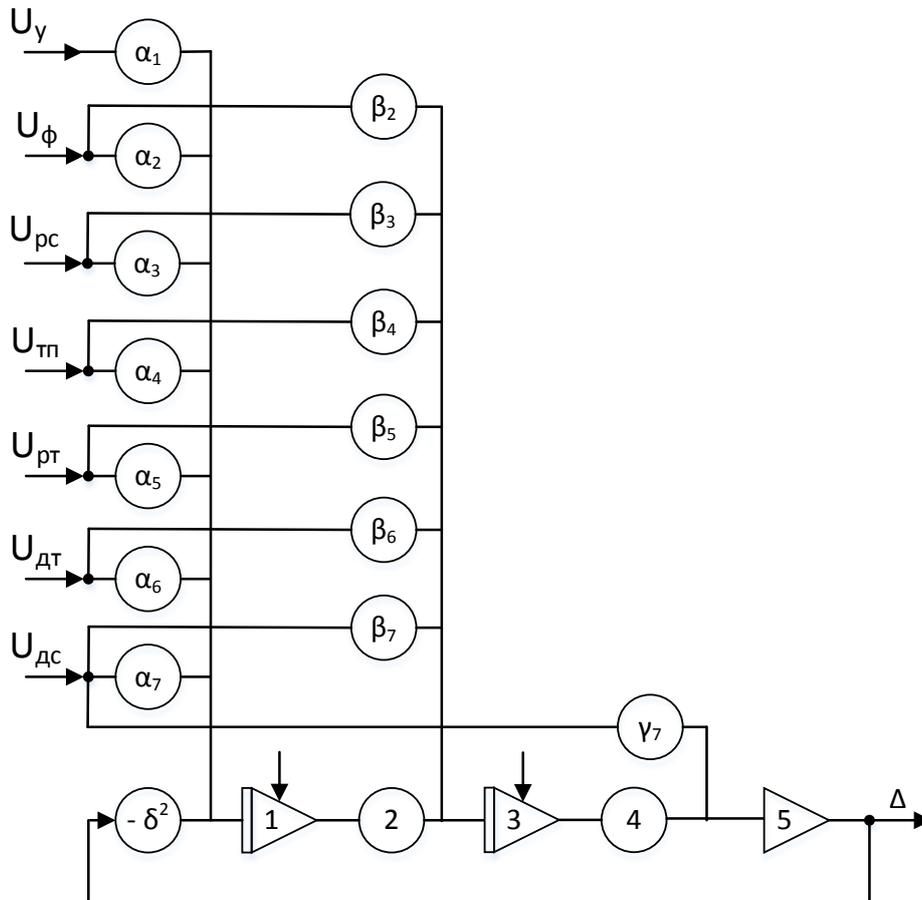


Рис. 2. Структурная схема блока диагностирования ЭП подачи

Преобразуем (1) – (6) к виду:

– для фильтра

$$U_{\phi}(p)8\tau p + U_{\phi}(p) - U_y = 0; \quad (7)$$

– для регулятора скорости

$$U_{pc}(p)T_{pc}p - U_{\phi}(p)T_{pc}K_{pc}p + U_{\phi}(p)K_{pc} + U_{dc}(p)K_{pc}T_{pc}p + U_{dc}(p)K_{pc} = 0 \quad (8)$$

– для регулятора тока

$$U_{pm}(p)T_{pm}p - U_{pc}(p)T_{pm}K_{pm}p - U_{pc}(p)K_{pm} + U_{dm}(p)K_{pm}T_{pm}p + U_{dm}(p)K_{pm} = 0 \quad (9)$$

– для тиристорного преобразователя

$$U_{mn}(p)\tau p + U_{mn}(p) - U_{pm}(p)K_{mn} = 0 \quad (10)$$

– для звена тока двигателя на участке от напряжения $U_{тп}$ до напряжения датчика тока $U_{дп}$

$$U_{dm}(p)T_{я}p + U_{dm}(p) - U_{mn}(p)\frac{1}{R_{я}}K_{dm} = 0 \quad (11)$$

– для двигателя на участке от напряжения $U_{тп}$ до напряжения датчика скорости $U_{дс}$

$$U_{dc}(p)T_{я}p^2 + U_{dc}(p)p - U_{mn}(p)\frac{1}{R_{я}}\frac{K_M}{J}K_{dc} = 0; \quad (12)$$

Складывая левые и правые части, получаем:

$$\begin{aligned} & U_{dc}(p)T_{я}p^2 + \left[U_{\phi}(p)(8\tau - T_{pc}K_{pc}) + U_{pc}(p)(T_{pc} - T_{pm}K_{pm}) + U_{mn}(p)\tau + \right. \\ & \left. + U_{pm}(p)T_{pm} + U_{dm}(p)(T_{pm}K_{pm} + T_{я}) + U_{dc}(p)(K_{pc}T_{pc} + 1) \right] p + (-1)U_y + \\ & \left. + U_{\phi}(p)(1 + K_{pc}) + U_{pc}(p)(-K_{pm}) + U_{mn}(p)\left(1 - \frac{1}{R_{я}}K_{dm} - \frac{1}{R_{я}}\frac{K_M}{J}K_{dc}\right) + \right. \\ & \left. + U_{pm}(p)(-K_{mn}) + U_{dm}(p)(1 + K_{pm}) + U_{dc}(p)K_{pc} = 0 \right. \end{aligned} \quad (13)$$

Примем:

$$\alpha_1 = -1;$$

$$\alpha_2 = 1 + K_{pc};$$

$$\alpha_3 = -K_{pm};$$

$$\alpha_4 = 1 - \frac{1}{R_{я}}K_{dm} - \frac{1}{R_{я}}\frac{K_M}{J}K_{dc};$$

$$\alpha_5 = -K_{mn};$$

$$\alpha_6 = 1 + K_{pm};$$

$$\alpha_7 = K_{pc};$$

$$\beta_2 = 8\tau - T_{pc}K_{pc};$$

$$\beta_3 = T_{pc} - T_{pm}K_{pm};$$

$$\beta_4 = \tau;$$

$$\beta_5 = T_{pm};$$

$$\beta_6 = T_{pm}K_{pm} + T_{я};$$

$$\beta_7 = K_{pc}T_{pc} + 1;$$

$$\gamma_7 = T_{я};$$

Запишем уравнение алгебраического инварианта. Для этого делим левую и правую части выражения (11) на p , в правую часть вводим инвариант и коэффициент собственной динамики $\delta\delta$ [3]:

$$\begin{aligned} & \gamma_7 U_{\delta c}(p) + [\beta_2 U_{\phi}(p) + \beta_3 U_{pc}(p) + \beta_4 U_{mn}(p) + \beta_5 U_{pm}(p) + \beta_6 U_{\delta m}(p) + \\ & + \beta_7 U_{\delta c}(p)] \frac{1}{p} + [\alpha_1 U_y + \alpha_2 U_{\phi}(p) + \alpha_3 U_{pc}(p) + \alpha_4 U_{mn}(p) + \alpha_5 U_{pm}(p) + \\ & + \alpha_6 U_{\delta m}(p) + \alpha_7 U_{\delta c}(p)] \frac{1}{p^2} = \frac{\Delta}{p^2 + \delta^2} \end{aligned} \quad (14)$$

Функциональное диагностирование регулируемого ЭП реализуется с помощью метода алгебраических инвариантов, который требует введения дополнительной схемы контроля.

Техническая реализация БД для ЭП подачи станка с динамическими звеньями первого порядка содержит всего два интегратора и сумматор, т.к. полученное выражение (14) является уравнением второго порядка. На первом интеграторе семь входов, на втором шесть входов и один на третьем. Начальное условие интеграторов можно принять равным нулю, так как используется отрицательная обратная связь по инварианту с коэффициентом δ . Устойчивое диагностирование осуществляется в линейном режиме ЭП.

Библиографический список

1. М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер, Общий курс электропривода. Учебник для вузов. М.: Энергоиздат, 1981. 576 с.
2. О. П. Михайлов, Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : учебник для машиностроительных специальностей вузов. М. : Машиностроение, 1990 . – 304 с.
3. М. Б. Игнатъев, Л. А. Мироновский, В. С. Юдович Контроль и диагностика роботехнических систем. Учебное пособие для вузов. Л., Ленинградский институт авиационного приборостроения, 1985. 160 с.

УДК 621.3.078.3

А. Ю. Зимин

студент кафедры управления и информатики в технических системах

В. А. Атанов

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

РАСЧЕТ КОНТУРА ТОКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОДЧИНЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Электроприводы постоянного тока (ЭП) широко используются в металлорежущих станках, промышленных установках. Многие построены на принципе подчиненного регулирования.

Целью настоящей работы является оценка динамики внутреннего контура, т.е. контура регулирования по току на примере ЭП подачи суппорта металлорежущего станка.

В ЭП используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением типа 2ПБ132МГ, его технические характеристики даны в таблице.

Таблица

Мощность номинальная	$P = 3.15 \text{ кВт}$
Напряжение номинальное	$U_{\text{я}} = 110 \text{ В}$
Скорость вращения номинальная	$n_{\text{НОМ}} = 2300 \text{ об/мин}$
Момент номинальный	$M_{\text{я}} = 13.09 \text{ Нм}$
Ток номинальный	$I_{\text{я}} = 33 \text{ А}$
Напряжение обмотки возбуждения	$U_{\text{в}} = 220 \text{ В}$

Сопротивление якорной цепи	$R_{\text{я}} = 0.53 \text{ Ом}$
Индуктивность якорной цепи и дополнительных полюсов	$L_{\text{я}} = 0.0045 \text{ Гн}$
Индуктивность трансформатора, приведенная к контуру двигателя	$L_{\text{т}} = 0.00045 \text{ Гн}$
Момент инерции ротора	$J = 0.038 \text{ кгм}^2$
Электромагнитная постоянная времени якоря	$T_{\text{я}} = 0.017 \text{ с}$
Электрохимическая постоянная времени	$T_{\text{н}} = 0.13 \text{ с}$

Расчет контура тока производится для режима неподвижного (заторможенного) якоря, поэтому противо-ЭДС двигателя равна нулю и далее не учитывается.

На рис. 1 показаны напряжения на выходе: $U_{\text{РС}}$ – регулятора скорости внешнего контура системы подчиненного регулирования; $U_{\text{РТ}}$ – регулятора тока; $U_{\text{ТП}}$ – тиристорного преобразователя; $U_{\text{ДТ}}$ – датчика тока; $I_{\text{я}}$ – ток якоря двигателя.

Передаточные функции динамических звеньев контура регулирования по току имеют следующий вид.

Передаточная функция электромагнитной части двигателя

$$W_{\text{дэ}}(p) = \frac{1/R_{\text{я}}}{T_{\text{я}}p+1} = \frac{1.91}{0.017p+1}.$$

Передаточная функция тиристорного преобразователя напряжения

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{K_{\text{тп}}}{T_{\text{тп}}p+1},$$

где $K_{\text{тп}} = \frac{U_{\text{я}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{110}{8} = 13.8$ – коэффициент усиления тиристорного преобразователя по напряжению; $T_{\text{тп}}$ – постоянная времени преобразователя, это наименьшая (некомпенсируемая) постоянная времени, $T_{\text{тп}} = \tau = 0.002 \text{ с}$.

Передаточная функция датчика тока на эффекте Холла

$$W_{\text{дт}}(p) = 0.04 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Передаточная функция регулятора тока

$$W_{\text{рт}}(p) = K_{\text{рт}} \frac{T_{\text{рт}}p+1}{T_{\text{рт}}p} = 4.07 \frac{0.017p+1}{0.017p}$$

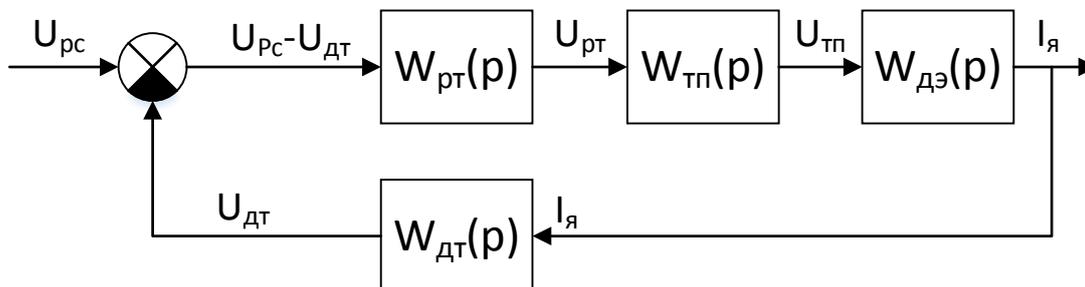


Рис. 1. Структурная схема контура регулирования по току

Задача регулятора тока заключается в компенсации наибольшей постоянной времени в контуре регулирования, а именно значительной по величине постоянной времени $T_{\text{я}}$ якорной цепи. Поэтому принимаем $T_{\text{рт}} = T_{\text{я}} = 0,017 \text{ с}$.

В [1] показано, что при настройке контура на технический оптимум следует принять

$$K_{PT} = \frac{T_R R_{Я}}{2\tau K_{TP} K_{DT}} = 4.07.$$

Регулятор тока строится по пропорционально-интегральной ПИ схеме.

Моделирование переходного процесса по току проводится в программном пакете MATLAB SIMULINK [2]. Модель контура тока дана на рис. 2. На рис.3 показан результат моделирования.

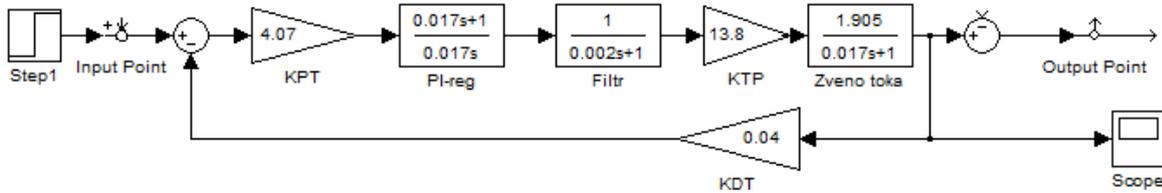


Рис. 2. Модель контура тока в программном пакете MATLAB SIMULINK

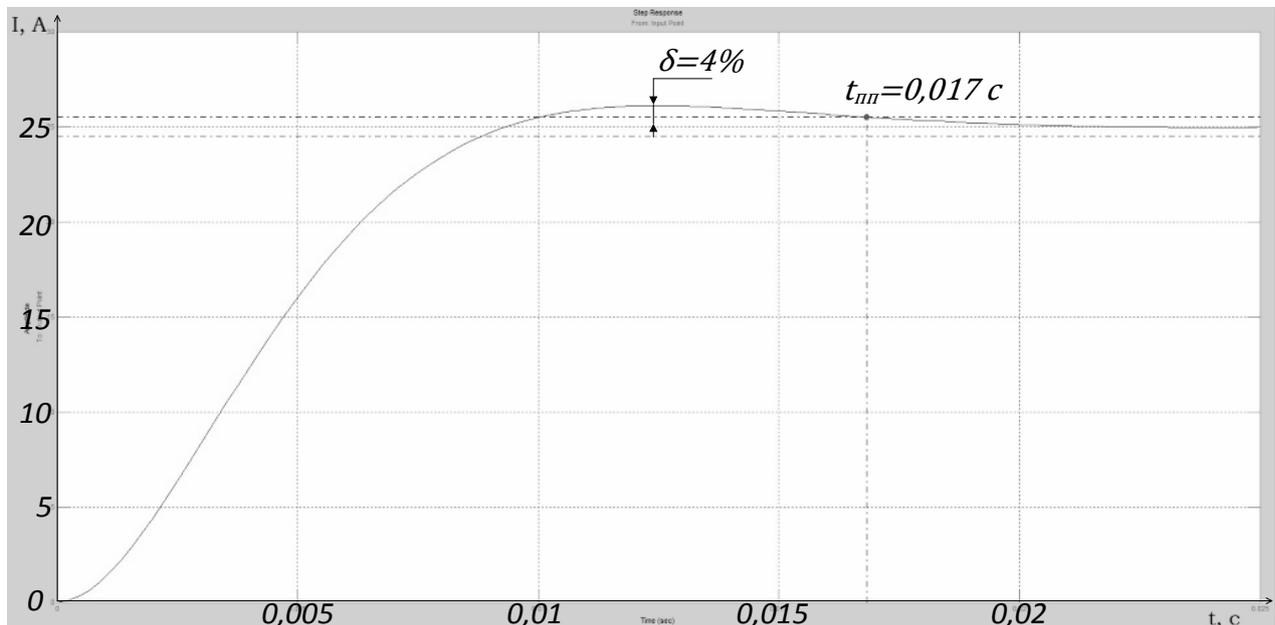


Рис. 3. Переходный процесс по току

Вывод. Контур тока ЭП подчиненного регулирования обеспечивает перерегулирование $\delta = 4\%$ и время переходного процесса $t_{mn} = 0,017$ с. Полученный результат удовлетворяет современным требованиям к ЭП суппорта металлорежущих станков.

Библиографический список

1. Шрейнер Р. Т., Системы подчиненного регулирования электроприводов. Екатеринбург: Издательство ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2010. 279 с.
2. Терехин В.Б. Моделирование системы электропривода в Simulink (Matlab 7.01); учебное пособие / В. Б. Терехин. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 292 с.

УДК 621.31

П. О. Иванов

магистрант кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

Л. И. Чубраева

д-р техн. наук, член-корр. РАН – научный руководитель

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Релейная защита осуществляет автоматическую ликвидацию повреждений и ненормальных режимов в электрической части энергосистем и является важнейшей автоматикой, обеспечивающей их надежную и устойчивую работу.

В современных энергетических системах значение релейной защиты особенно возрастает в связи с бурным ростом мощности энергосистем, объединением их в единые электрические связанные системы в пределах нескольких областей, всей страны, и даже нескольких государств.

Рост нагрузок, увеличение протяженности линий электропередачи, ужесточение требований к устойчивости энергосистем осложняют условия работы релейной защиты и повышают требования к ее быстродействию, чувствительности и надежности. В связи с этим идет непрерывный процесс развития и совершенствования техники релейной защиты, направленный на создание все более совершенных защит, отвечающих требованиям современной энергетики [1].

Электромеханические реле защиты последнего поколения полностью удовлетворяли всем требованиям, предъявляемым к ним как к средствам защиты электроэнергетических объектов от аварийных режимов в течение многих десятков лет. В новейших микропроцессорных устройствах функции релейной защиты объединили с функциями устройств связи и передачи данных, регистраторов аварийных режимов, узлов подстанционной логики и др. Такие многофункциональные комплексы стали сравнивать с единичными однофункциональными электромеханическими реле защиты, отработавшими не один десяток лет и порядком изношенными, и говорить о неоспоримых преимуществах микропроцессорных реле защиты. При этом, как бы упускается из виду, что речь идет о совершенно разных по выполняемым функциям устройствах, которые просто нельзя сравнивать друг с другом по этому критерию [2].

В данной статье мы не будем пытаться убедить техническую общественность в неправильно выбранном пути развития релейной защиты и тем более пытаться затормозить технический прогресс в России. А просто попытаемся разобраться в ключевых факторах, влияющих на работу релейной защиты, на данный момент времени.

Преимущества микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) не так очевидны, как может показаться, но и их вклад в развитие всей релейной защиты никто не собирается убавлять. Серьезными достижениями является резкое повышение надежности защит. Под преимуществами имеется в виду то, что вместо десятка старых электромеханических реле появилась возможность установить на подстанции небольшой «кубик» современного МУРЗ, с наличием встроенной самодиагностики, позволяющего заранее определять неисправность защиты, осуществляющего запись аварийных режимов, имеющего возможность дистанционного управления МУРЗ через компьютерную сеть, включая дистанционное изменение установок и т. д.

На первый взгляд, сформулированные выше доводы выглядят как неоспоримые доказательства преимуществ МУРЗ, в действительности же являются не так очевидными, при углубленном рассмотрении, как хотелось бы.

Рассматривать вопрос об эффективности и надежности МУРЗ приходится с оценки критериев, применяемых в релейной защите. Такой важнейший критерий как надежность, основанный на подсчете количества неправильных действий релейной защиты, не дает реального представления о надежности МУРЗ, а лишь вводит в заблуждение, поскольку никак не учитывает количества повреждений МУРЗ, если эти повреждения не привели к возникновению аварийных режимов. Приводимые в [2] статистиче-

ские данные свидетельствуют о том, что в действительности надежность МУРЗ ниже надежности электромеханических реле ЭМР и в последние годы имеет тенденцию к дальнейшему снижению.

Тесно связана с этим проблема ремонтпригодности МУРЗ. Защитники МУРЗ утверждают о высокой степени ремонтпригодности, позволяющей в течение нескольких минут заменить вышедший из строя модуль и, таким образом, очень быстро восстановить работоспособность релейной защиты. Вот только они ничего не говорят о том, что делать с отказавшим дорогостоящим модулем, выполненным из микрокомпонентов, не предполагающих ремонта. Выбросить и заменить новым? При этом следует иметь в виду, что потребитель может заменить вышедший из строя модуль исключительно таким же самым, произведенным тем же изготовителем. В итоге получаем, что, потратив однажды круглую сумму на приобретение комплекта МУРЗ у одного из производителей, потребитель попадает в экономическую зависимость к этому производителю на период 10 – 15 лет. И избавиться от этой зависимости можно только потратив еще раз не менее круглую сумму на комплект МУРЗ у другого производителя (таким образом попасть в зависимость от другого производителя). Производитель, в свою очередь, в ситуации абсолютного монополиста повышает цену. Таким образом, цена одного запасного модуля для МУРЗ может достигать чуть ли не до половины цены всего, весьма не дешевого МУРЗ. А поскольку потребителю некуда деваться он будет покупать и по такой цене.

А через 8 – 10 лет эксплуатации МУРЗ производитель освоил уже несколько новых конструкций и просто прекращает выпускать запасные модули для старых реле. В таком случае производителю остается выбросить старый МУРЗ, даже если в нем вышел из строя всего лишь один из модулей и раскошелиться на приобретение нового.

Непосредственно с вопросами надежности МУРЗ и их стоимости связан также вопрос о старении и сроке эксплуатации устройств защиты. Для МУРЗ, как и для ЭМР установлен нормативный срок эксплуатации 25 лет. Фактически многие электромеханические реле служат по 30 и 40 лет, в то время как компьютерная техника стареет намного быстрее, в первую очередь идет речь о программном обеспечении. Это означает необходимость в трате денег на обновление МУРЗ гораздо чаще, чем это делали при использовании электромеханических защит.

Уже стало тенденцией постоянное усложнение программного обеспечения, «навороченность» интерфейса, огромное количество неиспользуемых на практике функций, значительно усложняющих работу МУРЗ и повышающих вероятность ошибки вследствие «человеческого фактора». Кроме того, при наличии большого количества функций, использующих одни и те же внутренние ресурсы МУРЗ во время сложного аварийного режима, сопровождаются повреждениями из одного вида в другое, уже далеко не всегда становится возможным предугадать поведение защиты. А повреждение одного из общих для всех функций внутренних элементов МУРЗ (источника питания, микропроцессора, памяти и т.п.) приведет к мгновенной потере сразу всех защитных функций одновременно.

Еще одна проблема, о которой защитники МУРЗ умалчивают: сложность испытаний МУРЗ [3]. Существующие компьютеризированные тестовые системы релейной защиты (ТСРЗ) предназначены для проведения испытаний трех групп: статических, динамических и переходных процессов.

Современные ТСРЗ обладают поистине супергибкостью и широчайшими функциональными возможностями. Эти ТСРЗ позволяют симулировать практически любые встречающиеся на практике условия работы реле защиты, единственный минус в том, что существует необходимость вводить множество параметров в десятки таблиц, для выполнения испытания каждого отдельного реле. К этому следует добавить не меньшую гибкость и универсальность испытываемого объекта (МУРЗ), так же требующего введения огромного количества параметров из меню и таблиц.

Малейшее несоответствие между собой настроек МУРЗ и ТСРЗ приводит к неправильным результатам. Причем далеко не всегда удается понять, что полученные данные не верны. И даже в тех случаях, где ошибка очевидна, очень сложно, на практике, определить, где именно допущена ошибка: в настройках МУРЗ или в настройках ТСРЗ.

Но если преимущества МУРЗ не так уж однозначны и у них имеется масса проблем и недостатков, то кто и почему так торопится поскорее перейти на МУРЗ? Ведь никаких новых функций в релей-

ную защиту они не привнесли, а параметры и возможности высококачественных электромеханических и полупроводниковых защит полностью обеспечивают потребности релейной защиты.

Преимущества МУРЗ не являются какими-то революционными, способными повлиять на основополагающие принципы релейной защиты. В релейной защите нет принципиально важных задач, которых нельзя было бы решить с помощью электромеханических или статических реле. Свидетельствует об этом тот факт, что развитые электрические сети и системы существуют и успешно функционируют во всем мире уже более ста лет, тогда как микропроцессорные защиты появились в эксплуатации всего 10 – 15 лет назад, да и то только на Западе. В странах бывшего СССР, Восточной Европы и Азии до сих пор количество МУРЗ в сетях не превышает нескольких процентов.

Из всего выше сказанного следует вывод, что именно в сфере производства, а не эксплуатации проявляется самое важное преимущество МУРЗ: сверхприбыль производителей. По этой причине сегодня уже практически нигде в мире не производятся никакие другие виды защит, кроме микропроцессорных.

В отличие от изолированных компьютерных систем измерения и мониторинга, релейная защита непосредственно связана с возможностью воздействия на режимы работы энергосистемы. В этом заключается главное и основополагающее отличие релейной защиты, от всех других компьютеризированных устройств и систем, используемых в электроэнергетике, которое обуславливает и необходимость иного подхода к релейной защите на современном этапе [4].

Назначением релейной защиты, по мнению авторов работы [4], является только непосредственно релейная защита (т.е. выявление аварийного режима и выдачи команды на электрические аппараты, производящие изменения режима работы защищаемого объекта в целях ликвидации аварийного режима) и не более того. Все остальные проблемы должны решаться другими, независимыми от релейной защиты системами. Поэтому дальнейшее развитие микропроцессорной релейной защиты и других компьютерных и микропроцессорных систем в электроэнергетике должно происходить, независимыми параллельными курсами.

Библиографический список

1. *Чернобровов Н.В., Семенов В.А.* Релейная защита энергетических систем. Учебное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - 800 с: ил.
2. *Гуревич В.И.* Еще раз о надежности микропроцессорных устройств релейной защиты.// *Электротехнический рынок*, 2009. №3 (29). С. 40-45.
3. *Гуревич В.И.* Испытания микропроцессорных реле защиты.// *PROЭлектричество*, 2008. №1(25). С. 41-43.
4. *Гуревич В.И.* Актуальные проблемы релейной защиты: альтернативный взгляд. // *Вести в электроэнергетике*, 2010. №3 С. 30-43.

УДК 621.3.011.713

А. А. Игнатьева, К. В. Желудева

студентки кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

Л. Б. Свинолобова

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТОКОВ СВЯЗЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

В работе представлен метод идентификации параметров цепи на основе формирования матричных уравнений, в которые вводят данные измерений токов связей и параметры источников, а в качестве неизвестных выбирают параметры элементов электрической цепи.

Необходимость опытного определения параметров электрических цепей встречается часто. В простейших случаях, когда нужно определить один параметр цепи или ее участка – входное сопротивление при гармоническом токе – к цепи подключают источник, измеряют входное напряжение, ток и фазовый сдвиг между ними. Полученные данные используют в соответствующих формулах, по которым рассчитывают величину искомого параметра – комплексного сопротивления.

При исследовании различных устройств, например, электронных схем, электромеханических преобразователей энергии, отдельных блоков вычислительных комплексов, систем питания гидроакустических антенн возникает задача опытного определения большого числа параметров сложной электрической цепи [1]. Если оказывается невозможным или нецелесообразным разъединение цепи на отдельные элементы, то применение метода, использующего уравнения токов связей [2] позволяет решить задачу без нарушения целостности цепи.

Суть рассматриваемого способа состоит в преобразовании матричных уравнений.

Система из n объектов характеризуется квадратной матрицей параметров Z , к системе подключаются внешние источники ЭДС, выраженные матрицей-столбцом E порядка n , а реакции системы описываются матрицей-столбцом токов I также порядка n .

Тогда система уравнений для определения реакций имеет вид:

$$(Z) \cdot (I) = (E), \quad (1)$$

где Z – матрица сопротивлений размером $n \times n$, I – матрица-столбец токов ветвей связей размером $n \times 1$, E – матрица-столбец источников ЭДС, действующих в определенной ветви, размером $n \times 1$.

В матричном представлении для цепи с n ветвями связей уравнение (1) имеет следующую систему уравнений:

$$\begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1k} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{k1} & z_{k2} & \dots & z_{kk} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_k \end{pmatrix} \quad (2)$$

Решение уравнений (2) выполняется относительно токов ветвей связей.

Уравнения, где в качестве неизвестных входят параметры матрицы сопротивлений, получаются из уравнений (2) в результате соответствующих преобразований матриц [3]. После перестановки местами матриц Z и I в уравнении (2) получаем уравнение для цепи с тремя ветвями связей.

$$\begin{pmatrix} (I)^T & 0 & 0 \\ 0 & (I)^T & 0 \\ 0 & 0 & (I)^T \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} (Z_1)^T \\ (Z_2)^T \\ (Z_3)^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

где $(Z_k)^T$ – транспонированная матрица k -й строки матрицы сопротивлений, $(I)^T$ – транспонированная матрица столбцовой матрицы токов связей, $k=1, 2, 3$.

В необратимой цепи число неизвестных сопротивлений равно n^2 , поэтому необходимо иметь такое же количество уравнений и значит проводить n опытов, включая по одному источнику ЭДС в n ветвь связей при этом измеряя токи этих ветвей.

В схеме с тремя ветвями связей система уравнений (3) имеет 3 уравнения и 9 неизвестных, поэтому она не решается однозначно. Значит необходимо выполнить не один, а три опыта, в каждом из которых включается только один источник в соответствующую ветвь связей и далее применить принцип наложения.

Тогда система уравнений (3) в матричной форме будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} I_1' & I_2' & I_3' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_1' & I_2' & I_3' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_1' & I_2' & I_3' \\ I_1'' & I_2'' & I_3'' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_1'' & I_2'' & I_3'' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_1'' & I_2'' & I_3'' \\ I_1''' & I_2''' & I_3''' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_1''' & I_2''' & I_3''' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_1''' & I_2''' & I_3''' \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Z_{11} \\ Z_{12} \\ Z_{13} \\ Z_{21} \\ Z_{22} \\ Z_{23} \\ Z_{31} \\ Z_{32} \\ Z_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ E_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ E_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

или в сокращенном виде:

$$(A)(Z') = (E)$$

где A – матрица экспериментальных значений, элементами которой являются измерения токов связей, Z' – столбцовая матрица, полученная в результате транспонирования последовательно каждой строки матрицы контурных сопротивлений.

Решение матричного уравнения (4), полученного в результате проведения трех экспериментов имеет вид:

$$(Z') = (A)^{-1} \cdot (E), \quad (5)$$

где A^{-1} – обратная матрица для матрицы A .

Рассмотрим пример идентификации параметров цепи, изображенной на рис. 1.

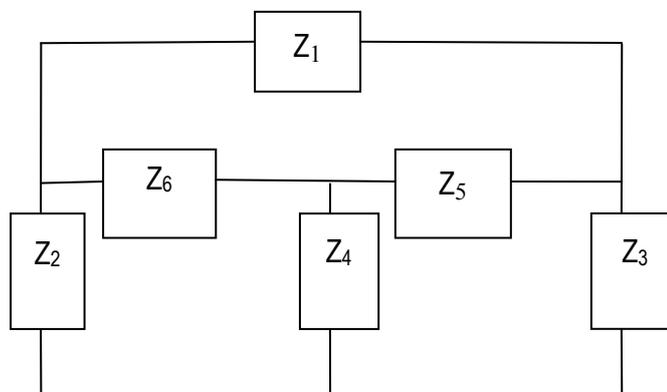
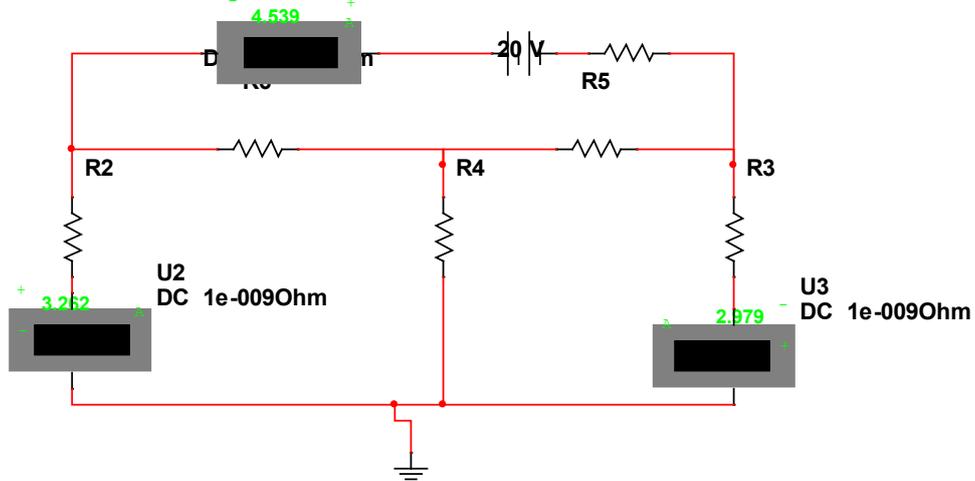
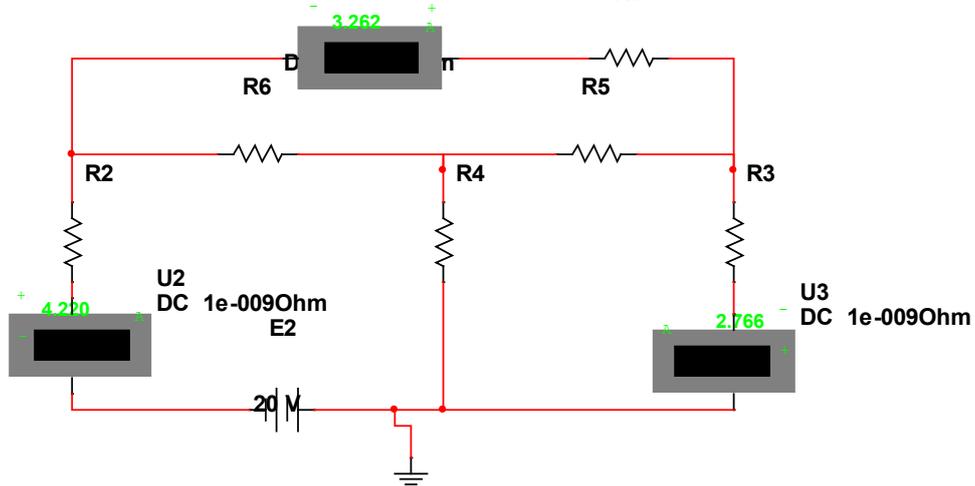


Рис. 1. Схема исследуемой цепи

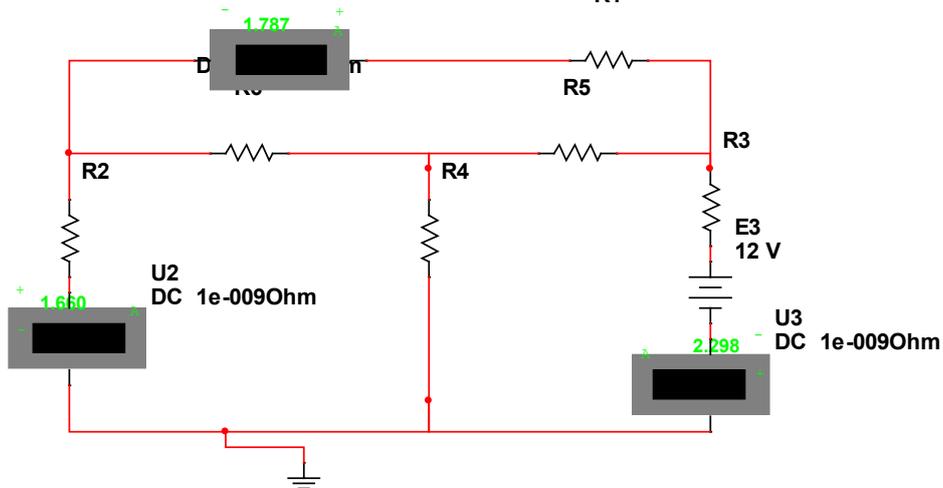
Моделирование исследуемой цепи проводится в пакете Multisim 11. Для выполнения поставленной задачи проводится три опыта: в первом опыте (рис. 2,а) источник включается в ветвь связи 1, во втором (рис. 2,б) источник находится в ветви 2, в третьем – в ветви 3 (рис. 2,в).



а)



б)



в)

Рис. 2. Моделирование исследуемой цепи в пакете Multisim 11

По результатам опытов формируются матрицы A , E .

$$(A) = \begin{pmatrix} 4.53 & 3.26 & 2.97 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4.53 & 3.26 & 2.97 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4.53 & 3.26 & 2.97 \\ 3.26 & 4.22 & 2.76 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.26 & 4.22 & 2.76 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.26 & 4.22 & 2.76 \\ 1.78 & 1.66 & 2.29 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.78 & 1.66 & 2.29 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.78 & 1.66 & 2.29 \end{pmatrix}, (E) = \begin{pmatrix} 20 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 20 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 12 \end{pmatrix}$$

Вычисление матрицы параметров выполняется в пакете Mathcad в соответствии с формулой (5).

$$(Z') = (A)^{-1} \cdot (E) = \begin{pmatrix} 12.009 \\ -6.032 \\ -4.962 \\ -5.991 \\ 12.021 \\ -4.057 \\ -5.013 \\ -3.999 \\ 12.036 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Элементы полученной матрицы Z' содержат собственные и взаимные сопротивления трех контуров.

В общем виде матрица Z' , записанная через транспонированную, имеет вид:

$$(Z')^T = (Z_{11} \quad Z_{12} \quad Z_{13} \quad Z_{21} \quad Z_{22} \quad Z_{23} \quad Z_{31} \quad Z_{32} \quad Z_{33}) \quad (7)$$

Для определения искомых параметров элементов цепи необходимо сравнить формулы (6) и (7).

Для пассивной цепи взаимные сопротивления контуров связаны соотношениями:

$$Z_{12} = Z_{21}, Z_{13} = Z_{31}, Z_{23} = Z_{32}.$$

Расхождения в значениях элементов матрицы Z' выражения (6) обусловлены погрешностями измерений, поэтому целесообразно использовать среднееарифметическое значение:

$$Z_{12} = (-6.032 - 5.991) / 2 = -6.012; Z_{13} = (-4.962 - 5.013) / 2 = -4.988;$$

$$Z_{23} = (-4.057 - 3.999) / 2 = -4.028.$$

Сопротивления ветвей дерева определяются взаимными сопротивлениями контуров, значит $Z_6 = |Z_{12}| = 6,012 \text{ Ом}$, $Z_5 = |Z_{13}| = 4,988 \text{ Ом}$, $Z_4 = |Z_{23}| = 4,028 \text{ Ом}$.

Сопротивления ветвей связей определяются по формулам:

$$Z_3 = Z_{33} - Z_4 - Z_5 = 3,019 \text{ Ом}$$

$$Z_2 = Z_{22} - Z_4 - Z_6 = 1,981 \text{ Ом}$$

$$Z_1 = Z_{11} - Z_6 - Z_5 = 1,009 \text{ Ом}.$$

В табл. 1 представлены результаты вычислений (строка 1) и приведены истинные значения параметров (строка 2).

Таблица 1

Вычисленное значение / истинная величина параметра

Параметр \ Значение	$Z_1, Ом$	$Z_2, Ом$	$Z_3, Ом$	$Z_4, Ом$	$Z_5, Ом$	$Z_6, Ом$
вычисленное	1.009	1.981	3.019	4.028	4.988	6.012
истинное	1	2	3	4	5	6

В результате работы была проведена идентификация параметров элементов электрической цепи методом токов связей. Сравнивая строки, можно сделать вывод о том, что погрешность вычислений не превышает 1%, что говорит о высокой точности используемого метода для данной схемы.

Библиографический список

1. Киншт, Н.В. Диагностика электрических цепей/Н. В. Киншт, Г. Н. Герасимова, М. А. Кац– М.: Энергоатомиздат, 1983. – 192 с.
2. Зевеке, Г.В. Основы теории цепей / Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов.- М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.
3. Анго, А. Математика для электро-радиоинженеров.М.: Наука, 1965.

УДК 621.31

Е. А. Ичетовкин

студент кафедры управления в технических системах

И. В. Елтышева

научный руководитель

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ. ГЛАВНАЯ ПОНИЖАЮЩАЯ ПОДСТАНЦИЯ

Целью данной работы является разработка и создание действующей учебной модели главной понижающей подстанции.

При разработке этой модели были соблюдены основные правила проектирования новых промышленных объектов, такие как создание наиболее простой схемы энергоснабжения и снижение расходов электроэнергетики.

Одним из главных участков схемы электроснабжения является Главная понижающая подстанция (ГПП), как правило, она следует в цепи после электростанции. ГПП это достаточно масштабный объект, к ней подходит напряжение 220, 110 и 35 кВ. На выходе обычно бывает 6 и 10 кВ.

Главная понижающая подстанция предназначена для электроснабжения предприятия или городского района. Именно о такой подстанции пойдет речь.

Такие масштабные объекты, как ГПП имеют особую сложную систему управления и свои особые способы управления. Иногда молодому специалисту бывает сложно понять, как именно работает подстанция. В данном проекте эта задача будет решена путем создания работающей модели стендового типа ГПП.

Для рассмотрения в проекте был выбран, Сестрорецкий инструментальный завод, который на данном этапе, к сожалению, реконструируется в жилой комплекс, но позволяет оценить все необходимые нам параметры.



Рис. 1. Сестрорецкий инструментальный завод. Главная понижающая подстанция

Цели данного проекта – спроектировать ГПП и собрать стенд-модель ГПП.

Задачи:

- выполнить все необходимые расчеты;
- спроектировать схему;
- подобрать электрооборудование;
- собрать стенд.

Исходные данные:

- расстояние от ТЭЦ до ГПП, $L = 3$ км;
- предполагаемая мощность производства (активная) $P = 9900$ кВт;
- рабочее напряжение предприятия $U = 10$ кВ.

В ходе работы над проектом:

- была разработана наиболее экономически выгодная схема электроснабжения, а именно схема с неявным резервом и выключателями по высокой и низкой стороне;
- выбрано рациональное напряжение 35/10 кВ;
- выбран трансформатор ТМН мощностью 6300 кВА;
- подобрано современное оборудование, вакуумный выключатель ВБ35/630 по высокой и ВВР 10/1000 по низкой стороне

Электроснабжение ответственных приемников, относящихся к 1-й и 2-й категориям по бесперебойности питания, обеспечивается применением двух независимых источников питания. Для обеспечения бесперебойного питания используется система АВР, которая должна приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах подстанции.

Для защиты от токов короткого замыкания, применяется релейная защита.

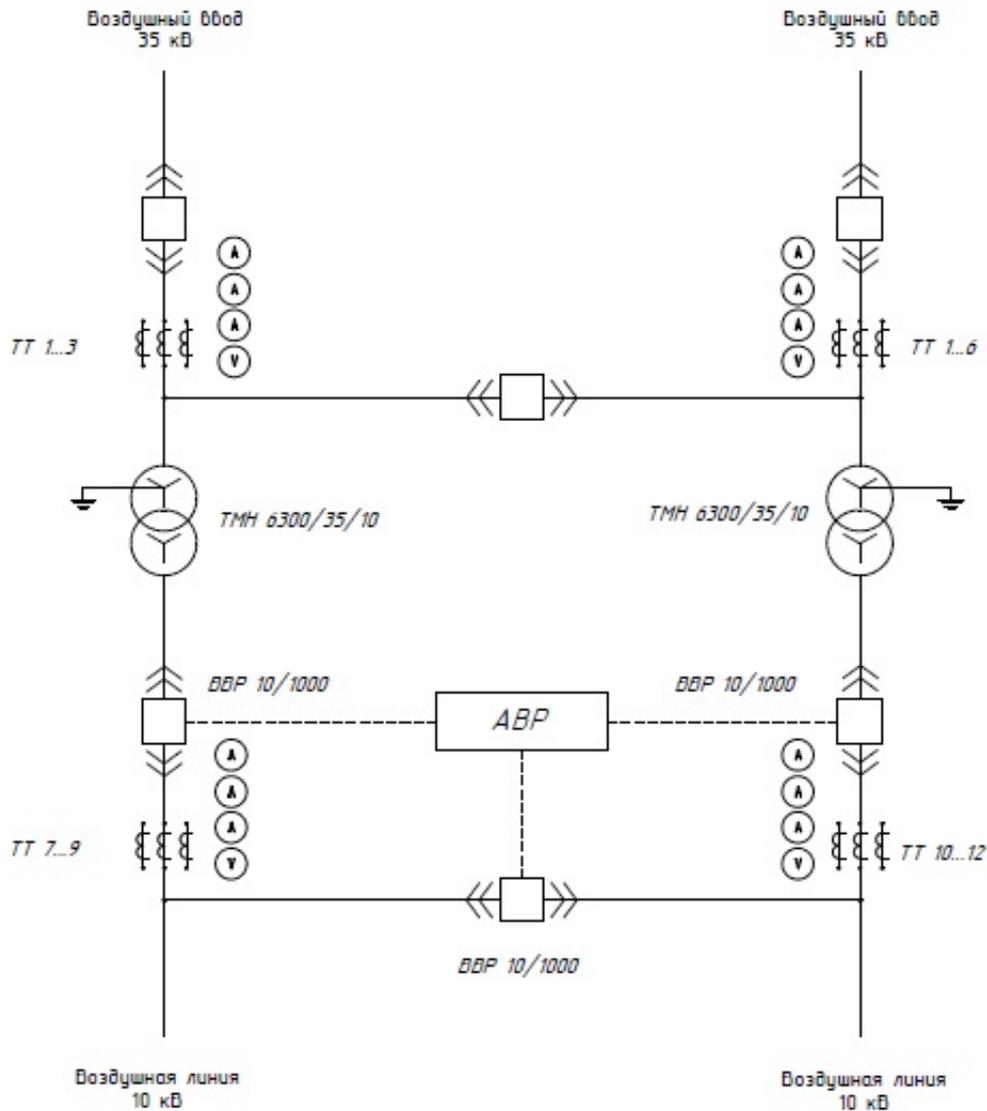


Рис. 2 . Схема электрическая однолинейная, ГПП

Оборудование:

- трансформатор ТМН мощностью 6300кВА – один из уникальных силовых трансформаторов, предназначен для работы в сетях трехфазного переменного тока частотой 50Гц. В трансформаторе применено естественное масляное охлаждение. Трансформаторы ТМН мощностью 6300 кВА используются для преобразования электрической энергии на крупных промышленных предприятиях;
- вакуумный выключатель ВБ-35-25/630 предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в ячейках распределительных устройств в электрических сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 35 кВ с изолированной или заземленной нейтралью;
- вакуумный выключатель ВВР 10-20/1000 с пружино-моторным приводом предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока с изолированной нейтралью частоты 50 Гц с номинальным напряжением 10 кВ.

Подбор аналогов.

Электрические устройства высокого напряжения имеют необычайно огромные размеры, поэтому для макетирования используются аналоги силового оборудования.

Таблица 1

Оборудование для макетирования

Устройство		Аналог		Количество, шт.
наименование	описание	наименование	описание	
ТМН 6300/35/10	Силовой трансформатор 3 фазный	ТСУ-0,25	Трехфазный, сухой трансформаторы напряжения общего назначения	2
ВБ-35-25/630	Вакуумный выключатель 35кВ	ПМА 3100	Пускатель магнитный	3
ВВР 10/1000	Вакуумный выключатель 10кВ	РЭК 78/3	Реле промежуточные	3

После выбора аналогов была разработана схема электрическая принципиальная.

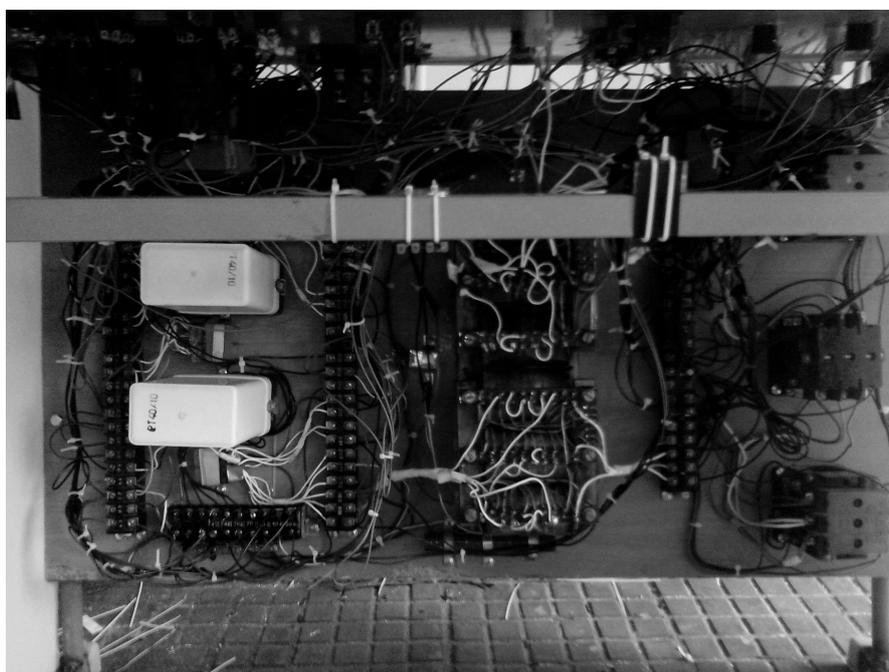


Рис. 3. Внутренняя часть стенда

Были рассчитаны мощность стенда – 125 Вт и ток КЗ – 10 А.

В процессе сборки в первую очередь производилась сборка основного каркаса, затем – силовой схемы и релейной защиты и автоматики.

Собранный стенд (рис. 4) предназначен для демонстрации процессов, происходящих на ГПП, и включает три основных режима работы:

- нормальный режим работы – две линии работают параллельно, потребители запитываются независимо;
- аварийный режим работы (АВР) – потребители запитываются от одной линии, раздается звук сигнализации, и горит лампа «падения линии»;
- режим КЗ – аварийный режим работы, во время возникновения КЗ реле тока отключает линию, срабатывает сигнализация, горит лампа «Авария».



Рис. 4. Стенд – модель ГПП

В результате работы над данным проектом, была разработана подстанция, которая могла бы запитать ныне не действующий Сестрорецкий инструментальный завод.

Также на основе полученных результатов, были подобраны аналоги силового оборудования и собран стенд, моделирующий работу ГПП со всеми основными режимами работы. Данный стенд условно разбивается на две части, одна из которых отвечает за создание внештатных (внешних) явлений, другая демонстрирует работу персонала.

Стенд можно использовать для демонстрации и обучения людей, желающих понять работу ГПП и наглядно увидеть происходящие на подстанции процессы.

В настоящее время разработанный стенд используется как лабораторное оборудование в Ижевском промышленно-экономическом колледже.

Библиографический список

1. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Б.Ю. Липкин. – М.: Высшая школа, 1981.
2. Оформление учебной документации: Учебно–методическое пособие для выполнения курсовых и дипломных работ / Составитель Т.В. Кунгурова. – Ижевск:, 2004.
3. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергия, 1996.
4. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова. – М.: Энергия, 1980.
5. Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей / Под редакцией Я. М. Большама, В. И. Круповича, М. Л. Самовера. – Изд. 2-е. – М.: Энергия, 1984.
6. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Промышленные электрические сети / Под редакцией А. А. Федорова. – М.: Энергия, 1980.
7. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация / Под редакцией А. А. Федорова. – М.: Энергия, 1980.

УДК 628.8

Е. А. Ковалева

студент кафедры управления в технических системах

В. Д. Косулин

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

ПРИЛИВНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Наличие энергоресурсов – неперенное условие существования человечества. Потребности в них увеличиваются с каждым годом. Вместе с тем запасы традиционного природного топлива конечны. Конечны также и запасы ядерного топлива – урана и тория, из которого можно получать плутоний в реакторах-размножителях. Так, по примерным подсчетам угля хватит на 600 лет, нефти на 90 лет, газа на 50 лет, урана по разным прогнозам на 27 – 80 лет. Практически неисчерпаемы запасы термоядерного топлива – водорода, однако управляемые термоядерные реакции пока не до конца освоены и неизвестно, когда они будут использованы для промышленного получения энергии. Для удовлетворения растущей потребности в энергоносителях имеются два пути: строгая экономия при расходовании энергоресурсов и использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии, являющихся основой альтернативной энергетики.

Под альтернативной энергетикой понимают совокупность перспективных способов получения энергии, которые распространены не так широко, как традиционные, однако представляют интерес ввиду низкого риска причинения вреда экологии. При этом используется энергия водных ресурсов (энергия рек, волн, приливов), внутренняя энергия Земли, энергия ветра и Солнца. Запасы природных источников энергии Земли достаточно велики. Их эффективное использование может решить проблему истощения невозобновляемых источников энергии. Сравнительные данные о запасах первичных источников энергии на Земле [1] приведены в таблице.

Ядерная энергия деления и химическая энергия горючих веществ представляют собой невозобновляемые источники, энергия же приливов и ветра – возобновима.

Таблица

Сравнительная характеристика запасов природных источников энергии

Доля от общих энергозапасов Земли, %					
Ядерная энергия деления	Химическая энергия горючих веществ	Внутренняя теплота Земли	Энергия приливов	Энергия ветра	Энергия рек
81,7	8,171	0,02	10,39	0,247	0,02

Доля запасов энергии приливов сравнима с общими запасами невозобновляемых источников химической энергии горючих веществ. Эксперты из организации Greenpeace сделали вывод, что использование только приливной энергии с учетом ее запасов даст такое количество энергии, которое превысит современные потребности человечества в электроэнергии в 5 тыс. раз [2]. В будущем по мере истощения запасов невозобновляемых источников человечество перейдет к преобладающему использованию возобновляемых.

Все это свидетельствует об актуальности создания приливных электростанций как важнейшего элемента альтернативной энергетики. При этом возможно совместное использование энергии приливов и волн, поскольку энергия волн по сравнению с ветровой и солнечной энергией обладает гораздо большей удельной мощностью. Так, средняя мощность волнения морей и океанов, как правило, превышает 15 кВт/м. При высоте волн в 2 м мощность достигает 80 кВт/м [3].

Проектная мощность приливной электростанции зависит от характера прилива в районе строительства станции, от объема и площади приливного бассейна.

В морских просторах приливы чередуются с отливами теоретически через 6 ч 12 мин 30 с. Если Луна, Солнце и Земля находятся на одной прямой (так называемая сизигия), Солнце своим притяжением усиливает воздействие Луны, и тогда наступает сильный прилив (сизигийный прилив, или большая вода). Когда же Солнце стоит под прямым углом к отрезку Земля-Луна (квадратура), наступает слабый прилив (квадратурный, или малая вода). Сильный и слабый приливы чередуются через семь дней. Однако истинный ход прилива и отлива весьма сложен. На него влияют особенности движения небесных тел, характер береговой линии, глубина воды, морские течения и ветер. Самые высокие и сильные приливные волны возникают в мелких и узких заливах или устьях рек, впадающих в моря и океаны. Например, приливная волна Индийского океана катится против течения Ганга на расстояние 250 км от его устья; приливная волна Атлантического океана распространяется на 900 км вверх по Амазонке. В закрытых морях, таких как Черное или Средиземное, возникают малые приливные волны высотой 50 – 70 см.

Максимально возможная мощность в одном цикле прилив–отлив, т. е. от одного прилива до другого, выражается уравнением [9]

$$W = \rho g S R^2,$$

где ρ – плотность воды, g – ускорение силы тяжести, S – площадь приливного бассейна, R – разность уровней при приливе.

Как видно из формулы, для использования приливной энергии наиболее подходящими можно считать такие места на морском побережье, где приливы имеют значительную амплитуду, а контур и рельеф берега позволяют устроить большие замкнутые «бассейны». Для эффективной работы приливной электростанции необходимо, чтобы перепад уровней составлял более четырех метров. Мощность электростанций в некоторых местах могла бы составить 2 – 20 МВт.

Одна из возможных схем приливной электростанции представлена на рис. 1.

Узкий морской залив отсекается плотиной от океана. В отверстиях плотины в обтекаемой капсуле размещаются гидротурбины с генераторами.

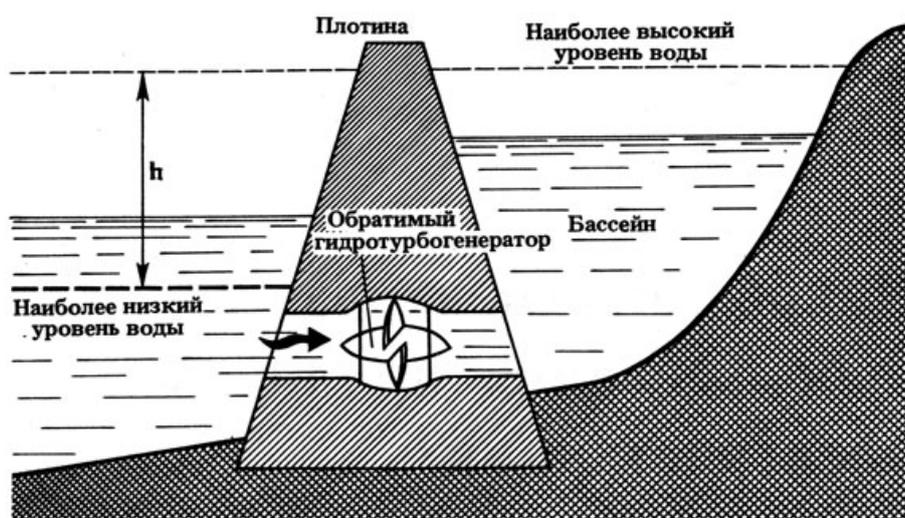


Рис. 1. Схема приливной электростанции

Они способны не только вырабатывать электрическую энергию при движении через них морской воды, но и выполнять функции насосов. При этом производство электроэнергии происходит как в период прилива, так и в период отлива.

Режим работы приливной электростанции обычно состоит из нескольких циклов: простой по 1 – 2 часа, периоды начала прилива и его окончания, рабочие циклы продолжительностью по 4 – 5 часов, периоды прилива или отлива, когда станция работает в полную мощность. В ходе прилива бассейн приливной электростанции наполняется водой. Движение воды вращает колеса капсульных агрегатов, и электростанция вырабатывает ток. Во время отлива вода, уходя из бассейна в океан, опять вращает рабочие колеса, теперь в обратную сторону. И вновь электростанция производит электрический ток, потому что рабочий агрегат обеспечивает одинаково хорошую работу при вращении колеса в любую из сторон.

В промежутках между приливом и отливом движение турбины прекращается. Какой же выход из этого положения? Чтобы не было перебоев в энергоснабжении, энергетики связывают приливную электростанцию с другими станциями. Это могут быть, например, тепловые или атомные электростанции. Получившееся энергетическое кольцо помогает во время пауз переложить нагрузку на соседей по кольцу. Возможный алгоритм совместной работы приливной и тепловой электростанций приведен на рис. 2.

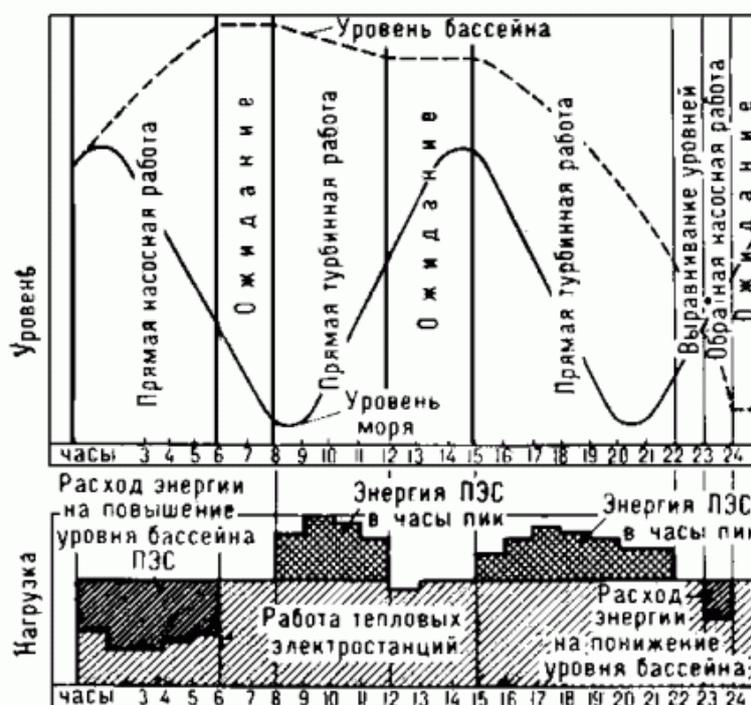


Рис. 2. Пример суточного режима работы приливной электростанции (ПЭС)

Как видно из диаграммы, в часы пиковых нагрузок требуемую дополнительную энергию вырабатывают генераторы приливной электростанции. На работающих в разных странах приливных электростанциях, как правило, применяются турбины, у которых напорный поток воды движется вдоль оси турбины. Но в последние годы одним из прорывов в области технологии производства силовых агрегатов стала разработка московского НИИ «Энергетических сооружений» [4]. Сотрудниками института были разработаны теоретические основы для создания опорной ортогональной турбины с осью вращения поперек потока воды. Принцип действия турбины заключается в создании подъемной силы на крыле лопасти специального профиля. Рабочее колесо генератора всегда вращается в одну сторону, независимо от направления потока воды. КПД такой турбины составляет около 70%, что несколько меньше, чем дают осевые агрегаты, но такая конструкция гораздо дешевле, почти вдвое легче и проще по изготовлению, что позволяет строить ортогональные турбины на любом механическом заводе. С данной разработкой можно связать перспективы массового производства подобных агрегатов и их установку на микроПЭС. Согласно исследованиям, проведенным на французской приливной электростанции

Ранс, стоимость электроэнергии ПЭС в 1995 г. была самой низкой по сравнению с другими видами электростанций [4]. При этом тенденция разрыва стоимости в пользу ПЭС в последнее время только усиливается. В будущем энергия волн и приливов может обеспечить от 12% до 25% мировой потребности в электроэнергии (энергия мирового океана в 120 изученных створах оценивается более чем в 800 ГВт). По оценкам специалистов, в России ПЭС со временем смогут обеспечить до 20 – 30% всей потребности (на 2011 г. – 218 235,8 МВт) в электроэнергии.

В настоящее время в России работает только одна опытная приливная электростанция – Кислогубская ПЭС, расположенная на Баренцевом море. В стадии разработки находятся проекты Тугурской ПЭС мощностью 8 ГВт и Пенжинской ПЭС мощностью 87 ГВт на Охотском море, энергия которых может быть передана в энергодефицитные районы Юго-Восточной Азии. На Белом море проектируется Мезенская ПЭС мощностью 11,4 ГВт, энергию которой предполагается направить в Западную Европу. В Мурманской области также разрабатываются проекты строительства Северной и Лумбовской ПЭС.

В последние годы приливная энергетика получила дальнейшее развитие. Она пополняется принципиально новыми типами приливных электростанций. Главным их отличием является отсутствие дорогой плотины. Вместо компактных турбин электрогенераторы приводятся в движение крупными лопастями диаметром от 10 до 20 метров. Такие электростанции больше всего напоминают ветряные электростанции, опущенные в воду [4].

К недостаткам традиционных приливных электростанций можно отнести их высокую стоимость. Она в 2,5 раза превышает стоимость гидроэлектростанций аналогичной мощности. К преимуществам ПЭС можно отнести ее экологичность и низкую себестоимость производства энергии. Кроме того, введение в строй подобных станций позволит снизить потребление органического топлива, особенно для стран, где отсутствуют месторождения нефти и газа. Так, приливная электростанция, введенная в эксплуатацию в декабре 2011 г. в Южной Корее, мощностью 254 МВт, способна обеспечить электрической энергией город, число жителей которого составляет 500 тыс. человек. С ее помощью Южная Корея сможет экономить более 860 тыс. баррелей нефти в год.

Плотины ПЭС биологически проницаемы, что не создает препятствий миграции рыб. Исследования Полярного института рыбного хозяйства и океанологии подтверждают, что в районе опытно-промышленной Кислогубской ПЭС не было обнаружено погибшей или поврежденной рыбы. К тому же при эксплуатации ПЭС гибнет около 5 – 10% планктона – основной кормовой базы рыб, в то время как при работе ГЭС – 83 – 99%.

Размыв дна и движение наносов при строительстве ПЭС полностью стабилизируются в течение первых двух лет эксплуатации. Наплавной способ строительства дает возможность не возводить в створах ПЭС временные строительные базы и не сооружать перемычки, что способствует сохранению окружающей среды в районе ПЭС.

В заключение целесообразно указать на основные аспекты, связанные с переходом на альтернативные источники энергии.

1. Глобально-экологический: сегодня общеизвестен и доказан факт пагубного влияния на окружающую среду традиционных энергодобывающих технологий, применение которых неизбежно ведет к необратимому изменению климата.

2. Политический: та страна, которая первой в полной мере освоит альтернативную энергетику, способна претендовать на мировое первенство и фактически диктовать цены на топливные ресурсы.

3. Экономический: переход на альтернативные технологии в энергетике позволит сохранить топливные ресурсы страны для переработки в химической и других отраслях промышленности. Кроме того, стоимость энергии, производимой многими альтернативными источниками, уже сегодня ниже стоимости энергии из традиционных источников, да и сроки окупаемости строительства альтернативных электростанций существенно короче.

4. Социальный: численность и плотность населения постоянно растут. При этом трудно найти районы строительства АЭС, ГРЭС, где производство энергии было бы безопасно для окружающей среды. Общеизвестны факты роста онкологических и других тяжелых заболеваний в районах располо-

жения АЭС, предприятий топливно-энергетического комплекса, хорошо известен вред, наносимый гигантскими равнинными ГЭС, – все это увеличивает социальную напряженность.

5. Эволюционно-исторический: в связи с ограниченностью топливных ресурсов на Земле, а также экспоненциальным нарастанием катастрофических изменений в атмосфере и биосфере планеты существующая традиционная энергетика представляется тупиковой; для эволюционного развития общества необходимо немедленно начать постепенный переход на альтернативные источники энергии. И одним из направлений такого перехода является создание приливных электростанций.

Библиографический список

1. <http://bellona.ru/> - сайт экологического объединения «Беллона».
2. Крживка В. Приливные электростанции [Текст] / В. Крживка // Молодой ученый. 2013. №11. С. 120-126.
3. Бернштейн Л.Б. «Приливные электростанции», Энергоатомиздат, 1987.
4. <http://www.baltslon.ru/> - сайт аналитической группы «Балтийские боевые слоны».

УДК 621.313.84

М. Д. Козлов

студент кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

С. С. Тимофеев

научный руководитель

РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ДИСКОВОГО ТИПА

Магнитные цепи можно разделить на два типа: симметричные и несимметричные.

В подавляющем большинстве магнитные цепи выполняются несимметричными (рис. 1). При этом магнитопровод может быть замкнутым или иметь небольшой воздушный зазор, а обмотки обычно располагаются на отдельных участках цепи. В таких цепях появляется поток рассеяния, который будет определяться величиной воздушного зазора, конфигурацией магнитной цепи, степенью насыщенности стали, расположением намагничивающей катушки, наличием электромагнитных экранов (короткозамкнутых витков) и другими факторами.

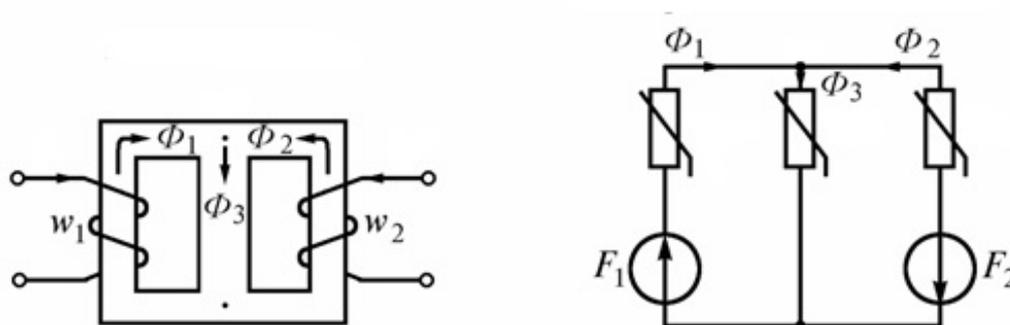


Рис. 1. Несимметричная магнитная цепь

Степень учета поля рассеяния зависит в каждом отдельном случае от требований, предъявляемых к расчету электрического аппарата. С достаточной для практики точностью потоком рассеяния можно пренебречь в трех случаях: когда магнитопровод замкнут, когда на пути основного потока имеется воздушный зазор сравнительно малой величины, а магнитная цепь насыщена незначительно, и когда размагничивающее действие вторичной обмотки сравнительно невелико. Иначе говоря, прене-

бегать потоком рассеяния можно в тех случаях, когда он мал по сравнению с основным потоком. Несимметричные магнитные цепи с переменной удельной проводимостью рассеяния наиболее характерны для электрических машин дискового типа. Расчет проводимостей таких цепей основывается на изучении картины поля [1].

Расчет проводимостей потоков рассеяния воздушных промежутков оказывает наибольшее влияние на точность расчетов в целом.

Ниже (рис. 2) приведена схема дисковой электрической машины.

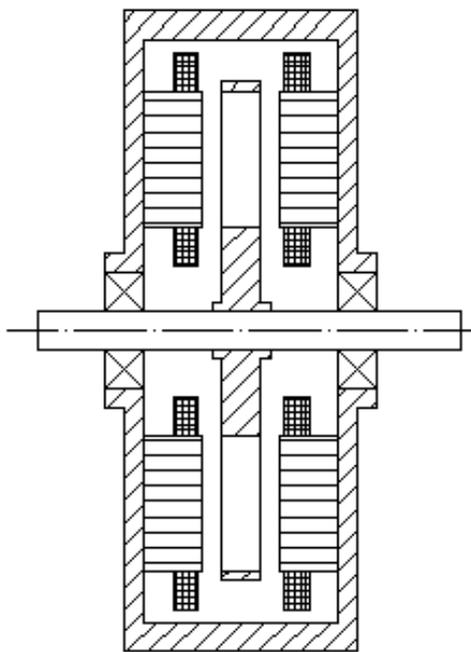


Рис. 2. Схема дисковой электрической машины

Конструкция дисковой электрической машины включает в себя индуктор, выполненный в виде диска из немагнитного материала, на котором размещены магнитные элементы, создающие магнитный поток индуктора. А также якорь, расположенный с двух сторон диска индуктора и имеющий магнитные элементы, создающие магнитный поток якоря.

Магнитную цепь дисковой ВТСП электрической машины можно представить в виде схемы замещения (рис. 3) [4].

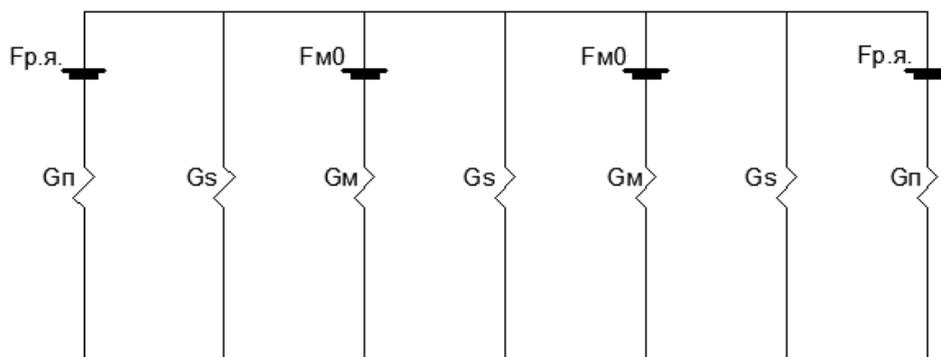


Рис. 3. Схема замещения магнитной цепи ВТСП электрической машины

На схеме представлены приведенные магнитные проводимости цепи. В том случае если система не насыщена, характеристики магнитных проводимостей G_p , G_s и G_m будут линейны. Для определения

суммарной (результатирующей) проводимости цепи дисковой электрической машины необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$G_0 = G_{\Pi} + G_S = \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{\Phi_d}{F_d} = \frac{B_d S_M}{H_d l_M}.$$

Для высокотемпературных сверхпроводниковых синхронных электрических машин расчет проводимостей воздушных зазоров имеет большое значение, так как это сильно сказывается на магнитных полях, направленных перпендикулярно ВТСП ленте. Это сказывается на параметрах проводящей ленты, что приводит к ухудшению рабочих параметров электрической машины.

Можно выделить две зоны в активной части машины (рис. 4) для расчета проводимостей рассеяния:

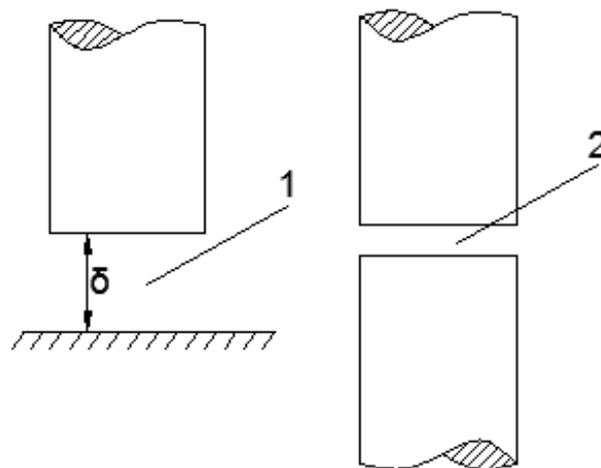


Рис. 4. Зоны активной части машины:
1 – зона полюс-плоскость, 2 – зона полюс-полюс

Для области полюс-плоскость магнитная проводимость рассеяния определяется как проводимость между плоскими параллельными поверхностями:

$$G_S = bg$$

$$g = \mu_0 \frac{1}{2\pi} \ln(2m^2 - 1 + 2m\sqrt{m^2 - 1}),$$

$$m = \frac{\delta + 2a}{\delta},$$

где b – диаметр полюса, a – диаметр полюса, g – удельная магнитная проводимость.

Для области полюс-полюс можно определить боковую магнитную проводимость и проводимость рассеяния. В данном случае удельные проводимости g_z и g_{pm} следует уменьшить в два раза:

$$G_Z = \mu_0 \pi d \frac{g_z}{2},$$

$$G_{PT} = \mu_0 \pi d \frac{g_{PT}}{2},$$

$$G_M = \mu_0 \pi d \frac{\pi d^2}{4\delta_0}.$$

При условии, что отношение длины воздушного зазора и диаметра полюса исследуемой машины меньше 0,2, то определение проводимости можно свести к следующему выражению:

$$G_M = \mu_0 \left(\frac{\pi d^2}{4\delta_0} + \frac{\pi d}{2} (g_Z + g_{PT}) \right) \Phi,$$

где d – диаметр магнита, δ_0 – длина воздушного зазора.

От точности расчета магнитных проводимостей постоянного магнита зависит точность всего электромагнитного расчета машины. При расчете проводимостей следует учитывать некоторые особенности:

- намагничивающая сила по длине постоянного магнита является распределенной;
- поверхность магнита не является эквипотенциальной;
- поле по длине и ширине не является постоянным;
- различные точки магнита имеют различное состояние.

В связи с этим для расчета проводимости используют проводимость, эквивалентную по величине суммарному потоку рассеяния магнита:

$$G_m = \frac{\Phi_m}{F_m} = G_{mr} k_{np},$$

где G_{mr} – геометрическая величина проводимости рассеяния магнита, k_{np} – коэффициент приведения.

Величина коэффициента зависит от характера изменения магнитного напряжения и от изменения проводимостей рассеяния по длине магнита. В этом случае проводимость можно записать в виде выражения:

$$G_m = \sum_0^m g_{sk} \frac{l_k}{l_m},$$

где l_k – расстояние между серединами k -й пары участков магнита, l_m – размер электромагнита.

Обычно постоянный магнит работает совместно с внешней магнитной цепью, содержащей ферромагнитные сердечники с обмотками, отделенные от магнита воздушными зазорами. Магнитный поток, создаваемый магнитом, состоит из основного рабочего потока в зазоре, замыкающегося через магнит, зазоры и сердечник, а также потока рассеяния, не попадающего в сердечник [2, 3].

Принято считать, что поток рассеяния проходит по всей длине магнита и исходит из рабочей поверхности полюса магнита, поэтому верно следующее выражение:

$$\Phi_\delta = G_\delta F_M,$$

где G_δ – магнитная проводимость рассеяния.

Из схемы замещения могут быть получены следующие выражения:

$$F_M = \Phi_M \frac{1}{G_M} + \Phi_S \frac{1}{G_S},$$

$$F_M - F_{p.я.} = \Phi_M \frac{1}{G_M} + \Phi_\Pi \frac{1}{G_\Pi},$$

Также можно сказать, что полезный поток машины возрастает с увеличением полезной проводимости.

Таким образом, определение магнитных проводимостей имеет большое значение при расчете дисковой электрической машины, так как они влияют на рабочие параметры машины. Их изменение может привести к ухудшению свойств рассчитываемого электрического аппарата.

Библиографический список

1. Буль Б.К. Теория расчета магнитных цепей.
2. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. М.: Academia, 2005. 337 с.
3. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. М.: Высш.шк., 1990. 417 с.
4. Тимофеев С.С. Расчет магнитных проводимостей аксиальных синхронных машин с постоянными магнитами.

УДК 681.5

Н. А. Конюшков

студент кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОМ

Квадрокоптер – это дистанционно-управляемый БЛА с четырьмя электродвигателями с винтами. Для всех аппаратов данного класса общими являются конструкция и принципы полета [1, 2]. Центральной частью аппарата – рама, которая служит для размещения оборудования (микропроцессор и датчики), полезной нагрузки (видеокамера или другие приборы) и батареи. Радиально от центра на балках устанавливаются микроэлектродвигатели с несущими винтами, образуя звездообразную компоновку всего аппарата. Несмотря на симметричную компоновку, данная конструкция предполагает наличие передней и задней частей, относительно которых сориентировано направление движения. Основные режимы полета обеспечивает микроконтроллер, используя данные от нескольких датчиков положения, и стабилизирует аппарат в воздухе в горизонтальном положении путем подачи управляющих сигналов на двигатели. Микроконтроллер работает по специальной программе управления, вычисляет скорость для каждого винта, компенсирует внешние воздействия ветра. Управление аппаратом осуществляется по радиоканалу.

Основная задача программы управления – сделать летательный аппарат (ЛА) «устойчивым» и максимально упростить управление им. Основным этапом создания автономного мультикоптера является разработка алгоритмов управления. В свою очередь основным компонентом системы управления является система стабилизации. Суть работы данного компонента сводится к определению углов наклона аппарата относительно поверхности земли и передача управляющих импульсов на двигатели машины для компенсации этих углов [3]. Для того чтобы осуществить эту стабилизацию, необходимо:

- определить углы наклона машины относительно поверхности земли;
- вычислить отклонение машины от требуемого положения;
- подать управляющие сигналы на двигатели для компенсации отклонения и приведения машины в требуемое положение.

Определение угла наклона различных объектов относительно гравитационного поля земли осуществляется прибором под названием инклинометр. Существует несколько физических принципов, на основе которых может быть создан инклинометр. Чаще всего наклон определяют с помощью силы гравитации Земли, геомагнитного поля, гироскопического эффекта или применяют косвенные измерения. Для определения углов наклона мы воспользуемся различными датчиками MEMS типа (гироскоп, акселерометр, магнитометр и барометр). Для определения углов наклона квадрокоптера за основу возьмем показания гироскопа. Однако у используемого нами MEMS-гироскопа есть недостаток, который заключается в дрейфе нуля. Суть этого недостатка сводится к тому, что при остановке вращения гироскопа, он все еще будет показывать значение отличное от нуля. Другим недостатком является применение процедуры дискретного интегрирования, которая по своей природе дает неточный результат и увеличивает ошибку показаний гироскопа. Для уменьшения ошибки показаний гироскопа применим алгоритм комплементарного фильтра, для этого нам понадобятся показания с других датчиков, в нашем случае это акселерометр и компас. Теперь у нас есть значения углов рысканья ψ , крена φ и тангажа θ , полученные с трех датчиков (рис. 1).

Фильтр применяется к двум величинам, измеряемым разными датчиками, и корректирует одну из них так, что она медленно стремится ко второй. Сила же этой коррекции определяется коэффициентом фильтра k . Акселерометр нам даст вектор, направленный вертикально вверх, а компас даст вектор магнитного поля земли, и эти вектора мы хотим использовать для коррекции накапливающейся погрешности измерений углов.

$$a_{\theta} = (1 - k)a_g + ka_a.$$

где k – коэффициент фильтра; a_{θ} – значение скорректированного угла; a_g – значение угла по гироскопу (результат интегрирования); a_a – значение угла по акселерометру.

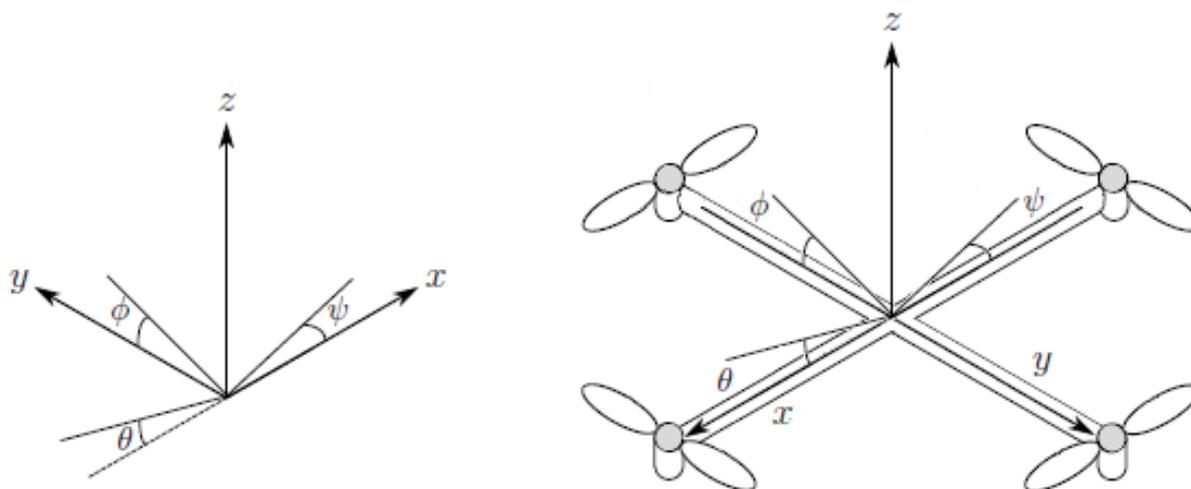


Рис. 1. Углы отклонения

Примем, что k лежит в диапазоне $\{0...1\}$. Выбор коэффициента k зависит от величины дрейфа нуля гироскопа, от скорости накопления ошибок вычисления и от условий использования машины. Так, слишком большое значение k приведет к тому, что на результат работы фильтра будет сильно влиять вибрация корпуса БПЛА. Слишком же малое значение k может оказаться недостаточным, чтобы ликвидировать дрейф нуля гироскопа. Как правило, коэффициент комплементарного фильтра подбирается вручную для каждого инклинометра исходя из вышеуказанных условий. Например, для любительских мультикоптеров k может принимать значение в диапазоне от 0,05 до 0,1.

Затем данные выхода комплементарного фильтра поступают на вход ПИД-регулятора. Назначение ПИД-регулятора состоит в поддержании заданного значения x_0 , некоторой величины с помощью изменения другой величины $u(t)$. Значение x_0 называется заданным значением, а разность $e = x - x_0$ – невязкой или рассогласованием. В нашем случае x_0 – это эталонные значения углов рысканья, крена и тангажа.

На выходе ПИД-регуляторов получаем значения $u_{\theta}(t)$, $u_{\phi}(t)$, $u_{\psi}(t)$, которые необходимо подать на двигатели для корректировки положения аппарата в пространстве. Алгоритм, который реализует данные действия, называется «микшером».

«Микшер» распределяет вычисленные ПИД-регулятором управляющие сигналы на соответствующие двигатели. Для стабилизации аппарата по тангажу θ нужно подать сигнал на двигатели 2 и 4 (рис. 2). Если угол положительный, то на второй двигатель нужно подать управляющий сигнал $u_{\theta}(t)$ со знаком «+», а на двигатель 4, соответственно, со знаком «-». Другими словами, на одном двигателе мы повышаем обороты, а на другом пропорционально понижаем обороты.

Для корректировки по крену ϕ необходимо произвести такие же действия только с двигателями 1 и 3 (см. рис. 2). На квадрокоптере два двигателя на одной оси вращаются по часовой стрелке (двигатели 1 и 3), а два других двигателя — против часовой стрелки (двигатели 2 и 4). Соответственно чтобы скорректировать БЛА по углу рысканья ψ , нужно увеличить обороты первой пары двигателей и, на аналогичную величину, снизить обороты второй пары.

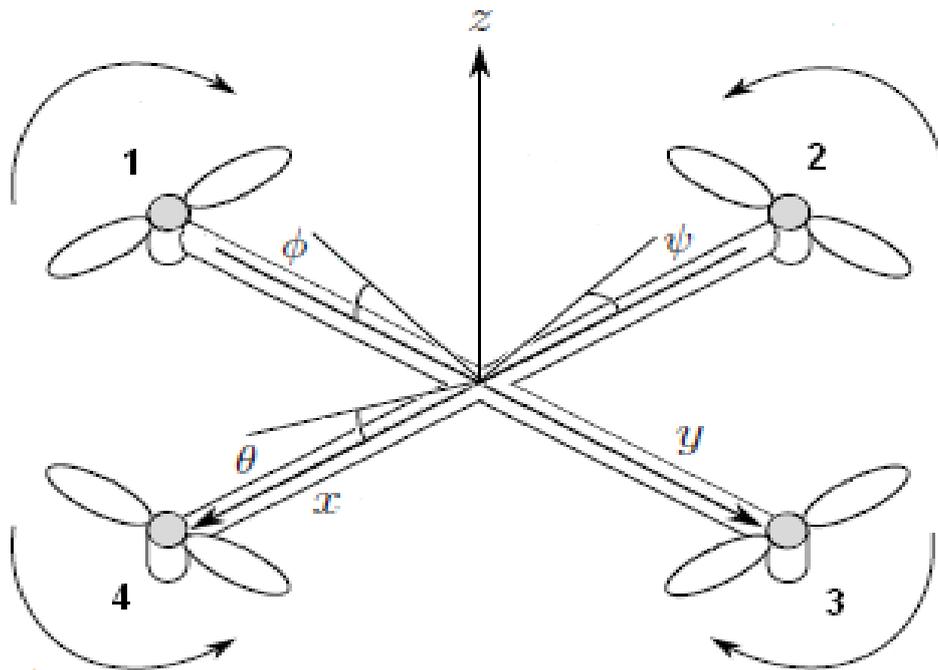


Рис. 2. Расположение двигателей

Таким образом, система угловой стабилизации квадрокоптера включает следующие части:

- система датчиков: гироскоп, акселерометр, компас;
- комплементарный фильтр;
- ПИД-регуляторы;
- микшер;
- исполнительные двигатели.

Испытание системы стабилизации было проведено при управлении реальным квадрокоптером, и показало удовлетворительные результаты.

Библиографический список

1. Корнилов В.А., Молодяков Д.С., Синявская Ю.А. Система управления мультикоптером // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 62, 2012.
2. Teppo Luukkonen. Modelling and control of quadcopter // Aalto University. Espoo, August 22, 2011.
3. Кузовков Н.Т., Салычев О.С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982. 216с.

УДК 004.94

И. А. Кравченко

студент кафедры управления в технических системах

Р. Р. Латыпова

канд. экон. наук – научный руководитель

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕРМИНАЛА ПОРТА В СРЕДЕ ANYLOGIC

Имитационное компьютерное моделирование, включая его современное агентное направление, в приложениях к исследованию путей совершенствования уже действующих и проектированию новых социально-экономических систем обречено на постоянное внимание и популярность. Это связано с особым значением для жизни человека такой специфической деятельности людей, как мысленное проигрывание различных ситуаций. Для повышения эффективности именно этого вида деятельности и направлено развитие методов компьютерного имитационного моделирования.

Цель данной работы состоит в том, чтобы создать имитационную модель работы терминала, на протяжении восьми часов которой будет осуществляться погрузка или разгрузка автомобиля контейнером при задержках на оформление необходимых документов. А также проведение двух оптимизационных экспериментов, описанных ниже.

Внимание будет уделено общему времени, затраченному на обслуживание одного автомобиля, целевая функция которого имеет вид $t_{TimeObr}(t_E, t_A, t_I, t_Z) \rightarrow \min$, где $t(E)$ – время, затраченное на оформление документов при въезде на территорию терминала, $t(A)$ – время между приходящими транспортными средствами, $t(I)$ – время, затраченное на погрузку-разгрузку контейнера, $t(Z)$ – время, затраченное на оформление заявки необходимой для забора контейнера, $t_{TimeObr}$ – время обслуживания одного автомобиля.

Так же принимается во внимание количество автомобилей, которые будут обслужены на территории терминала. Целевая функция имеет вид $N(t_E, t_A, t_I, t_Z) \rightarrow \max$, где $t(E)$ – время, затраченное на оформление документов при въезде на территорию терминала, $t(A)$ – время, между приходящими транспортными средствами, $t(I)$ – время, затраченное на погрузку/разгрузку контейнера, $t(Z)$ – время, затраченное на оформление заявки необходимой для забора контейнера, N – количество обслуженных автомобилей.

Разработка данной модели так же предусматривает оптимизацию основных параметров, таких как количество обслуженных автомобилей и времени, затраченному на обслуживание одного автомобиля при изменении параметров задержки времени на оформление документов, движению на/перед территорией терминала, а так же досмотру автомобилей. Для объективности результатов проводится два эксперимента, чтобы узнать, зависит ли минимальное время обслуживания от количества автомобилей.

Концептуальная модель

Для постановки задачи потребуется схематичное изображение общего вида терминала, показанного на рис. 1. Данная схема имеет деление территории на непосредственную территорию терминала – А и примыкающую к нему городскую территорию – В.

При помощи данной модели нужно определить такие параметры как:

- количество обслуженных автомобилей;
- среднее время обработки одного автомобиля;
- коэффициенты обработки автомобилей терминалом;
- показатели использования элементов терминала.

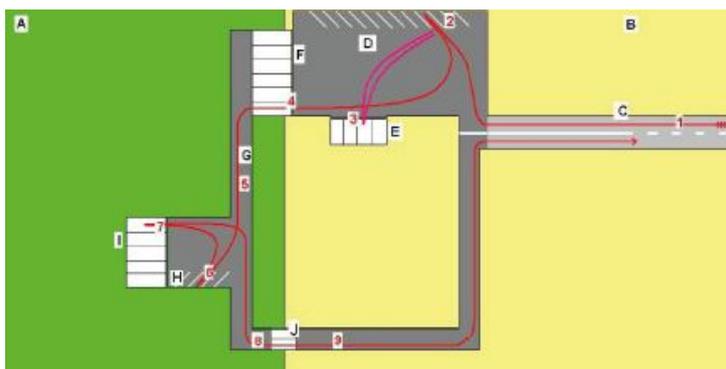


Рис. 1. Схема общего вида терминала

Общая схема событийной модели представлена на рис. 2.

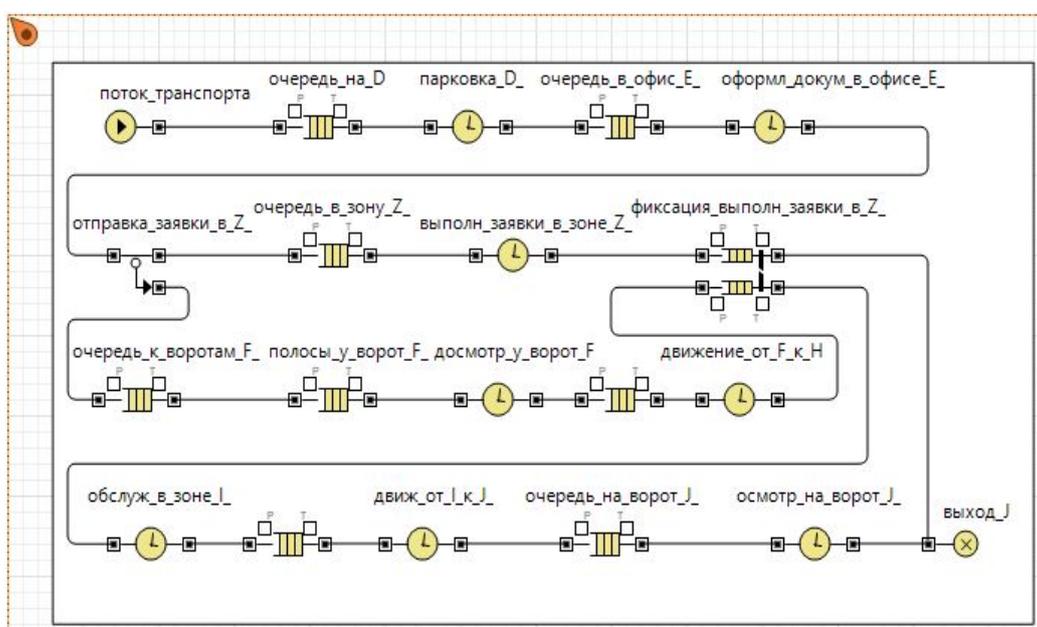


Рис. 2. Общая схема событийной модели

Результаты моделирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Таблица результатов моделирования

Название элемента	Значение коэффициента использования	Длина очереди	Значение
Окошки в офисе на въезде	0,22	4	-
Полосы у ворот в терминал	0,044	1	-
Оформление документов	0,55	18	-
Зона погрузки-разгрузки	0,08	19	-
Полосы у ворот из терминала	0,03	1	-
Время обслуживания одного ТС	-	-	36,15
Количество обслуженных ТС	-	-	53

Оптимизационные эксперименты

Были проведены эксперименты по оптимизации основных параметров модели, таких как время, затраченное на обслуживание одного автомобиля и количество обслуженных автомобилей путем варьирования параметров временных задержек.

1. Минимизация времени обслуживания одного авто (табл. 2).

Таблица 2.

Сводная таблица значений параметров модели

Название элемента		Окошки в офисе на въезде	Полосы у ворот в терминал	Оформление документов	Зона погрузки-разгрузки	Полосы у ворот из терминала	Время обслуживания одного ТС	Количество обслуженных ТС
Значение коэффициента использования	Исходное	0,22	0,044	0,55	0,08	0,03	-	-
	Оптимизационное	0,1	0,04	0,251	0,04	0,014	-	-
Длина очереди	Исходное	4	1	18	19	1	-	-
	Оптимизационное	1	1	7	9	1	-	-
Значение	Исходное	-	-	-	-	-	36,15	53
	Оптимизационное	-	-	-	-	-	33,5	24

Из табл. 2 следует, что время обслуживания уменьшилось на 3 минуты и составило 33,5 минуты. В оптимизационном эксперименте было получено значение равное 31 минуте, отличающиеся от результатов моделирования, это происходит вследствие единичного прогона эксперимента при случайно распределенных параметрах задержки. При моделировании модель усредняет это значение, а также накапливаются очереди, что ведет к задержке во времени и увеличению среднего времени обслуживания одного автомобиля. Следует заметить, что коэффициенты использования уменьшились, что свидетельствует о более эффективном обслуживании автомобилей, но также уменьшилось в два раза количество обслуженных автомобилей, это произошло из-за увеличения интервала между приходящими автомобилями.

2. Максимизация количества обслуженных автомобилей (табл. 3).

Таблица 3.

Сводная таблица значений параметров модели

Название элемента		Окошки в офисе на въезде	Полосы у ворот в терминал	Оформление документов	Зона погрузки-разгрузки	Полосы у ворот из терминала	Время обслуживания одного ТС	Количество обслуженных ТС
Значение коэффициента использования	Исходное	0,22	0,044	0,55	0,08	0,03	-	-
	Оптимизационное	0,2	0,04	0,5	0,07	0,03	-	-
Длина очереди	Исходное	4	1	18	19	1	-	-
	Оптимизационное	4	1	15	17	1	-	-
Значение	Исходное	-	-	-	-	-	36,15	53
	Оптимизационное	-	-	-	-	-	35	48

Из табл. 3 следует, что начальные параметры были оптимальными для такого критерия оптимизации, как максимальное количество обслуженных автомобилей. Значения параметров почти не отличаются, так как интервал между приходящими автомобилями увеличился на единицу. Следует отметить, что среднее время обслуживания одного автомобиля уменьшилось на одну минуту по сравнению с исходными значениями. Уменьшилось количество обслуженных автомобилей на 5 штук, это произошло из-за того, что интервал между приходящими автомобилями был увеличен на единицу. Из данного эксперимента следует, что количество обслуженных автомобилей зависит от интервала прибытия между ними.

Библиографический список

1. Борщёв А. От системной динамики и традиционного ИМ к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты. <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>
2. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
3. Латыпова Р.Р. Компьютерный практикум по AnyLogic: учебное пособие/Р.Р. Латыпова.-СПб.: ГУАП, 2013. -182с. ISBN 978-5-8088-0859.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Компьютерное моделирование искусственных миров <http://scmai.miem.edu.ru/S/s2.htm>.

УДК 681.5

Е. В. Лавров

студент кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

Транспортировка контейнерных грузов по водному пути приобретает все большее значение в мире. С ростом количества отгружаемых контейнеров растут и требования, предъявляемые к погрузочно-разгрузочным механизмам: быстрота и точность перемещений, экономичность и возможность интеграции в автоматизированные системы.

Высокие темпы перемещений грузов в порту требуют быстрой и точной работы грузоподъемных кранов. Важнейший элемент единой транспортной линии от корабля к береговым складам и обратно на контейнерном терминале портовой компании – рельсовый кран-штабелер. Он установлен в месте промежуточного хранения входящих и исходящих контейнеров. Нечеткая система управления порталным краном предназначена для помощи оператору порталного крана в быстром и точном перемещении грузов с минимальными колебаниями т.к. от этого зависит пропускная способность порта а также сохранность хрупких грузов, перевозимых в контейнерах. Возникает необходимость в автоматических системах перемещения грузов. Рассмотрим схему и принцип работы порталного крана (рис. 1).

Поворотный кран состоит из тележки, которая перемещается в радиальном направлении вдоль вращающейся стрелы. Стрела вращается в горизонтальной плоскости. Объединенные движения стрелы и тележки позволяют позиционировать тележки и, следовательно, нагрузку на любой точке рабочего пространства. Изменение длины подъемного троса необходимо как для подъема груза, так и для перемещения его дальше от препятствий. Переменная длина троса может быть частью стратегии управления.

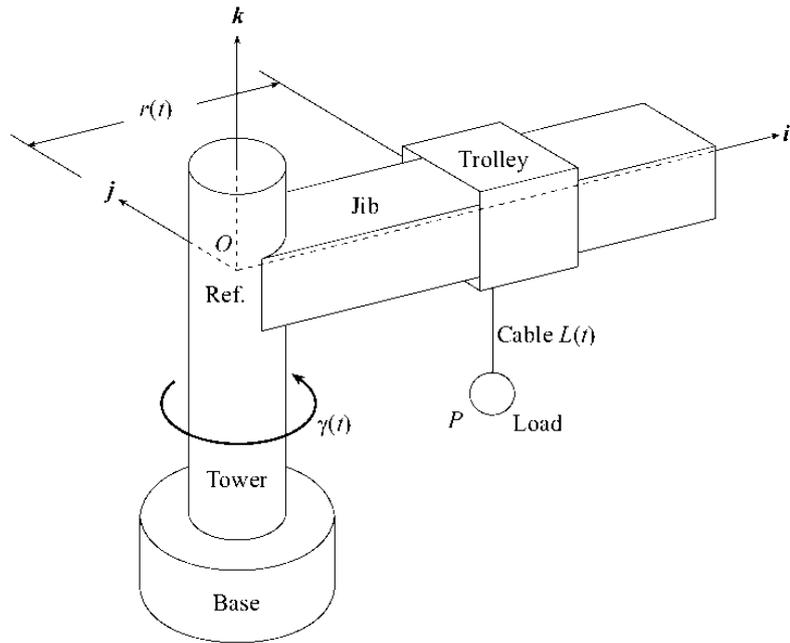
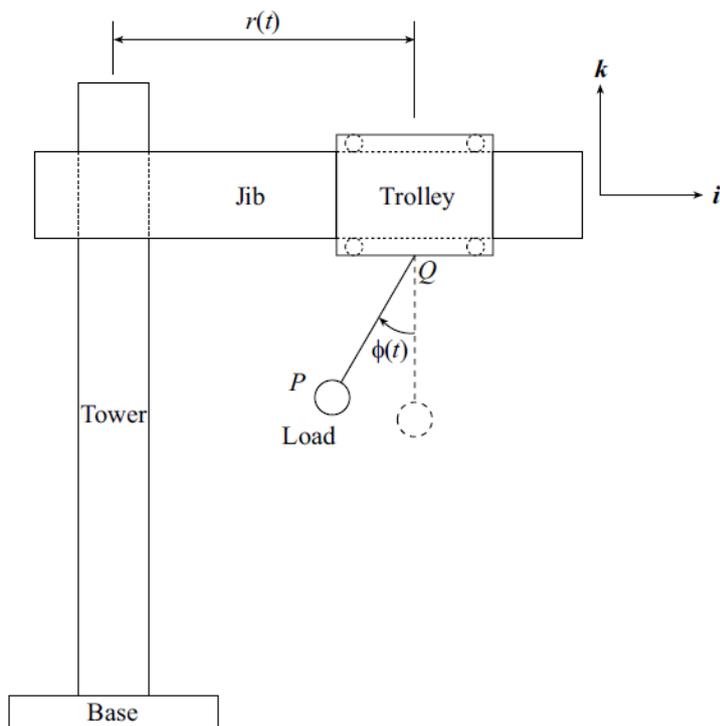


Рис. 1. 3D модель крана

Как показано на рис. 1, структура крана состоит из башни (*tower*), на которой держится стрела крана (*jib*) – она отвечает за вращательное движение крана; основания (*base*), которое обычно крепится к земле, чтобы предотвратить любые колебания, в случае порталного крана основание может передвигаться по рельсам; тележки (*trolley*), которая скользит под стрелой в продольном направлении; системы подвески кабелей и шкивов (*cable*). В самом общем случае длина кабеля L может быть изменена во время загрузки транспорта или, по крайней мере, между точкой подъема груза и конечной точками. Процесс изменения длины кабеля называется подъемом.

Рис. 2. Вид сбоку крана с указанием в плоскости угла ϕ

Положение груза характеризуется двумя углами, φ и θ . Угол φ является углом, который кабель образует с осью в плоскости xu , как показано на рис. 2, θ является углом, который образует кабель в плоскости xz . Так что ясно, цель контроллера – перемещение полезной нагрузки, сохраняя при этом углы φ и θ минимальными (рис. 3).

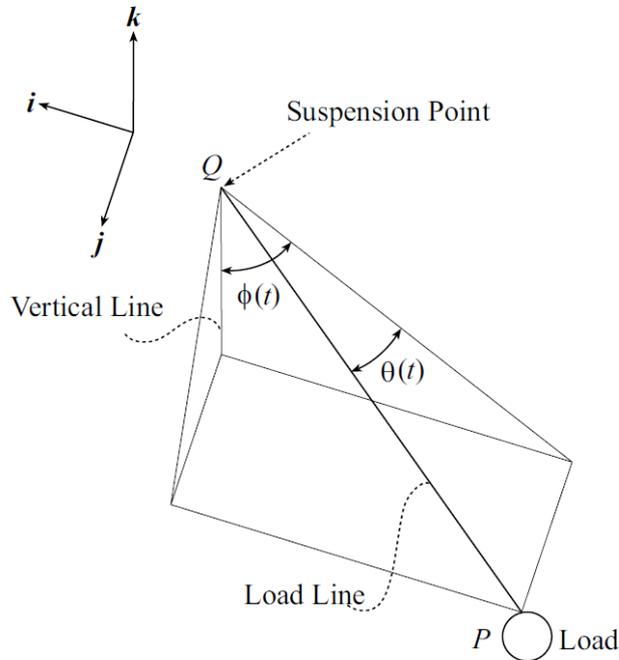


Рис. 3. Углы отклонения груза

В рассматриваемом случае кран не поворотный, поэтому угол θ принимается равным нулю, и перемещение груза рассматривается только в плоскости xu .

Принципы математического описания системы тележка – груз – трос (в плоскости движения тележки) иллюстрирует рис. 4.

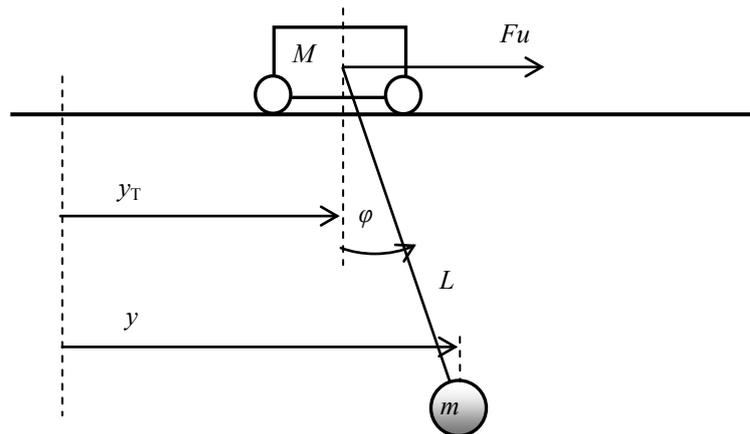


Рис. 4. Описание системы тележка – груз – трос

На рис. 4 использованы следующие обозначения: M – масса тележки (кг); m – масса груза (кг); y – координата груза (м); u_T – координата тележки (м); φ – угол отклонения троса (рад); L – длина троса (м); F – коэффициент тяги (Н/в); u – сигнал управления (в).

В процессе движения u_T и φ измеряются, тяга электромотора,двигающего тележку, пропорциональная сигналу управления ($u \in [-10; +10]$).

Следующие нелинейные дифференциальные уравнения используются для моделирования динамики системы [1]:

$$\ddot{y}_T = \frac{1}{M + m \cdot \sin^2 \varphi} \left(m \cdot \sin \varphi \left(g \cdot \cos \varphi + L \dot{\varphi}^2 \right) + Fu - S \operatorname{sgn}(\dot{y}_T) - D \dot{y}_T \right);$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{-1}{L(M + m \cdot \sin^2 \varphi)} \left(m \cdot \sin \varphi \left(g + L \dot{\varphi}^2 \cos \varphi \right) + Mg \sin \varphi + \cos \varphi \left(Fu - S \operatorname{sgn}(\dot{y}_T) - D \dot{y}_T \right) \right)$$

$$y = y_T + L \sin \varphi;$$

где S – статический коэффициент трения, D – динамический коэффициент трения.

При моделировании приняты следующие параметры: $M = 1000$ кг, $m = 100$ кг, $L = 10$ м, $F = 1000$ Н/в, $S = 500$ Н, $D = 800$ кг/с, $g = 9.81$ м/с².

Поскольку объект управления существенно нелинеен, при моделировании был использован нечеткий логический регулятор (НЛР). НЛР в последние годы активно используются в различных системах управления. Синтез НЛР был выполнен с помощью утилиты Fuzzy Logic Toolbox, входящей в состав MatLab [2].

НЛР использует лингвистическое описание управляемых переменных (координата груза, угол отклонения троса и их производные), а также сигнала управления положением тележки. Процедура синтеза НЛР включает в себя задачу нечеткого лингвистического описания входов и выходов регулятора, выбора управляющих правил, масштабирующих коэффициентов на входе и выходе регулятора и стратегии дефаззификации. С помощью блока оптимизации были подобраны коэффициенты $K_1, K_2, K_3, K_4, K_i, K_p$, такие чтобы гасить колебания груза как можно эффективнее при различных параметрах L (длины троса) и m (массы груза).

На рис. 6 приведена схема моделирования в Matlab Simulink.

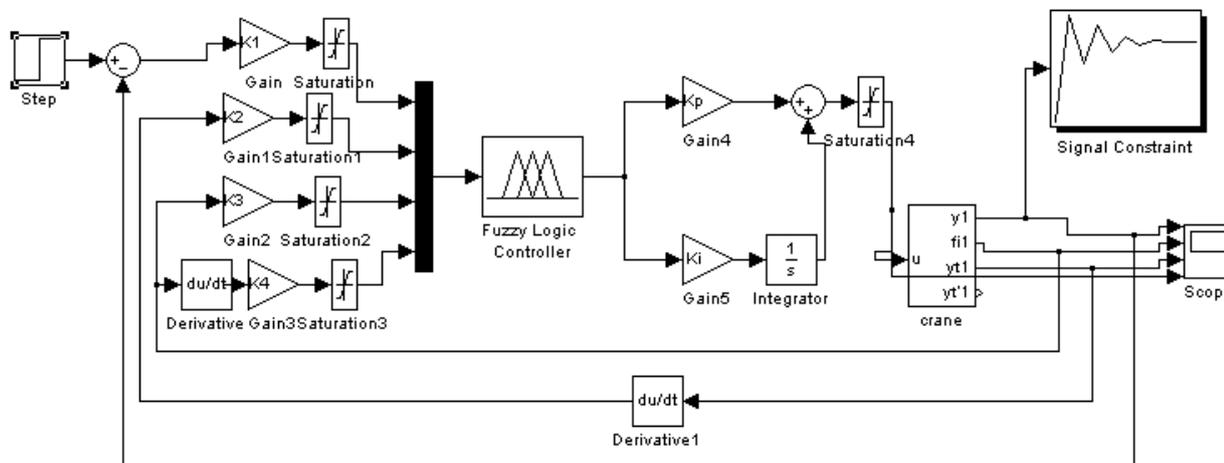


Рис. 6. Блок-схема системы управления краном

Как показало моделирование, исходные показатели переходных процессов по положению груза и углу отклонения не являются удовлетворительными.

На рис. 7 – 10 представлены графики переходных процессов по координате груза, отклонению подвеса от вертикали и координате тележки в системе, а также сигнал управления, подаваемый на вход управления двигателем тележки, с учетом ограничения ($u \in [-10; +10]$).

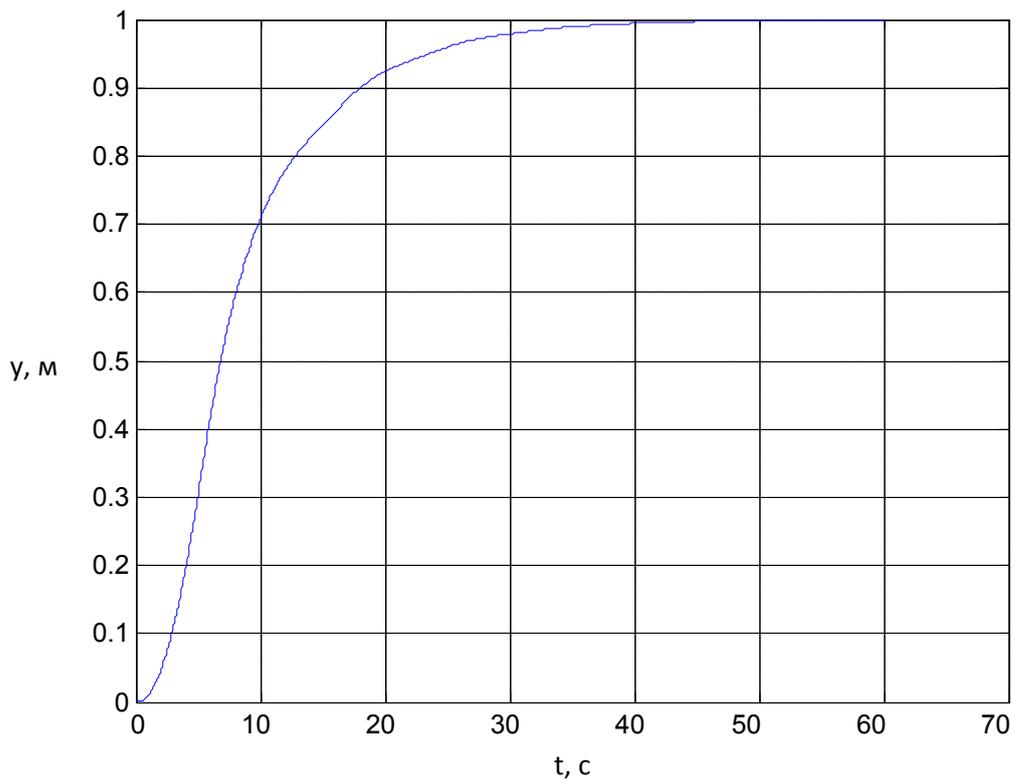


Рис. 7. Координата груза

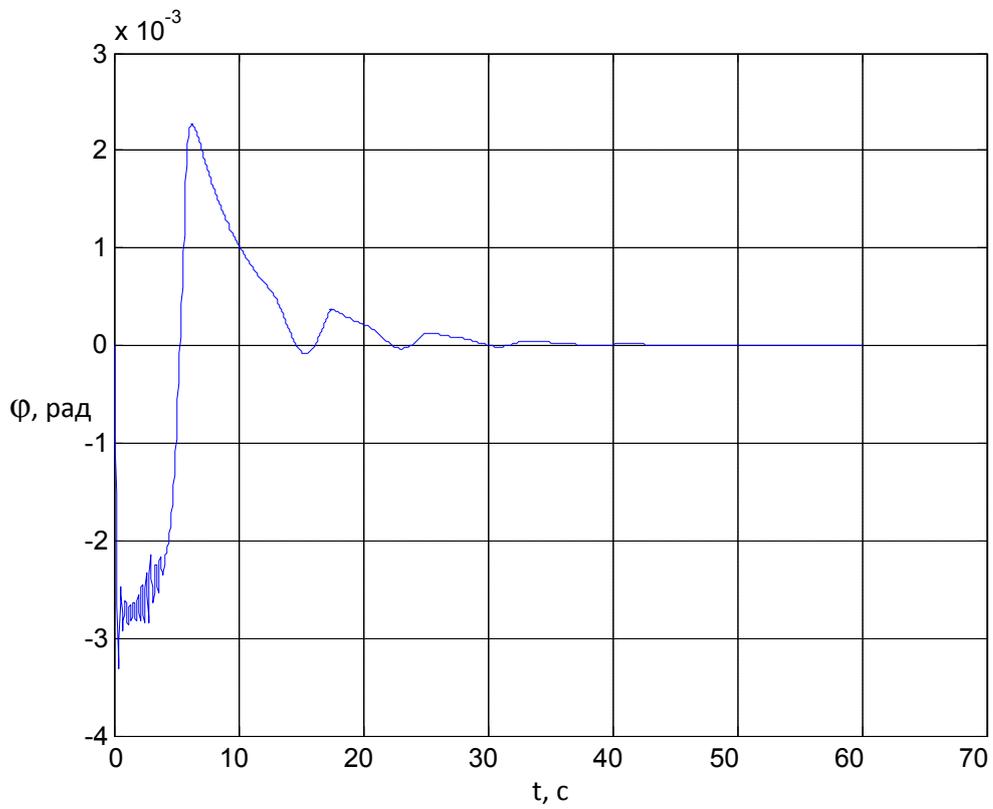


Рис. 8. Угол отклонения подвеса от вертикали

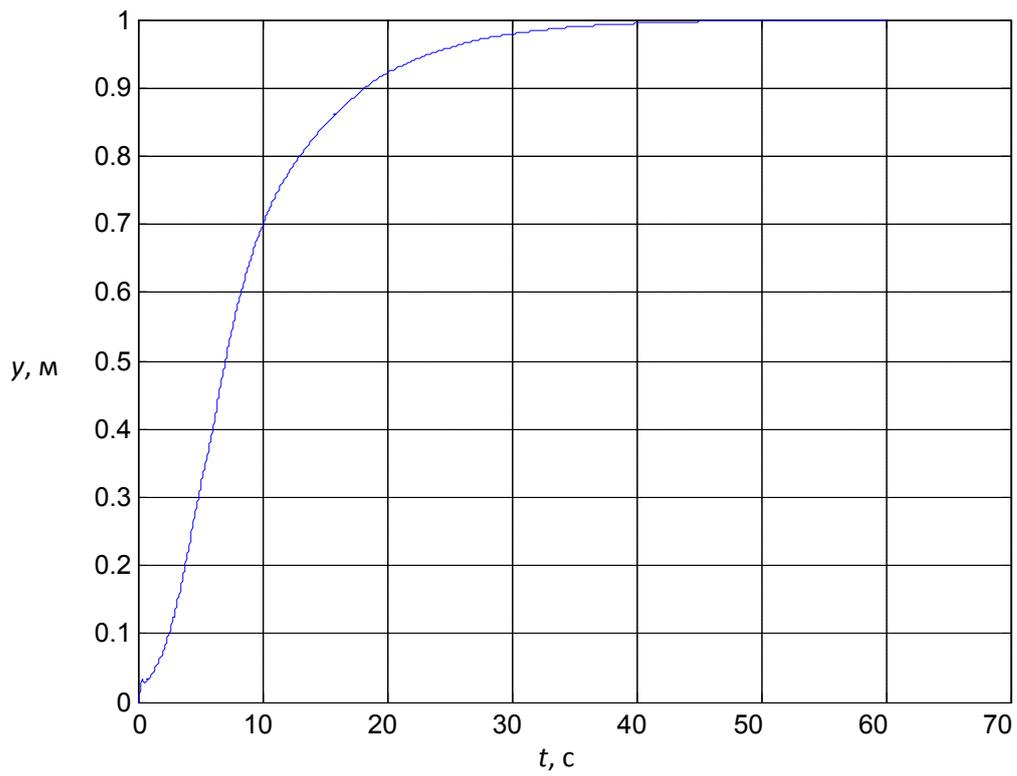


Рис. 9. Координата тележки

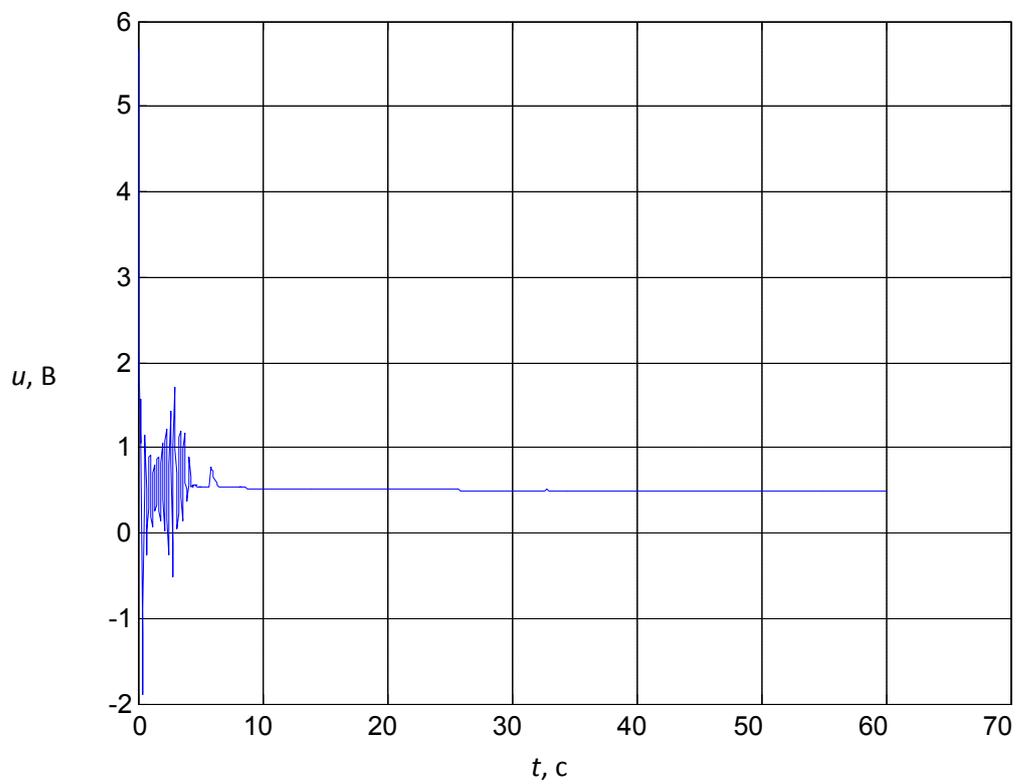


Рис. 10. Сигнал управления

В ходе работы было выявлено, что НЛР показывает очень хорошие результаты по подавлению колебательности в системе; уменьшению времени переходного процесса и уменьшению статической ошибки при любых значениях длины подвеса L от 2.1 до 20 м и массы груза m от 100 до 20000 кг. Длительность переходного процесса около 40 секунд.

Библиографический список

1. Abdel-Rahman E.M., Nayfeh A.H., Masoud Z.N. Dynamics and Control of Cranes: A Review, Journal of Vibration and Control, Vol.9, No.7, pp.863-908, 2003
2. Бураков, М. В. Нечеткие регуляторы: учеб. пособие / М. В. Бураков; ГУАП. СПб, 2010 г. 237с.

УДК 621.313.223.2

А. А. Лапушкин

студент кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

С. С. Тимофеев

научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА В ELCUT

При проектировании электрических машин, в частности электрических машин постоянного тока, возникает необходимость определения параметров магнитной цепи на этапе расчета основных размеров и обмоточных данных машины. Можно отметить, что целью работы является определение уровня погрешности и расхождение результатов расчета параметров магнитной индукции в сердечниках машины при аналитическом методе расчета и при моделировании магнитной цепи с использованием прикладного пакета ELCUT.

Эта задача решается путем расчета магнитной цепи машины при холостом ходе, когда ток якоря $I_a=0$. Традиционно принято разбивать магнитную цепь на участки с постоянной индукцией по всей длине участка. Такими участками являются:

- сердечники полюсов;
- станина;
- воздушный зазор между якорем и башмаками полюсов;
- зубцы якоря;
- спинка якоря.

В настоящее время помимо типовых расчетов используются прикладные программы по расчету магнитных полей (ELCUT, ANSYS, JMAG), с помощью которых можно получить наглядную картину распределения магнитного поля в машине, а также провести поверочный анализ всех участков магнитной цепи, что позволит определить точность проведенных расчетов [2].

Расчет магнитной цепи основывается на законе полного тока:

$$\oint H dl = \sum_{j=1}^n w_j i_j = F,$$

где H – напряженность магнитного поля, dl – элемент длины магнитной линии, l – длина охватываемого контура, n – количество участков магнитной цепи, $w_j i_j$ – число ампер-витков j -ого участка, F – магнитодвижущая сила магнитной цепи.

Индукция B в общем случае определяется по формуле:

$$B = \frac{\Phi}{S},$$

где Φ – поток соответствующего участка магнитной цепи, S – сечение данного участка.

Далее для каждой выбранной стали определяются напряженности H каждого участка по таблицам намагничивания.

МДС участков определяется по формуле:

$$F = L \cdot H,$$

где L – расчетная длина силовой линии каждого участка.

Данную методику расчета можно назвать поверхностной, так как неизвестна сходимость полученных значений со значениями в реальной машине. Именно поэтому перед тем, как сконструировать генератор, моделируют его магнитную цепь в прикладных программах для получения более наглядной картины магнитного поля. Например, в программной среде ELCUT можно смоделировать картину поля, на которой будут видны: распределение силовых линий, вектора силовых линий и цветная карта расчетных величин. Так же имеется возможность увидеть локальное значение нужной величины в любой точке картины поля, построить график и таблицы распределения магнитной индукции, напряженности поля и т.д. Затем анализируют полученную картину поля и сравнивают полученные значения с проведенным аналитическим расчетом и делают вывод о сходимости результатов.

Для данной работы было решено использовать расчет на основе действующего генератора ПН-45. Расчет велся по методическим указаниям И. П. Копылова [1]. Требовалось смоделировать магнитное поле холостого хода данного генератора с помощью одного из программных пакетов и сравнить полученные значения со значениями, полученными ранее при аналитическом расчете. Номинальные данные генератора приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номинальные данные генератора постоянного тока ПН-45

Номинальная мощность машины, P_2	3300 Вт
Номинальное напряжение сети, U_c	230 В
Номинальная частота вращения, n	1440 об/мин
Номинальный ток якоря, I_2	14,4 А
Высота оси вращения, h	160 мм
Количество полюсов, $2p$	4
Род возбуждения	Параллельное

В табл. 2 приведены результаты расчета магнитной цепи для различных значений магнитного потока для генератора постоянного тока ПН-45.

Таблица 2

Результаты расчета магнитной цепи

Расчетная величина	Единицы измерения	$0,5\Phi_{\text{ном}}$	$0,75\Phi_{\text{ном}}$	$0,9\Phi_{\text{ном}}$	$\Phi_{\text{ном}}$	$1,1\Phi_{\text{ном}}$	$1,15\Phi_{\text{ном}}$
Φ_δ	Вб	0,00325	0,00487	0,00585	0,0065	0,00715	0,00747
B_δ	Тл	0,366	0,549	0,659	0,732	0,805	0,842
F_δ	А	341,13	511,69	614,03	682,25	750,48	784,59
B_z	Тл	1,032	1,548	1,857	2,064	2,27	2,373
H_z	А/м	114	1130	10400	36000	186000	266000
F_z	А	2,74	27,13	249,67	864,228	4465,18	6385,68
B_j	Тл	0,338	0,506	0,608	0,675	0,743	0,777
H_j	А/м	62	76	86	93	127	129
F_j	А	2,861	3,507	3,969	4,292	5,861	5,953
Φ_r	Вб	0,0039	0,00585	0,00702	0,0078	0,00858	0,00897
B_r	Тл	0,907	1,36	1,632	1,814	1,995	2,086
H_r	А/м	152	300	566	1542	13400	30000
F_r	А	8,2	16,2	30,6	83,27	723,6	1620
B_c	Тл	0,743	1,114	1,337	1,485	1,634	1,708

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Расчетная величина	Единицы измерения	$0,5\Phi_{\text{бном}}$	$0,75\Phi_{\text{бном}}$	$0,9\Phi_{\text{бном}}$	$\Phi_{\text{бном}}$	$1,1\Phi_{\text{бном}}$	$1,15\Phi_{\text{бном}}$
H_c	А/м	627	938	1730	2760	4600	5700
F_c	А	78,803	117,891	217,432	346,885	578,142	716,393
$F_{\delta zj}$	А	346,723	542,322	867,659	1549,939	5221,513	7176,224
ΣF	А	448,239	698,17	1141,764	2009,102	6555,166	9545,979

По результатам расчетов таблицы были построены кривые намагничивания. Кривая намагничивания (рис. 1), показывающая степень насыщения машины и переходная характеристика (рис. 2), позволяющая в ходе аналитического расчета получить размагничивающее действие реакции якоря.

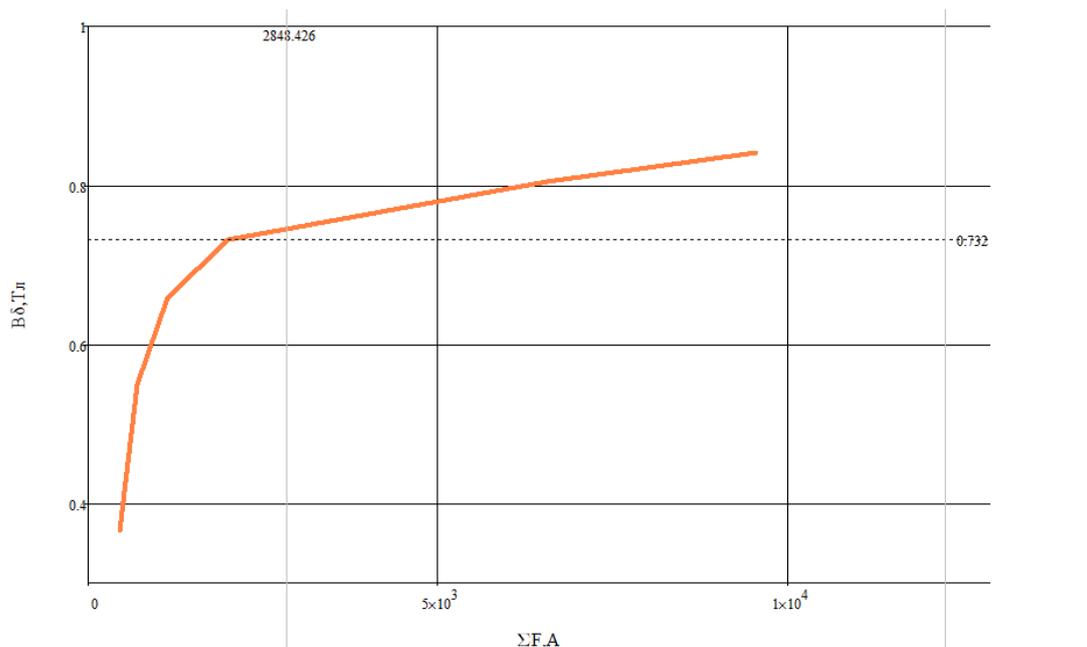


Рис. 1. Характеристика намагничивания машины

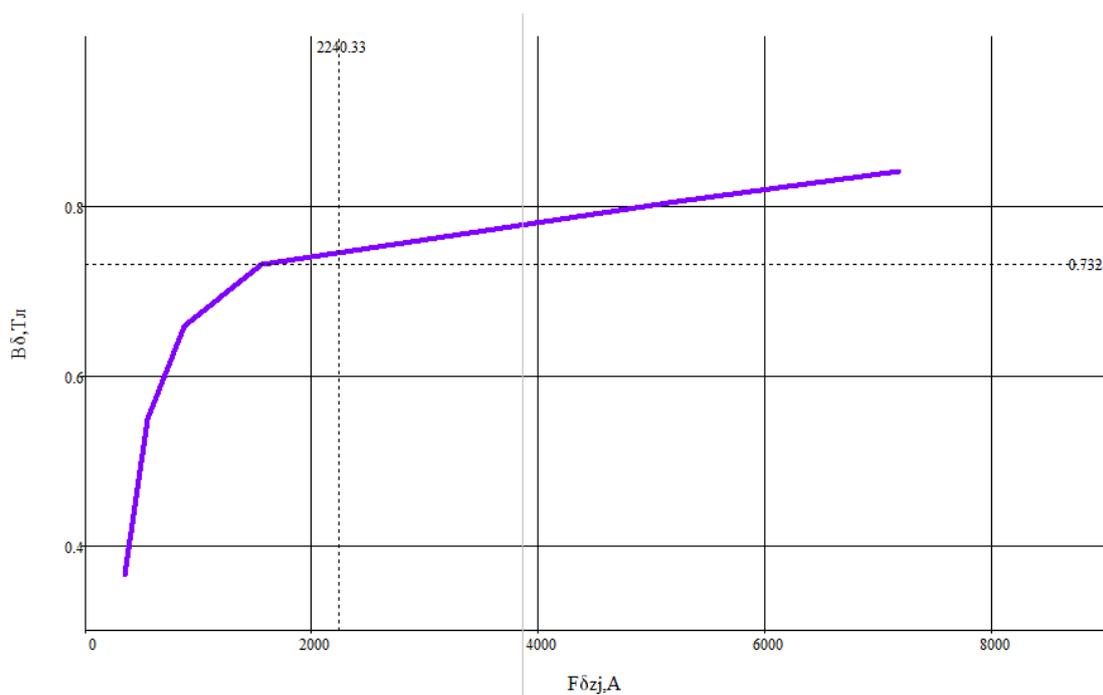


Рис. 2. Переходная характеристика

Было решено использовать для построения магнитной картины поля программный пакет ELCUT.

Типичная последовательность шагов при решении новой задачи в ELCUT представлена в структурной схеме (рис. 3) [3].



Рис. 3. Структурная схема решения задачи в ELCUT

Для расчета генератора постоянного тока выбирается магнитостатическая задача плоскопараллельного поля. Ведется обычный расчет в миллиметрах в декартовой системе координат.

Помимо непосредственного задания геометрии модели средствами графического диалога, имеется возможность импорта геометрической модели или ее части из файла в формате DXF, который можно создать с помощью любой из распространенных систем автоматизированного проектирования. Это удобно по двум причинам: во-первых, есть возможность использования уже готового чертежа с нужными размерами и с нужной геометрией, а во-вторых, в ELCUT процесс создания сложной геометрии может занять большое количество времени, однако точность модели будет очень низкой. Таким образом, с помощью программного пакета AutoCAD была построена геометрическая модель машины из существующих размеров машины и экспортирована в ELCUT. Получившаяся модель представлена на рис. 4.

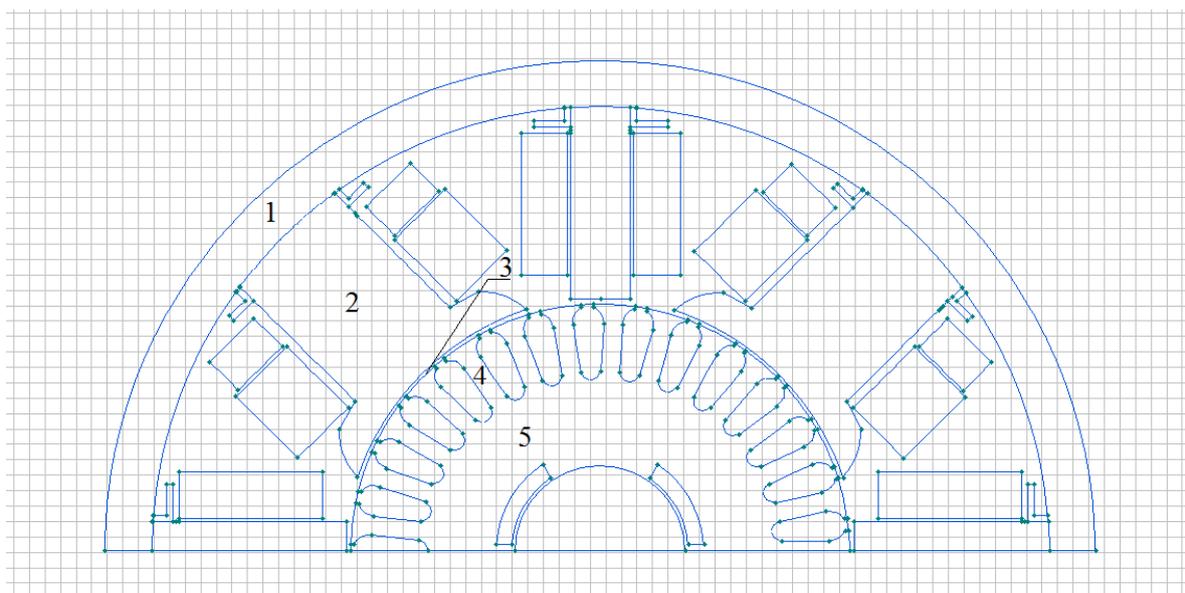


Рис. 4. Геометрическая модель генератора ПН-45
(цифрами показаны участки магнитной цепи):
1 – статор, 2 – главный полюс, 3 – воздушный зазор,
4 – зубец якоря, 5 – спинка якоря

Для каждого материала создается новая метка блока для задания его свойств. В табл. 2 приведены названия меток блоков и их свойства.

Таблица 2

Названия меток блоков и их свойства*

Название метки блока	Относительная магнитная проницаемость μ	Полное число Ампер-витков $I \cdot w$, А
Вал	100	0
Воздух	1	0
Главный полюс	Материал с нелинейной кривой намагничивания. Сталь 3413 [4]	0
Добавочный полюс	То же. Сталь Ст3 [4]	0
Статор	То же. Сталь Ст3 [4]	0
Якорь	То же. Сталь 2013 [4]	0
ОВ-	1	-1519*
ОВ+	1	1519*
Ток 0	1	0

*Данные взяты из аналитического расчета.

В качестве граничного условия было принято затухание магнитного потенциала на границе ярма.

Далее строится сетка конечных элементов. После этого можно приступить к решению задачи. На рис. 5 представлена получившаяся картина магнитного поля при работе машины в режиме холостого хода.

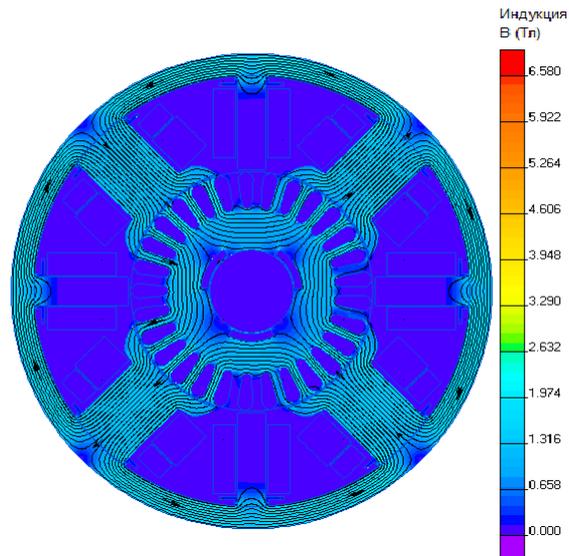


Рис. 5. Картина поля в режиме холостого хода

Далее при помощи выделения контура на каждом участке цепи получается картина распределения индукции в этих участках.

Распределение магнитной индукции в станине, в главном полюсе, в воздушном зазоре под полюсом, в зубце якоря и в спинке якоря представлены соответственно на рис. 6 – 10.

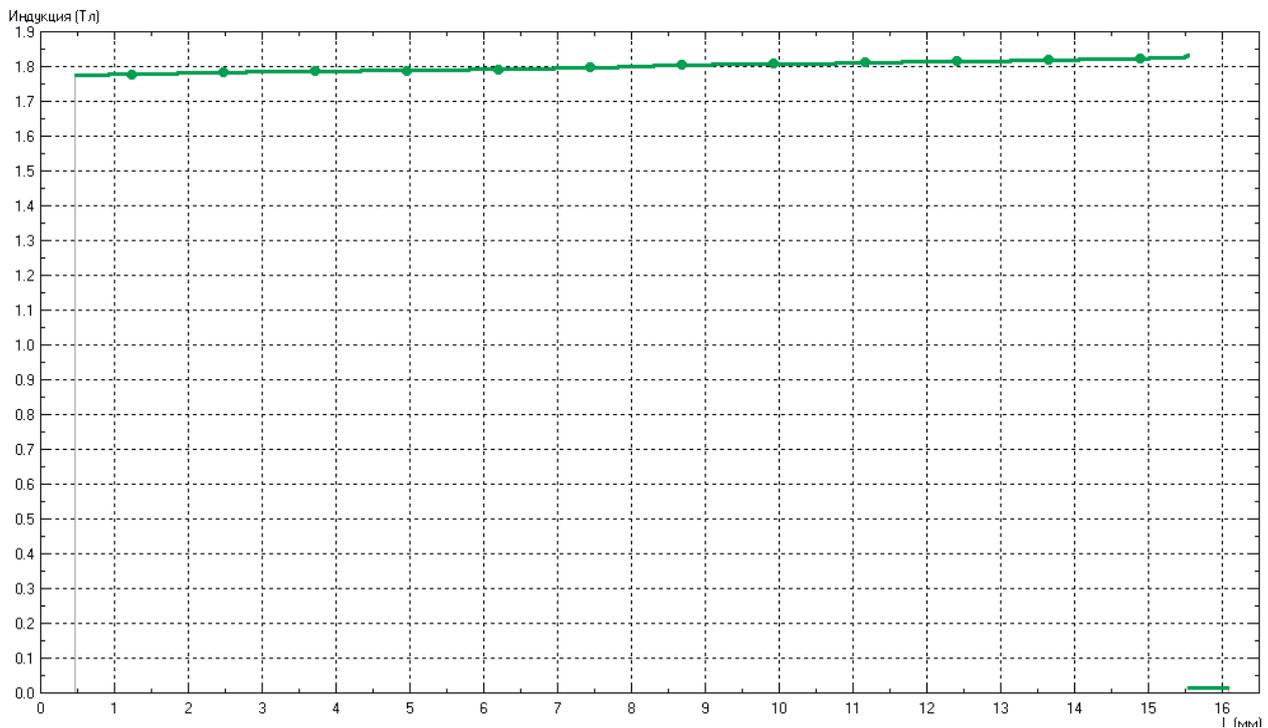


Рис. 6 Распределение магнитной индукции в станине

По рис. 6 видно, что магнитная индукция в станине распределена равномерно. Среднее значение индукции $B_{cp} = 1,799$ Тл. Расчетное значение в станине из табл. 2 $B_c = 1,485$ Тл.

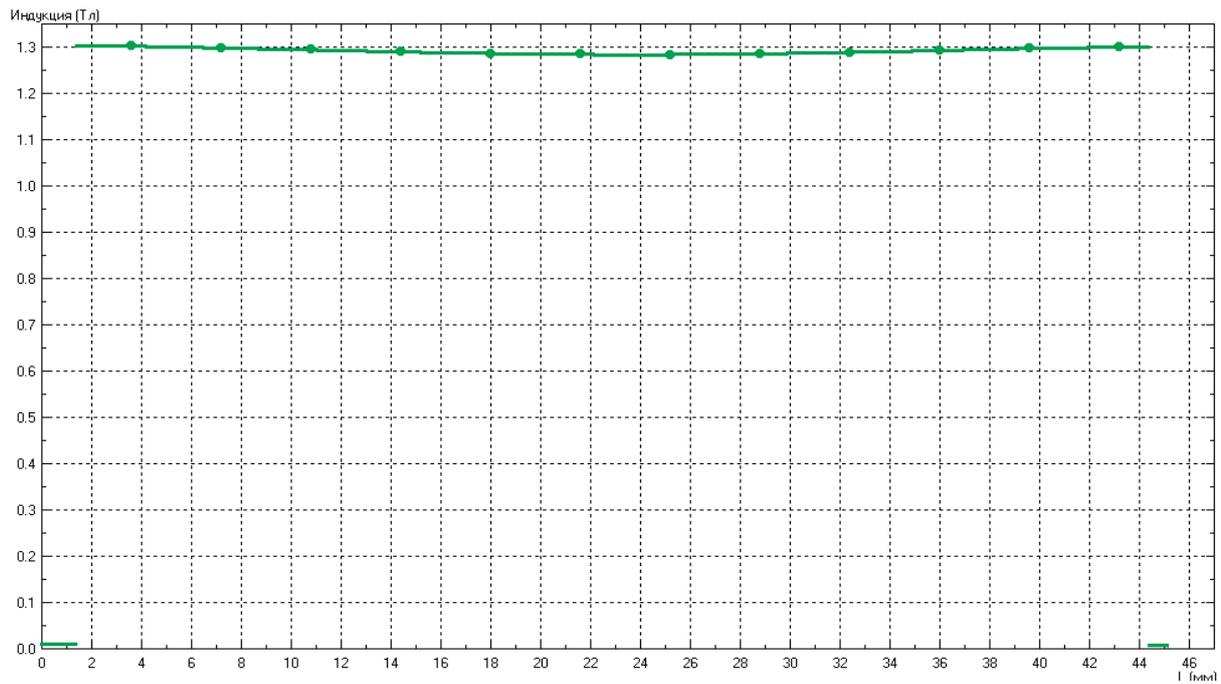


Рис. 7. Распределение магнитной индукции в главном полюсе

По рис. 7 видно, что магнитная индукция в главном полюсе распределена равномерно. Среднее значение индукции $B_{cp} = 1,293 \text{ Тл}$. Расчетное значение в главном полюсе из табл. 2 $B_r = 1,814 \text{ Тл}$.

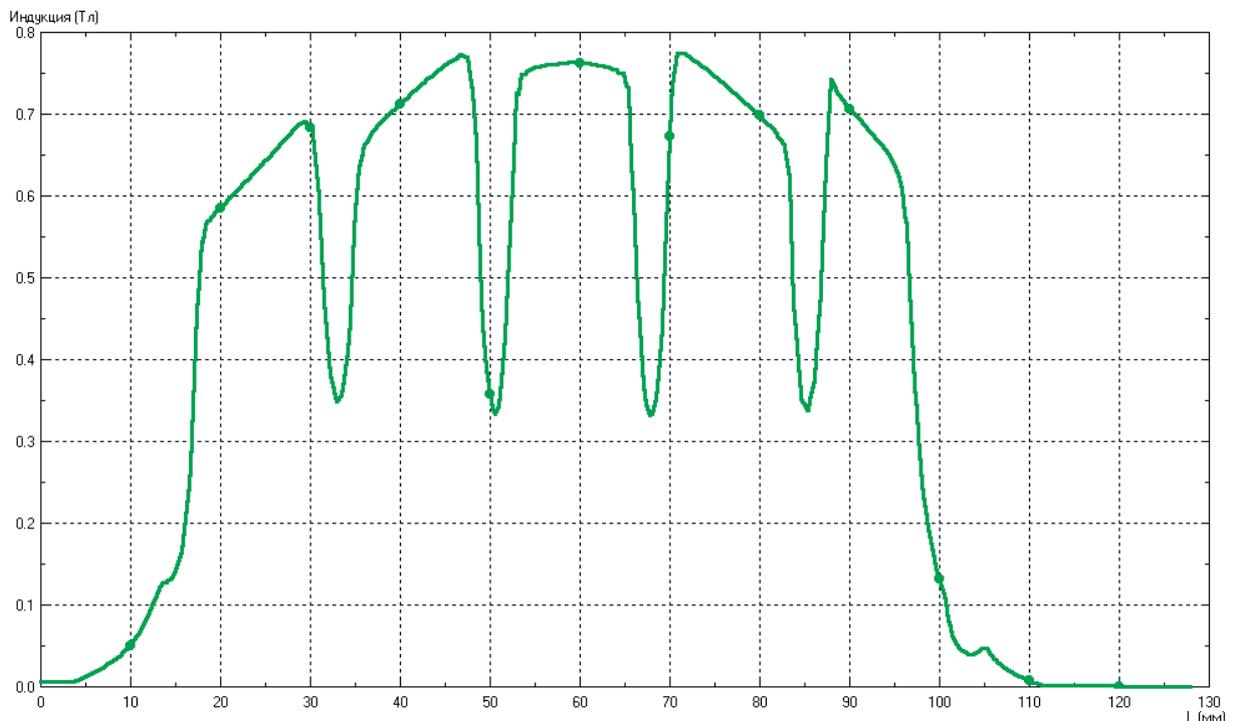


Рис. 8. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре под полюсом

На рис. 8 видно, что значение индукции совпадает с расчетным. Расчетное значение из табл. 2 $B_{\delta} = 0,732 \text{ Тл}$. Просадки поля вызваны наличием зубцов на якоре.

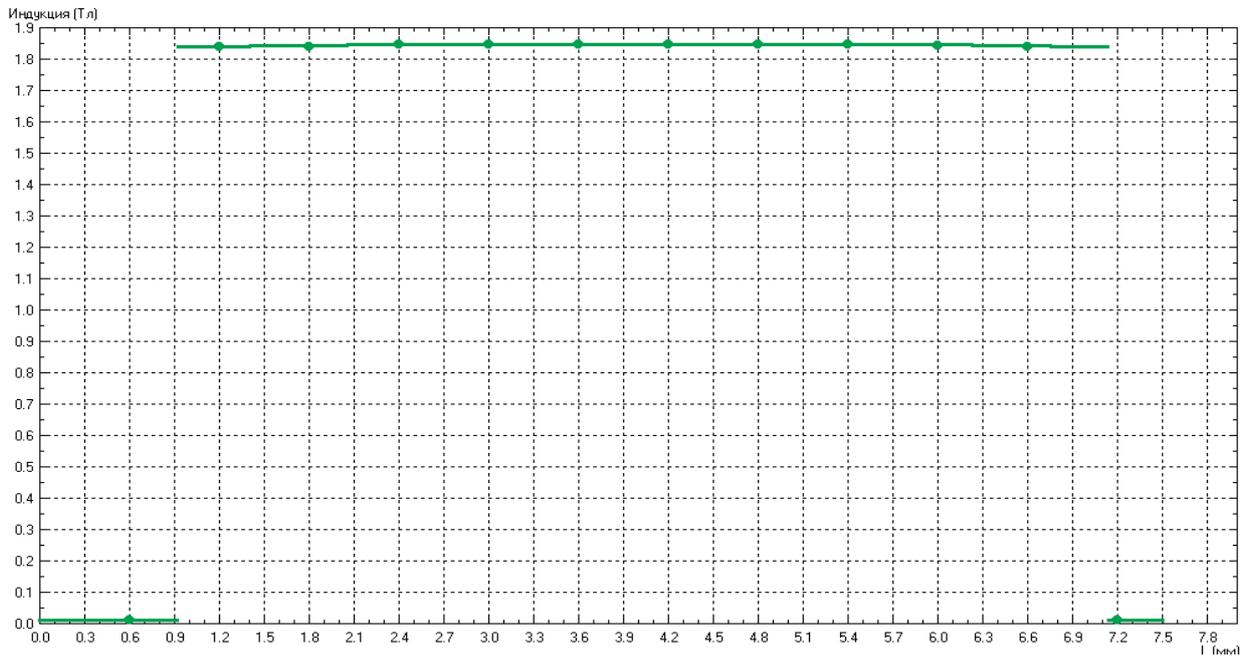


Рис. 9. Распределение магнитной индукции в зубце якоря

По рис. 9 видно, что магнитная индукция в главном полюсе распределена равномерно. Для определения индукции был взят зубец, находящийся по центру главного полюса. Среднее значение индукции $B_{cp} = 1,841 \text{ Тл}$. Расчетное значение в зубце якоря из табл. 2 $B_z = 2,064 \text{ Тл}$.

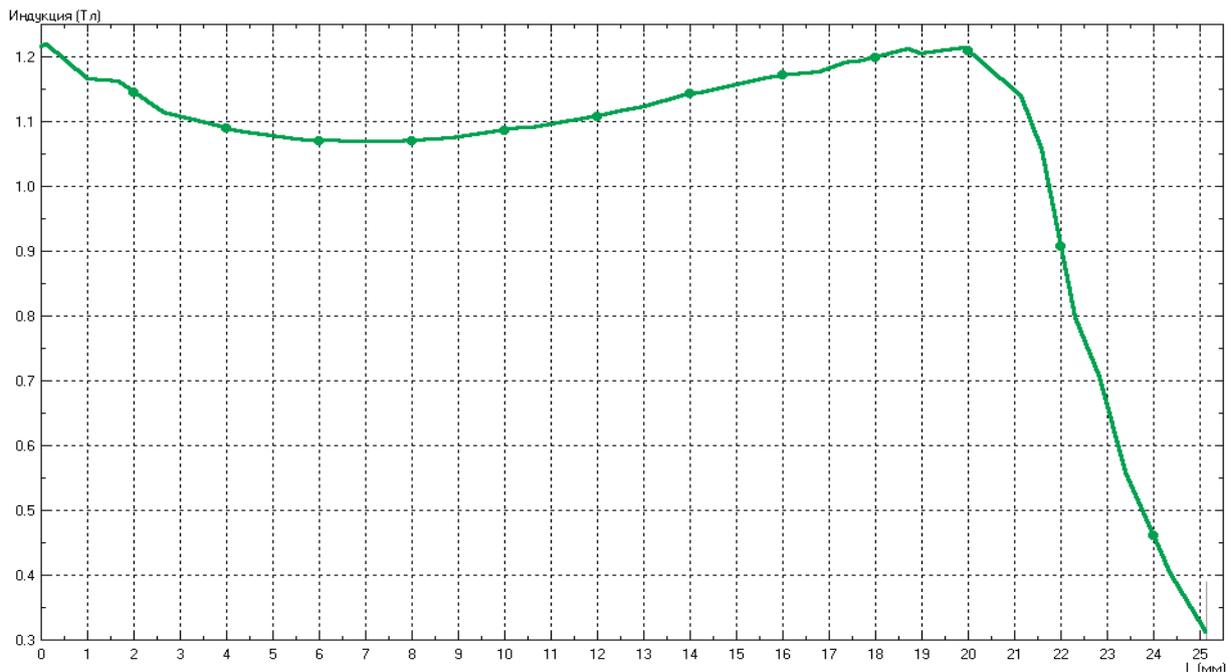


Рис. 10. Распределение магнитной индукции в спинке якоря

В данном случае (рис. 10) был выделен контур от паза, приходящегося на левый дополнительный полюс, до вала. Явная нелинейность графика обусловлена наличием вентиляционных каналов, вследствие чего при приближении к ним индукция увеличивается из-за вытеснения магнитных линий из канала. Так же по графику видно, что с приближением к валу генератора, индукция стремится к нулю. Среднее значение индукции $B_{cp} = 1,118 \text{ Тл}$. Оно рассчитывалось по длине контура от 0 до 20 мм. Расчетное значение в спинке якоря из таб.2 $B_j = 0,675 \text{ Тл}$.

Вывод.

При моделировании магнитного поля было выявлено, что в абсолютных значениях величина магнитного поля в сердечниках якоря и полюса отличается от предварительного расчета, при этом величина магнитной индукции в воздушном зазоре полностью подтвердилась расчетной. Расхождение величины индукции магнитного поля в сердечниках машины объясняется качеством и типом используемой марки стали. Для определения точных кривых намагничивания сталей данного генератора необходимо провести дополнительные испытания.

Библиографический список

1. *Копылов И.П.* Проектирование электрических машин / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев. М.: Высшая школа, 2005. 768 с.
2. *Тимофеев С.С., Шабалин С.А.* Комбинированная система моделирования электрических машин / Завалишинские чтения: Сб. докл.: / СПб.: ГУАП, СПб., 2010. 266 с.: ил. С205-212.
3. *Салова И.А.* Моделирование в ELCUT / методические указания к выполнению лабораторных работ / СПб.: ГУАП, СПб., 2007. 54 с.: ил.
4. Справочник по электротехническим материалам: С74В 3т. / Под редакцией Ю.В. Корицкого и др. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.: ил.

УДК 681.5

А. В. Ледкова

студентка кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОМ

Современные наиболее используемые источники электроэнергии это гидро-, тепло- и атомные электростанции. Дефицит энергии и ограниченность топливных ресурсов с все нарастающей остротой показывают неизбежность перехода к нетрадиционным, альтернативным источникам энергии, например к энергии ветра.

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии, удобную для использования в народном хозяйстве.

Ветрогенератор – устройство для преобразования кинетической энергии ветрового потока, в механическую энергию вращения ротора и преобразования этой энергии, в электрическую.

Для моделирования возьмем ветрогенератор с горизонтальной осью вращения.

Устройство ветрогенератора показано на рис. 1, где цифрами обозначены: 1 – фундамент; 2 – силовой шкаф, включающий силовые контакторы и цепи управления; 3 – башня; 4 – лестница; 5 – поворотный механизм; 6 – гондола; 7 – электрический генератор; 8 – система слежения за направлением

и скоростью ветра (анемометр); 9 – тормозная система; 10 – трансмиссия; 11 – лопасти; 12 – система изменения угла атаки лопасти; 13 – обтекатель.

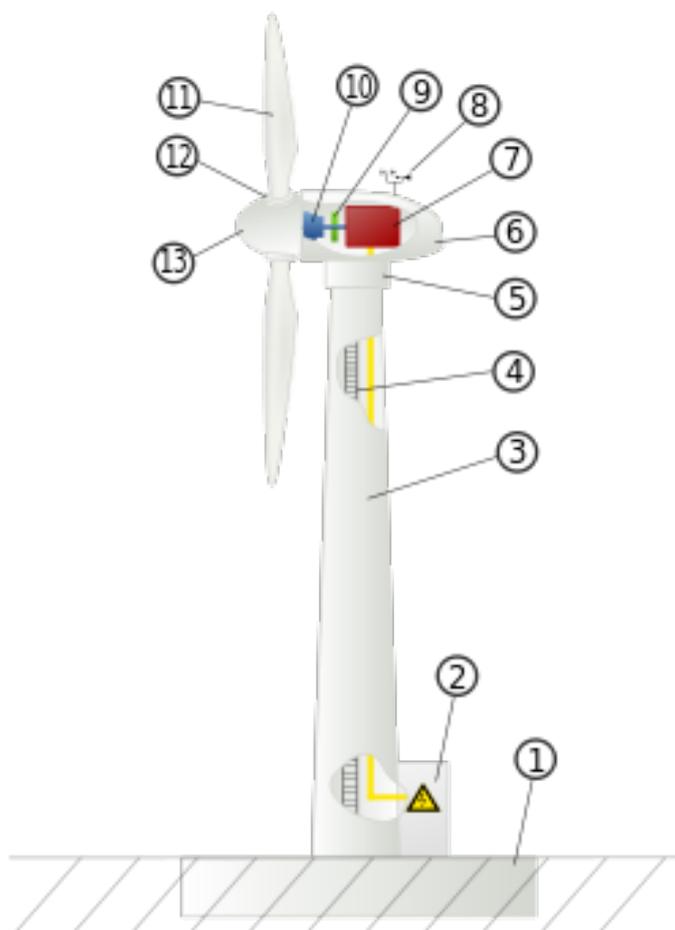


Рис. 1. Устройство ветрогенератора

Принцип работы: поток ветра вращает лопасти и активирует ротор, на котором они установлены, ротор и лопасти приводят в движение главный вал, который в свою очередь вращает редуктор; и в результате вращения генератора на выходе получаем электричество.

Рассмотрим математическое описание ветрогенератора как объекта управления [1, 2].

Коэффициент мощности ветроколеса

$$C_p = \frac{P}{P_v},$$

где P – аэродинамическая мощность ротора, P_v – доступная мощность ветра.

Угловое ускорение ротора описывается формулой

$$\dot{\omega} = \frac{\tau_{aero} - \tau_c}{J}, \quad (1)$$

где J – момент инерции ротора.

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A v^3,$$

где ρ – плотность воздуха, A – площадь ротора, ометаемая воздухом, v – скорость ветра.

$$P = \tau_{aero} \omega,$$

Аэродинамический момент вращения описывается выражением:

$$\tau_{aero} = \frac{1}{2} \rho A R \frac{C_p(\lambda, \beta)}{\lambda} v^2 \quad (2)$$

где β – угол поворота лопастей, λ – быстроходность (коэффициент, характеризующий работу винта или быстроходность турбины)

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (3)$$

где ω – угловая скорость ротора, R – радиус лопастей.

Момент вращения генератора:

$$\tau_c = k_{opt} \omega^2 \quad (4)$$

$$k_{opt} = \frac{1}{2} \rho A R^3 \frac{C_{pmax}}{\lambda_*^3} \quad (5)$$

где λ_* – это значение λ , в котором достигается максимальный коэффициент мощности C_{pmax} .

Тогда, подставляя (2) и (4) в (1) и используя (5), получим выражение для угловой скорости генератора

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2J} \rho A R^3 \omega^2 \left(\frac{C_p(\lambda, \beta)}{\lambda^3} - \frac{C_{pmax}}{\lambda_*^3} \right) \quad (6)$$

Зависимость коэффициента мощности ветротурбины C_p от λ и β может быть выражена аналитически:

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda,$$

где

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0,08\beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1}.$$

Параметры ветротурбины приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры ветротурбины

Радиус ротора R , м	11,6
Момент инерции ротора J , кг*м ²	102,8
Скорость ветра V , м/с	0 – 30
Угол наклона лопастей β , °	0 – 22
Номинальная мощность P , Вт	4300
Температура воздуха t , °	+10
Плотность воздуха ρ , кг/м ³	1,246

При управлении ветротурбиной в качестве управляющего сигнала выступает наклон лопастей β . Закон управления является нелинейным, поэтому для его реализации удобно использовать нечеткий логический регулятор (НЛР) [3]. На рис. 2 представлена нелинейная зависимость между входом и выходом НЛР, синтезированная с помощью семи управляющих правил.

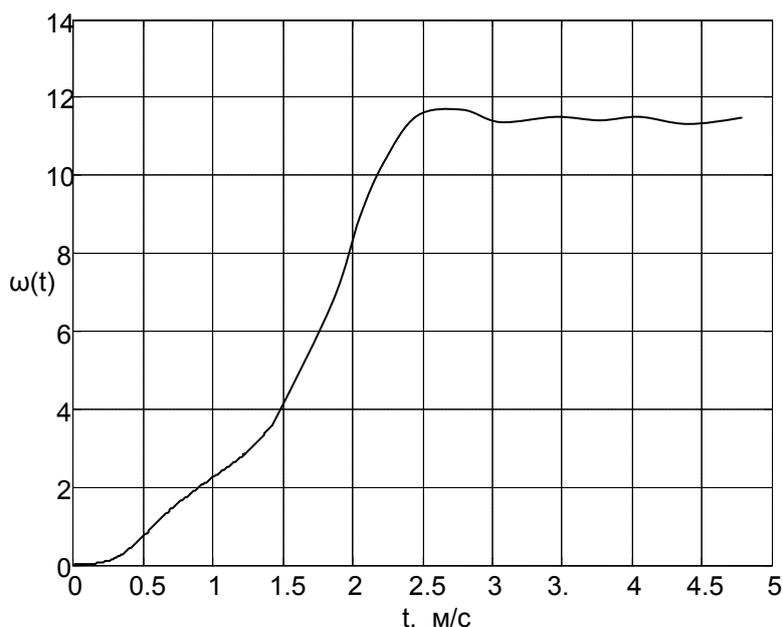


Рис. 4. Изменение частоты вращения ветроколеса

Таким образом, в ходе проделанной работы была реализована имитационная модель ветрогенератора с горизонтальной осью вращения по его математическому описанию, с использованием пакета Matlab. Также был создан НЛР, который управляет углом наклона лопастей β и позволяет получить необходимую мощность при изменении скорости ветра.

Библиографический список

1. Laks J., Pao L. and Wright, Control of Wind Turbines: Past, Present and Future, ACC June 2009.
2. Pao L. Y., Johnson K. E., A Tutorial on the Dynamics and Control of Wind Turbines and Wind Farms, Proc. Amer. Ctrl. Conf., June 2009.
3. Бураков, М. В. Нечеткие регуляторы: учеб. пособие / М. В. Бураков; ГУАП. СПб., 2010 г. 237с.

УДК 681.5

А. В. Ледкова

студентка кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПАРКОВКИ АВТОМОБИЛЯ

Система автоматической парковки (другое наименование – *интеллектуальная система помощи при парковке*, обиходное название – *парковочный автопилот*) относится к активным парковочным системам, т.к. обеспечивает парковку автомобиля в автоматическом или автоматизированном (автоматически выполняются отдельные функции) режиме.

Различные системы автоматической парковки помогают при выполнении параллельной парковки, перпендикулярной парковки. Больше распространены системы с параллельной парковкой. Автоматическая парковка осуществляется за счет согласованного управления углом поворота рулевого колеса и скорости движения автомобиля.

Известными интеллектуальными системами помощи при парковке являются:

- Park Assist на автомобилях Volkswagen;
- Park Assist Vision на автомобилях Volkswagen;
- Intelligent Parking Assist System на автомобилях Toyota, Lexus;
- Remote Park Assist System на автомобилях BMW;
- Active Park Assist на автомобилях Mercedes-Benz, Ford;
- Advanced Park Assist на автомобилях Opel.

Системы автоматической парковки имеют следующие общие устройства:

- ультразвуковые датчики;
- выключатель;
- электронный блок управления;
- исполнительные устройства систем автомобиля;
- устройство оптической индикации на панели приборов.

В интеллектуальной системе помощи при парковке используются ультразвуковые датчики, аналогичные пассивной парковочной системе, но имеющие большую дальность действия (до 4,5 м). Количество датчиков в зависимости от разновидности системы различается. Например, в системе *Park Assist* последнего поколения устанавливается 12 ультразвуковых датчиков – по четыре датчика впереди, сзади и по бокам автомобиля.

Включение системы осуществляется принудительно при необходимости осуществить парковку. Для этого на панели приборов (рулевом колесе) имеется специальный выключатель.

Электронный блок управления принимает сигналы от ультразвуковых датчиков и преобразует их в управляющие воздействия на исполнительные устройства, в качестве которых выступают другие системы автомобиля: электроусилитель рулевого управления, система курсовой устойчивости, система управления двигателем, автоматическая коробка передач. Взаимодействие с указанными системами осуществляется через соответствующие электронные блоки управления.

Необходимая для автоматической парковки информация выводится на информационный дисплей и используется водителем в процессе парковки.

Работу системы автоматической парковки условно можно разделить на два этапа: поиск подходящего места на парковке и собственно выполнение парковки.

Поиск подходящего места на парковке производится с помощью ультразвуковых датчиков. Например, в конструкции системы *Park Assist* для этой цели предусмотрено четыре боковых ультразвуковых датчика – по два с каждой стороны автомобиля. При движении автомобиля вдоль ряда припаркованных машин с определенной скоростью (до 40 км/ч при параллельной парковке и до 20 км/ч при поперечной парковке) датчики фиксируют расстояние между ними, а в системе *Park Assist Vision* – и их положение относительно транспортного средства (параллельно или перпендикулярно).

Сигналы датчиков обрабатываются электронным блоком управления. Если расстояние для парковки достаточное, система выводит на информационный дисплей автомобиля соответствующую информацию. В системе *Park Assist* за достаточное для парковки расстояние принимается расстояние, превышающее длину автомобиля на 0,8 м, в системе *Advanced Park Assist* – на 1 м.

Парковка транспортного средства может осуществляться двумя способами – непосредственно водителем с помощью предлагаемых системой инструкций или автоматически без участия водителя.

Визуальные и тестовые инструкции водителю выводятся на информационный дисплей. Они касаются рекомендаций по повороту рулевого колеса на определенный угол и направлению движения. Такой способ автоматизированной парковки используется в системе *Advanced Park Assist*. Автоматическая парковка производится путем упорядоченного воздействия на исполнительные механизмы систем автомобиля:

- электродвигатель электрического усилителя рулевого управления;
- насос обратной подачи и клапаны тормозных механизмов системы курсовой устойчивости;
- электродвигатель дроссельной заслонки системы управления двигателем;
- электромагнитные клапаны автоматической коробки передач.

С целью безопасности движения работу системы всегда можно перевести из автоматического режима в ручной режим. В последних конструкциях системы автоматическая парковка может производиться при нахождении водителя, как в автомобиле, так и за его пределами – с ключа.

В основе алгоритмов управления лежит кинематическая модель движения автомобиля (рис. 1).

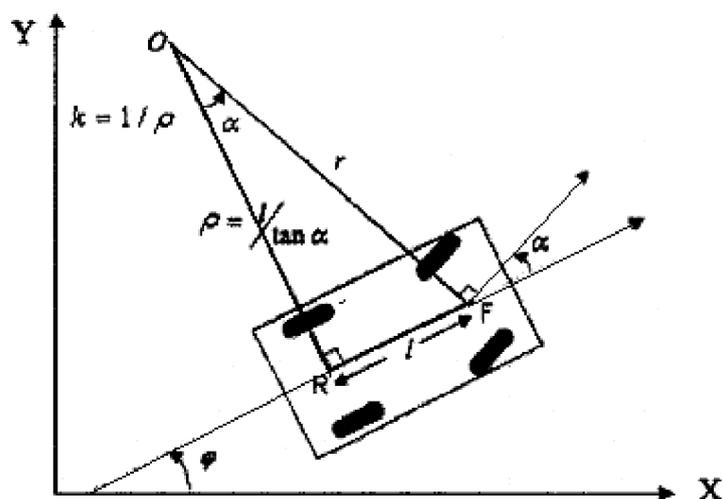


Рис. 1. Кинематическая модель

На рис. 1 приняты обозначения: φ – угол между осью абсцисс и главной осью автомобиля; α – угол поворота колес; l – длина основы колес; O – центр поворота; r – расстояние от точки O до середины оси передних колес; ρ – радиус поворота; k – коэффициент кривизны поворота.

У автомобиля имеется два задних и два направляющих передних колеса. Задние колеса зафиксированы и не могут вращаться. Передние колеса могут поворачиваться налево или направо, но колеса должны быть параллельны. Положение (ориентация) машины определяется тремя величинами x , y , φ , где x , y – это координаты середины оси задних колес и φ определяет ориентацию автомобиля по отношению к оси абсцисс.

Движущееся тело на плоскости имеет один центр вращения. Когда автомобиль движется, оси колес пересекаются в точке O – центре поворота. Каждое последующее положение автомобиля можно найти следующим образом:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}(t) &= \dot{\varphi}(t) + \frac{\dot{\varphi}t}{L} \operatorname{tg}(\alpha) \\ \dot{x}(t) &= x(t) + \dot{\varphi}t \cos(\varphi) \\ \dot{y}(t) &= y(t) + \dot{\varphi}t \sin(\varphi)\end{aligned}$$

где $x(t)$, $y(t)$ – текущие координаты, $x'(t)$, $y'(t)$ – координаты, в которых находится автомобиль через некоторое время t .

Таким образом, представленные уравнения образуют кинематическую модель автомобиля, которая может быть использована для обучения системы управления парковкой автомобиля. Скорость движения может быть принята постоянной.

Система управления решает две задачи: строит эталонную траекторию движения автомобиля для решения поставленной задачи и обеспечивает движение по этой траектории.

Первая задача – алгоритм построения эталонной траектории решается с учетом ограничения на радиус разворота автомобиля.

Вторая задача решается за счет использования нечеткого регулятора [1], получающего на входе текущие значения ошибок положения автомобиля. Выходной переменной является угол поворота

коле автомобиля. Правила управления формируются путем обучения с использованием генетического алгоритма [2]. Генетическое обучение предполагает многократное моделирование кинематики системы с последующей коррекцией правил управления с помощью генетических операторов отбора, скрещивания и мутации. При этом посылки правил фиксированы, а изменяются их заключения.

Проведенные опыты показали, что приемлемое качество управления может быть достигнуто уже при девяти нечетких управляющих правилах.

Библиографический список

1. Бураков, М. В. Нечеткие регуляторы: учеб. пособие / М. В. Бураков; ГУАП. СПб., 2010 г. 237с.
2. Бураков, М. В. Генетический алгоритм: теория и практика / М. В. Бураков. СПб., ГУАП, 2008. 164с.

УДК 621.31

Е. В. Лосев

студент кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

И. В. Елтышева

научный руководитель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА СУДНЕ

Цель данной работы – обосновать предпочтение выбора асинхронного двигателя в качестве маневрового на подводной лодке, вместо двигателя постоянного тока.

Существует множество критериев при подборе двигателя для работы на судне. Но главные из них это: безопасность, надежность, долгий срок службы, неприхотливость, габариты, масса, и, конечно же, полезная мощность. До недавнего времени на судах были распространены электродвигатели постоянного тока. Это было обусловлено тем, что частотой вращения их якорей можно было управлять с помощью введения добавочного сопротивления в цепь якоря (подобное управление используется в некоторых моделях троллейбусов и в наше время). При таком методе управления увеличиваются общие потери, и снижается коэффициент полезного действия (КПД). Другой вариант управления частотой вращения – изменение напряжения подводимого к обмотке якоря (что является более современным методом управления). Это делается с помощью тиристорных преобразователей, с помощью них происходит регулирование частоты вращения изменением подводимого напряжения. Идея регулирования напряжения, подводимого к двигателю, заключается в том, что, при изменении длительности подключения двигателя к сети изменяется среднее значение напряжения. В качестве ключа используются схемы на базе тириستоров или транзисторов.

Раньше у двигателей постоянного тока (ДПТ), не было конкуренции в работе в составе электроприводов применяемых на транспортных средствах. Так как почти во всем превосходящий его асинхронный двигатель (АД) лишен возможности быть полностью управляемым. Нельзя было достичь той плавности набора, поддержания и замедления скорости вращения ротора асинхронного двигателя. И до недавнего времени внедрение асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами в системы, где требуется широкий диапазон регулирования скорости, не представлялось возможным, а для изменения скорости движения приводимых механизмов использовались переключаемые редукторы или вариаторы.

Дальнейшим развитием таких систем стало появление асинхронных двигателей с переключением числа полюсов (двух- и трехскоростные двигатели), что позволяло ступенчато изменять скорость вращения. Но при этом было невозможно управлять двигателем с заданной точностью. Следующим

шагом к плавному регулированию скорости вращения, стало появление и использование IGBT транзисторов.

Достижения в области электропривода переменного тока послужили основой для создания нового оборудования, которое находит применение в различных областях, в том числе и в судостроении. Развитие полупроводниковой электроники, в частности разработка IGBT транзисторов, дала возможность производства недорогих микропроцессорных преобразователей частоты, с помощью которых реализуется полноценное управление скоростью асинхронных двигателей в широком диапазоне регулирования (1:1000 об/мин). Теперь частота вращения АД не зависит от частоты питающей сети, двигателя можно разгонять выше их номинальной скорости, появилась возможность управления моментом асинхронных двигателей. Системы управления движением с использованием асинхронных двигателей и преобразователей частоты получаются дешевле и проще подобных систем с двигателями постоянного тока. В качестве датчиков обратной связи широко используются цифровые устройства (энкодеры), которые менее подвержены влиянию электромагнитных помех, чем тахогенераторы, классически используемые с машинами постоянного тока.

В высоковольтных силовых приборах с большими уровнями токов и напряжениями до единиц киловольт, используются модули, основанные на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT – Insulated Gate Bipolar Transistor). IGBT позволяют улучшить динамическую производительность, эффективность и уменьшают уровень электромагнитного излучения. IGBT транзисторы вытесняют тиристоры из высоковольтных схем преобразования частоты и позволяют создать импульсные источники вторичного электропитания с качественно улучшенными характеристиками. IGBT используются достаточно широко в инверторах для управления электродвигателями, в мощных системах бесперебойного питания с напряжениями свыше 1кВ и токами в сотни ампер.

Создание IGBT транзисторов дало толчок для развития электропривода переменного тока. Это привело к широкому использованию асинхронных двигателей вместо тяговых электродвигателей постоянного тока.

Выбор в пользу асинхронного двигателя для работы в составе электропривода в судовой энергетической установке, объясняется простотой конструкции, надежностью и высоким значением КПД этих электрических машин. У двигателей постоянного тока имеются постоянно взаимодействующие между собой коллекторные пластины и щетки (от которых нельзя избавиться в силу того, что это одни из главных рабочих элементов в машине постоянного тока). Щетки у ДПТ являются одним из главных расходных материалов, не смотря на качественные улучшения в электромашиностроении, на плановых технических обслуживаниях всегда приходится их заменять. Из-за стирания щеток об коллектор, снижается количество часов бесперебойной работы электродвигателя. В то время как у асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором нет трущихся соединений и деталей (кроме соединений подшипниковых щитов с валом с помощью подшипников качения/скольжения).

Высокие эксплуатационные качества позволяют внедрить привод с асинхронным двигателем в судостроение.

Асинхронные машины новых серий соответствуют уровню мирового машиностроения.

– В настоящее время наблюдаются следующие тенденции развития асинхронных двигателей и их технологии изготовления:

– улучшение конструкций магнитных систем, обмоток и систем охлаждения с целью снижения массы, габаритных размеров машин и потерь энергии в них;

– повышение надежности путем улучшения качества изоляции и внедрения более совершенной технологии обмоточно-изолирующих работ;

– создание новых схем электропривода, сочетающих в себе асинхронный двигатель с полупроводниковыми регуляторами и преобразователями для повышения надежности и энергетических показателей.

Необходимость разработки асинхронных двигателей для судовых энергетических установок, заключается в том, что асинхронные двигатели надежнее, меньше в размерах, легче, дешевле, проще в эксплуатации и их КПД незначительно (в крупных машинах), но выше чем у двигателей постоянного

тока (рисунок). Разница в размерах и весе может достигать двойной кратности. А когда речь идет о высокомоощных двигателях, используемых на судах, размер, вес, и надежность имеют очень большое значение.

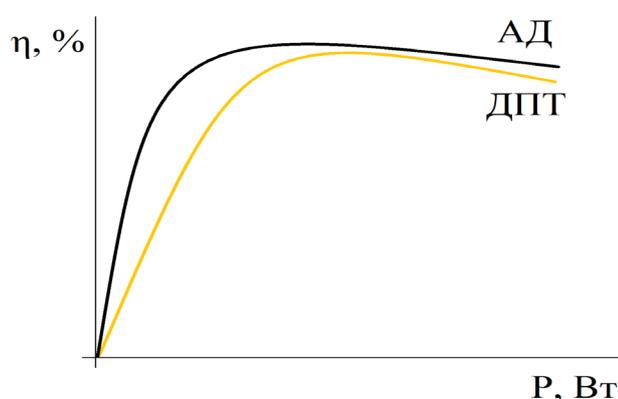


Рис. Отношение КПД (η) асинхронного электродвигателя (АД) к КПД двигателя постоянного тока (ДПТ), где P — нагрузка на двигатель

Кривая КПД электрической машины сначала быстро растет с увеличением нагрузки, затем КПД достигает максимального значения (обычно при нагрузке, близкой к номинальной) и при больших нагрузках уменьшается. Последнее объясняется тем, что отдельные виды потерь (электрические и добавочные) растут быстрее, чем полезная мощность.

Современные электрические машины имеют высокий коэффициент полезного действия. Так, у машин постоянного тока мощностью 10 кВт КПД составляет 84 – 88%, мощностью 100 кВт – 88 – 94% и мощностью 1000 кВт и более – 93 – 97%.

У асинхронных двигателей КПД выше. Но следует учитывать, что чем более ответственную работу выполняет двигатель, тем больше современных разработок используется в его создании, при необходимости у всех АД, начиная с милливаттных и заканчивая сотнями-мегаваттными, можно получить КПД близкий к 97 – 98%.

Вывод: благодаря разработке и дальнейшему развитию микропроцессорной электроники, в частности изобретению IGBT транзисторов, асинхронные двигатели можно использовать в составе электроприводов на транспортных средствах и в том числе в судовой промышленности, заменив ими более дорогостоящие, тяжелые и менее надежные двигатели постоянного тока.

Библиографический список

1. Варварин В.К. Выбор и наладка электрооборудования / В.К. Варварин.: Москва, 2008. 232 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. М.: Энергия, 1974. 839 с.
3. Домбровский В.В. Асинхронные машины / В.В. Домбровский. М.: Энергоатомиздат, 1990. 364 с.
4. Кацман М.М. Расчёт и конструирование электрических машин / М.М. Кацман. М.: Энергоатомиздат, 1984. 360 с.
5. Радин В.И. Электрические машины, асинхронные машины / В.В. Радин М.: Высшая школа, 1988. 324 с.

УДК 621.3

М. В. Малахова

студентка кафедры инфокоммуникационных систем

Ю. А. Ганшин

канд. техн. наук – начный руководитель

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ШАРООБРАЗНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ СКОРОСТИ СУДНА

Причины погрешностей шарообразных электромагнитных датчиков скорости (рис. 1) [1] судна делятся на три группы:

- влияние паразитных ЭДС, возникающих в датчике;
- влияние внешней среды;
- взаимодействие с измерительным прибором.

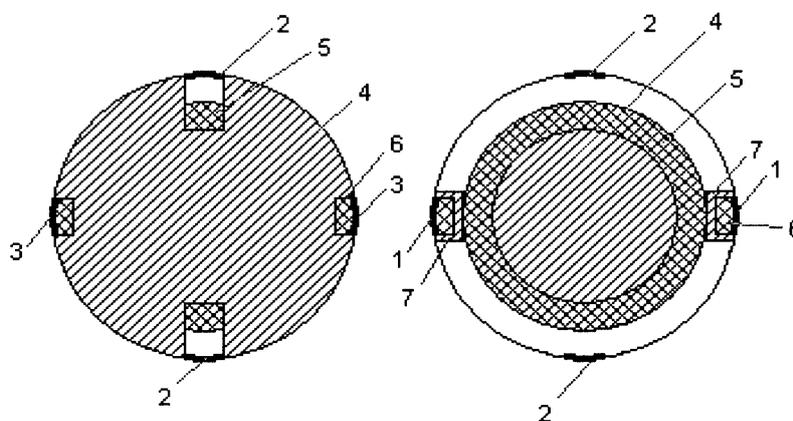


Рис. 1. Шарообразный трехкомпонентный электромагнитный датчик скорости

Основными причинами возникновения паразитных ЭДС в датчике являются собственная ЭДС электродов, токи утечки и наводки ЭДС в контуре приемного устройства.

Первая причина обусловлена явлениями электролиза. Морская вода является электролитом, поэтому на опущенных в нее электродах происходят окислительно-восстановительные реакции, которые сопровождаются электрическими токами. Последние и создают погрешность в измерении скорости.

Токи утечки возникают из-за недостаточного качества изоляции измерительной цепи приемного устройства и наличия емкостной связи этой цепи с обмотками электромагнита. Наводки ЭДС индукции от посторонних полей в воде и в контуре, образованном цепью «вода – провода собирательных электродов», приводят к появлению дополнительной ЭДС в измерительной схеме датчика измерителя.

Кроме того, нелинейность характеристики электромагнита датчика приводит к искажению гармонического закона изменения его магнитного поля, что также сказывается на точности датчика. Помимо этого, приближение работы магнитной системы преобразователя к насыщению вызывает увеличение помех и потоков рассеяния магнитного поля. Суммарную погрешность от всех перечисленных явлений можно считать систематической [2].

К группе погрешностей, обусловленных влиянием внешней среды, относят погрешности, вызванные изменением солёности морской воды, влиянием пограничного слоя при обтекании, качкой судна, волновым движением воды и ее температурой.

С изменением солёности в морской воде изменяется количество электрических зарядов, однако при использовании в датчике переменного магнитного поля данное обстоятельство на его погрешности практически не сказывается. Погрешности от волнения моря и качки носят как систематический, так и

случайный характер. В условиях волнения и качки увеличивается турбулентность воды, что приводит к возрастанию толщины пограничного слоя [2].

Погрешность, вызванная пограничным слоем при обтекании поверхности датчика, в значительной степени зависит от места его установки. Пограничный слой образуется из жидкости, частично увлекаемой датчиком, при его движении в жидкости. На данную погрешность влияет не только пограничный слой датчика, но и пограничный слой днища судна, в котором существуют турбулентные вихри, которые приводят к возникновению циркуляционных токов, вызывающих падение напряжения на собираемых электродах. Возникающая при этом разность потенциалов зависит от турбулентности, электропроводности воды и градиента скорости потока. Погрешность от пограничного слоя вокруг датчика носит систематический характер и ее можно оценить, рассчитав толщину пограничного слоя [1].

Существуют следующие погрешности, обусловленные влиянием измерительного прибора датчика.

1. При переменном магнитном поле наряду с полезным сигналом возникает паразитная, так называемая, трансформаторная ЭДС, индуцируемая в контуре площадью S , образованном электродами, выводными проводами и измерительным прибором.

2. Блуждающие токи и внешние электромагнитные поля – возможные источники помех.

3. Изменение напряжения и частоты питания обмотки электромагнита, а также температуры последнего могут вызвать изменение индукции \bar{B} магнитного поля, а следовательно, и измеряемой ЭДС [3].

Далее на основании экспериментальных исследований, анализа литературы и патентной документации авторами предложены пути уменьшения или полного устранения рассмотренных погрешностей.

Первая группа погрешностей. Для уменьшения собственной ЭДС электродов подбирают их пары с идентичными характеристиками и изготавливают их из малоактивных, то есть благородных металлов. Устранение наводок ЭДС и токов утечки достигается экранировкой отводящих от электродов проводов и их сплетением в жгут, а также заземлением всех приборов измерителя скорости. Для устранения приближения работы магнитной системы преобразователя к насыщению индукция B магнитного поля датчика не должна превышать 0,3 Тл [2].

Вторая группа погрешностей. Погрешность от пограничного слоя вокруг судна также носит систематический характер и определяется, а затем устраняется при поверке всего измерителя скорости.

Третья группа погрешностей. Одним из методов устранения трансформаторной ЭДС является раздельная компенсация измерительным устройством синфазной и трансформаторной (квадратурной) составляющих выходного напряжения. Для борьбы с блуждающими токами и внешними электромагнитными полями надо иметь в одной точке заземление корпуса датчика и других элементов схемы, подлежащих заземлению, а для устранения наводок от внешних полей следует хорошо экранировать все части измерителя скорости и применять коаксиальные кабели для соединительных проводов. Простейший путь борьбы с влиянием изменения напряжения и частоты питания обмотки – сделать напряжение питания электромагнита также опорным напряжением схемы сравнения [1].

Библиографический список

1. Методическое обеспечение и средства электромагнитного контроля составляющих скорости жидких полупроводящих сред: диссертация. / Ганьшин Ю. А. - СПб.:ГУАП, 2011.
2. Саранчин, А.И. Индукционный электронный лаг ИЭЛ-2М: Учеб. пособие / А.И. Саранчин, В.Ф. Полковников, В.В. Завьялов. Владивосток: 2003. 40 с.
3. Кораблев, А. В. Электромагнитные навигационные приборы и системы / А. В. Кораблев, В. Ф. Масаров. Л.: ВМОЛУА, 1976. 140 с.

УДК 629.735.33

П. А. Михайлов

студент кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

А. Л. Ронжин

д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

ПРОБЛЕМЫ КИБЕРНЕТИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Искусственный интеллект является сейчас «горячей точкой» научных исследований. В этой точке, как в фокусе, сконцентрированы наибольшие усилия кибернетиков, лингвистов, психологов, филологов, математиков и инженеров. Именно здесь решаются многие коренные вопросы, связанные с путями развития научной мысли, с воздействием достижений в области вычислительной техники и робототехники на жизнь будущих поколений людей. Здесь возникают и получают права гражданства новые методы научных междисциплинарных исследований. Здесь формируется новый взгляд на роль тех или иных научных результатов и возникает то, что можно было бы назвать философским осмыслением этих результатов. Поэтому данная тема в настоящее время весьма актуальна.

Кибернетика

Кибернетика возникла на стыке многих областей знания: математики, логики, семиотики, биологии и социологии.

Обобщающий характер кибернетических идей и методов сближает науку об управлении, каковой является кибернетика, с философией.

Задача обоснования исходных понятий кибернетики, особенно таких, как информация, управление, обратная связь и др. требуют выхода в более широкую, философскую область знаний, где рассматриваются атрибуты материи – общие свойства движения, закономерности познания.

Сама кибернетика как наука об управлении многое дает современному философскому мышлению. Она позволяет более глубоко раскрыть механизм самоорганизации материи, обогащает содержание категории связей, причинности, позволяет более детально изучить диалектику необходимости и случайности, возможности и действительности. Открываются пути для разработки «кибернетической» гносеологии, которая не подменяет диалектический материализм теорией познания, но позволяет уточнить, детализировать и углубить в свете науки об управлении ряд существенно важных проблем.

Конкретизация понятия «искусственный интеллект»

В понятие «искусственный интеллект» вкладывается различный смысл – от признания интеллекта у ЭВМ, решающих логические или даже любые вычислительные задачи, до отнесения к интеллектуальным лишь тех систем, которые решают весь комплекс задач, осуществляемых человеком, или еще более широкую их совокупность. Мы постараемся вычлнить тот смысл понятия «искусственный интеллект», который в наибольшей степени соответствует реальным исследованиям в этой области.

Как отмечалось, в исследованиях по искусственному интеллекту ученые отвлекаются от сходства процессов, происходящих в технической системе или в реализуемых ею программах, с мышлением человека. Если система решает задачи, которые человек обычно решает посредством своего интеллекта, то мы имеем дело с системой искусственного интеллекта.

Однако это ограничение недостаточно. Создание традиционных программ для ЭВМ – работа программиста – не есть конструирование искусственного интеллекта. Какие же задачи, решаемые техническими системами, можно рассматривать как конституирующие искусственный интеллект?

Чтобы ответить на этот вопрос, надо уяснить, прежде всего, что такое задача. Как отмечают психологи, этот термин тоже не является достаточно определенным. По-видимому, в качестве исходного можно принять понимание задачи как мыслительной задачи, существующее в психологии. Они подчеркивают, что задача есть только тогда, когда есть работа для мышления, т. е. когда имеется некоторая

цель, а средства к ее достижению не ясны; их надо найти посредством мышления. Хорошо по этому поводу сказал Д. Пойа: «...трудность решения в какой-то мере входит в само понятие задачи: там, где нет трудности, нет и задачи». Если человек имеет очевидное средство, с помощью которого наверное можно осуществить желание, поясняет он, то задачи не возникает. Если человек обладает алгоритмом решения некоторой задачи и имеет физическую возможность его реализации, то задачи в собственном смысле уже не существует.

Проблема искусственного интеллекта

Гносеологический анализ проблемы искусственного интеллекта вскрывает роль таких познавательных орудий, как категории, специфическая семиотическая система, логические структуры, ранее накопленное знание. Они обнаруживаются не посредством исследования физиологических или психологических механизмов познавательного процесса, а выявляются в знании, в его языковом выражении. Орудия познания, формирующиеся, в конечном счете, на основе практической деятельности, необходимы для любой системы, выполняющей функции абстрактного мышления, независимо от ее конкретного материального субстрата и структуры. Поэтому, чтобы создать систему, выполняющую функции абстрактного мышления, т. е. формирующую адекватные схемы внешних действий в существенно меняющихся средах, необходимо наделить такую систему этими орудиями.

Развитие систем искусственного интеллекта за последние десятилетия идет по этому пути. Однако степень продвижения в данном направлении в отношении каждого из указанных познавательных орудий неодинакова и в целом пока незначительна.

В наибольшей мере системы искусственного интеллекта используют формально-логические структуры, что обусловлено их неспецифичностью для мышления и в сущности алгоритмическим характером. Это дает возможность относительно легкой их технической реализации. Однако даже здесь кибернетике предстоит пройти большой путь. В системах искусственного интеллекта еще слабо используются модальная, императивная, вопросная и иные логики, которые функционируют в человеческом интеллекте и не менее необходимы для успешных познавательных процессов, чем давно освоенные логикой, а затем и кибернетикой формы вывода. Повышение «интеллектуального» уровня технических систем, безусловно, связано не только с расширением применяемых логических средств, но и с более интенсивным их использованием (для проверки информации на непротиворечивость, конструирования планов вычислений и т. д.).

Намного сложнее обстоит дело с семиотическими системами, без которых интеллект невозможен. Языки, используемые в ЭВМ, еще далеки от семиотических структур, которыми оперирует мышление.

Прежде всего, для решения ряда задач необходимо последовательное приближение семиотических систем, которыми наделяется ЭВМ, к естественному языку, точнее, к использованию его ограниченных фрагментов. В этом плане предпринимаются попытки наделить входные языки ЭВМ универсалиями языка, например полисемией (которая элиминируется при обработке в лингвистическом процессе). Разработаны проблемно-ориентированные фрагменты естественных языков, достаточные для решения системой ряда практических задач. Наиболее важным итогом этой работы является создание семантических языков (и их формализация), в которых слова-символы имеют интерпретацию.

Однако многие универсалии естественных языков, необходимые для выполнения ими познавательных функций, в языках искусственного интеллекта пока реализованы слабо (например, открытость) или используются ограниченно (например, полисемия). Все большее воплощение в семиотических системах универсалий естественного языка, обусловленных его познавательной функцией, выступает одной из важнейших линий совершенствования систем искусственного интеллекта, особенно тех, в которых проблемная область заранее жестко не определена.

Современные системы искусственного интеллекта способны осуществлять перевод с одномерных языков на многомерные. В частности, они могут строить диаграммы, схемы, чертежи, графы, высвечивать на экранах кривые и т. д. ЭВМ производят и обратный перевод (описывают графики и тому подобное с помощью символов). Такого рода перевод является существенным элементом интеллекту-

альной деятельности. Но современные системы искусственного интеллекта пока не способны к непосредственному (без перевода на символический язык) использованию изображений или воспринимаемых сцен для «интеллектуальных» действий. Поиск путей глобального (а не локального) оперирования информацией составляет одну из важнейших перспективных задач теории искусственного интеллекта.

Воплощение в информационные массивы и программы систем искусственного интеллекта аналогов категорий находится пока в начальной стадии. Аналоги некоторых категорий (например, «целое», «часть», «общее», «единичное») используются в ряде систем представления знаний, в частности в качестве «базовых отношений», в той мере, в какой это необходимо для тех или иных конкретных предметных или проблемных областей, с которыми взаимодействуют системы.

В формализованном понятийном аппарате некоторых систем представления знаний предприняты отдельные (теоретически существенные и практически важные) попытки выражения некоторых моментов содержания и других категорий (например, «причина», «следствие»). Однако ряд категорий (например, «сущность», «явление») в языках систем представления знаний отсутствует. Проблема в целом разработчиками систем искусственного интеллекта в полной мере еще не осмыслена, и предстоит большая работа философов, логиков и кибернетиков по внедрению аналогов категорий в системы представления знаний и другие компоненты интеллектуальных систем. Это одно из перспективных направлений в развитии теории и практики кибернетики.

Современные системы искусственного интеллекта почти не имитируют сложную иерархическую структуру образа, что не позволяет им перестраивать проблемные ситуации, комбинировать локальные части сетей знаний в блоки, перестраивать эти блоки и т. д.

Не является совершенным и взаимодействие вновь поступающей информации с совокупным знанием, фиксированным в системах. В семантических сетях и фреймах пока недостаточно используются методы, благодаря которым интеллект человека легко пополняется новой информацией, находит нужные данные, перестраивает свою систему знаний и т. д.

Еще в меньшей мере современные системы искусственного интеллекта способны активно воздействовать на внешнюю среду, без чего не может осуществляться самообучение и вообще совершенствование «интеллектуальной» деятельности.

Таким образом, хотя определенные шаги к воплощению гносеологических характеристик мышления в современных системах искусственного интеллекта сделаны, но в целом эти системы еще далеко не владеют комплексом гносеологических орудий, которыми располагает человек и которые необходимы для выполнения совокупности функций абстрактного мышления. Чем больше характеристики систем искусственного интеллекта будут приближены к гносеологическим характеристикам мышления человека, тем ближе будет их «интеллект» к интеллекту человека, точнее, тем выше будет их способность к комбинированию знаковых конструкций, воспринимаемых и интерпретируемых человеком в качестве решения задач и вообще воплощения мыслей.

В связи с этим возникает сложный вопрос. При анализе познавательного процесса гносеология абстрагируется от психофизиологических механизмов, посредством которых реализуется этот процесс. Но из этого не следует, что для построения систем искусственного интеллекта эти механизмы не имеют значения. Вообще говоря, не исключено, что механизмы, необходимые для воплощения неотъемлемых характеристик интеллектуальной системы, не могут быть реализованы в цифровых машинах или даже в любой технической системе, включающей в себя только компоненты неорганической природы. Иначе говоря, в принципе не исключено, что хотя мы можем познать все гносеологические закономерности, обеспечивающие выполнение человеком его познавательной функции, но их совокупность реализуема лишь в системе, субстратно тождественной человеку.

Заключение

Развитие информационной техники позволило компенсировать человеку психофизиологическую ограниченность своего организма в ряде направлений. «Внешняя нервная система», создаваемая и расширяемая человеком, уже дала ему возможность вырабатывать теории, открывать количественные закономерности, раздвигать пределы познания сложных систем. Искусственный интеллект и его совершенствова-

ние превращают границы сложности, доступные человеку, в систематически раздвигаемые. Это особенно важно в современную эпоху, когда общество не может успешно развиваться без рационального управления сложными и сверхсложными системами. Разработка проблем искусственного интеллекта является существенным вкладом в осознание человеком закономерностей внешнего и внутреннего мира, в их использование в интересах общества и тем самым в развитие свободы человека.

Библиографический список

1. Г. Кузнецов, «Цель жизни», Компьютерра, №35 1997г.
2. А. Эндрю «Искусственный интеллект», М.: Мир, 1985.
3. Н. Винер «Кибернетика», М.: Наука, 1983.
4. И. М. Юзвшин И.М. Информациология, - М., 1996..

УДК 621.3

В. В. Можеева

студентка кафедры бортовой радиоэлектронной аппаратуры

Ю. А. Ганьшин

канд. техн. наук – научный руководитель

В. Я. Лавров

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДЛИНЫ СИЛОВОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В статье приводится порядок расчета длины силовой линии электрического поля вокруг шарообразного электротехнического объекта с помощью алгоритма идентификации внешнего электрического поля в сферической системе координат. Электротехнический объект имеет два электрода, на которых начинаются и заканчиваются силовые линии электрического поля. Для наглядности рассматривается ситуация, в которой объект обтекается потоком соленой воды постоянной скорости.

Массив исходных данных для расчета формируется следующим образом. На окружностях для разных широт шарообразной поверхности экспериментально исследуется распределение радиальной составляющей вектора напряженности электрического поля E_r объекта. По данным исследования составляется матрица E_r^0 значений радиальной составляющей вектора напряженности электрического поля E_r для дискретных точек сферы радиуса r_0 :

$$E_r^0 = \begin{bmatrix} E_{r_1,1}, \dots, E_{r_1,N_\theta} \\ \dots \\ E_{r_N_\phi,1}, \dots, E_{r_N_\phi,N_\theta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Измерения массива исходных данных необходимо в сферической системе координат по координатам θ и ϕ , причем θ изменяется от 0 до 180 градусов, а ϕ – от 0 до 175 градусов. Шаг по координате θ и по координате ϕ необходимо принять равным 5 градусам.

Алгоритм идентификации внешнего электрического поля объекта является численно-аналитическим. Поле в нем описывается аналитическими выражениями, при численном определении весовых коэффициентов, связанных с конкретными источниками поля. Идентификацией принято называть определение структуры и параметров математических моделей объектов или процессов на основе эксперимента. Это понятие широко используется в теории автоматического управления, электроэнергетике, теории электрических цепей и других областях. В основу описываемого алгоритма положено построение ма-

тематической модели электрического поля во внешней от его источников области на основании экспериментальной информации, полученной на поверхности электротехнического объекта [1].

Ион соли, являющийся в растворе носителем заряда, движется под воздействием силы Лоренца от одного электрода объекта к другому по траектории, которая совпадает с силовыми линиями электрического поля (рис. 1). Силовая линия электрического поля – это линия, касательная к которой в каждой точке совпадает по направлению с вектором напряженности поля \vec{E} . Согласно этому определению, можно записать уравнения силовой линии для декартовой системы координат:

$$\frac{dx}{dl} = \frac{E_x}{|\vec{E}|}, \frac{dy}{dl} = \frac{E_y}{|\vec{E}|}, \frac{dz}{dl} = \frac{E_z}{|\vec{E}|} \quad (2)$$

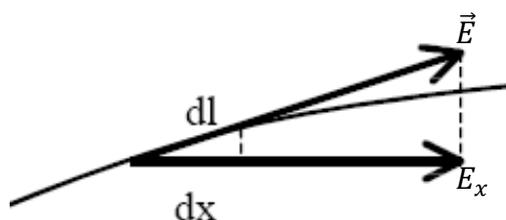


Рис. 1. Касательные к силовой линии электрического поля

Построение силовой линии сводится к решению системы дифференциальных уравнений первого порядка (2) с заданными начальными условиями. В качестве начальных условий необходимо выбрать часть поверхности электрода, откуда ион начинает движение к другому электроду. Пусть, (x_0, y_0, z_0) – координаты данной точки пространства. Решением (2) является уравнение силовой линии:

$$f(x, y, z) = f(x_0, y_0, z_0) = 0 \quad (3)$$

Далее, необходимо вывести аналогичное соотношение в сферической системе координат. Переход от декартовой системы координат к сферической задается формулами

$$\begin{aligned} x &= r \sin \theta \cos \varphi \\ y &= r \sin \theta \sin \varphi, \\ z &= r \cos \theta \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\vec{r} = \{r(t), \theta(t), \varphi(t)\} \quad (5)$$

Пусть, касательный вектор $\vec{\tau}$ равен

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (6)$$

Его разложение по трем компонентам, коллинеарным ортам сферической системы координат задается выражением

$$\vec{\tau} = \vec{\tau}_r + \vec{\tau}_\theta + \vec{\tau}_\varphi \quad (7)$$

причем

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_r &= \frac{d\bar{r}}{dr} \frac{dr}{dt}; \\ \bar{\tau}_\theta &= \frac{d\bar{r}}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}; \\ \bar{\tau}_\varphi &= \frac{d\bar{r}}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt}\end{aligned}\quad (8)$$

После необходимых вычислений, данные компоненты равны

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_r &= \{\sin\theta \cos\varphi, \sin\theta \sin\varphi, \cos\theta\} \frac{dr}{dt} \\ \bar{\tau}_\theta &= \{r \cos\theta \cos\varphi, r \cos\theta \sin\varphi, -r \sin\theta\} \frac{d\theta}{dt} \\ \bar{\tau}_\varphi &= \{-r \sin\theta \sin\varphi, r \sin\theta \cos\varphi, 0\} \frac{d\varphi}{dt}\end{aligned}\quad (9)$$

Далее, следует рассмотреть их модули

$$\begin{aligned}|\bar{\tau}_r| &= (\sin^2\theta \cos^2\varphi + \sin^2\theta \sin^2\varphi + \cos^2\theta)^{\frac{1}{2}} \frac{dr}{dt} = \frac{dr}{dt} \\ |\bar{\tau}_\theta| &= (r^2 \cos^2\theta \cos^2\varphi + r^2 \cos^2\theta \sin^2\varphi + \sin^2\theta)^{\frac{1}{2}} \frac{d\theta}{dt} = \frac{dr}{dt} \\ |\bar{\tau}_\varphi| &= (r^2 \sin^2\theta \sin^2\varphi + r^2 \sin^2\theta \cos^2\varphi)^{\frac{1}{2}} \frac{d\varphi}{dt} = r \sin\theta \frac{d\varphi}{dt}\end{aligned}\quad (10)$$

Таким образом,

$$\frac{d\bar{r}}{dt} = \left\{ \frac{dr}{dt}, r \frac{d\theta}{dt}, r \sin\theta \frac{d\varphi}{dt} \right\}, \quad (11)$$

тогда дифференциал вектора в сферической системе координат равен

$$d\bar{r} = \{dr, r d\theta, r \sin\theta d\varphi\}. \quad (12)$$

Вектор \bar{E} в сферических координатах равен:

$$\bar{E} = \{E_r, E_\theta, E_\varphi\}. \quad (13)$$

В результате получаем уравнения силовой линии в сферической системе координат[2]

$$\frac{dr}{dl} = \frac{E_r}{|\bar{E}|}, \quad \frac{rd\theta}{dl} = \frac{E_\theta}{|\bar{E}|}, \quad \frac{r \sin\theta d\varphi}{dl} = \frac{E_\varphi}{|\bar{E}|} \quad (14)$$

Численный алгоритм расчета длины силовой линии электрического поля шарообразного электротехнического объекта выглядит следующим образом.

1. Задаются координаты центра сектора электрода равные

$$\{r_0, \vartheta_0, \varphi_0\} \quad (15)$$

2. С помощью алгоритма теории идентификации электрического поля (15) определяются значения E_r, E_θ, E_φ в этой точке.

$$\left\{ \begin{aligned} E_\gamma &= \sum_{n=0}^N \sum_{m=-n}^n \frac{(2n+1)(n-m)! r_0^{-n-2}}{4\pi(n+1)(n+m)!} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} E_r^0(\vartheta, \varphi) P_n^m(\cos\vartheta) e^{im\varphi} \sin\vartheta d\varphi d\vartheta (n+1) \\ E_\vartheta &= \sum_{n=0}^N \sum_{m=-n}^n \frac{(2n+1)(n-m)! r_0^{-n-2}}{4\pi(n+1)(n+m)!} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} E_r^0(\vartheta, \varphi) P_n^m(\cos\vartheta) e^{im\varphi} \sin\vartheta d\varphi d\vartheta r^{-n-2} \\ E_\varphi &= \sum_{n=0}^N \sum_{m=-n}^n \frac{(2n+1)(n-m)! r_0^{-n-2}}{4\pi(n+1)(n+m)!} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} E_r^0(\vartheta, \varphi) P_n^m(\cos\vartheta) e^{im\varphi} \sin\vartheta d\varphi d\vartheta r^{-n-2} \end{aligned} \right. \quad (16)$$

где n, m – разделительные коэффициенты при решении уравнения Лапласа методом разделения переменных, $P_n^m(\cos\vartheta)$ – присоединенная функция Лежандра.

3. После подстановки $E_\gamma, E_\vartheta, E_\varphi$ и dl в (14), определяются координаты следующей точки силовой линии $\{r_1, \vartheta_1, \varphi_1\}$.

$$\{r_1, \vartheta_1, \varphi_1\} = \{r_0 + dr, \vartheta_0 + d\vartheta, \varphi_0 + d\varphi\} \quad (17)$$

4. Счетчик количества повторений цикла $temp$ увеличивается на 1.

5. Шаги 1 – 4 повторяются для точки с координатами $\{r_1, \vartheta_1, \varphi_1\}$, и вычисляются координаты следующей точки.

6. Завершается построение силовой линии, когда ион соли оказывается на поверхности противоположенного электрода, то есть его пространственные координаты $\{r_1, \vartheta_1, \varphi_1\}$ попадут в область пространства, где находится второй электрод.

7. Длина траектории движения иона от одного электрода до другого, или длина силовой линии будет равна произведению количества циклов или повторений шага 1 – 4 $temp$ на длину шага dl .

Разработанная методика расчета проводимости среды между электродами отличается тем, что она основывается на аналитических выражениях при численном определении постоянных интегрирования для конкретной модификации электрического объекта.

Библиографический список

1. Кирпанев А. В., Лавров В. Я. Электромагнитное поле: Теория идентификации и ее применение: Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е. – М.: «Вузовская книга», 2005..
2. Методическое обеспечение и средства электромагнитного контроля составляющих скорости жидких полупроводящих сред: диссертация. / Ганьшин Ю. А. - СПб.:ГУАП, 2011.

УДК 681.5

А. А. Омельченко

студент кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РАДИОБУЕМ

Рассматривается задача разработки программного обеспечения управляющего микроконтроллера (МК) радиобуя. Радиобуй – передатчик для подачи сигнала бедствия и пеленгации поисково-спасательными силами терпящих бедствие плавсредств и летательных аппаратов (рис. 1) [1, 2].

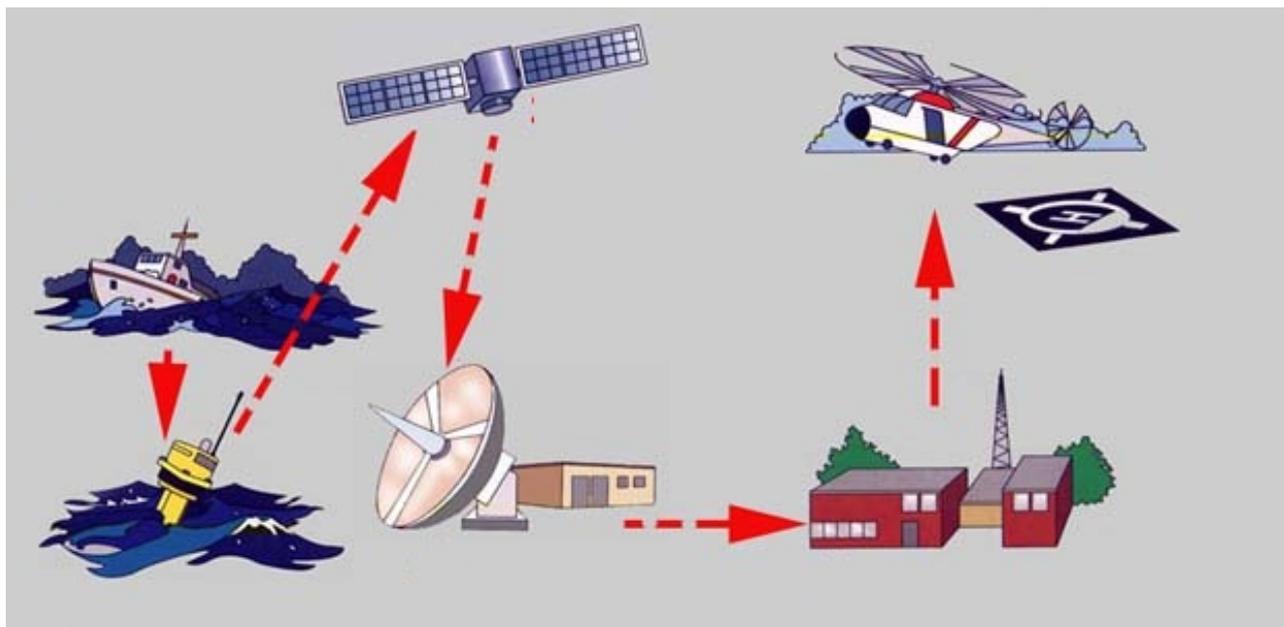


Рис. 1. Использование радиобуя для поисково-спасательных работ

Стандартный алгоритм работы радиобуя включает следующие этапы.

1. Начало работы. Радиобуй подключается к управляющему терминалу. Терминал подает на радиобуй питание. В радиобуе запускается МК.
2. Инициализация периферии. МК конфигурирует периферийные устройства: кварц, таймеры, УАПП, АЦП.
3. Внутренний контроль. Радиобуй получает от терминала команду проведения внутреннего контроля. Радиобуй проверяет заряд батареи, целостность цепей пиропатронов и мощность передатчика. Результат проверки отправляется в терминал и отображается на экране.
4. Запись данных. Терминал передает в радиобуй данные, введенные оператором: частоту, количество повторных передач, время ожидания до передачи и текст сообщения.
5. Отключение от терминала. Радиобуй отключается от терминала и выпускается с объекта в воду.
6. Ожидание признака наличия воды. Радиобуй на внешней части корпуса имеет два контакта, которые замыкаются при попадании в воду. По замыканию этих контактов МК может определить, что буй находится в воде.
7. Отсчет заданного времени ожидания. Техническое задание на радиобуй предусматривает возможность введения оператором интервала времени перед выдачей. Этот параметр имеет допустимый диапазон от 7 минут до 8 часов. Отсчет времени ожидания начинается с момента попадания радиобуя в воду.
8. Подготовка антенны. Радиобуй оснащен специальной антенной в надувном корпусе. Антенна защищена откидной крышкой, закрепленной на корпусе срезными винтами. Для надува антенны используется газовый баллончик, содержащий сжатый углекислый газ (CO₂). Чтобы запустить процесс надува антенны МК активирует пиропатрон, который пробивает заглушку газового баллончика. Газ наполняет надувной корпус антенны, создавая давление на крышку. Когда порог прочности срезных винтов превышает, крышка откидывается, и антенна считается готовой к работе.
9. Проверка заряда батареи. Для проверки уровня заряда батареи на нее подается нагрузка, создаваемая подключаемыми резисторами. От батареи на АЦП МК подключена линия обратной связи. МК проверяет значение АЦП, и сравнивает его с минимально допустимым.
10. Если заряд батареи меньше допустимого, радиобуй завершает работу.

11. Если заряд батареи выше или равен допустимому, радиобуй начинает отправку сообщения на спутник.

12. Перемежение кадров сообщения. Для увеличения вероятности успешной доставки сообщения оно разделено на кадры. Каждый кадр содержит пакет данных, обрамленный служебной информацией. Перед каждой новой передачей радиобуй меняет кадры местами. Это объясняется тем, что расчетная вероятность успешной передачи первых байт сообщения существенно выше чем последних.

13. Если выполнено указанное количество передач, радиобуй завершает работу. В противном случае радиобуй запускает таймер на 20 с после чего повторяет действия пунктов 9 – 13.

Стандартный алгоритм должен быть дополнен для учета следующих особенностей:

- поскольку в радиобуе предусматривается работа как с литиевой так и с водоактивируемой батареей, при построении управляющей программы необходимо учесть, что при использовании в качестве источника питания водоактивируемой батареи МК выключается при отсоединении от терминала и включается только тогда, когда радиобуй окажется в воде;

- должна быть предусмотрена возможность остановки работы радиобуя на любом этапе;

- радиобуй на протяжении всей работы должен передавать в терминал команду циклического опроса с интервалом 30 с, по которой терминал определяет исправность связи с радиобуем.

Для учета указанных требований были разработаны следующие решения:

- для исключения потери данных при отключении радиобуя от терминала, они записываются в ПЗУ;

- терминал перед отключением питания дает в радиобуй специальную команду выпуска, по которой МК записывает в ПЗУ признак выпуска. При каждом включении МК считывает из ПЗУ и анализирует этот признак. Если признак выставлен, МК считывает данные из ПЗУ;

- для обеспечения возможности остановки работы радиобуя на любом этапе работы при построении управляющей программы использовались некоторые способы событийно-ориентированной и автоматной концепций программирования, а именно: весь алгоритм разбит на две части – взаимодействие радиобуя с терминалом и автономная работа радиобуя. Взаимодействие радиобуя с терминалом организовано так, что радиобуй находится в постоянном ожидании команд от терминала. При получении команды радиобуй выполняет ее, и передает результат выполнения в терминал. Режим автономной работы разбит на ряд простых шагов, время выполнения которых не занимает много времени и позволяет МК проверять состояние линии связи с терминалом. Если после получения МК команды на выпуск от терминала приходят новые команды, процесс работы считается прерванным, радиобуй стирает все данные, обнуляет переменные и возвращается в состояние ожидания команд от терминала;

- экспериментальным путем установлено, что для подготовки антенны необходимо 30 с, а отправка сообщения занимает около 6 с. Для того чтобы передачи сообщений производились вовремя, время ожидания до первой выдачи и между последующими выдачами было скорректировано.

Разработанный алгоритм учитывает требования технического задания и легко преобразуется в программный код.

Библиографический список

1. Шишкин А.В., Купровский В.И., Кошевой В.М. Глобальная морская система связи для безопасности мореплавания. Одесса: ОНМА, 2007. 314 с.
2. Судовая радиосвязь: Справочник по организации и радиооборудованию ГМССБ / Под общ. ред. Ю.М.Устинова, М.: Судостроение. 2003. 450 с.

УДК 629.735.33

О. В. Острова, В. В. Шералиев

студенты кафедры управления в технических системах

М. С. Брунов

научный руководитель

УЧЕТ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ МОДАЛЬНОМ СИНТЕЗЕ

В работе проведен анализ устойчивости, управляемости и наблюдаемости системы управления электродвигателем в пространстве состояний. Синтезирован модальный регулятор и наблюдатель полного порядка. Рассчитана передаточная функция замкнутой системы. Построены логарифмические характеристики. Рассчитан запас устойчивости по фазе. Величина запаса устойчивости по фазе сопоставлена с перерегулированием.

Метод пространства состояний достаточно универсален, его можно применять как для линейных, так и для нелинейных систем [1 – 4]. Многомерные системы могут быть описаны в компактной форме. Недостатком является высокая чувствительность к изменению параметров. При расхождении расчетных значений параметров модели с реальными, система может терять устойчивость, поэтому актуальным представляется проверка запаса устойчивости по фазе.

Уравнения состояний имеют следующий общий вид:

$$\begin{cases} \frac{dX(t)}{dt} = AX(t) + Bu(t), \\ y(t) = CX(t) + Du(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $X(t)$ – вектор-столбец состояния; A – матрица коэффициентов объекта; B – матрица входа; $u(t)$ – сигнал управления; Y – вектор выхода; C – матрица выхода; D – матрица влияния входа непосредственно на выход системы.

Модальный синтез предполагает формирование таких обратных связей по состоянию, при которых обеспечивается заданное расположение полюсов замкнутой системы. Модой называется составляющая решения дифференциального уравнения, соответствующая конкретному полюсу.

Для объекта, заданного уравнениями состояния (1), управление по состоянию описывается выражением:

$$u(t) = -KX(t) \quad (2)$$

где K – вектор коэффициентов обратной связи.

Таким образом, система, замкнутая регулятором, приводится к виду:

$$\frac{dX(t)}{dt} = (A - BK)X(t) \quad (3)$$

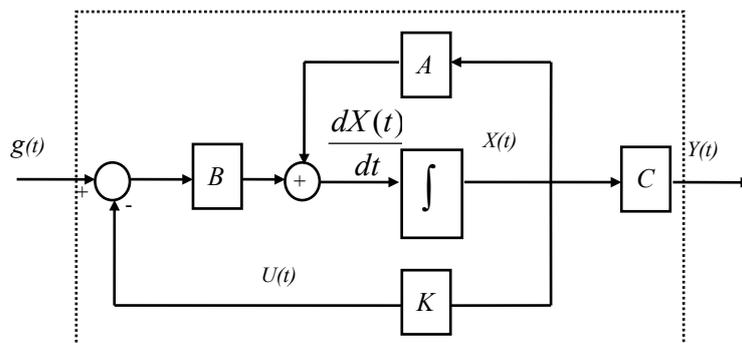


Рис. 1. Система с обратной связью

Метод модального управления предполагает, что все компоненты вектора состояния X могут быть измерены. Это условие редко выполняется на практике. Однако если система является наблюдаемой, то все компоненты вектора X могут быть восстановлены по наблюдениям вектора Y .

Асимптотическое наблюдающее устройство использует обратную связь по ошибке восстановления вектора состояния, так, что работа наблюдающего устройства описывается уравнением:

$$\frac{d\hat{X}(t)}{dt} = A\hat{X}(t) + BU(t) + N(Y - C\hat{X}(t))$$

где N – матрица параметров наблюдающего устройства.

Процесс синтеза состоит из двух этапов — сначала мы определяем матрицу коэффициентов обратной связи K , удовлетворяющую заданному характеристическому уравнению замкнутой системы. Затем мы синтезируем наблюдатель состояния с нужной динамикой. Здесь важно отметить, что желаемые полюсы наблюдателя и желаемые полюсы регулятора могут рассчитываться независимо.

Общий вид системы управления с наблюдателем показан на рис. 2.

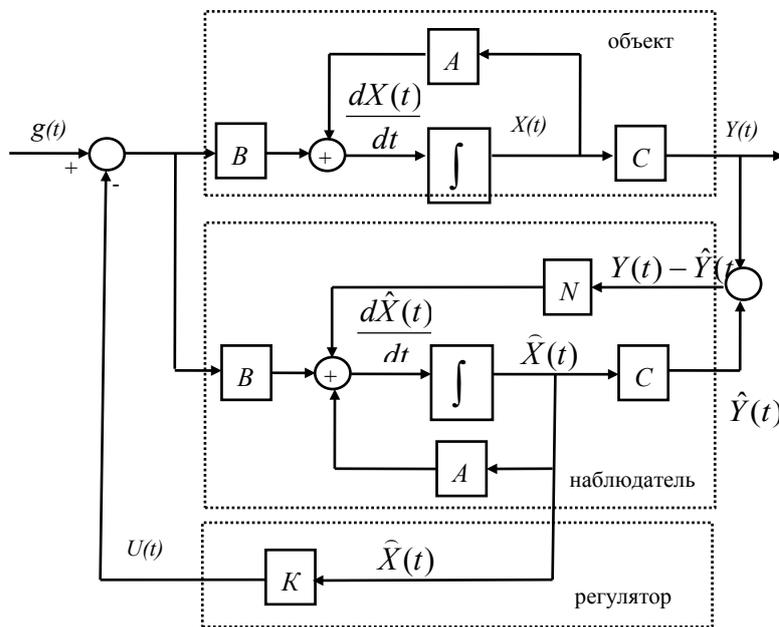


Рис. 2. Структура системы управления с наблюдателем

Процессы в наблюдателе должны протекать быстрее, чем переходный процесс в системе. Эмпирически установлено, что наблюдатель должен обладать быстродействием, в 2 – 4 раза превышающим быстродействие системы.

Как было показано в [1] система на рис. 2. может быть представлена в виде эквивалентной схемы с единичной обратной связью. Это позволяет рассчитывать частотные характеристики замкнутой системы с регулятором и наблюдателем, воспользовавшись передаточной функцией разомкнутой системы, изображенной на рис. 3.



Рис. 3. Система с регулятором-наблюдателем

Моделирование проводилось в программе MatLAB.

```

A=[0 1 0;...
  0 -1 1;...
  0 0 -5]; %Матрица динамики системы
B=[0;0;1] %Матрица входа
C=[1 0 0] %Матрица выхода
D=[0]; %Матрица вход-выход
ee = ss(A, B, C, D); % Система в пространстве состояний
pole(ee) % Полюса системы
rWo=rank(ctrb(A,B)) %Управляемость
rWc=rank(observ(A,C)) % Наблюдаемость
Pp1 = [-1 -1 -1]; % Желаемые полюса регулятора
K = acker (A, B, Pp1) %Синтез регулятора
Pe = [-3 -3 -3]; % Желаемые полюса наблюдателя
Gt = acker(A', C', Pe); G = Gt' %Синтез наблюдателя
rsys = reg(ee, K, G) %Система с регулятором-наблюдателем
Gee = -tf(rsys), %Преобразование в передаточную функцию
Gp = tf(ee), %Преобразование в передаточную функцию
G01 = Gee * Gp %Эквивалентная разомкнутая система
margin(G01) grid; % Определение запасов устойчивости
G02=feedback(G01,1,-1) %Эквивалентная замкнутая система
step(G02),grid %Переходная характеристика

```

Результаты моделирования и желаемыми полюсами регулятора $Pp1=[-1 -1 -1]$: запас устойчивости по фазе 70,1 градусов, запас устойчивости по амплитуде 15,2 ДцБ (рис. 5), перерегулирование 0%, время переходного процесса 4,53 с. (рис. 4).

Результаты моделирования и желаемыми полюсами регулятора $Pp2=[-1 -0.5-0.8660i -0.5+0.8660i]$: запас устойчивости по фазе 37 градусов, запас устойчивости по амплитуде 10,1 ДцБ (см. рис.5), перерегулирование 37%, время переходного процесса 8,47 с. (см. рис.4).

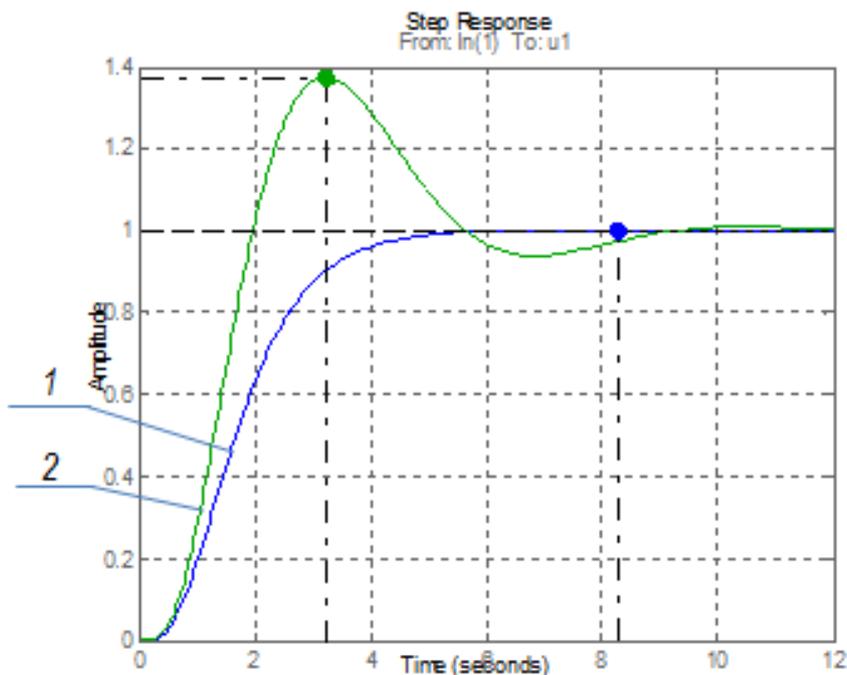


Рис. 4. Переходный процесс системы: 1 – с полюсами регулятора $Pp1$; 2 – с полюсами регулятора $Pp2$

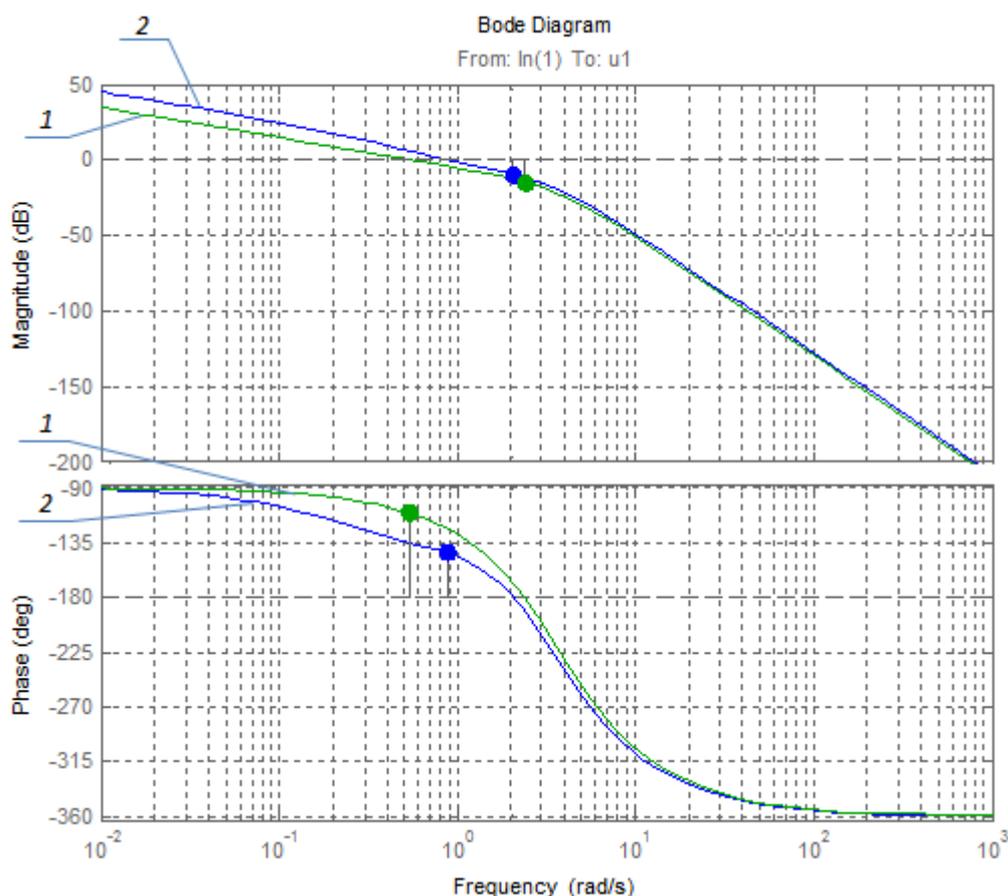


Рис. 5. ЛАФЧХ системы: 1 – с полюсами регулятора Pp1; 2 – с желаемыми полюсами регулятора Pp2

На рис. 4 и 5 размер запасов по фазе и амплитуде сопоставляется с величиной перерегулирования. Как видно из графиков, с увеличением перерегулирования запасы устойчивости уменьшаются.

Таким образом, при модальном синтезе можно использовать, как частотные, так, и временные характеристики системы с обратной связью по состоянию, замкнутой по наблюдателю. Это дает дополнительные возможности оценки робастности системы при аналитическом конструировании регуляторов.

Библиографический список

1. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. Пер. с англ. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. 616 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1975. 768 с.
3. Дорф Р., Бишон Р. Современные системы управления. Пер. с англ. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
4. Дьяконов В., Круглов В. Анализ, идентификация и моделирование систем. М.: Питер 2001. 444с.

УДК 62-503.55:519.682.8

М. В. Паламарчук

студентка кафедры управления в технических системах

И. А. Салова

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА В УЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ

В настоящее время широкое распространение получили платформы для разработки электронных устройств, такие как Arduino [1], Beagle board [2], Basic Stamp [3] и пр., которые позволяют в кратчайшие сроки создать на их основе электронные устройства различного назначения. Данные аппаратные платформы можно использовать в учебном процессе. Для этих целей наиболее подходящей является платформа Lego Mindstorms [4].

Конструкторы LEGO Mindstorms комплектуются набором стандартных деталей LEGO (балки, оси, колеса, шестерни) и набором, состоящим из сенсоров, двигателей и программируемого блока.

Блок управления Lego Mindstorms, (рис. 1) включает в себя:

- 32-битный Atmel AT91SAM7S256 главный микроконтроллер;
- 8-битный 8-bit Atmel ATmega4 микроконтроллер с частотой 4 MHz;
- LCD экран 100x64 пикселей;
- 4 порта ввода;
- 3 порта вывода;
- USB порт;
- модуль Bluetooth;
- звуковой модуль;
- 4 кнопки управления;
- батарейный блок, состоящий из 6 AA батареек.



Рис. 1. Блок управления

Датчики, которые можно подключить к блоку управления, приведены в табл. 1.

Датчики из конструктора LEGO Mindstorms

Цветовой сенсор Световой сенсор 	Определяет 6 цветов: синий, зеленый, красный, желтый, белый, черный Определяет уровень цвета
Сенсор касания 	Кнопка, передающая сигнал, от прикосновения к ней
Ультразвуковой сенсор 	Определяет расстояние до предмета
Звуковой сенсор 	Измеряет уровень шума
Компас	Определяет местоположение
Акселерометр	Определяет направление движения, так же может измерять силу притяжения
RF-ID датчик	Связь между несколькими роботами

В качестве исполнительных устройств используется сервомотор. Робот с подключенными датчиками может иметь следующий вид, показанный на рис. 2.



Рис. 2. NXT робот

Программирование робота осуществляется с использованием среды ROBOTC for LEGO MIND-STORMS. Это интегрированная среда, ориентированная на студентов. Программирование происходит на основе языка Си в среде Robot Virtual Worlds.

Алгоритм разработки программы состоит в следующем:

- определение задачи;
- составление алгоритма работы программы;
- написание программы;
- подключение робота к компьютеру средствами USB или Bluetooth;
- запись программы в блок управления робота;
- отключение робота от компьютера;
- запуск программы для выполнения роботом.

Рассмотрим пример решения конкретной задачи. Дано поле, на котором задана дорога для движения робота (рис. 3), где начало и конец пути отмечены метками «старт 1» и «старт 2». Нужно запрограммировать движение робота, чтобы он прошел дорогу от начала до конца.

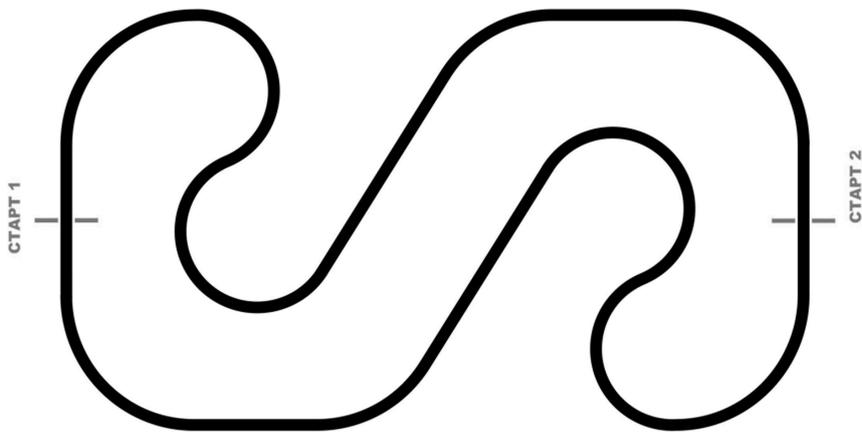


Рис. 3. Дорога для прохождения задания

Для выполнения этой задачи достаточно использовать только световые датчики для определения, находится ли робот на дороге. Установим два датчика в носовой части робота. При считывании информации с этих датчиков будет происходить корректировка движения путем регулировки работы двигателей для поворота в нужную сторону, так же с их помощью, завершится движение робота.

Движение робота осуществляется за счет работы двигателей ($motor[motorA]$ и $motor[motorB]$). Для включения двигателя задается команда $motor[motorA]=q$, где q может иметь значение в диапазоне от 0 до 100. Для поворота робота один из двигателей выключается, что задается командой $motor[motorA]=0$, а для остановки робота задаются команды: $motor[motorA]=0$ и $motor[motorB]=0$. Переменная $SensorValue$ содержит значение, получаемое с сенсора света. Известно, что сенсор считывает черное поле или белое в процентных значениях. Если это значение меньше 45, то поле черное, иначе – белое или желтое. Если оба датчика считают значения больше 45, тогда нужно остановить робота. Для работы моторов и датчиков нужно их инициализировать, что делается в начале программы. На рис. 4 показана блок схема программы.

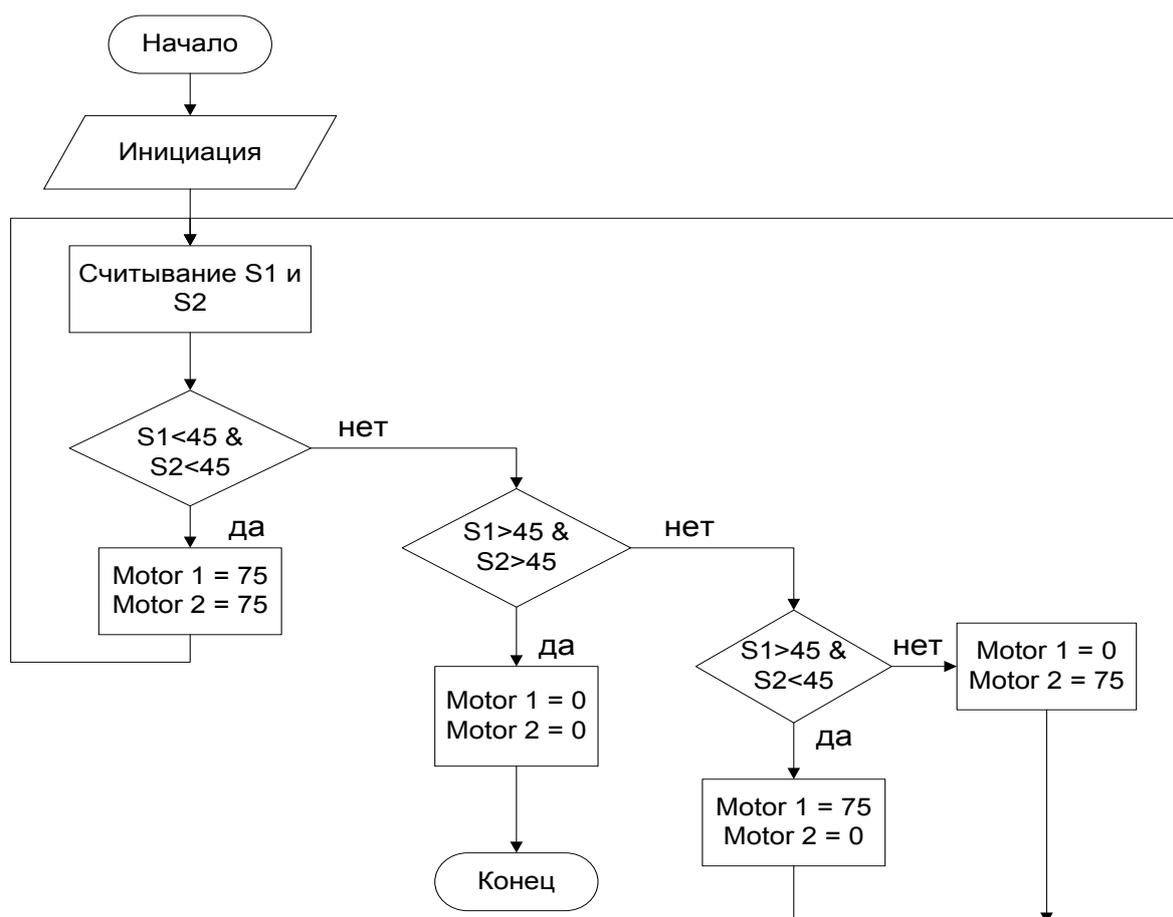


Рис. 4. Блок-схема программы

Ниже приведен текст программы.

```

#pragma config(Sensor, S1, sensorLightActive)
#pragma config(Sensor, S2, sensorLightActive)
#pragma config(Motor, motorA, A,tmotorNXT, PIDControl, encoder)
#pragma config(Motor, motorB, B,tmotorNXT, PIDControl, encoder)
//**Code automatically generated by 'ROBOTC' configuration wizard    !**//
task main()
{
    if (SensorValue(S1) < 45 & SensorValue(S2) < 45 )
    {
        motor[motorA] = 75;
        motor[motorB] = 75;
    }
    if (SensorValue(S1) > 45 & SensorValue(S2) > 45 )
    {
        motor[motorA] = 0;
        motor[motorB] = 0;
    }
    if (SensorValue(S1) > 45 & SensorValue(S2) < 45 )
    {
        motor[motorA] = 75;
    }
}

```

```
    motor[motorB] = 0;
  }
  else
  {
    motor[motorA] = 0;
    motor[motorB] = 75;
  }
}
```

Рассмотренный выше пример может быть реализован в кратчайшие сроки с помощью стандартного набора комплекта LEGO Mindstorms и необходимого программного обеспечения. Подобные задачи можно использовать в процессе обучения студентов по специальностям робототехника и управление в технических системах.

Библиографический список

1. www.arduino.ru
2. www.promelec.ru/catalog_info/48/669/671/833/
3. www.parallax.com/catalog/microcontrollers/basic-stamp
4. www.robotbaza.ru

УДК 621.314.24:621.382.233

Г. С. Резванов

студент кафедры управления в технических системах

А. А. Ефимов

д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

АВИАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Авиационная и ракетно-космическая техника является одним из основных символов прогресса современной цивилизации, аккумулирующая достижения многих направлений науки, техники и технологий, а также стимулирующая их дальнейшее развитие. Это наиболее капиталоемкий и наукоемкий вид техники, характеризующий уровень развития не только машиностроительных отраслей, но и всей экономики страны.

Современные летательные аппараты (ЛА) имеют в своем арсенале большое количество агрегатов, машин и приборов, при помощи которых осуществляется автоматическое и автоматизированное управление рулевыми поверхностями, шасси, силовой установкой, вооружением, средствами связи и навигации, радиолокации, системами жизнеобеспечения экипажа и пассажиров и т.п.

Энергетической основой бортовых систем авионики является система энергоснабжения. С точки зрения универсальности, надежности, удобства эксплуатации и унификации оборудования электрическая энергия обладает существенными преимуществами перед другими видами энергии.

Электрическая энергия облегчает процесс автоматизации оборудования ЛА, а полная комплексная автоматизация на ЛА возможна лишь в том случае, если управление им частично или полностью электрифицировано.

Бортовые системы электроснабжения летательных ЛА прошли путь от простейших систем постоянного тока напряжением 27 В на основе электрических машин постоянного тока и контакторных схем до систем смешанного электроснабжения постоянного тока (пониженного напряжения – 27 В и

повышенного напряжения – 270 В) и переменного тока (115 В, 400 Гц) на основе машин переменного тока с редкоземельными магнитами и устройств силовой полупроводниковой электроники.

Современный этап развития авиационных систем электроснабжения характеризуется использованием в новейших разработках последних достижений интеллектуальной силовой электроники, связанных с появлением мощных, высоковольтных силовых полупроводниковых приборов, специализированных сигнальных микроконтроллеров, позволяющих в реальном времени реализовать импульсно-модуляционные алгоритмы управления силовыми преобразователями электроэнергии. Это позволяет повысить динамические и энергетические показатели автономных систем генерирования электроэнергии летательных аппаратов.

Наилучшими удельными массогабаритными показателями обладают магнитоэлектрические генераторы (МЭГ) [1 – 3], что и предопределяет их преимущественное применение в авиации. Применение МЭГ в системах электроснабжения совместно с силовыми полупроводниковыми преобразователями позволяет создавать авиационные системы генерирования электроэнергии (СГЭ) мощностью до нескольких сотен киловатт с высокими массогабаритными и энергетическими показателями. Этому способствуют достижения в создании высокоэнергетических постоянных магнитов, а также успехи в области силовой полупроводниковой электроники и микропроцессорной техники. В авиационных системах привод МЭГ осуществляется непосредственно от высокоскоростного авиадвигателя без применения привода постоянной частоты вращения, который имеет невысокие энергетические и эксплуатационные показатели.

Одним из перспективных для СГЭ повышенной мощности является генератор со слоистой структурой индуктора [1], в котором для обеспечения прочности ферромагнитные листы пакета ротора чередуются с немагнитными вставками из высокопрочного материала, например из титана. Такая конструкция ротора МЭГ допускает окружные скорости на его внешнем диаметре до 250 м/с. Это позволяет создавать МЭГ мощностью до нескольких сотен киловатт при небольшой относительной длине электрической машины, с хорошими условиями охлаждения и высокими массогабаритными и энергетическими показателями. В [1] указывается, что при максимальной скорости вращения МЭГ 14000 об/мин, можно выполнить генератор на мощность 360 кВт при удельной активной массе 0,08 кг/кВт, а при 24000 об/мин – на мощность 400 кВт при удельной мощности 0,06 кг/кВт. При этом силовые полупроводниковые преобразователи должны обеспечивать необходимое качество электроэнергии во всем диапазоне изменения частоты вращения МЭГ.

Традиционные системы электроснабжения летательных аппаратов (по роду тока и напряжения первичных систем) подразделяются на четыре основных типа [4]:

- 1) постоянного тока низкого напряжения 27 В;
- 2) постоянного тока высокого напряжения 270 В;
- 3) переменного трехфазного тока 115/200 В переменной частоты от 360...800 Гц;
- 4) переменного трехфазного тока 115/200 В стабильной частоты 400 Гц.

Допускается применение системы переменного тока с двойным номинальным напряжением 230/400 В постоянной частоты 400 Гц или переменной частоты 360...800 Гц.

В работе будет рассмотрена СГЭ второго типа, функциональная схема которой представлена на рис. 1. СГЭ состоит из МЭГ и полупроводникового преобразователя, LC – фильтра (Ф) и нагрузки (Н). Полупроводниковый преобразователь представляет собой управляемый тиристорный выпрямитель, силовая часть которого выполнена по трехфазной мостовой схеме. Управление тиристором осуществляется импульсами, которые формируются системой импульсно-фазового управления (СИФУ), которая является составной частью системы контроля, диагностики и управления. В эту систему поступают управляющие сигналы от системы управления верхнего уровня, задающие требуемый уровень выпрямленного напряжения полупроводникового преобразователя (270 В), и сигнал обратной связи, снимаемый с выхода LC – фильтра.

Особенность СГЭ с переменной частотой вращения вала генератора такова, что максимальная мощность, которую может отдать МЭГ, пропорциональна частоте вращения и не остается постоянной в различных режимах работы авиационного двигателя. Для авиационных СГЭ с приводом от газотурбинного авиадвигателя характерна кратность частоты вращения генератора, равная примерно двум, как это и указано на рис. 1. При этом полетным режимам соответствуют частоты вращения генератора (0,8 – 1,0) n_{max} , а

наземным $(0,5 - 0,8) n_{\max}$. В наземных режимах требования к генератору по расчетной мощности, определяющей габариты генератора, снижаются в два раза. В рассматриваемой СГЭ в диапазоне частот вращения генератора 5000 – 8000 об/мин номинальная мощность нагрузки должна быть 6,0 кВА, а в диапазоне 8000 – 10000 об/мин система должна обеспечить двукратную перегрузку (12,0 кВА).

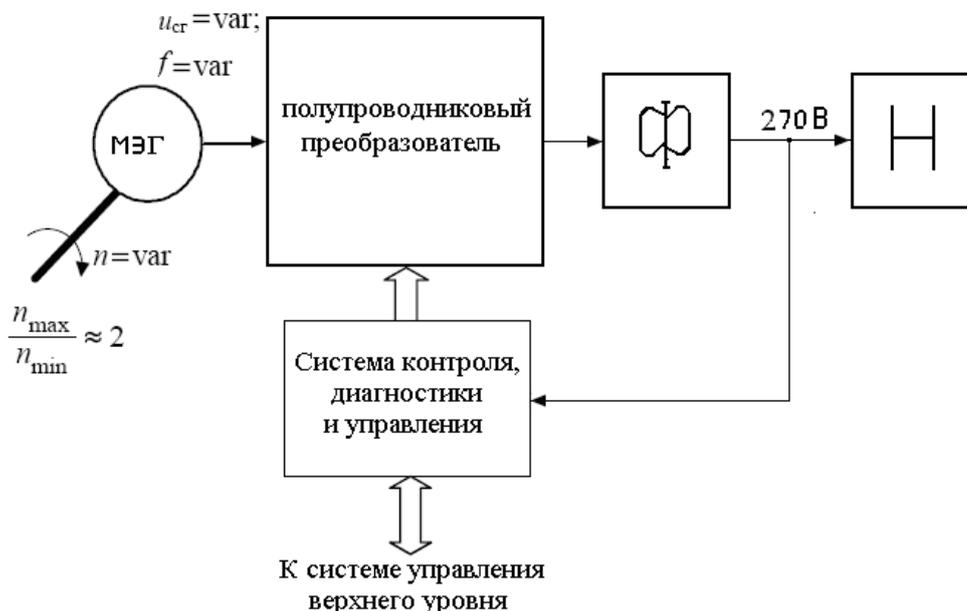


Рис. 1. Функциональная схема СГЭ с МЭГ и УВ

Схема модели СГЭ с МЭГ и управляемым выпрямителем в среде Matlab представлена на рис. 2. Ее особенность заключается в том, что МЭГ выбирается таким образом, чтобы обеспечить необходимое напряжение на нагрузке при минимальной частоте вращения (5000 об/мин) и номинальной мощности нагрузки при угле управления тиристорами выпрямителя $\alpha=0$.

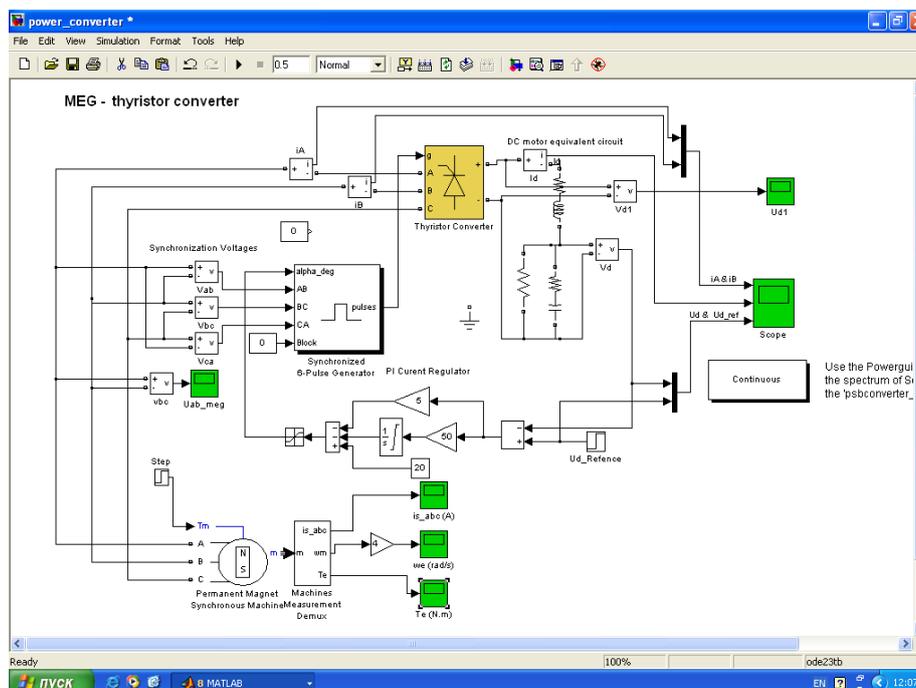


Рис. 2. Модель СГЭ с управляемым выпрямителем в среде Matlab

Модель создавалась по типовым элементам, представленным в [5], что позволило существенно сократить этап разработки компьютерной модели. Параметры модели МЭГ: мощность $P=6,0$ кВА, скорость вращения 5000 об/мин, активное сопротивление фазы обмотки статора $r=0,18$ Ом, индуктивности по продольной и поперечным осям $L_d=L_q=0,835$ мГн, поток постоянных магнитов $\Phi=0,07145$ Вб. LC-фильтр: $r_f=0,2$ Ом, $L_f=20$ мГн, $C_f=1000$ мФ. Активное сопротивление нагрузки $R_H=10$ Ом.

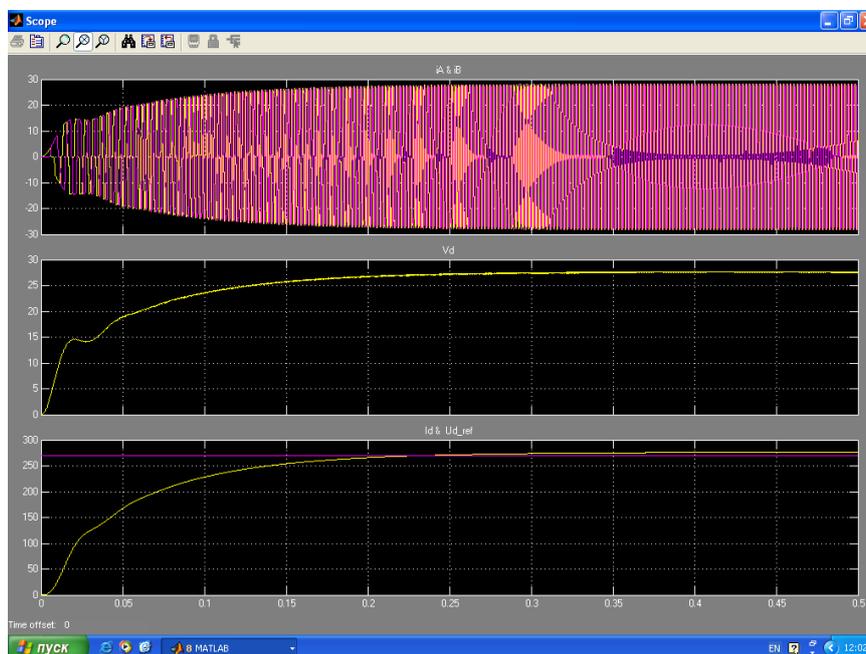


Рис. 3. Результаты моделирования процессов в СГЭ

На рис. 3 представлены результаты моделирования процессов в рассматриваемой СГЭ, которые показывают хорошее качество процессов в установившихся и переходных режимах работы системы. Верхний график показывает входные токи фаз А и В тиристорного выпрямителя, средний – ток нагрузки, нижний – задание на выпрямленное напряжение (270 В) и его значение в модели. Выпрямленное напряжение СГЭ достигает установившегося значения за 0,2 С. Однако за счет импульсно-фазового способа управления тиристорами выпрямителя, энергетические характеристики СГЭ не достаточно хорошие, т.к. необходимость поддерживать неизменным выходное напряжение тиристорного выпрямителя требует увеличение угла управления тиристором, что вызывает появление реактивной мощности. Поэтому, направлением дальнейших исследований является улучшение энергетических характеристик СГЭ путем замены в нем тиристорного выпрямителя на активный [6].

Библиографический список

1. Проектирование генератора с редкоземельными магнитами в системе электроснабжения летательных аппаратов/А.В. Левин, Д.В. Левин, Э.Я. Лившиц, Б.С. Зечихин. Электричество. № 10, 2009. - С. 41-47.
2. Харитонов, С.А. Система «синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов - активный выпрямитель» (математическая модель)/С.А. Харитонов. Электротехника. № 12, 2009. - С. 33-41.
3. Гарганеев, А.Г. Перспективные системы электроснабжения самолета с полностью электрофицированным оборудованием/А.Г. Гарганеев, С.А. Харитонов//Доклады ТУСУРа. Томск: Изд-во ТУСУР. № 2(20), 2009. - С. 185-192.
4. ГОСТ Р 54073-2010 Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. Дата введения: 01.01.2011.

5. Герман-Галкин, С.Г. Matlab and Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК/С.Г. Герман-Галкин. – СПб: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
6. Ефимов, А.А. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока/А.А. Ефимов, Р.Т. Шрейнер. –Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001.- 250 с.

УДК 621.313

Р. В. Рублевский

студент кафедры управления в технических системах

В. В. Колесников

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

Основная область применения синхронных машин – использование их как промышленных генераторов для выработки электрической энергии на электростанциях. Применяются они и как двигатели, так как имеют постоянную частоту вращения, поэтому используются там, где нет необходимости в регулировании частоты вращения. Двигатели большой мощности применяют на металлургических заводах, в шахтах и т.д. Специальные синхронные микродвигатели используются в автоматике, звукозаписи, в самопишущих приборах и других случаях. Работа синхронной машины в режиме ненагруженного двигателя соответствует работе синхронного компенсатора, который используется для увеличения коэффициента мощности электромеханических установок, компенсируя реактивную мощность.

Методы диагностирования синхронных двигателей можно разделить на две группы: контактные и бесконтактные. Самым распространенным методом диагностики в настоящее время является вибродиагностика, которая относится к контактным методам. Этот метод основан на измерении и анализе вибраций корпуса двигателя [1]. При теоретическом изучении удобно воспользоваться моделированием дефектов синхронной машины в среде MatLab / Simulink.

В настоящее время в технической и в учебной литературе, в частности в лабораторных работах, вопросы посвященные моделированию дефектов синхронного двигателя в MatLab/Simulink, рассмотрены не достаточно.

Диагностику состояния электродвигателей можно выполнить на основе анализа спектров вектора Парка тока Pi и напряжения Pu [1]. Для этого при экспериментальном исследовании осуществляется запись фазных напряжений и токов с помощью датчиков тока и напряжения. Записанные сигналы пропускаются через фильтр низких частот с частотой среза выше наибольшей полезной частоты сигнала. Затем с помощью анализатора спектра исследуется полученный спектр и сравнивается со спектром при работе без дефекта. На основе базы данных определяется тип дефекта и его причина. Данный метод диагностики может быть просто реализован с помощью компьютера.

Целью данной работы является разработка имитационной модели диагностирования дефектов синхронного двигателя в среде MatLab/Simulink. Обзор литературы по вопросу диагностирования двигателей позволяет резюмировать, что диагностирование дефектов можно выполнить на основе анализа магнитного поля двигателя путем построения годографов в $d - q$ осях потокосцеплений статора (ротора), а также тока и напряжения статора, либо на основе спектрального анализа вектора Парка тока и напряжения S . Если дефекты в электрической машине отсутствуют, то поле по форме круговое. Поэтому, если d и q составляющие потока подать на входы X и Y графопостроителя (осциллографа), то траектория движения луча на экране представляет собой окружность с центром в начале координат [2, 3]. Наличие дефектов в электрической машине вызывают изменения в ее магнитном поле, оно становится эллиптическим, а при работе от преобразователя и наличия высших гармоник приобретает сложную форму [4]. Задав заранее величину дефекта, можно промоделировать годографы вектора Парка тока и напряжения, соответствующие

щие заданному дефекту. В зависимости от дефекта годограф меняется по форме от окружности до эллипса. Величины осей эллипса, а также угол наклона большей оси эллипса к положительной оси координат X зависит от степени дефекта и сочетания дефектов в фазах.

При создании имитационной модели моделирования дефектов в известную модель синхронного двигателя вводим блок – (3 – Phase Fault) трехфазный короткозамыкатель [4]. Данный блок позволяет моделировать неисправности синхронного двигателя. Кроме этого дополнительно вводим два демультимплектора (Demux) и четыре графопостроителя (XY Graph), с помощью которых наблюдаем годографы тока и напряжения статора. В блоке измерений переменных (Machines Measurement) дополнительно выбираем выходные сигналы i_{s_qd} и u_{s_qd} , то есть составляющие тока и напряжения статора по осям q – d, соответственно (см. рис. 1).

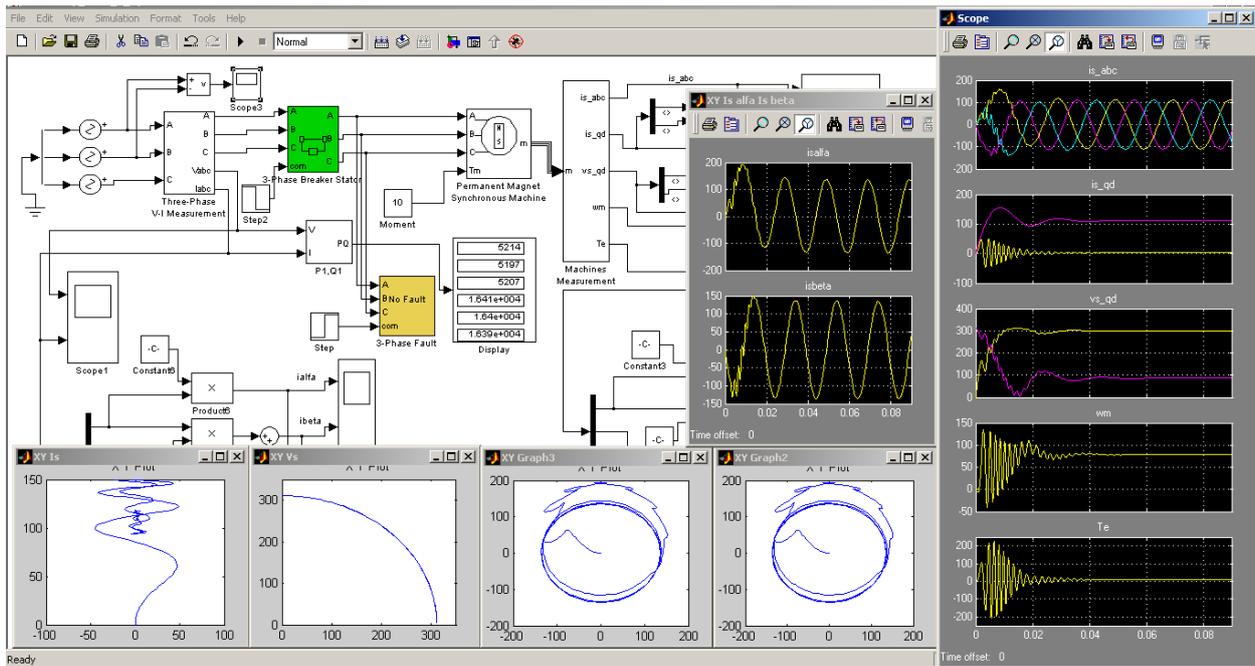


Рис. 1. Модель диагностирования дефектов синхронного двигателя с экранами осциллографа (Scope – справа), годографами (Graph – внизу) и с временными зависимостями тока вектора Кларка

На основе разработанной модели были промоделированы следующие дефекты: межфазные КЗ статора и ротора; замыкания обмоток фаз статора и ротора на землю; обрыв обмоток статора и ротора.

На рис. 2 в качестве примера приведены годографы векторов Парка тока i_s и напряжения U_s статора при коротком замыкании между обмотками фаз статора В и С (рис. 2,а и 2,б), а также при коротком замыкании обмотки статора фазы В на землю (рис. 2,с и 2,д).

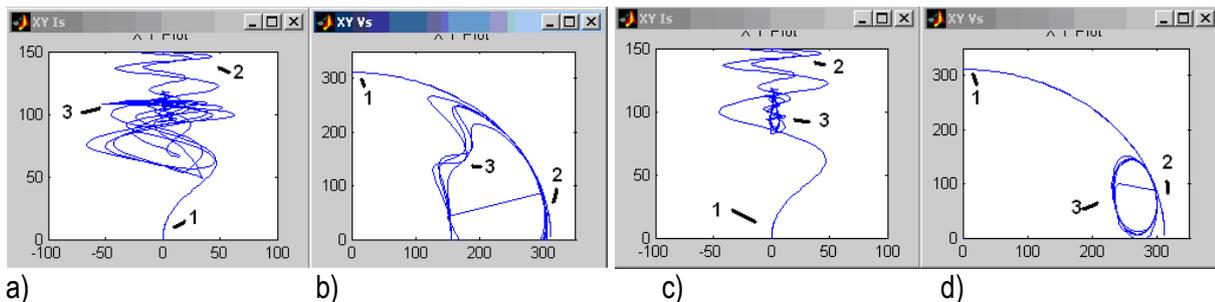


Рис. 2. Годографы векторов Парка тока i_s и напряжения U_s :
а) и б) – короткое замыкание между обмотками фаз статора В и С;
с) и д) – короткое замыкание обмотки статора фазы В на землю

На приведенных кривых зависимости 1 – годографы при работе без дефекта, 2 – эволюция рабочей точки в переходном режиме, 3 – годографы при работе с дефектом.

Результаты моделирования дефектов работы синхронного двигателя были собраны в виде базы данных, анализ которой показал, что диагностировать неисправность на основе вектора Парка тока и напряжения сложно. Поэтому были рассмотрены траектории движения рабочей точки в системе координат α, β статора [2]. Для этого в соответствии с преобразованием Кларка были получены α, β составляющие тока i_α, i_β и напряжения u_α, u_β

$$i_\alpha = i_a, i_\beta = \sqrt{(i_b + i_c)2/3} \quad (1)$$

$$u_\alpha = u_a, u_\beta = \sqrt{(u_b + u_c)2/3} \quad (2)$$

где u_a, u_b, u_c – фазные напряжения фаз a, b, c .

В имитационной схеме моделирования дефектов для получения α, β составляющих тока i_α, i_β были добавлены по три блока Constant и Product, а также сумматор, выходной сигнал с которого подается на осциллограф Scope 4 и на графопостроитель Graph3.

На рис. 3 в качестве примера приведены годографы векторов Кларка тока I_s при коротком замыкании между обмотками фаз статора А и В (рис. 3,а), В и С (рис. 3,б), а также при коротком замыкании обмотки статора на землю фазы А (рис. 3,с), фазы В (рис. 3,д).

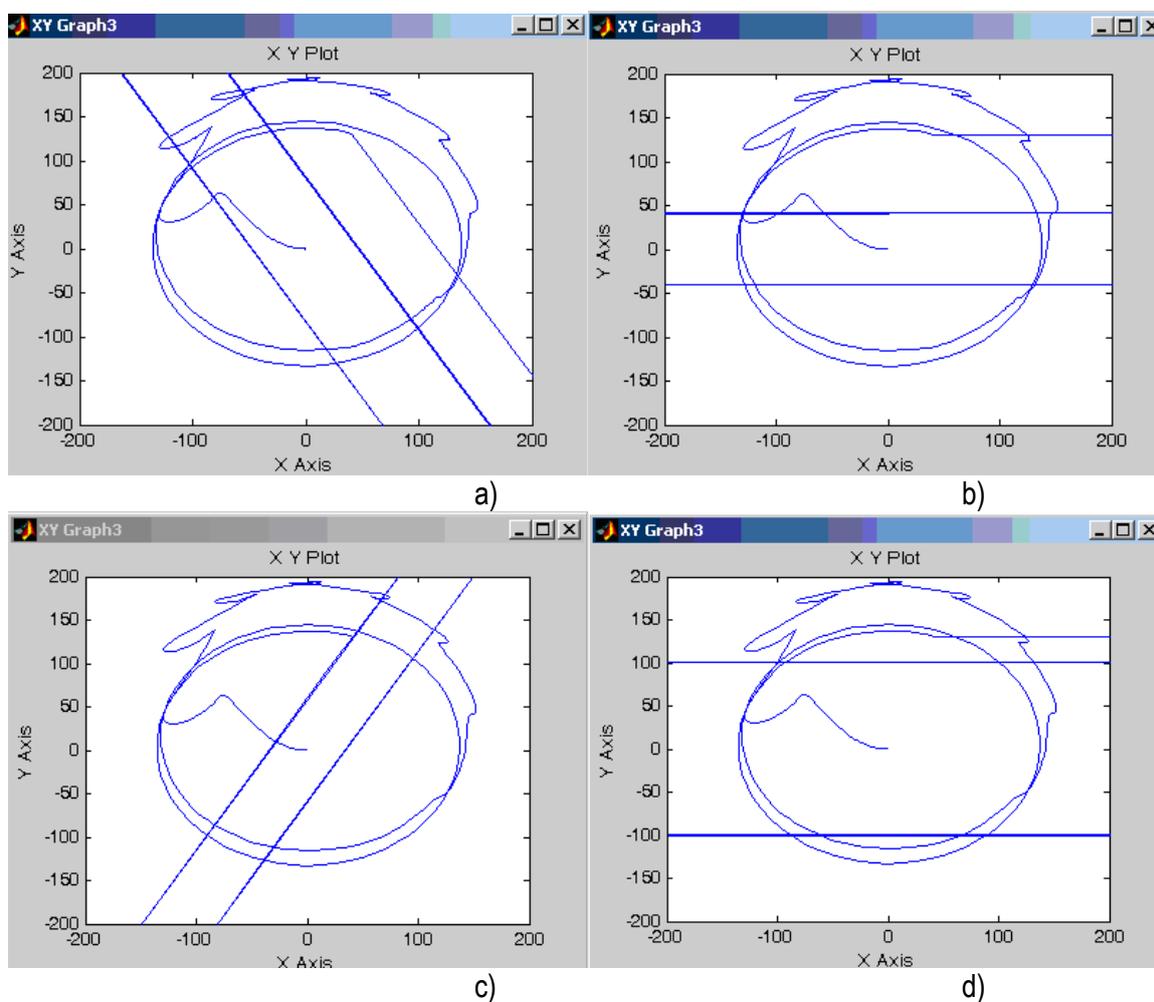


Рис. 3. Годографы векторов тока Кларка при коротком замыкании:
 а) между обмотками фаз статора А и В, б) между В и С;
 с) обмотки фазы А на землю, д) фазы В на землю

Полученные годографы вектора тока Кларка (см. рис. 3) позволяют наглядно установить дефект и фазу двигателя, в которой возникла неисправность. При этом наблюдается аналогия с поведением вектора тока Парка при диагностировании обмоток статора асинхронной машины [1].

При диагностировании обмоток синхронной машины на основе вектора тока и напряжения Кларка можно заключить:

- для полностью исправного двигателя годографы $i_{\alpha S}=f(i_{\beta S})$ – тока статора и $u_{\alpha S}=f(u_{\beta S})$ – напряжения представляют собой правильную окружность;
- при дефекте в обмотке статора годографы $i_{\alpha S}=f(i_{\beta S})$ – тока статора и $u_{\alpha S}=f(u_{\beta S})$ – напряжения превращаются в эллипсы, по виду которых можно определить не только наличие дефекта, но и вид дефекта, его степень и поврежденную фазу. Степень развития дефекта можно определить по изменению диаметров большой и малой осей эллипса, а номер поврежденной фазы зависит от направления наклона большой оси.

Вывод. Предложенная имитационная модель синхронного двигателя дает возможность выполнить моделирование дефектов, оценить их влияние на работу двигателя, а также диагностировать возникающие дефекты.

Библиографический список

1. Петухов В.С. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения / В.С. Петухов // Новости электротехники / 2008
2. T. Vaimann. Using Clarke Vector Approach for Stator Current and Voltage Analysis on Induction Motors with Broken Rotor Bars / T. Vaimann., A. Kallaste, A. Kilk // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2012 No. 7(123). – P. 17–20.
3. Миронов Р.В. Моделирование дефектов асинхронной машины в среде Matlab/Simulink / В.В. Колесников // Завалишинские чтения'12:Сб. докладов / СПбГУАП. СПб. 2012. С. 118-122.
4. Колесников В.В. Моделирование вентильных двигателей в среде Matlab / Simulink Колесников В.В. // Завалишинские чтения 12: Сб. докладов / СПб ГУАП. СПб. 2012.
5. Герман-Галкин. С.Г. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК/ Герман-Галкин. С.Г. Кардонов Г.А. СПб.: Корона принт. 2003.-. 256 с.

УДК 004.8

К. В. Рыбкин

магистрант кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

КОНТЕКСТНЫЙ ПОИСК ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КОХОНЕНА

Одной из первых задач компьютеров было ускорение поиска информации. В последние несколько лет замечена тенденция к быстрому увеличению объемов хранимой в цифровом виде графической информации: каждый день генерируются терабайты изображений. Постоянное накопление электронных данных требует от разработчиков программного обеспечения и научных исследователей создания эффективных методов поиска в архивах информации. Поиск изображений затрудняется отсутствием однозначного текстового описания, по которому можно бы было индексировать изображения. Таким образом, является актуальным решение задачи контекстного поиска изображений [1] – возможности поиска информации и любых понятий в наборе документов, в отдельном документе или его фрагменте, а также в базе данных при контекстном индексировании последних.

Исследования в данной области ведутся с 70-х годов прошлого века, когда были разработаны методы и средства для текстового поиска изображений. Каждое изображение аннотировалось, после чего помещалось в базу данных. Поиск изображения в таких системах сводился к поиску аннотаций, сопоставленных изображению. Данный метод имеет два недостатка, которые становятся заметны при увеличении количества изображений. Во-первых, не существует стандарта перевода изображения в аннотации и обратно, так как люди по-разному воспринимают одно и то же изображение. Во-вторых, необходимо большое количество людей аннотирующих изображения.

В 90-х годах был предложен контекстный поиск изображений, который позволяет находить похожие изображения. Задача контекстного поиска в общем случае формулируется следующим образом: существует база, из которой необходимо извлечь изображения, схожие с заданным. На рис. 1 приведена структура системы контекстного поиска изображений [2].

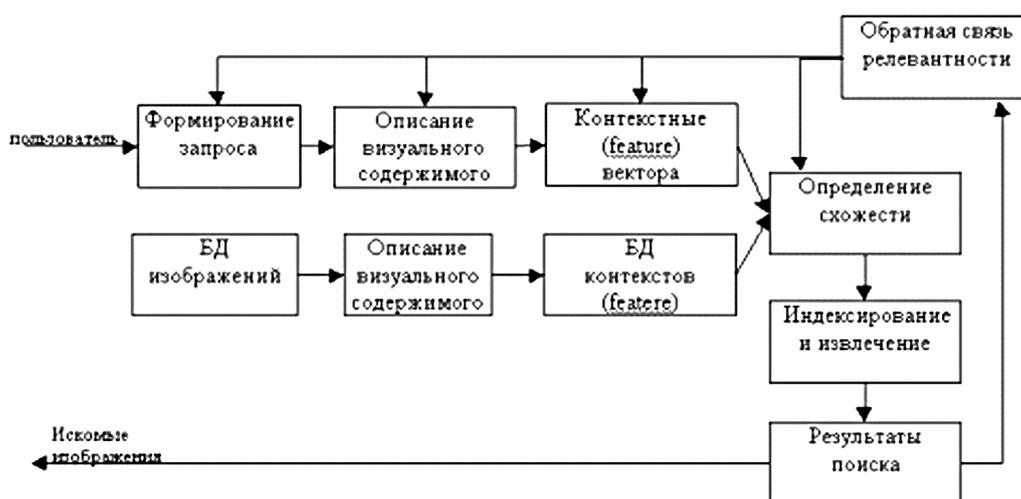


Рис. 1. Системы контекстного поиска изображений

Каждое изображение (запрос), подаваемое пользователем на вход, проходит тот же этап преобразований, что и изображения в базе данных. Из каждого изображения извлекаются информация о визуальном наполнении (контуры, текстуры, границы) и цветовые характеристики (кореллограммы, цветовые моменты и т.п.). После чего определяется схожесть характеристик исходного и изображений из базы данных. Происходит индексация и ранжирование характеристик, после чего изображения извлекаются из базы. Обратная связь используется для подстройки работы блоков определения схожести и извлечения характеристик изображения.

Важно учесть, что запросы пользователей к коллекциям изображений традиционно классифицируют по трем уровням абстракции [3]:

- примитивный уровень – поиск по визуальным примитивам: цвету, форме, текстуре;
- логический уровень – идентификация представленных объектов;
- абстрактный уровень – учет значимости изображенных сцен.

Большинство методов поиска изображений в электронных коллекциях осуществляют удовлетворение запросов примитивного уровня абстракции. Рассмотрим базовые группы методов [4].

Группа методов цветowych гистограмм. Идея метода цветowych гистограмм для индексирования и сравнения изображений сводится к следующему. Все множество цветов анализируемого изображения разбивается на набор непересекающихся, полностью покрывающих его подмножеств. Для изображения формируется гистограмма, отражающая долю каждого подмножества цветов в цветовой гамме изображения. Для сравнения гистограмм вводится понятие расстояния между ними.

Группа методов поиска по «цветовой планировке». Отличительной чертой этой группы методов является предварительное разбиение изображений на блоки заданного размера или в заданном коли-

честве. Этот этап позволяет учитывать местоположение того или иного цвета за счет сравнения между собой отдельных блоков, а не всего изображения целиком, что делает методы поиска по «цветовой планировке» более совершенными по сравнению с предыдущей группой методов.

Группа методов, основанных на кластеризации изображений. При поиске изображений методами этой группы сравнение визуальных примитивов осуществляется на уровне отдельных объектов (регионов, областей) изображений, которые автоматически выделяются в процессе кластеризации на основании подобия значений визуальных характеристик внутри одной области.

Необходимо отметить, что корректное удовлетворение запросов возможно только при использовании методов из третьей группы в виду недостатков методов других групп. При использовании методов первой группы возможно индексирование изображений только по цветовым характеристикам, при использовании методов второй группы – по цветовым характеристикам и характеристикам местоположения, а в случае применения методов третьей группы возможно выделение большего количества характеристик: цветовых, формы, текстуры и местоположения объектов изображений; «чувствительность» к масштабированию, повороту объектов внутри изображений в случае использования группы методов цветowych гистограмм, и к масштабированию – группы методов поиска по «цветовой планировке»; зависимость результатов поиска от вариации цвета и освещенности объектов на изображениях (в результате таких модификаций происходит изменение цветowych гистограмм анализируемых изображений).

Следовательно, необходимо решить задачу кластеризации. Возможно решение с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). Рассмотрим реализацию метода кластеризации с использованием одного из видов ИНС – карт Кохонена, которые предназначены для решения задач векторной классификации. При этом до обучения не известно, сколько классов должно быть использовано для решения задачи, поэтому требуется использовать обучение без учителя.

Сеть Кохонена – это ИНС, содержащая входной слой и слой активных нейронов. Поскольку входной слой просто распределяет входные сигналы по нейронам активного слоя, такую сеть можно считать однослойной. Обычно активный слой одномерный или двумерный. Это отражает представления нейробиологии, в соответствии с которыми сенсорная информация, представленная множеством сигналов, отображается в линейные или планарные структуры коры головного мозга.

В процессе обучения карты Кохонена (SOM) после предъявления достаточного числа образов все выходные нейроны сети разбиваются на подмножества, каждое из которых «откликается» на образы соответствующего класса. Важное свойство SOM после обучения заключается в том, что чем более похожи объекты из обучающей выборки, тем ближе должны находиться нейроны активного слоя, ассоциированные с кластерами данных объектов. Расстояние между нейронами определяется топологией сети.

Самоорганизующиеся карты Кохонена применяются для визуализации многомерных данных. Конечно, спроецировать многомерную выборку на плоскость без искажений невозможно, и SOM отражают лишь общую картину. Однако использование SOM позволяет анализировать особенности кластерной структуры многомерной выборки.

Идея заключается в том, чтобы спроецировать все объекты выборки на плоскую карту, точнее, на множество узлов прямоугольной сетки заранее заданного размера. Для того чтобы карта отражала кластерную структуру выборки, близкие объекты должны попадать в близкие узлы сетки. Нейроны SOM будут упорядочиваться так, чтобы иметь равномерное распределение при равномерном распределении входных векторов. Если же входные векторы распределены неравномерно, то и нейроны будут стремиться попасть в центр кластеров. Таким образом, SOM производит уменьшение разнообразия данных путем выделения конечного набора прототипов и отнесения данных к одному из таких типов (т.е. кластеризация) [5].

Структура карты Кохонена, предназначенной для кластеризации изображений представлена на рис. 2 [6]. Каждый входной нейрон связан со всеми выходными, количество нейронов задается заранее. Выходной слой представляет собой матрицу. Данные подаются на вход в виде вектора признаков. Этап обучения выглядит следующим образом:

- 1) случайным образом устанавливаются веса в сети;
- 2) вычисляется расстояние от входного слоя сети до всех нейронов выходного слоя;
- 3) нейрон с наименьшим расстоянием объявляется победителем;
- 4) для всех нейронов, чьи координаты на двумерной карте лежат в некотором радиусе от победителя, производится корректировка весов с целью их приближения к учебному вектору;
- 5) возвращаемся ко второму шагу.

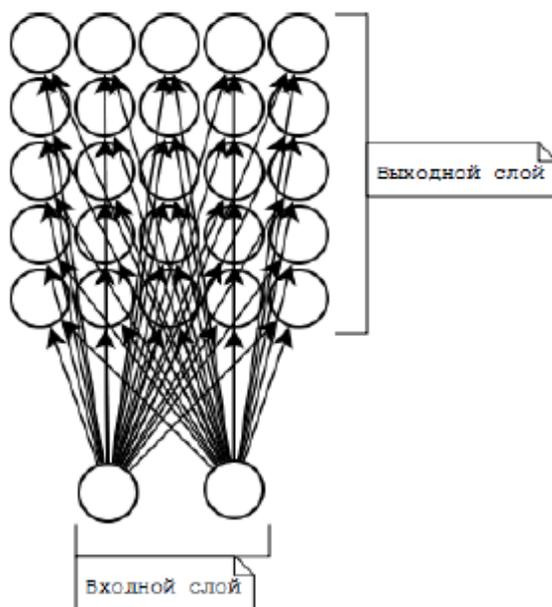


Рис. 2. Карта Кохонена

Вторым этапом является кластеризация. Можно рассмотреть вариант, когда известно распределение по классам обучающей выборки. В этом случае для каждого класса были получены средние арифметические всех представителей обучающей выборки. По удаленности от них определялась принадлежность обученного нейрона к кластеру.

Данный метод, в частном случае, позволяет применить контекстный поиск к оцифрованной документации, находящейся в графическом формате. В качестве запроса может быть использовано конкретное слово или словосочетание, которое необходимо найти в базе данных. Сеть обучается поиску фрагментов изображений, похожих на буквы. При достаточном обучении, сеть может игнорировать такие вещи, как тип шрифта слова, его размер, зашумленность картинки и прочие искажающие факторы. На выходе получаем изображения из базы, в которых участки изображения графически совпадают с запрашиваемым словом.

Использование нейронных сетей Кохонена для реализации контекстного поиска позволяет упростить процедуру нахождения конкретного документа, хранящегося в нестандартном формате. Это, в свою очередь, расширяет возможности поиска необходимых данных.

Библиографический список

1. Shi-Kuo Chang and Tosiyasu L. Kunii. Pictorial database systems. IEEE Comput. Mag., 14(11):13-21, Nov. 1981.
2. Long F., Zhang H., Fang D.D. Fundamentals of Content-based Image Retrieval.
3. Eakins J.P., Graham M.E. A report to the JISC Technology Applications Programme. – Newcastle: Institute for Image Data Research, 1999. – 54 p.
4. Wang J. Z., Li J. Wiederhold G. SIMPLicity: Semantics-Sensitive Integrated Matching for Picture Libraries // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2001. – vol. 23, 69. – P. 947-963.

5. Бураков, М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие/ М. В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2013. – 284 с.
6. A. A. Kondratyev. The parallel image processing and clustering based on Kohonen maps by using clusters and graphics processing units// Proceedings of Junior research and development conference of AilamazyanPereslavl university. – Pereslavl, 2012/

УДК 621.31

И. А. Сафронов

студент кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

И. В. Елтышева

научный руководитель

УСТРОЙСТВО И ИЗГОТОВЛЕНИЕ РОТОРА С ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТЗВ-1200-2 ДЛЯ АЭС

В данной работе дается обзор эффективности различных типов охлаждения турбогенераторов большой мощности.

Турбогенератор – синхронная машина, работающая вместе с паровой турбиной. Их применяют на ТЭС и АЭС. Турбогенераторы для ТЭС могут иметь частоту вращения ротора 3000 или 1500 об/мин и мощность от 40 до 250 МВт. В связи с тем, что тепловая мощность АЭС в разы выше мощности ТЭС, на АЭС необходимо применять более мощные турбогенераторы. Турбогенераторы для АЭС выпускаются мощностью от 500 до 1200 МВт. Турбогенераторы это самые высокоэффективные электрические машины их КПД достигает значения 98,97%, но из-за невероятно высокой единичной мощности на нем рассеиваются мегаватты тепловой энергии. При этом, на частоте вращения 3000 об/мин, вращающиеся части турбогенератора подвергаются воздействию мощнейшей центробежной силы. Увеличению единичной мощности турбогенератора всегда препятствовало высокое тепловыделение. При использовании воздушного охлаждения предельная мощность турбогенератора составляет 180 МВт. Потребность в увеличении их мощности привела к исследованию различных типов охлаждения, так появилось водяное охлаждение железа статора, потом охлаждение водородом, затем – форсированное (непосредственное) охлаждение водородом, совмещенное форсированное водородное охлаждение и непосредственное водяное охлаждение обмоток статора. Все это позволило создать мощный турбогенератор ТВВ-1000-2, который начали ставить на реакторы ВВЭР-1000. При этом был достигнут предел для данного типа охлаждения, и стало понятно, что теплоемкости водорода не достаточно, чтобы отводить тепло от обмоток ротора. Так была сконструирована мощнейшая в мире машина – турбогенератор три воды ТЗВ-1200-2 мощностью 1200 МВт с непосредственным водяным охлаждением обмоток ротора, обмоток статора и железа статора. Теоретически с таким охлаждением может быть сконструирована машина с мощностью 2000 МВт. Турбогенератор ТЗВ-1200-2 нашел свое применение на реакторе ВВЭР-1200, который был введен в эксплуатацию на Нововоронежской АЭС-2, а так же на новой ЛАЭС-2.

В данном турбогенераторе было применено много нововведений. В связи с отказом от водорода внутри машины применяется не герметичный корпус и модернизированные для подвода воды концевые части коллектора ротора, а сам ротор создается практически заново. По технологии, вал такого ротора протачивается из цельной поковки длиной более 15 м. Перед проточкой необходимо проверить поковку для вала с помощью ультразвука на наличие скрытых внутренних дефектов. Вал в рабочей машине устанавливается на подшипники с базой более 13 мв. Главный диаметр вала имеет размер более 1 м и вес порядка 110 тонн. При изготовлении вала учитывается то, что при скорости 3000 об./мин. на него будут действовать большие усилия на кручение и изгиб. После токарной обработки вал

переносят на фрезерный станок с ЧПУ, где фрезеруются пазы под обмотку, шпонки, а также высверливаются отверстия под токоподводы и балансировочные пробки.

После фрезеровки в пазы ротора, проложенные изоляционными листами, укладываются обмотки. Обмотки с непосредственным водяным охлаждением позволяют использовать высокие теплоотводящие свойства воды. Введение свободной подачи воды во вращающуюся полуоткрытую напорную камеру, откуда она поступает в нижние витки катушек, и свободного слива воды из цилиндрической камеры, позволило: отказаться от высоких давлений охлаждающей жидкости, обеспечить преодоление гидравлических сопротивлений, получить необходимые скорости потоков воды только за счет центробежных сил. Водяной ротор характеризуется параллельным соединением по воде множества катушек с малым числом витков в каждой. В пазу может размещаться по две независимые катушки. Демпферная обмотка под клиньями ротора также водоохлаждаемая, состоит из проводников меньшего сечения. Помимо ее основного назначения, эта обмотка, через клин охлаждает поверхность ротора и воздух внутри машины. Демпферная обмотка служит для компенсации несимметричной нагрузки, а так же для вывода генератора на синхронную скорость вращения.

Переход на водяное охлаждение ротора добавил новые элементы. Напорный коллектор позволяет подводить воду для охлаждения к вращающемуся ротору. Сам напорный коллектор не вращается вместе с ротором, но изготавливается вместе с ним и является его частью, так как при изготовлении идет плотная пригонка и уплотнение поверхностей для обеспечения герметичности водяного соединения.

Бандажные кольца удерживают лобовые части обмотки возбуждения при вращении ротора. От действия центробежных сил в материале бандажных колец, как лобовых частей обмотки, так и собственной массы бандажного кольца, возникают большие механические напряжения растяжения.

Бандажные кольца для турбогенератора серии ТЗВ изготавливают из титанового сплава. Это позволило снизить силу механических усилий в бандаже, установленном на роторе, так как 70 % сил в стальном бандаже возникало от центробежной силы, которая действовала на массу самого бандажа. Титан, обладая схожими со сталью характеристиками на растяжение, более легкий металл и из-за этого центробежные силы на него действуют меньше. Переход на титановый сплав уменьшил внешний диаметр бандажа, который являлся определяющим при выборе внутреннего диаметра статора.

Переход на титановый сплав стал возможным, когда появились токарно-карусельные станки с ЧПУ, которые позволяют обрабатывать титановые поковки с высокой точностью, используя низкие обороты и малую подачу.

Собранный ротор балансируют, чтобы избавиться от вибраций при его вращении, т.к. любые вибрации будут его разрушать, и может начаться просачивание воды в месте присоединения напорного и сливного кольца.

Еще раз отмечу то, что вода поступает и сливается из ротора без использования насосов, а только за счет центробежной силы. При охлаждении обмотки возбуждения расход воды составляет порядка 25 л/с, а Δt воды на сливе примерно 34°C. Вода для охлаждения обмотки возбуждения подводится и сливается со стороны возбудителя, а вода для охлаждения демпферной обмотки – со стороны турбины.

Вывод: в результате применения водяного охлаждения обмоток ротора достигаются наилучшие показатели КПД – 98,97%, а также – рекордный межсервисный интервал порядка 30 лет.

Библиографический список

- 1 Абрамов, А. И. Проектирование турбогенераторов / А.И. Абрамов, В.И. Извеков, Н. А. Серихин, – М.: МЭИ, 2005. 440с.
- 2 Кнышова, Е.М. Экономика организации. / Е.М. Кнышова, С.Г. Панфилова, – М.: Гриф, 2005. 261с.
- 3 Фомин, Б.П., Технология крупного электромашиностроения турбогенераторы. / Б.П. Фомин, Б.Г. Циханович, Г.М. Виро. Учебное пособие – Л.: Энергоиздат, 1981. 392с.
- 4 Хуторецкий, Г.М., Проектирование турбогенераторов / Г.М. Хуторецкий, М.И. Токов, Е.В. Толквинская, – Л.: Энергоиздат, 1987. 256с.
- 5 ОАО «Силовые машины» еженедельная газета.

УДК 621.313.13- 181.4;621.314

Ю. В. Семенов

студент кафедры управления в технических системах

В. В. Колесников

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

В настоящее время вентильные двигатели с датчиком положения ротора, в частности вентильные индукторно-реактивные двигатели (ВИРД), находят широкое применение в приводе электроподвижного состава для электропоездов, трамваев, троллейбусов. Данные двигатели могут эксплуатироваться в приводах при значительных электромагнитных и механических нагрузках и жестких условиях окружающей среды, таких как: высокие температуры, повышенная запыленность, загрязнение, вибрация. Кроме этого, ВИРД может быть использован в автомобильной или аэрокосмической промышленности, как в качестве двигателя, так и генератора. Поэтому on-line диагностирование двигателя с целью выбора оптимального режима работы и создания энергосберегающего привода является важной и актуальной задачей.

Почти все компоненты данной машины, работающей в электрическом приводе, чувствительны к дефектам (обмотки фаз двигателя, диоды, IGBT транзисторы электронного конвертера и их драйверы и т.д.). В этой сложной системе любой из компонентов может дать сбой. К сожалению, в литературе отсутствуют статистические данные о неисправностях ВИРД.

Из литературы известно, что диагностирование ВИРД и всего привода можно выполнить на основе энергетических диаграмм и динамических ВАХ [1, 2]. При этом диагностирование производится для каждой фазы в отдельности. В случае необходимости интегральной оценки работы всего привода в целом диагностирование можно выполнить на основе спектрального анализа тока в шине источника питания [3]. В реальном приводе для этого используют один или два датчика тока, сигналы с которых поступают на анализатор спектра. Диагностирование дефектов производится затем на основе сравнения спектров при нормальном режиме работы со спектрами токов в аварийных режимах.

Целью данной работы является разработка имитационной модели диагностирования дефектов ВИРД в среде Matlab/Simulink на основе анализа тока в шине источника питания, энергетических диаграмм и динамических ВАХ.

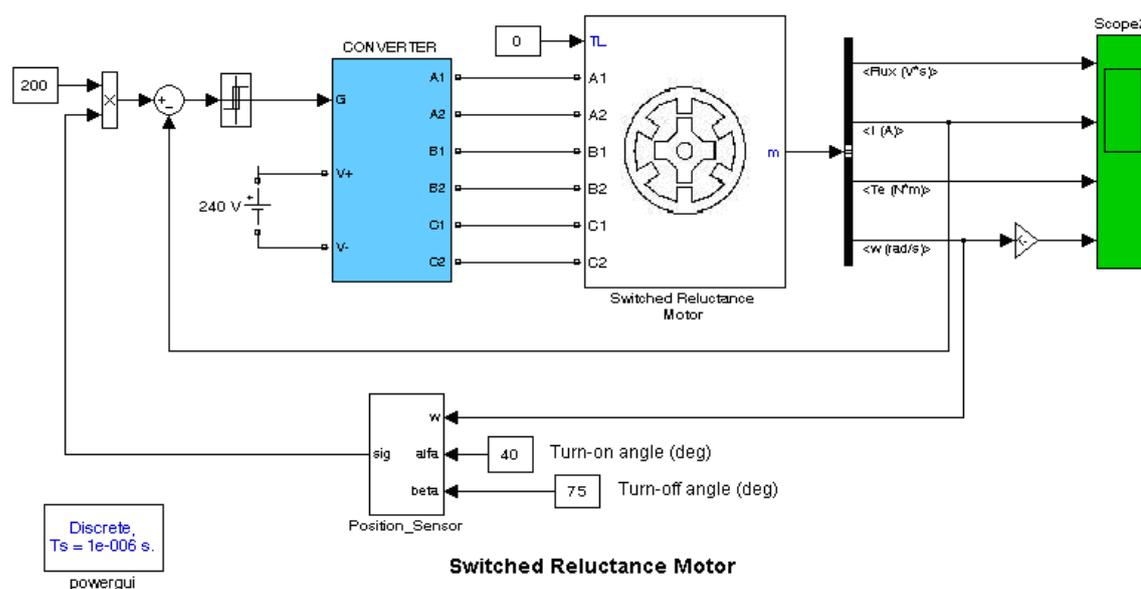


Рис. 1. Структурная схема вентильного индукторного привода с двигателем SRM 6/4

Моделирование дефектов ВИРД в среде Matlab/Simulink рассмотрим на примере вентильного индукторного привода (ВИП) мощностью 60 кВт с трехфазным двигателем (SRM 6/4), показанного на рис. 1 [4, 5].

Преобразователь мощности в рассматриваемом приводе (см. рис. 2) представляет трехфазный асимметричный конвертер (converter), имеющий три фазы, каждая из которых состоит из двух IGBT транзисторов и двух обратных диодов.

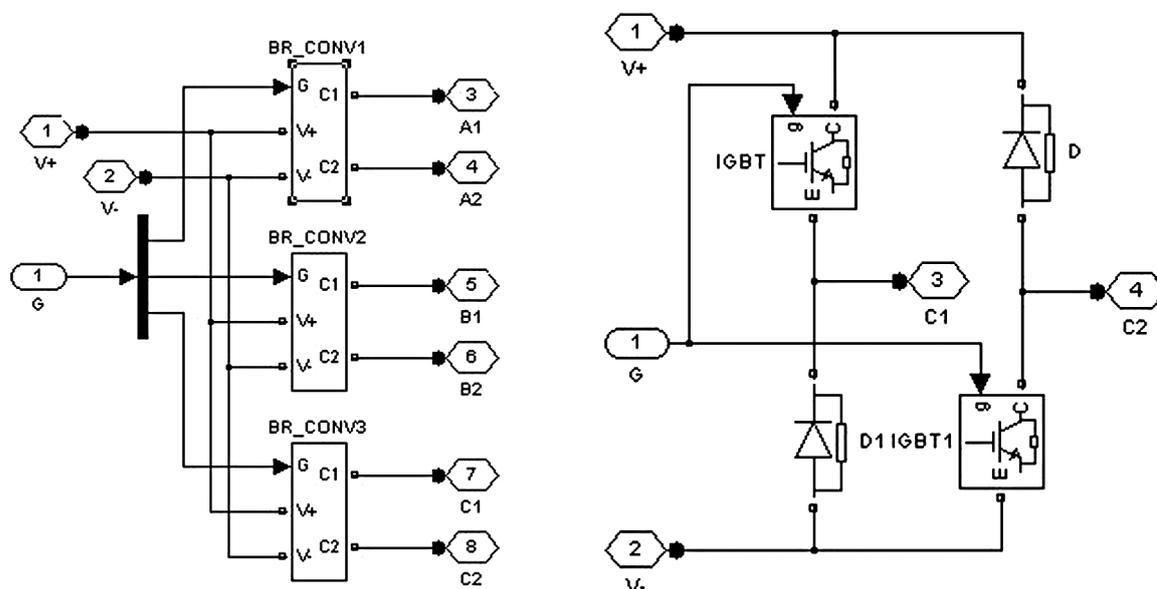


Рис. 2. Структурная схема конвертера и его одной фазы

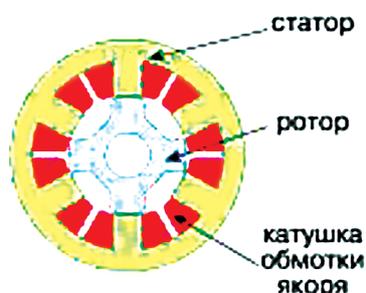


Рис. 3. Вентильный индукторно-реактивный двигатель SRM 6/4

Статор и ротор вентильного индукторно-реактивного двигателя SRM 6/4 имеют явнополюсную структуру (рис. 3). На полюсах статора размещены сосредоточенные фазные обмотки. Принцип его работы основан на притяжении ферромагнитных полюсов ротора к возбужденным полюсам статора. Во время периодов проводимости активные IGBT транзисторы подают исходное положительное напряжение к обмоткам статора, чтобы обеспечить положительные токи в фазных обмотках. Во время обратных периодов отрицательное напряжение подано к обмоткам, и запасенная энергия возвращается к источнику мощности постоянного тока через диоды.

При создании имитационной модели моделирования дефектов в известную модель ВИРД вводим блок – выключатель (Breaker), который реализует автоматическое выключение [2]. Количеством открытий и закрытий этого блока можно управлять либо от внешнего сигнала Simulink (режим внешнего управления), или от таймера внутреннего контроля (режим внутреннего контроля). Меняя время начала дефекта с помощью блока Step можно диагностировать работу двигателя в различных режимах,

например, во время пуска, или в установившемся режиме работы. Кроме этого в положительную шину источника питания включаем измеритель тока (Current Measurement) и осциллограф (Scope1). Сигнал тока обрабатывается с помощью блока Powergui, чтобы получить спектр тока.

В результате на предлагаемой имитационной схеме были промоделированы следующие дефекты: короткие замыкания фаз двигателя, диодов и транзисторов конвертера, обрывы обмоток фаз двигателя, а также диодов и транзисторов конвертера.

На рис. 4 для примера показаны кривая мгновенного тока в шине источника питания (слева, внизу), энергетический цикл и динамическая ВАХ двигателя в обычном режиме работы без дефектов.

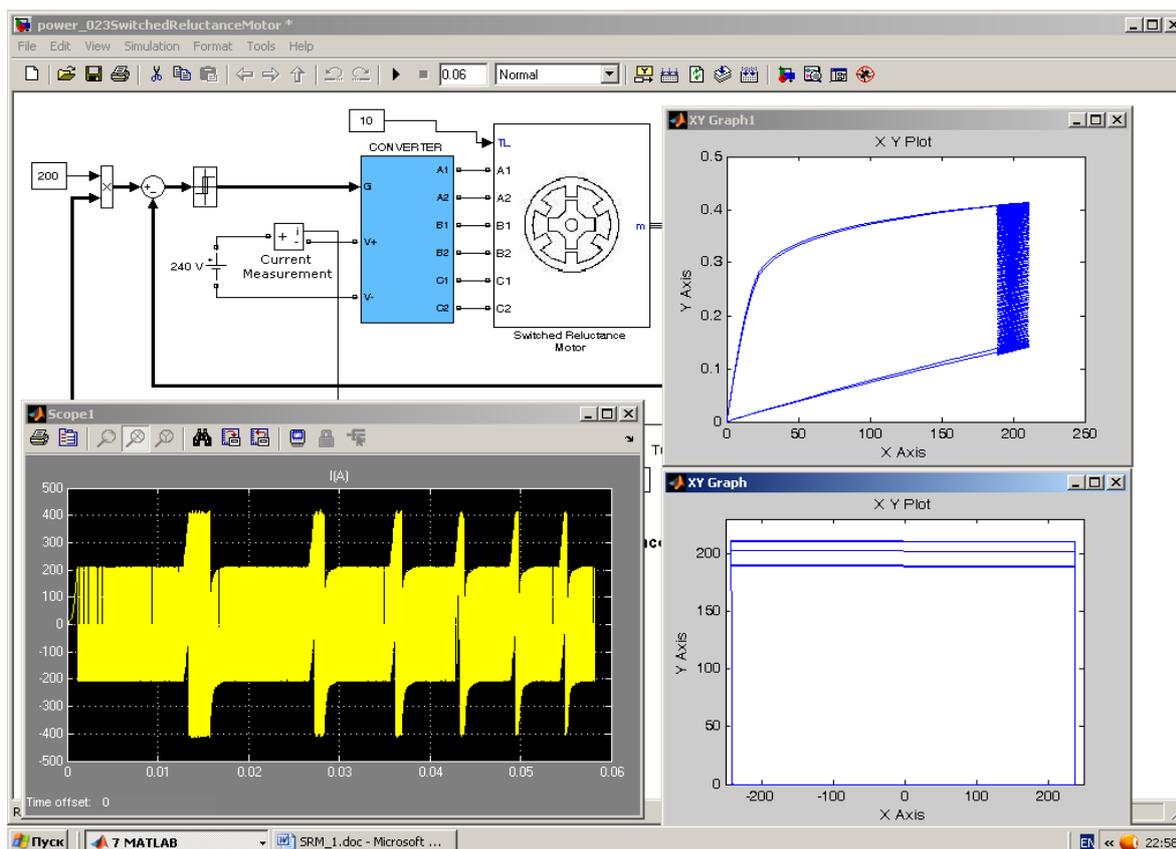


Рис. 4. Моделирование вентильного привода при работе без дефекта

Как видно из осциллограммы Scope 1 ток в общем проводе находится в заданном значении. При этом энергетический цикл (Graph1) и ВАХ двигателя (Graph) соответствуют нормальному режиму работы без дефекта.

При моделировании короткого замыкания, например, в фазе С необходимо задать в блоке Step время дефекта $t = 0.05$ с. При этом ток I , напряжение U и поток Flux в здоровой фазе А не меняются, но падает скорость двигателя ω и возрастают пульсации электромагнитного момента T_e , как это видно из соответствующих осциллограмм Scope 2 (см. рис. 5). Двигатель продолжает разгоняться, но в соответствии с возросшими пульсациями электромагнитного момента скорость двигателя ω колеблется. В общем проводе резко возрастает ток источника, который ограничивается только сопротивлением фаз (см. осциллограмму Scope 1). В этот момент времени в реальном приводе может сработать защита по току. Работа двигателя с короткозамкнутой фазой С продолжается за счет бездефектных рабочих фаз.

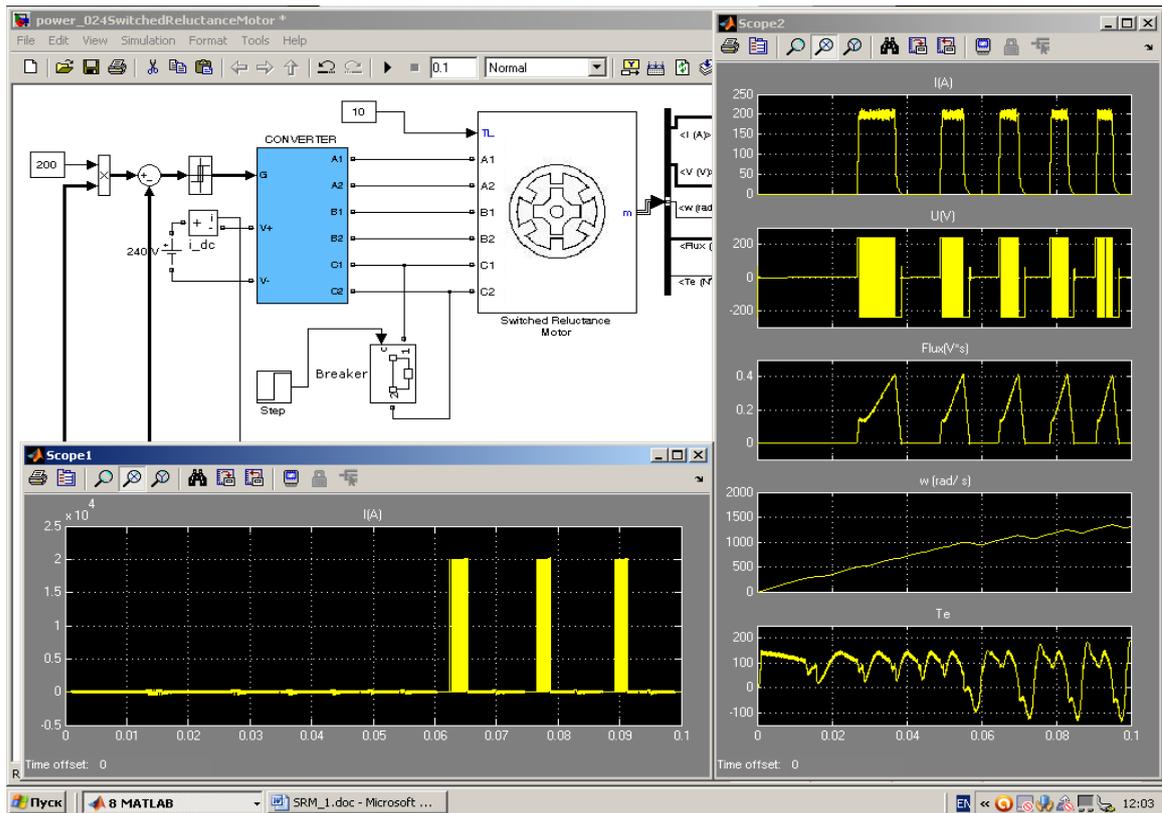


Рис. 5. Моделирование включения двигателя с дефектом в виде короткого замыкания фазы С в момент времени $t = 0.06$ С

Как видно из рис. 6, в случае дефекта существенно меняется гармонический состав спектра тока источника и удельный вес гармоник. В дальнейшем предполагается составить базу данных, содержащую вид дефекта, соответствующие ему спектры тока источника, энергетические диаграммы и динамические ВАХ. Последнее дает возможность выполнить более качественно диагностирование дефектов вентиляного привода в режиме on-line.

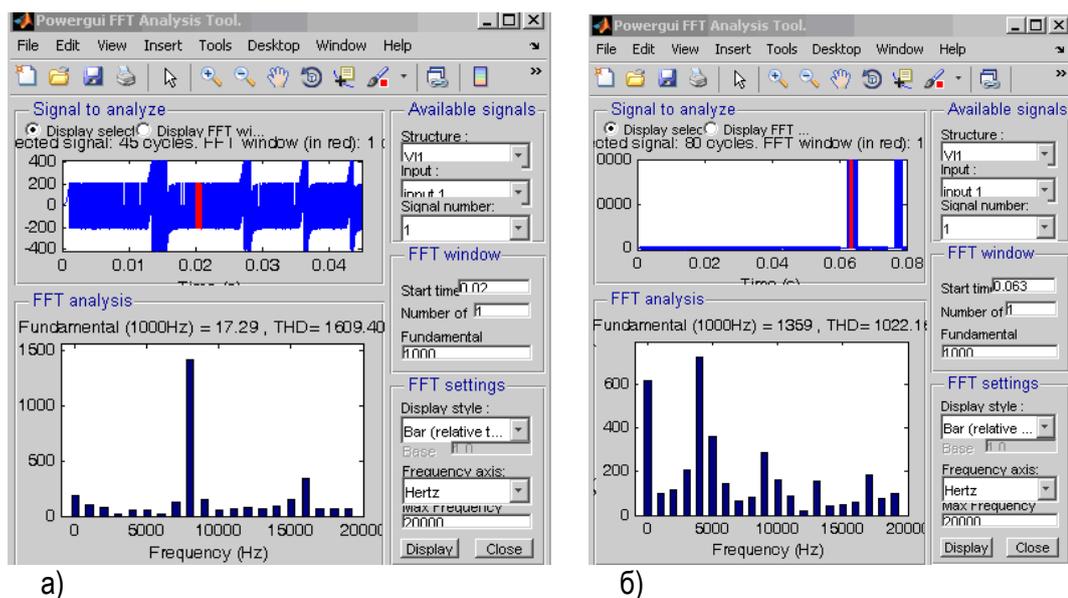


Рис. 6. Спектры тока источника: а) - режим работы без дефекта, б) – короткое замыкание фазы С

Вывод.

Разработанная имитационная модель позволяет диагностировать электрические дефекты в виде различных коротких замыканий и обрывов фаз вентильных индукторно-реактивных двигателей и элементов конвертера.

Библиографический список

1. Колесников В.В. Моделирование вентильных двигателей в среде Matlab / Simulink / В.В. Колесников // Завалишинские чтения'12: Сб. докладов / СПб ГУАП. СПб. 2012. С. 118-122.
2. Колесников В.В. Моделирование динамических ВАХ электромеханических устройств в среде Matlab / Simulink / В.В. Колесников // Завалишинские чтения'13: Сб. докладов / СПб ГУАП. СПб. 2013. С..
3. Bogusz P. Failure mode study in switched reluctance machines in the generator mode / P.Bogusz, M. Korkosz , J. Prokop // Politechnika Rzeszowska, Poland / Proceedings of Electrotechnical Institute, Issue 240, 2009
4. Герман-Галкин С.Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин .СПб.: КОРОНА – Век, 2008. – 368 с.

УДК 681.5

М. В. Трофимов

студент кафедры управления и информатики в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

МЕТОД ЛАТЕНТНО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТЕРМИНОВ В ДОКУМЕНТАХ

Латентно-семантический анализ (ЛСА) – это метод обработки информации на естественном языке, анализирующий взаимосвязь между коллекцией документов и терминами в них встречающимися, сопоставляющий некоторые факторы (тематики) всем документам и терминам.

Латентно-семантический анализ отображает документы и отдельные слова в так называемое «семантическое пространство», в котором и производятся все дальнейшие сравнения. При этом делаются следующие предположения:

- документы это просто набор слов. Порядок слов в документах игнорируется. Важно только то, сколько раз то или иное слово встречается в документе;
- семантическое значение документа определяется набором слов, которые как правило идут вместе. Например, в биржевых сводках, часто встречаются слова: «фонд», «акция», «доллар»;
- каждое слово имеет единственное значение. Это, безусловно, сильное упрощение, но именно оно делает проблему разрешимой.

Приведем пример. Выберем несколько заголовков новостей похожей тематики. В данном примере заголовки выбраны не случайно, т.к. для случайной выборки потребовался бы очень большой объем данных, что существенно затруднит дальнейшее рассмотрение примера.

Для начала исключим из заголовков, так называемые, стоп-символы. Это слова, которые встречаются в каждом тексте и не несут в себе смысловой нагрузки, это, прежде всего, все союзы, частицы, предлоги и множество других слов. В русском языке, к стоп-символам относятся предлоги, суффиксы, причастия, междометия, частицы и т.п.

Далее произведем операцию стемминга (нахождение основы слова). Она не является обязательной, некоторые источники утверждают, что хорошие результаты получаются и без нее. И действительно, если набор текстов достаточно большой, то этот шаг можно опустить. Если тексты на англий-

ском языке, то этот шаг тоже можно проигнорировать, в силу того, что количество вариаций той или иной словоформы в английском языке существенно меньше чем в русском. В рассматриваемом примере, пропускать этот шаг не целесообразно т.к. это приведет к существенной деградации результатов. Используем алгоритм стеммера Портера.

Далее исключим слова, встречающиеся в единственном экземпляре. Это тоже необязательный шаг, он не влияет на конечный результат, но сильно упрощает математические вычисления. В итоге у нас остались, так называемые, индекслируемые слова, они выделены жирным шрифтом:

1. Британская полиция знает о местонахождении **основателя WikiLeaks**.
2. В **суде США** начинается процесс **против** россиянина, рассылавшего спам.
3. **Церемонию вручения Нобелевской премии мира бойкотируют 19 стран**.
4. В **Великобритании арестован основатель сайта Wikileaks** Джулиан Ассандж.
5. Украина игнорирует **церемонию вручения Нобелевской премии**.
6. Шведский **суд** отказался рассматривать апелляцию **основателя Wikileaks**.
7. НАТО и **США** разработали планы обороны **стран** Балтии **против** России.
8. **Полиция Великобритании** нашла **основателя WikiLeaks**, но, не **арестовала**.
9. В Стокгольме и Осло сегодня состоится **вручение Нобелевских премий**.

На первом шаге требуется составить частотную матрицу индекслируемых слов. В этой матрице строки соответствуют индексированным словам, а столбцы – документам. В каждой ячейке матрицы указано, сколько раз слово встречается в соответствующем документе (рис. 1).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
wikileaks	1	0	0	1	0	1	0	1	0
арестова	0	0	0	1	0	0	0	1	0
великобритан	0	0	0	1	0	0	0	1	0
вручен	0	0	1	0	1	0	0	0	1
нобелевск	0	0	1	0	1	0	0	0	1
основател	1	0	0	1	0	1	0	1	0
полиц	1	0	0	0	0	0	0	1	0
прем	0	0	1	0	1	0	0	0	1
прот	0	1	0	0	0	0	1	0	0
стран	0	0	1	0	0	0	1	0	0
суд	0	1	0	0	0	1	0	0	0
сша	0	1	0	0	0	0	1	0	0
церемон	0	0	1	0	1	0	0	0	0

Рис. 1. Частотная матрица индекслируемых слов

Следующим шагом мы проводим сингулярное разложение полученной матрицы. Сингулярное разложение – это математическая операция, раскладывающая матрицу на три составляющих. Т.е. исходную матрицу M мы представляем в виде:

$$M = U \cdot W \cdot Vt,$$

где U и Vt – ортогональные матрицы, а W – диагональная матрица. Причем диагональные элементы матрицы W упорядочены в порядке убывания. Диагональные элементы матрицы W называются сингулярными числами.

wikileaks	0.57	-0.01	0.01	-0.2	0.13	0.16	-0.16	-0.25	-0.64	3.41	0	0	0	0	0	0	0	0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
арестова	0.34	-0	0.07	0.41	-0.42	-0.02	0.1	0.17	0.01	0	3.30	0	0	0	0	0	0	0	0.43	0.05	0.01	0.54	0	0.37	0.01	0.63	0
великобритан	0.34	-0	0.07	0.41	-0.42	-0.02	0.1	0.17	-0.01	0	0	2.27	0	0	0	0	0	0	-0	0.02	0.65	-0.01	0.59	-0	0.09	-0.01	0.47
вручен	0	0.52	0.07	-0.06	-0.08	-0.15	-0.17	0.02	-0.07	0	0	0	1.49	0	0	0	0	0	0.03	-0.7	-0.04	0.06	0.1	-0.16	-0.67	0.09	0.09
нобелевск	0	0.52	0.07	-0.06	-0.08	-0.15	-0.17	0.02	0.32	0	0	0	0	1.19	0	0	0	0	-0.22	-0.24	0.15	0.28	-0.11	-0.68	0.44	0.33	-0.13
основател	0.57	-0.01	0.01	-0.2	0.13	0.16	-0.16	-0.25	0.64	0	0	0	0	0	0.98	0	0	0	0.69	-0.32	0.22	-0.49	-0.12	-0.03	0.27	-0.02	-0.19
полиц	0.31	-0	0.05	0.07	0.57	-0.6	0.29	0.37	-0	0	0	0	0	0	0	0.71	0	0	-0.27	-0.34	0.44	0.29	-0.13	0.45	0.12	-0.31	-0.45
прем	0	0.52	0.07	-0.06	-0.08	-0.15	-0.17	0.02	-0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.43	0	-0.03	0.3	0.14	-0.17	0.44	-0.15	-0.3	0.24	-0.71
прот	0.02	0.03	-0.61	0.13	-0.05	-0.22	0	-0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	0.12	0.4	-0.39	-0.53	0.12	-0.23	0.46	0.13
стран	0.01	0.22	-0.31	0.39	0.41	0.56	-0.22	0.4	-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.35	0.35	-0.35	-0.35	-0.35	-0.35	0
суд	0.12	0.01	-0.38	-0.62	-0.3	0.12	0.21	0.55	-0																		
сша	0.02	0.03	-0.61	0.13	-0.05	-0.22	0	-0.25	0																		
церемон	0	0.38	0.03	0.02	0.08	0.31	0.82	-0.29	0																		

Рис. 2. Сингулярное разложение частотной матрицы индексируемых слов

Достоинство сингулярного разложения (рис. 2) состоит в том, что оно выделяет ключевые составляющие матрицы, позволяя игнорировать шумы. Согласно простым правилам произведения матриц, видно, что столбцы и строки, соответствующие меньшим сингулярным значениям, дают наименьший вклад в итоговое произведение. Например, мы можем отбросить последние столбцы матрицы U и последние строки матрицы Vt , оставив только первые 2. Важно, что при этом гарантируется, оптимальность полученного произведения. Разложение такого вида называют двумерным сингулярным разложением (рис. 3).

wikileaks	0.57	-0.01	*	3.41	0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
арестова	0.34	-0		0	3.3	0.43	0.05	0.01	0.54	0	0.37	0.01	0.63	0
великобритан	0.34	-0		0	0	-0	0.02	0.65	-0.01	0.59	-0	0.09	-0.01	0.47
вручен	0	0.52		0	0	0.03	-0.7	-0.04	0.06	0.1	-0.16	-0.67	0.09	0.09
нобелевск	0	0.52		0	0	-0.22	-0.24	0.15	0.28	-0.11	-0.68	0.44	0.33	-0.13
основател	0.57	-0.01		0	0	0.69	-0.32	0.22	-0.49	-0.12	-0.03	0.27	-0.02	-0.19
полиц	0.31	-0		0	0	-0.27	-0.34	0.44	0.29	-0.13	0.45	0.12	-0.31	-0.45
прем	0	0.52		0	0	-0.03	0.3	0.14	-0.17	0.44	-0.15	-0.3	0.24	-0.71
прот	0.02	0.03		0	0	-0.3	0.12	0.4	-0.39	-0.53	0.12	-0.23	0.46	0.13
стран	0.01	0.22		0	0	0.35	0.35	0.35	0.35	-0.35	-0.35	-0.35	-0.35	0
суд	0.12	0.01												
сша	0.02	0.03												
церемон	0	0.38												

Рис. 3. Двумерное сингулярное разложение матрицы индексируемых слов

Отметим на графике точки, соответствующие отдельным текстам и словам (рис. 4).

Из данного графика видно, что статьи образуют три независимые группы, первая группа статей располагается рядом со словом «wikileaks», и действительно, если мы посмотрим названия этих статей, становится понятно, что они имеют отношение к *wikileaks*. Другая группа статей образуется вокруг слова «премия», и действительно в них идет обсуждение нобелевской премии.

На практике, конечно, количество групп будет намного больше, пространство будет не двумерным а многомерным, но сама идея остается той же. Можно определять местоположения слов и статей в пространстве и использовать эту информацию для нахождения контекста и тематики материала или поискового запроса.

Легко заметить, что подавляющее число ячеек частотной матрицы индексируемых слов, созданной на первом шаге, содержат нули. Матрица сильно разрежена, и это свойство может быть использовано для улучшения производительности и потребления памяти при создании более сложной реализации.

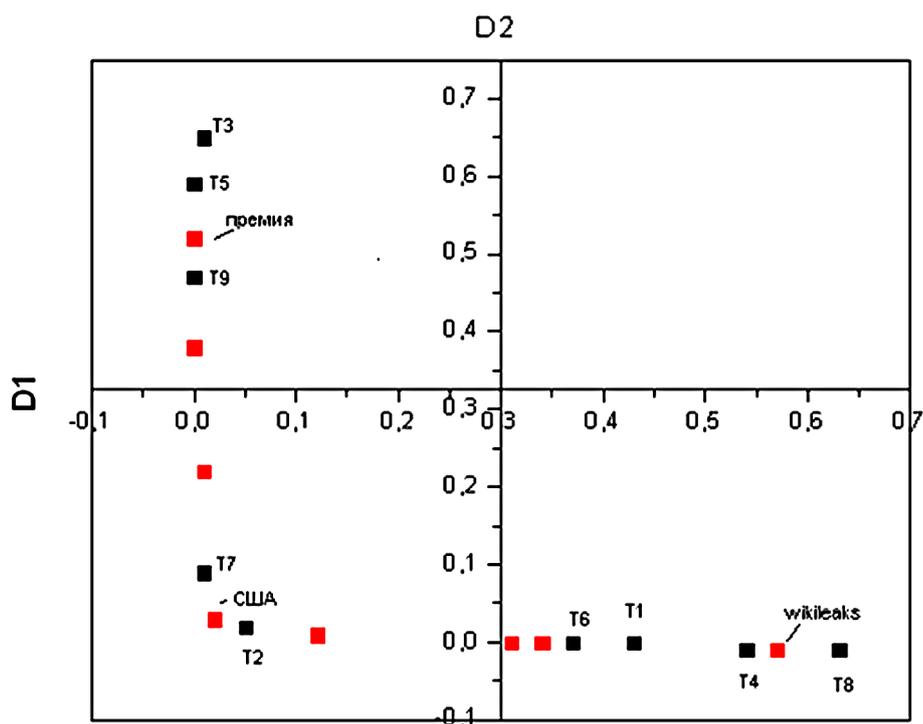


Рис. 4. График распределения слов согласно матрице

Достоинства метода:

- метод является наилучшим для выявления латентных зависимостей внутри множества документов;
- метод может быть применен как с обучением, так и без обучения (например, для кластеризации);
- используются значения матрицы близости, основанной на частотных характеристиках документов и лексических единиц;
- частично снимается полисемия и омонимия.

Недостатки:

- существенным недостатком метода является значительное снижение скорости вычисления при увеличении объема входных данных (например, при SVD-преобразовании);
- вероятностная модель метода не соответствует реальности. Предполагается, что слова и документы имеют нормальное распределение, хотя ближе к реальности распределение Пуассона. В связи с этим для практических применений лучше подходит вероятностный латентно-семантический анализ, основанный на мультиномиальном распределении.

Библиографический список

1. Landauer, T. K., Foltz, P. W., & Laham, D. (1998). Introduction to Latent Semantic Analysis. *Discourse Processes*, 25, 259-284.
2. Scott Deerwester, Susan T. Dumais, George W. Furnas, Thomas K. Landauer, Richard Harshman (1990). «Indexing by Latent Semantic Analysis» (PDF). *Journal of the American Society for Information Science* 41 (6): 391-407.
3. Маннинг К.Д., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс» 2011. – 528 с.

УДК 621.31

Л. С. Тютюнова

магистрант кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

Л. И. Чубраева

д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В области энергетики в качестве накопителей кинетической энергии (НКЭ) обычно используются электрические машины с маховиками на валу. Если ротор машины имеет большой момент инерции, то маховики могут не использоваться. Для регулирования частоты вращения НКЭ, обеспечения процесса накопления энергии и ее возврата в сеть необходимы электрическая машина, полупроводниковые преобразовательные устройства и система управления, обеспечивающая требуемые параметры устройства в различных режимах работы.

В НКЭ могут использоваться электрические машины типа турбогенераторов и гидрогенераторов. Машины могут быть синхронными, асинхронными, асинхронизированными.

Машины типа турбогенераторов работают при сравнительно высокой частоте вращения ротора. При большой мощности агрегата ротор имеет большой диаметр и основной задачей разработки конструкции является обеспечение ее прочности. Ротор выполняется обычно из поковки легированной стали, и машина имеет высокую стоимость.

Машины типа гидрогенераторов работают при сравнительно низкой частоте вращения. Ротор имеет большой диаметр, но требования по обеспечению его прочности снижены. Машина обычно имеет сварную конструкцию и ее стоимость ниже, чем у турбогенератора той же мощности [1].

Считается, что НКЭ целесообразнее выполнять на основе конструкции гидрогенераторов. В этом случае возможно выполнение НКЭ без дополнительного устройства – маховика.

Использование в накопителях кинетической энергии синхронных машин

Принцип работы синхронной машины (СМ). Машина имеет статор и ротор. На статоре расположена трехфазная обмотка. На роторе размещена обмотка возбуждения. Обмотка возбуждения питается от источника постоянного тока и создает в машине магнитный поток, вращающийся вместе с ротором. Обмотка ротора подключается к внешнему источнику постоянного напряжения через контактные кольца и щетки.

При вращении ротора с частотой n_2 поток возбуждения пересекает проводники обмотки статора и индуцирует в ее фазах переменную ЭДС E с частотой

$$f_1 = pn_2 / 60 \quad (1)$$

Если обмотку статора подключить к какой-либо нагрузке, то в фазах обмотки возникает ток I_a , который создает магнитное поле, частота вращения которого относительно неподвижного статора

$$n_1 = 60f_1 / p \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что в установившихся режимах работы $n_1 = n_2$, т. е. что ротор вращается с той же частотой, что и магнитное поле статора. Поэтому рассматриваемую машину называют синхронной. Результирующий магнитный поток $\Phi_{рез}$ СМ создается совместным действием обмотки возбуждения и обмотки статора, и результирующее магнитное поле вращается в пространстве с той же частотой, что и ротор. СМ может отдавать или потреблять электрическую энергию, т. е. работать генератором или двигателем.

При подключении обмотки статора к питающей сети частота вращения ротора СМ постоянна и использовать ротор для накопления кинетической энергии нельзя. Если между обмоткой статора СМ и электросетью включить преобразователь частоты (ПЧ), то можно регулировать частоту вращения ротора и использовать его для накопления кинетической энергии. Возможная схема НКЭ с СМ и ПЧ изоб-

ражена на рис. 1. В рассматриваемой системе содержится также возбудитель (В), трансформатор (Тр) и коммутационная аппаратура.

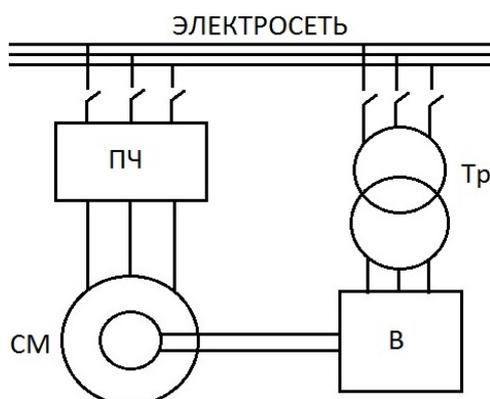


Рис. 1. Структура накопителя энергии с синхронной машиной

Использование в накопителях кинетической энергии асинхронных машин

Вместо СМ можно использовать асинхронную машину с короткозамкнутым ротором (АМКЗ), которая состоит из статора, ротора, стержня обмотки ротора, подшипникового щита, вентиляционной лопатки ротора, вентилятора, коробки выводов.

Принцип работы АМКЗ выглядит следующим образом. На обмотку статора подается переменное напряжение, под действием которого по этим обмоткам протекает ток и создает вращающееся магнитное поле. Магнитное поле воздействует на обмотку ротора и по закону электромагнитной индукции наводит в ней ЭДС. В обмотке ротора под действием наводимой ЭДС возникает ток. Ток в обмотке ротора создает собственное магнитное поле, которое вступает во взаимодействие с вращающимся магнитным полем статора. В результате на каждый зубец магнитопровода ротора действует сила, которая, складываясь по окружности, создает вращающий электромагнитный момент, заставляющий ротор вращаться с частотой не равной частоте вращения магнитного поля.

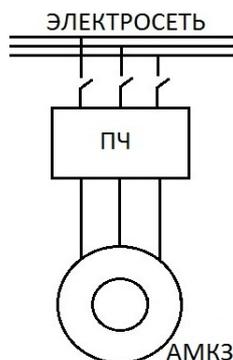


Рис. 2. Структура накопителя энергии с АМКЗ

Использование в накопителях кинетической энергии асинхронизированных машин

В НКЭ возможно также применение асинхронизированных электрических машин (АМ) или генераторов-двигателей (АГД). На статоре и роторе АГД размещаются трехфазные обмотки. Обмотка статора подключается к электросети с фиксированной частотой напряжения. Обмотка ротора через контактные кольца подключается к ПЧ с регулируемой частотой напряжения. ПЧ с другой стороны также подключается к электросети непосредственно или через трансформатор Тр, как изображено на рис. 3.

Активная мощность ротора P_2 и, соответственно, активная мощность ПЧ определяются мощностью статора P_1 и скольжением:

$$P_2 = P_1 s \quad (3)$$

Пределы регулирования скорости вращения ротора расширяются, если обеспечиваются и положительные и отрицательные значения скольжения. Однако изменения знака скольжения соответствуют изменению знака мощности ротора (3). То есть ПЧ должен в этом случае обеспечивать передачу мощности как из электросети в ротор, так и в обратном направлении.

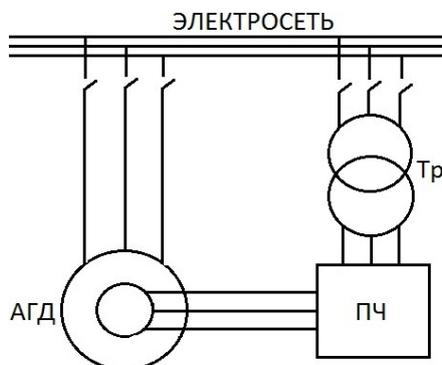


Рис. 3. Структура накопителя энергии с асинхронизированной машиной

АГД выполняются на мощность до сотен мегаватт. Обмотка ротора и ПЧ в цепи ротора выполняются обычно на мощность на порядок меньшую. По этой причине напряжение обмотки ротора АГД обычно существенно меньше напряжения обмотки статора и электросети. В связи с этим для согласования напряжений сети, ПЧ и ротора используются обычно трансформаторы.

Частота токов и напряжений ротора АГД и ПЧ обычно регулируется в сравнительно узких пределах. Этим обеспечивается сокращение мощности и стоимости ПЧ и всего комплекта электрооборудования. Однако при ограничении диапазона изменения скольжения ограничиваются также возможности накопления и использования кинетической энергии во вращающихся массах ротора и в маховике [2].

Были рассмотрены построения НКЭ с использованием синхронных, асинхронных и асинхронизированных машин. В НКЭ по схеме рис. 1 ПЧ выполняется на полную мощность СМ. Поэтому НКЭ с СМ значительно дороже НКЭ с асинхронизированной машиной, где ПЧ выполняется на частичную мощность. В НКЭ по схеме рис. 2 ПЧ также выполняется на полную мощность АМКЗ. Поэтому НКЭ с АМКЗ также значительно дороже НКЭ с асинхронизированной машиной, где ПЧ выполняется на частичную мощность. Можно сделать вывод, что из рассмотренных выше вариантов, наиболее предпочтителен в экономическом сравнении вариант построения НКЭ с использованием асинхронизированных машин типа АГД.

Библиографический список

1. Сошинов А. Г., Угаров Г. Г. Накопители энергии в электроэнергетических системах: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2007. – 106 с.
2. Пронин М.В., Воронцов А.Г., Нахди Т. Гидроаккумулирующая электростанция с асинхронизированными машинами и каскадным преобразователем частоты / Известия СПбГЭТУ, №1, 2011. –С.70-80.

УДК 681.51

Л. С. Тютюнова

магистрант кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

В. А. Атанов

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

МЕТОД АЛГЕБРАИЧЕСКОГО ИНВАРИАНТА В ПОСТРОЕНИИ БЛОКА КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Рассмотрен электропривод подачи суппорта токарного станка [1]. Структурная схема настроенного на симметричный оптимум контура скорости представлена на рис. 1.

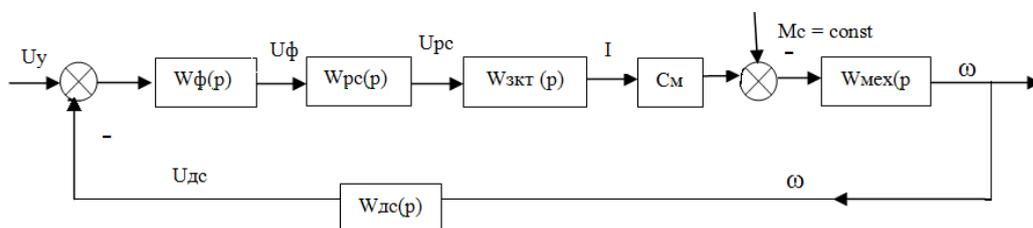


Рис. 1. Структурная схема контура регулирования скорости с фильтром

где $W_\phi(p)$, $W_{рс}(p)$, $W_{зкт}(p)$, $W_{мех}(p)$, $W_{дс}(p)$ – передаточные функции динамических звеньев: фильтра, регулятора скорости, замкнутого контура тока, механического звена двигателя, датчика скорости соответственно. Также принято: M_c – момент сопротивления (возмущающее воздействие), C_m – постоянная двигателя, ω – скорость, $U_{дс}$, $U_{зад}$, U_ϕ , $U_{рс}$ – напряжение на выходе датчика скорости, задающее напряжение, напряжения на выходе фильтра и регулятора скорости соответственно.

Применим метод алгебраического инварианта (предложен в [2]) к данному электроприводу (рис. 2).

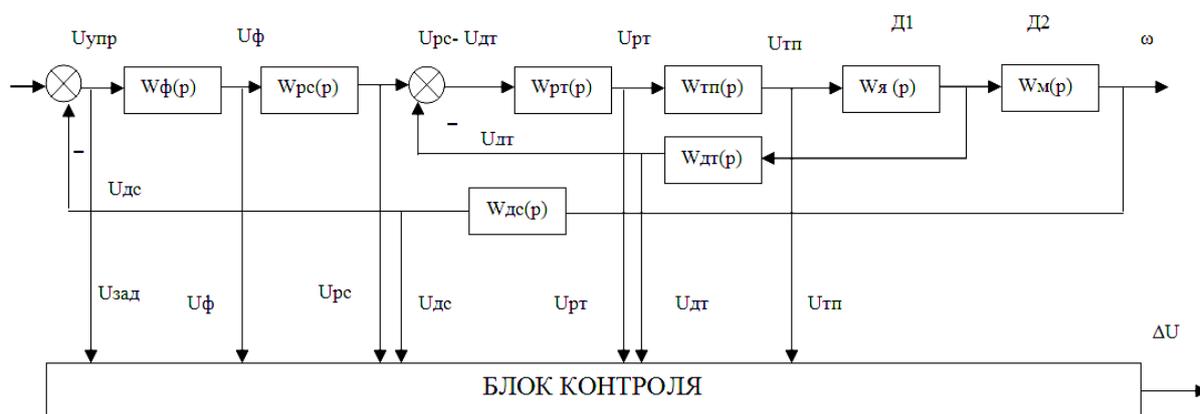


Рис. 2. Структурная схема электропривода

Привод рассматривается в линейном плане, а значит, передаточные функции его динамических звеньев можно представить в виде:

– для фильтра:

$$W_{\Phi}(p) = \frac{U_{\Phi}(p)}{U_{УПР}(p) - U_{ДС}(p)} = \frac{1}{1 + 8T_{ТП}p} \quad (1)$$

– для регулятора скорости:

$$W_{РС}(p) = \frac{U_{РС}(p)}{U_{\Phi}(p)} = K_{РС} \frac{1 + 8T_{ТП}p}{8T_{ТП}p} \quad (2)$$

– для регулятора тока:

$$W_{РТ}(p) = \frac{U_{РТ}(p)}{U_{РС}(p) - U_{ДТ}(p)} = K_{РТ} \frac{1 + T_{РТ}p}{T_{РТ}p}, \quad (3)$$

где $T_{РТ} = T_{я}$

– для тиристорного преобразователя:

$$W_{ТП}(p) = \frac{U_{ТП}(p)}{U_{РТ}(p)} = \frac{K_{ТП}}{T_{ТП}p + 1} \quad (4)$$

– для участка датчика тока и двигателя 1:

$$W_{ДТ}(p)W_{я}(p) = \frac{U_{ДТ}(p)}{U_{ТП}(p)} = \frac{1}{\frac{R_{я}}{T_{я}p + 1}} \times K_{ДТ} = \frac{K_{я}K_{ДТ}}{T_{я}p + 1} \quad (5)$$

– для участка датчика скорости и двигателя 2:

$$W_{ДС}(p)W_{М}(p)W_{я}(p) = \frac{U_{ДС}(p)}{U_{ТП}(p)} = \frac{K_{М}K_{ДС}}{T_{М}p + 1} \frac{1}{\frac{R_{я}}{T_{я}p + 1}} = \frac{K_{М}K_{ДС}K_{я}}{(T_{М}p + 1)(T_{я}p + 1)}, \quad (6)$$

где $K_{ТП}$, $K_{я}$, $K_{ДТ}$, $K_{М}$, $K_{ДС}$, $K_{РТ}$, $K_{РС}$ – коэффициенты передачи динамических звеньев; $T_{я}$, $T_{РТ}$, $T_{ТП}$, $T_{М}$ – постоянные времени звеньев.

Преобразуя (1) – (6), получаем:

– для фильтра:

$$U_{\Phi}(p)(1 + 8T_{ТП}p) - U_{УПР}(p) + U_{ДС}(p) = 0 \quad (7)$$

– для регулятора скорости:

$$8T_{ТП}pU_{РС}(p) - K_{РС}U_{\Phi}(p) - K_{РС}8T_{ТП}pU_{\Phi}(p) = 0 \quad (8)$$

– для РТ:

$$T_{я}pU_{РТ}(p) - K_{РТ}U_{РС}(p) - T_{я}pK_{РТ}U_{РС}(p) + K_{РТ}U_{ДТ}(p) + T_{я}pK_{РТ}U_{ДТ}(p) = 0 \quad (9)$$

– для тиристорного преобразователя:

$$T_{ТП}pU_{ТП}(p) + U_{ТП}(p) - K_{ТП}U_{РТ}(p) = 0 \quad (10)$$

– для датчика тока и двигателя 1:

$$T_{я}pU_{ДТ}(p) + U_{ДТ}(p) - K_{я}K_{ДТ}U_{ТП}(p) = 0 \quad (11)$$

– для датчика скорости и двигателя 2:

$$U_{ДС}(p)(T_{М}p + 1)(T_{я}p + 1) - K_{М}K_{ДС}K_{я}U_{ТП}(p) = 0 \quad (12)$$

Складываем левые и правые части (7) – (12) и получаем:

$$p^2(T_{я}T_{м}U_{дс}(p))+p(U_{ф}(p)8T_{тп}+U_{рс}(p)8T_{тп}-U_{ф}(p)8T_{тп}K_{рс}+U_{рт}(p)T_{я}-U_{рс}(p)K_{рт}T_{я}+U_{дт}(p)K_{рт}T_{я}+U_{тп}(p)T_{тп}+U_{дт}(p)T_{я}+U_{дс}(p)T_{я}+U_{дс}(p)T_{м})+(U_{ф}(p)-U_{упр}(p)+U_{дс}(p)-U_{ф}(p)K_{рс}-U_{рс}(p)K_{рт}+U_{дт}(p)K_{рт}+U_{тп}(p)-U_{рт}(p)K_{тп}+U_{дт}(p)-U_{тп}(p)K_{я}K_{дт}+U_{дс}(p)-U_{тп}(p)K_{м}K_{дс}K_{я})=0 \quad (13)$$

Преобразовываем (13), получаем:

$$p^2(T_{я}T_{м}U_{дс}(p))+p((8T_{тп}-K_{рс}8T_{тп})U_{ф}(p)+(8T_{тп}-K_{рт}T_{я})U_{рс}(p)+T_{я}U_{рт}(p)+(K_{рт}T_{я}+T_{я})U_{дт}(p)+T_{тп}U_{тп}(p)+(T_{м}+T_{я})U_{дс}(p))+((1-K_{рс})U_{ф}(p)-K_{рт}U_{рс}(p)-K_{тп}U_{рт}(p)+(K_{рт}+1)U_{дт}(p)+(1-K_{я}K_{дт}-K_{м}K_{дс}K_{я})U_{тп}(p)+2U_{дс}(p)-U_{упр}(p))=0$$

Преобразуем к виду:

$$p^2(\gamma_1 U_{дс}(p))+p(\alpha_1 U_{ф}(p)+\alpha_2 U_{рс}(p)+\alpha_3 U_{рт}(p)+\alpha_4 U_{дт}(p)+\alpha_5 U_{тп}(p)+\alpha_6 U_{дс}(p))+(\beta_1 U_{ф}(p)+\beta_2 U_{рс}(p)+\beta_3 U_{рт}(p)+\beta_4 U_{дт}(p)+\beta_5 U_{тп}(p)+\beta_6 U_{дс}(p)+\beta_7 U_{упр}(p))=0 \quad (14)$$

Выражение (14) должно быть реализовано на дифференцирующих устройствах. Поскольку они слабо помехозащищенные от действия внешних и внутренних помех, то переходим к выражению, реализованному на интеграторах.

Делим правую и левую части на p^2 . В правую часть вводим алгебраический инвариант Δ и коэффициент собственной динамики. Получаем:

$$\frac{1}{p^2}[\beta_1 U_{ф}(p)+\beta_2 U_{рс}(p)+\beta_3 U_{рт}(p)+\beta_4 U_{дт}(p)+\beta_5 U_{тп}(p)+\beta_6 U_{дс}(p)+\beta_7 U_{упр}(p)] + \frac{1}{p}[\alpha_1 U_{ф}(p)+\alpha_2 U_{рс}(p)+\alpha_3 U_{рт}(p)+\alpha_4 U_{дт}(p)+\alpha_5 U_{тп}(p)+\alpha_6 U_{дс}(p)] + \gamma_1 U_{дс}(p) = 0$$

Реализация уравнения алгебраического инварианта в аналоговом виде предоставлена на рис. 3, а электрическая схема блока контроля на рис. 4.

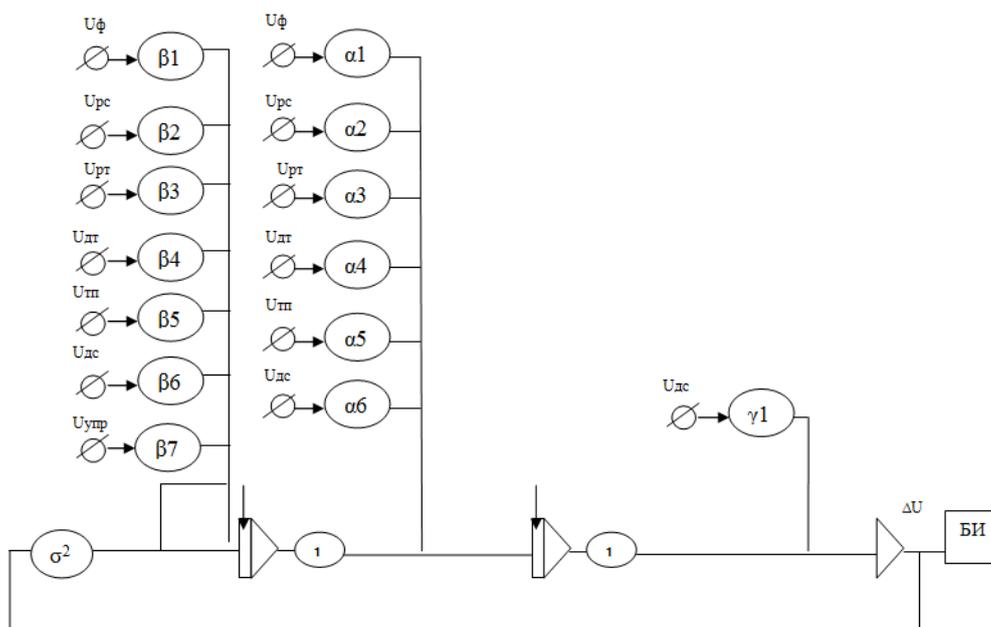


Рис. 3 Структурная схема блока контроля электропривода

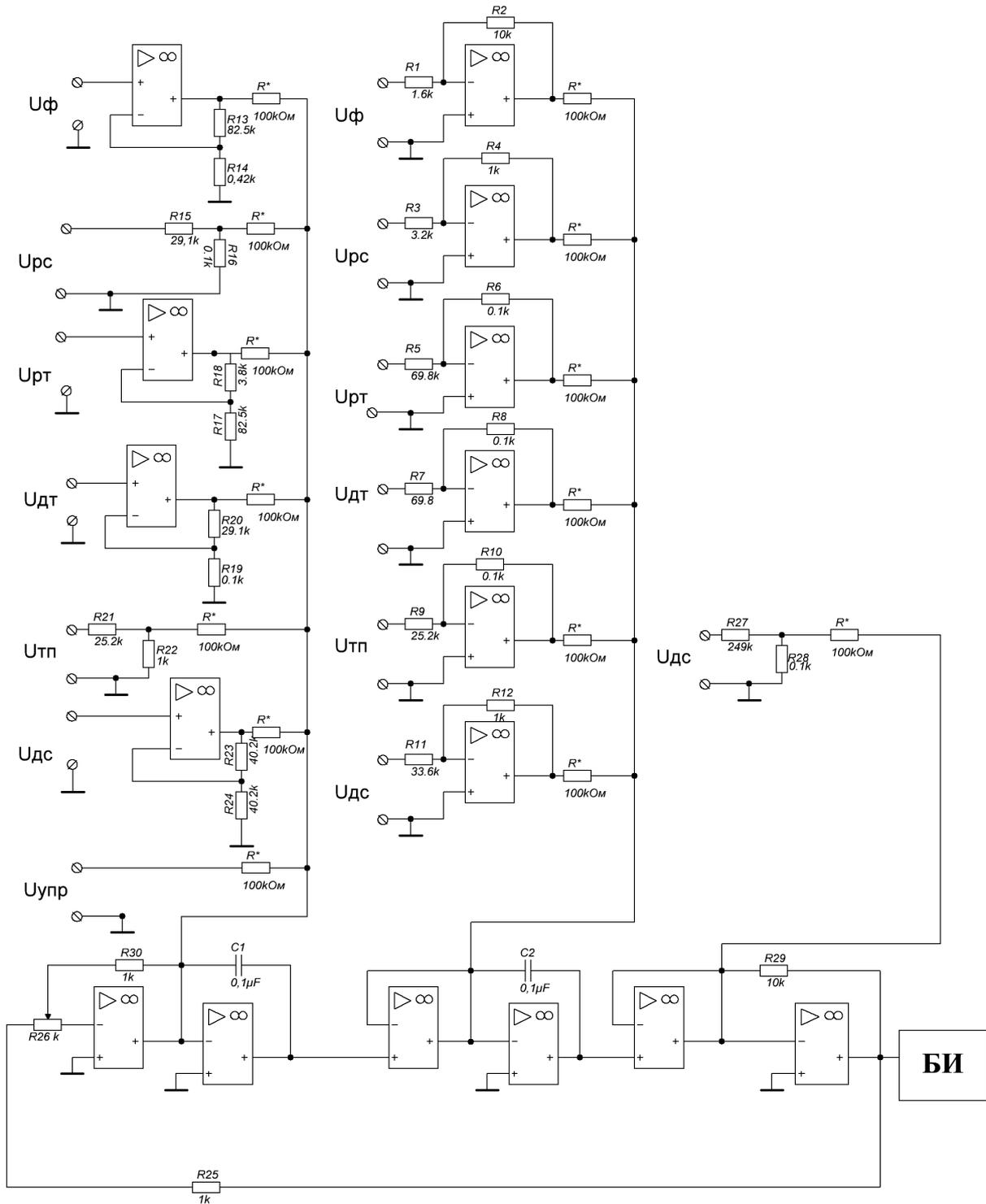


Рис. 4. Электрическая схема блока контроля

Составлено уравнение алгебраического инварианта. Построены структурная и электрическая схемы блока контроля электропривода с подачей сигналов с контрольных точек на блок индикации. Данный метод, позволяющий проводить контроль on-line, основанный на сигналах в процессе работы и с сохранением всех связей, является наиболее удобным, т.к. позволяет не прерывать работу станка для диагностирования, экономя тем самым рабочее время. Он простой и легко реализуем как в аналоговом, так и в цифровом виде. Непрерывный контроль с сохранением всех связей, возможность полу-

чения сигналов с доступных контрольных и цифровых вариантов схем контроля – главные достоинства этого метода.

Библиографический список

1. [Тютюнова Л.С., Атанов В.А. Расчет параметров и элементов контура управления по скорости электропривода с подчиненным регулированием. Шестидесят шестая международная студенческая конференция ГУАП: Сб. докл.: В 2 ч. Ч. I. Технические науки / СПбГУАП. СПб., 2013.с.: ил.
2. Завалишинские чтения '07 Сборник докладов. Атанов В.А., Бритов Г.С. Функциональный контроль электропривода. М.: СПбГУАП. СПб. 2007

УДК 621.389

А. Федяевс

студент кафедры управления в технических системах

В. А. Голубков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

ОХРАННАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ С ИНФРАКРАСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Проблема защиты имущества человека от посягательств посторонних лиц всегда и везде остается актуальной, а средства и методы развивались от простейших физических до электронных. Современные технические средства могут состоять из одного или нескольких функциональных блоков, таких как охранная сигнализация, система контроля доступа с проверкой полномочий, система видео наблюдения, контрольные и другие устройства. На данный момент наибольшее распространение имеют системы электронных охранных сигнализаций в силу своей относительной дешевизны, но достаточной функциональности. Рассмотрим подробнее особенности и характеристики систем, устанавливаемых для охраны недвижимого имущества.

Упрощенная структурная схема охранной сигнализации представлена на рис. 1.

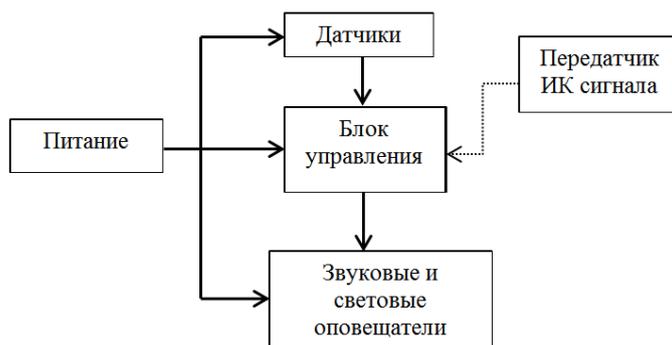


Рис. 1. Упрощенная структурная схема охранной сигнализации

Блок питания необходим для приведения стандартного напряжения электросети к необходимому уровню питания элементов схемы. Зачастую по причине возможного отключения электросети во время взлома, сигнализационные системы снабжаются независимым источником бесперебойного питания (ИБП), энергии которого хватает для работы системы в течение суток.

Основу любой охранной системы составляют датчики (сенсоры, извещатели). Их номенклатура и выбор по принципу действия огромны, однако наибольшей популярностью пользуются инфракрасные

(ИК) датчики движения, акустические датчики разбития стекла и герконы (магнитоконтактные извещатели).

Блок управления (включает в себя также приемник ИК импульсов) отвечает за опрос датчиков, информация с которых сравнивается с сигналом по умолчанию. В случае различия этих сигналов, запускается последовательность действий, относящихся к «тревожному» сценарию. В данной охранной системе предполагается, что в этом случае срабатывает сирена, извещающая о попытке проникновения в помещение.

Постановка объекта на охрану и отключение сигнализации выполняется дистанционно с помощью передатчика ИК импульсов, выполненного в виде пульта с двумя кнопками. В качестве технологии передачи сигнала выбрано ИК излучение. Это создает необходимость нахождения приемника и передатчика в прямой видимости и обеспечивает относительно невысокую скорость передачи данных, однако для наших целей это не критично. Зато, в сравнении с радиочастотным каналом, его значительно сложнее отсканировать внешними устройствами. Последний фактор играет важную роль в сфере охраны объекта.

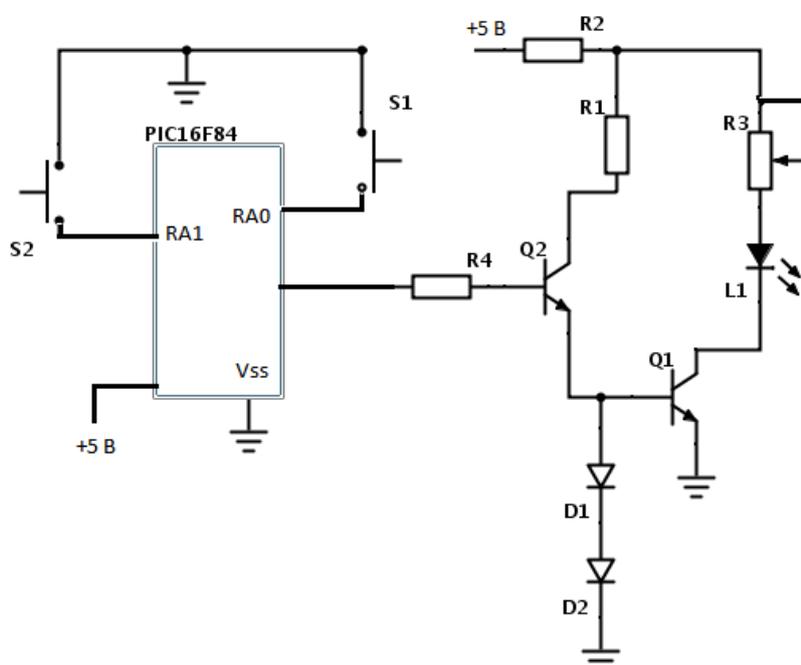


Рис. 2. Принципиальная схема передатчика

На рис. 2 изображена электрическая схема передатчика. ИК светодиод L1 включен в коллектор мощного транзистора Q1. Для управления мощным транзистором используется транзистор малой мощности Q2, диоды D1, D2 и резистор R4 служат для защиты мощного транзистора. Кнопки подключены к портам RA0, RA1.

Генерация кодовой посылки передатчиком происходит по нажатию кнопки на пульте. Сразу после этого формируется последовательность импульсов определенной частоты (обычно в интервале от 30 до 50 кГц). Чем большее количество бит передается, тем более надежной будет связь с приемником. Принцип кодирования «посылки» показан на рис. 3.

Особенность в том, что кодируется не пачка импульсов, длительность которой всегда одна и та же, а промежуток между ними. Частота, количество импульсов, заданные временные интервалы для 0 и 1 и длительность стартового сигнала могут меняться в зависимости от используемого протокола. Также надо помнить, что каждой кнопке соответствует своя последовательность 0 и 1 (рис. 4).

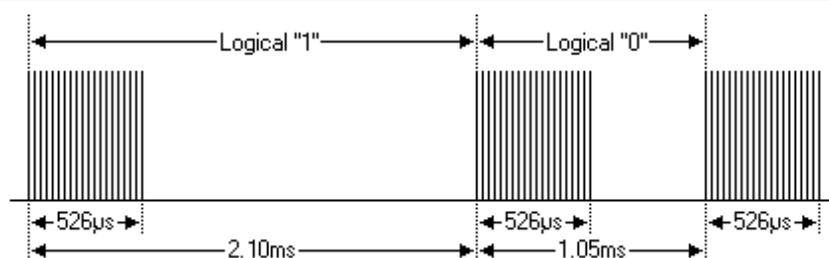


Рис. 3. Пример модуляции ИК сигнала по протоколу JVC



Рис. 4. Зашифрованный сигнал для одной из кнопок пульту ДУ

В роли приемного устройства может быть использован один из многочисленных фотоприемников. Главное, что бы его рабочая частота совпадала с частотой передачи импульсов. Для частоты 36 кГц подходят такие модели как SFH-506, TMFS5360, ILM5360 или TSOP1736. Их примерное устройство показано на рис. 5.

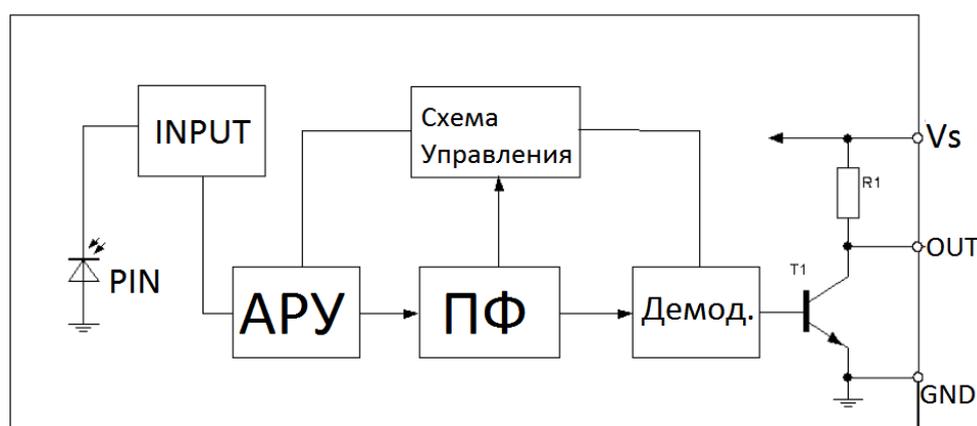


Рис. 5. Основные блоки ИК-приемника

Здесь PIN обозначает фотодатчик повышенной чувствительности, АРУ – автоматическая регулировка усиления, ПФ – полосовой фильтр, который пропускает сигнал только вблизи частоты заполнения. Демодулятор формирует выходной логический сигнал. На практике вся схема реализуется в маленьком по размеру модуле (рис. 6).

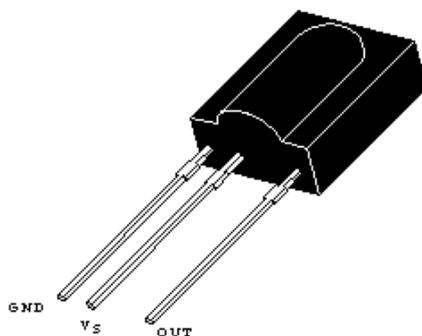


Рис. 6. Внешний вид TSOP1736

Если сигнал успешно сканирован и декодирован, то он сравнивается с заданными кодами кнопок снятия с охраны и включения сигнализации. В первом случае блок управления отключает питание сирены и переводит всю систему в режим ожидания, но продолжает следить за получением ИК сигнала. Во втором – начинает опрос датчиков и контроль других признаков тревоги.

Помимо различного набора датчиков в систему могут быть добавлены периферийные устройства, такие как тревожная кнопка (для независимого включения тревожного режима) или световые индикаторы тревоги.

Библиографический список

1. Радиолюбителям: полезные схемы. Книга 6./И.П. Шелестов. Москва: СОЛОН – Пресс, 2010. 240 с.
2. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. Учебное пособие/Р.Г. Магауенов. Москва: горячая линия – Телеком, 2004. 367 с.

УДК 681.5

А. Ю. Хромеев

студент кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Работа практически любой электронной схемы требует наличия одного или нескольких источников постоянного напряжения, причем в подавляющем большинстве случаев используется стабилизированное напряжение. Так, например, в современном портативном оборудовании используются быстродействующие микропроцессоры, имеющие большое энергопотребление и малое напряжение питания ядра, а также целый ряд других устройств, напряжение питания которых составляет 3.3...5 В. Возникает необходимость построения как понижающих, так и повышающих преобразователей напряжения [1 – 3]. Рассмотрим схему и принцип работы понижающего преобразователя (рис. 1).

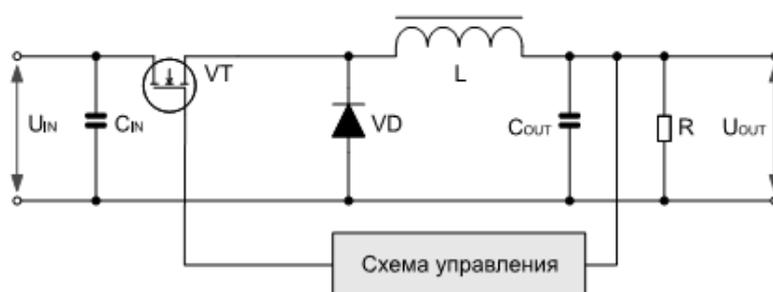


Рис. 1. Упрощенная схема силовой части понижающего преобразователя

Полевой транзистор VT осуществляет высокочастотную коммутацию тока. В импульсных стабилизаторах транзистор работает в ключевом режиме, то есть может находиться в одном из двух стабильных состояний: полной проводимости и отсечки. Соответственно, работа преобразователя состоит из двух сменяющих друг друга фаз – фазы накачки энергии (когда транзистор VT открыт) и фазы разряда (когда транзистор закрыт). Работа в этих режимах показана на рис. 2.

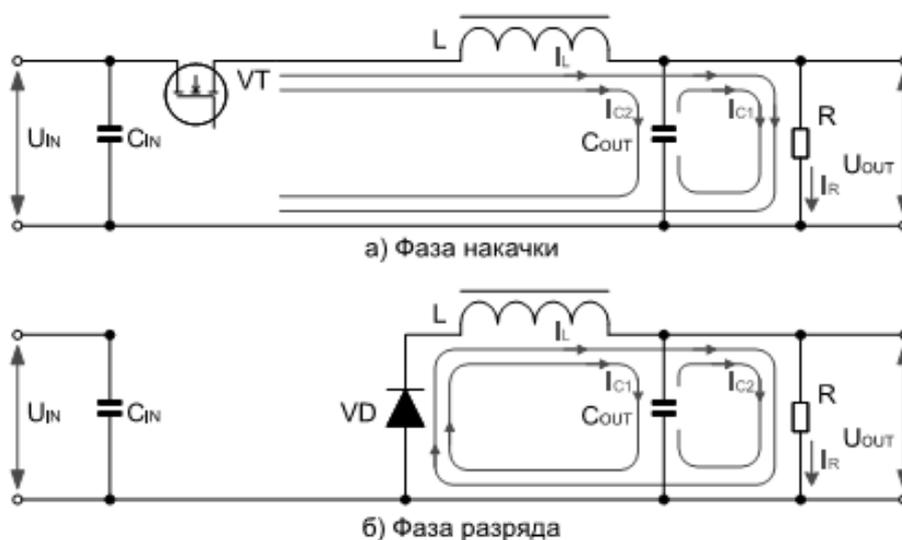


Рис. 2. Принцип работы преобразователя: а) фаза накачки; б) фаза разряда

Схему понижающего стабилизатора напряжения можно описать дифференциальными уравнениями и выразить в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L(t) \\ \dot{v}_o(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{CR_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} v_{oi}(t).$$

где V_0 – напряжение питания, когда ключ замкнут и $V_0=0$ В, когда разомкнут. Решениями этих уравнений будут являться значения тока и выходного напряжения. В исследуемом примере стабилизатора возьмем напряжение питания 20 В, а желаемое стабилизированное напряжение $V_0=10$ В. Для этого будет достаточно следующих номиналов элементов цепи: $L=100$ мкГн, $C=200$ мкФ, $R_0=2.5$ Ом. Смоделируем понижающий преобразователь в SimulinkMatLab (рис. 3).

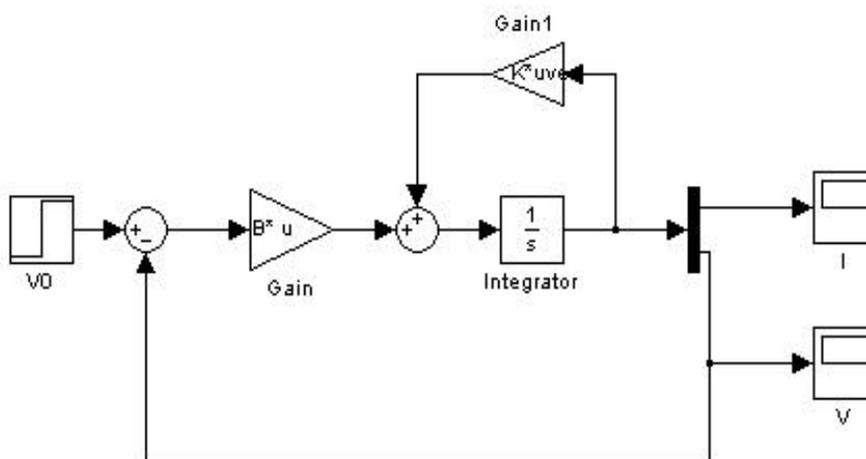


Рис. 3. Схема понижающего преобразователя напряжения в SimulinkMatLab

Как показало моделирование, исходные показатели переходных процессов по току и напряжению не являются удовлетворительными (слишком большая статическая ошибка и колебательность объекта).

В большинстве стабилизаторов используется ШИМ-регулирование, то есть, управление средним значением напряжения на нагрузке путем изменения скважности импульсов, управляющих ключом. Аналоговая ШИМ состоит из компаратора, на один вход которого подаются треугольный или пилообразный периодический сигнал со вспомогательного генератора, а на другой – модулирующий сигнал. На выходе компаратора образуются периодические прямоугольные импульсы с переменной шириной, скважность которых изменяется по закону модулирующего сигнала.

Для улучшения качества переходных процессов был рассмотрен вариант использования нечеткого логического регулятора (НЛР), управляющего ключом. НЛР в последние годы активно используются при проектировании преобразователей напряжения [4]. Процедура синтеза НЛР включает в себя задачу нечеткого лингвистического описания входов и выходов регулятора, выбора управляющих правил, масштабирующих коэффициентов на входе и выходе регулятора и стратегии дефаззификации [5].

Схема модели объекта с синтезированным НЛР, который осуществляет управление ключом, а также ШИМ представлена на рис. 4.

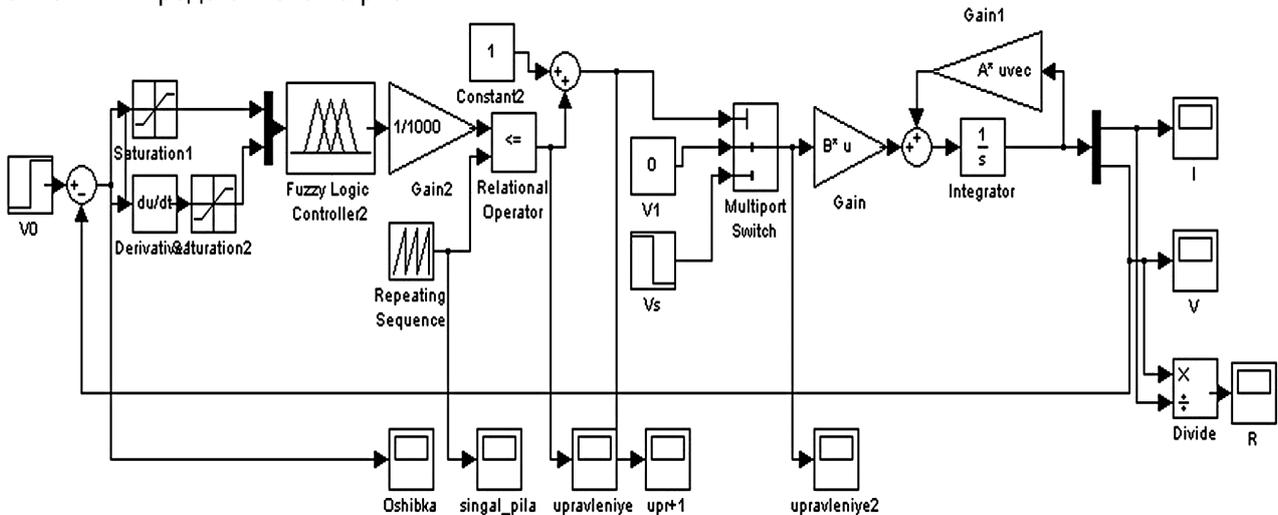


Рис. 4. Схема нечеткого регулятора с ШИМ для стабилизатора напряжения

На рис. 5 и 6 представлены графики переходных процессов по току и напряжению в системе (в момент времени $t=7.5$ мс происходит скачок напряжения с 20 В до 15 В.).

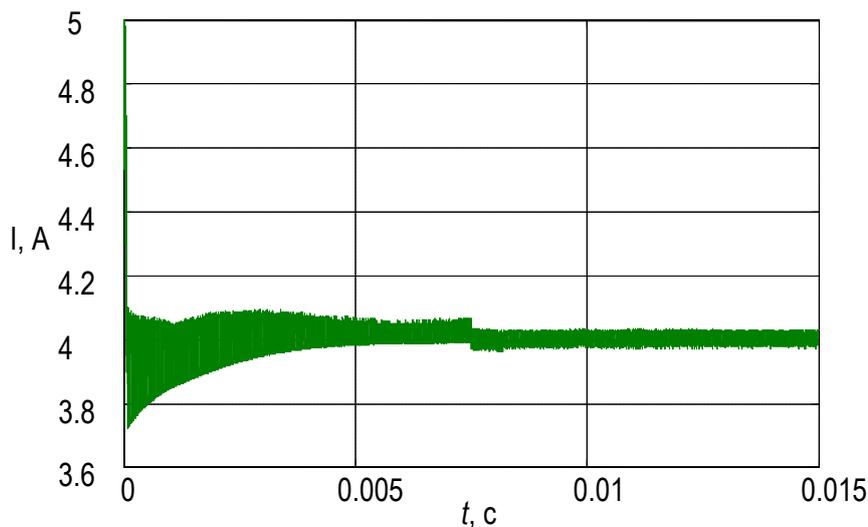


Рис. 5. График переходного процесса по току с нечетким регулятором

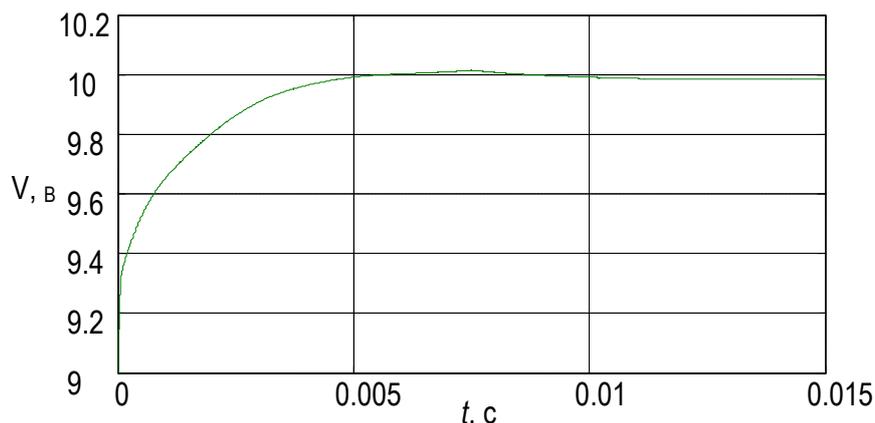


Рис. 6. График переходного процесса по напряжению с нечетким регулятором

В ходе работы было выявлено, что НЛР показывает очень хорошие результаты по подавлению колебательности в системе; уменьшению времени переходного процесса и уменьшению статической ошибки.

Библиографический список

1. Никитин А. Импульсные понижающие преобразователи //Новости электроники № 2, 2013
2. Макаренко В. Повышающие и понижающие DC/DC-преобразователи //ЭКиС – Источники питания, №2, 2011г.
3. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLABСПб., КОРОНА принт, 2001 г. 320 с.
4. Yigang Shi and P.C. Sen A New Defuzzification Method for Fuzzy Control of Power Converters 2000г.
5. Бураков, М. В. Нечеткие регуляторы: учеб. пособие / М. В. Бураков; ГУАП. СПб., 2010 г. 237с.

УДК 621.314.24:621.382.233

К. М. Чеховер

студент кафедры управления в технических системах

А. А. Ефимов

д-р техн. наук, проф. – научный руководитель

АВИАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Современные летательные аппараты (ЛА) имеют в своем арсенале большое количество агрегатов, машин и приборов, при помощи которых осуществляется автоматическое и автоматизированное управление рулевыми поверхностями, шасси, силовой установкой, вооружением, средствами связи и навигации, радиолокации, системами жизнеобеспечения экипажа и пассажиров и т.п.

В настоящее время в авиации находит применение системы электроснабжения (СЭС) переменного трехфазного тока 115/200 В постоянной частоты 400 Гц с полупроводниковым преобразователем частоты. В качестве полупроводникового преобразователя в них первоначально использовались циклоконверторы – полупроводниковые тиристорные преобразователи переменного тока. С развитием

элементной базы силовых полупроводниковых приборов появилась возможность замены циклоконверторов на транзисторные ПЧ. Это обстоятельство позволило делать систему электроснабжения более гибкой, надежной и управляемой [1].

Наилучшими удельными массогабаритными показателями обладают магнитоэлектрические генераторы (МЭГ) [1–3], что и предопределяет их преимущественное применение в авиации. Применение МЭГ в системах электроснабжения совместно с силовыми полупроводниковыми преобразователями позволяет создавать авиационные системы генерирования электроэнергии (СГЭ) мощностью до нескольких сотен киловатт с высокими массогабаритными и энергетическими показателями. Этому способствуют достижения в создании высокоэнергетических постоянных магнитов, а также успехи в области силовой полупроводниковой электроники и микропроцессорной техники. В авиационных системах привод МЭГ осуществляется непосредственно от высокоскоростного авиадвигателя без применения привода постоянной частоты вращения, который имеет невысокие энергетические и эксплуатационные показатели.

Одним из перспективных для СГЭ повышенной мощности является генератор со слоистой структурой индуктора [2], в котором для обеспечения прочности ферромагнитные листы пакета ротора чередуются с немагнитными вставками из высокопрочного материала, например из титана. Такая конструкция ротора МЭГ допускает окружные скорости на его внешнем диаметре до 250 м/с. Это позволяет создавать МЭГ мощностью до несколько сотен киловатт при небольшой относительной длине электрической машины, с хорошими условиями охлаждения и высокими массогабаритными и энергетическими показателями. В [2] указывается, что при максимальной скорости вращения МЭГ 14000 об/мин, можно выполнить генератор на мощность 360 кВт при удельной активной массе 0,08 кг/кВт, а при 24000 об/мин – на мощность 400 кВт при удельной мощности 0,06 кг/кВт. При этом силовые полупроводниковые преобразователи должны обеспечивать необходимое качество электроэнергии во всем диапазоне изменения частоты вращения МЭГ.

Традиционные системы электроснабжения летательных аппаратов (по роду тока и напряжения первичных систем) подразделяются на четыре основных типа [4]:

- постоянного тока низкого напряжения 27 В;
- постоянного тока высокого напряжения 270 В;
- переменного трехфазного тока 115/200 В переменной частоты от 360...800 Гц;
- переменного трехфазного тока 115/200 В стабильной частоты 400 Гц.

Допускается применение системы переменного тока с двойным номинальным напряжением 230/400 В постоянной частоты 400 Гц или переменной частоты 360...800 Гц.

Системы электроснабжения переменного тока выгодно характеризуются следующими качествами:

- меньшей массой системы из-за меньшей массы сети (повышенное напряжения), (большие частоты вращения электрических машин и отсутствие коллектора) и коммутационных аппаратов (меньше ток и более легкие гашения дуги);
- простотой преобразования переменного тока в постоянный и переменный ток другого уровня напряжения;
- высокой надежностью при работе в высотных условиях;
- отсутствием коррозии мест крепления проводников к корпусу.

Большинство СЭС современных летательных аппаратов должны, как правило, обеспечивать следующие виды напряжения:

- постоянного тока 270 В для питания электроприводных устройств и системы запуска силовой установки;
- переменного тока 200/115 В частотой 400 Гц для питания большей части авиационного и радиоэлектронного оборудования;
- постоянного тока 27 В для энергообеспечения традиционных потребителей, которые целесообразно переводить на питание переменным током или постоянным током повышенного напряжения.

Один из вариантов реализации современной СЭС представлен на рис. 1.

В узле генерирования такой системы находится генератор переменного тока переменной ча-

сты (Г~), приводящийся от авиадвигателя (АД) через редуктор (Р) и работающий на управляемый выпрямитель (УВ). УВ представляет собой блок, построенный на управляемых элементах полупроводниковой техники – тиристорах. Правильное управление тиристорами позволяет добиться нужного уровня напряжения, имеющего, однако, пульсирующий характер. Для сглаживания пульсаций выходного напряжения предусмотрено использование фильтрующих элементов.

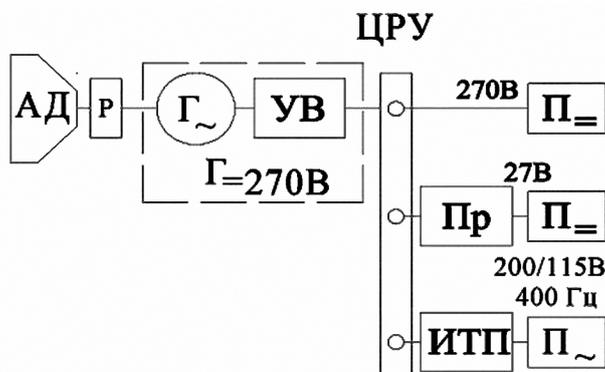


Рис. 1. Блок-схема канала генерирования СЭС

Потребители переменного тока и постоянного тока напряжением 27 В питаются через преобразователи: понижающий конвертор (Пр) и инверторный тиристорный преобразователь (ИТП).

В работе будет рассмотрена СГЭ третьего типа, функциональная схема которой представлена на рис. 2 [5].

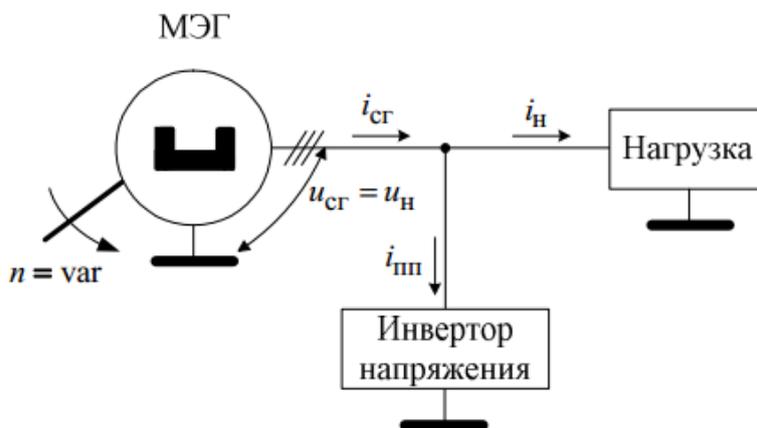


Рис. 2. Структурная схема СГЭ переменного тока переменной частоты

Преимуществом такого построения СГЭ переменной частоты является возможность регулирования выходного напряжения за счет реакции якоря в МЭГ. В этом случае за счет реакции якоря происходит увеличение или уменьшение суммарного магнитного потока МЭГ. В структуре системы имеется МЭГ и полупроводниковый преобразователь (ПП) на базе автономного инвертора напряжения (АИН), работающего в обращенном режиме, реализующий функцию генерирования дополнительного реактивного тока. Этот ПП работает в качестве компенсатора реактивной мощности [6]. В зависимости от фазы этого тока, выходное напряжение на зажимах генератора может быть увеличено либо уменьшено. Кроме того, такой способ подключения инвертора напряжения позволяет компенсировать гармонический состав генерируемого напряжения.

Можно выделить еще ряд преимуществ такой структуры СЭС по сравнению с системами перво-

го, второго и четвертого типов:

- токи короткого замыкания, вызванного нагрузкой, минуют полупроводниковый преобразователь, что значительно снижает требования к надежности и ресурсу всей системы. Кроме того, снижается и габаритная мощность преобразователя;
- возможность реализации стартер-генератора для запуска маршевого двигателя летательного аппарата от бортовой сети во время полета;
- возможность компенсации высокочастотных составляющих, как в токе нагрузки, так и в генерируемом напряжении, то есть непосредственное воздействие на качество электрической энергии, отражающееся в увеличении энергетической эффективности.

Таким образом, такой вариант построения СГЭ переменного тока переменной частоты является весьма перспективным, базирующимся на параллельном подключении к нагрузке полупроводникового преобразователя и магнитоэлектрического генератора. Такая СГЭ может обеспечить высокое качество генерируемой электрической энергии в широком диапазоне частот вращения вала генератора.

В соответствии с [5] можно определить три возможных сценария проектирования параметров СГЭ и способов управления, которые удобно пояснить с помощью рис. 3.

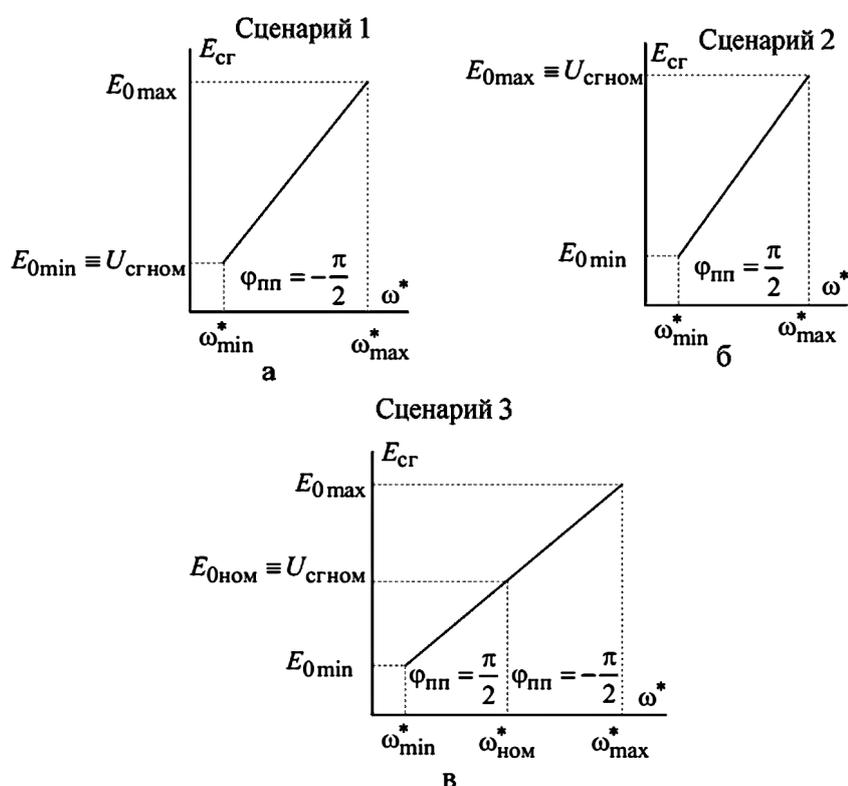


Рис. 3. Три способа проектирования СГЭ

При реализации сценария 1 (рис. 3,а) номинальный режим МЭГ по напряжению (при котором отсутствует воздействие от преобразователя $I_{пп}^* = 0$) выбирается в начале диапазона изменения частоты вращения (n_{min}), что соответствует минимальной частоте напряжения МЭГ (ω_{min}), а ток нагрузки принимает максимальное значение ($I_n^* = max$). В этом случае ПП генерирует по отношению к напряжению МЭГ индуктивный характер тока ($\varphi_{пп} = -\pi/2$) во всем диапазоне частот генерирования. Величина этого тока возрастает с увеличением скорости вращения и изменяется при варьировании величины и характера тока нагрузки.

При реализации сценария 2 (рис. 3,б) номинальный режим МЭГ по напряжению выбирается в конце диапазона изменения частоты вращения (n_{max}), что соответствует максимальной частоте напряжения МЭГ (ω_{max}). В этом случае ПП генерирует по отношению к напряжению МЭГ емкостной характер

тока ($\varphi_{\text{пп}} = \pi/2$). Величина этого тока возрастает с уменьшением частоты вращения и изменяется при варьировании величины и характера тока нагрузки.

Сценарий 3 (рис. 3,в) представляет собой обобщенный из предыдущих двух вариантов построения СГЭ, когда МЭГ и ПП проектируются из условия обеспечения номинального режима системы по нагрузке не на границах, а внутри диапазона изменения частоты вращения вала. В этом случае ПП в диапазоне частот ниже номинальной генерирует емкостной ($\varphi_{\text{пп}} = \pi/2$) по отношению к напряжению МЭГ характер тока $I_{\text{пп}}$, а в диапазоне выше номинальной генерирует индуктивный по отношению к напряжению МЭГ характер тока ($\varphi_{\text{пп}} = -\pi/2$).

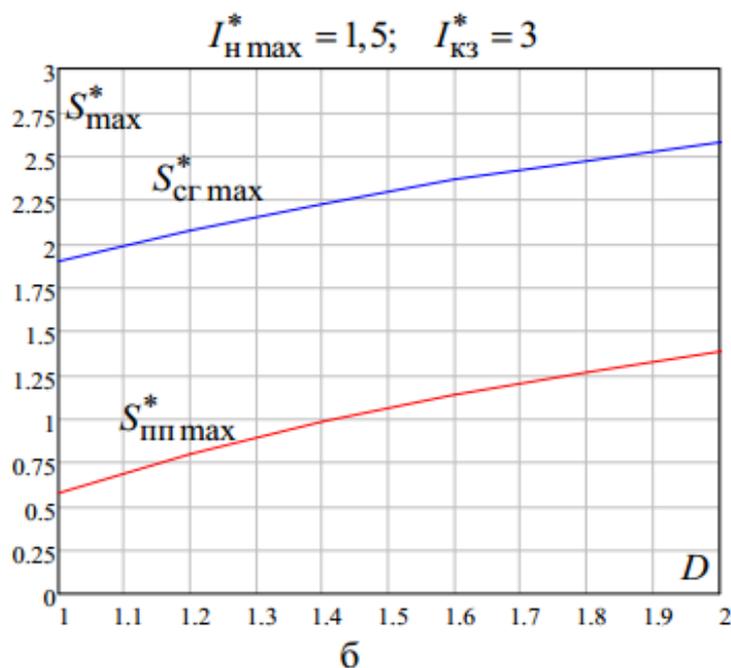
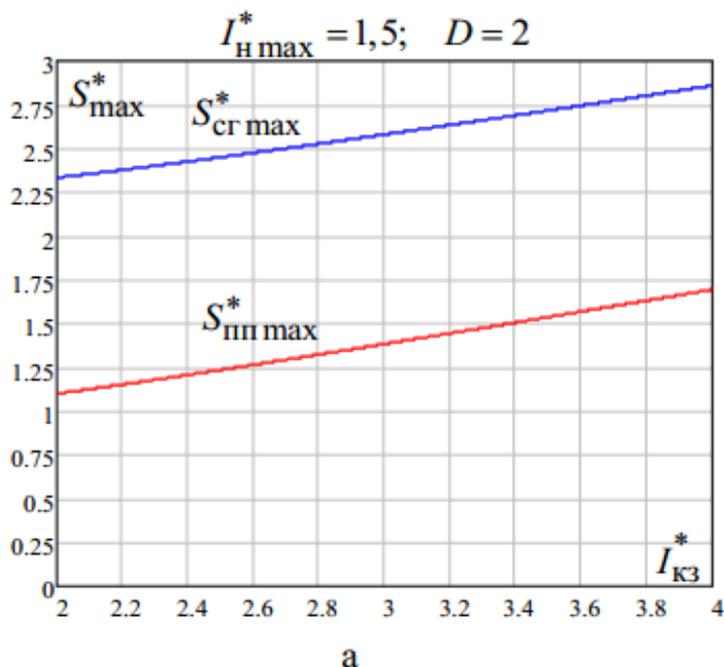


Рис. 4. Зависимости максимальных значений полной мощности МЭГ и ПП

На рис. 4 приведены характеристики, отражающие максимальное значение полной мощности ПП и МЭГ в двойном диапазоне изменения вращения вала генератора при различном характере

нагрузки и третьем сценарии проектировании СГЭ.

Из этих графиков следует, а также из результатов расчетов для тока $I_{кз}^* = 3$ и $D = 2$ установленные мощности будут иметь значения $S_{сг\ max}^* = 2,58$, $S_{пп\ max}^* = 1,38$.

В дальнейшем в работе предполагается разработать математическое описание рассматриваемой СГЭ, для которого создать компьютерную программу в среде Matlab/Simulink, с помощью которой провести исследование динамических и энергетических характеристик системы электроснабжения.

Заключение

В работе рассмотрены принципы построения авиационных систем электроснабжения.

Показана возможность стабилизации напряжения магнитоэлектрического генератора при переменной величине нагрузки за счет параллельного подключения полупроводникового преобразователя, работающего в качестве компенсатора реактивной мощности.

Рассмотрено три различных сценария построения авиационной системы генерирования электроэнергии.

Библиографический список

1. Гарганеев, А.Г. Перспективные системы электроснабжения самолета с полностью электрофицированным оборудованием/А.Г. Гарганеев, С.А. Харитонов//Доклады ТУСУРа. Томск: Изд-во ТУСУР. № 2(20), 2009. - С. 185-192.
2. Проектирование генератора с редкоземельными магнитами в системе электроснабжения летательных аппаратов/А.В. Левин, Д.В. Левин, Э.Я. Лившиц, Б.С. Зечихин. Электричество. № 10, 2009. - С. 41-47.
3. Харитонов, С.А. Система «синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов - активный выпрямитель» (математическая модель)/С.А. Харитонов. Электротехника. № 12, 2009. - С. 33-41.
4. ГОСТ Р 54073-2010 Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. Дата введения: 01.01.2011.
5. Стабилизация напряжения синхронного генератора с постоянными магнитами при переменной нагрузке/С.А. Харитонов, Д.В. Коробков, Д.В. Макаров, А.Г. Гарганеев//Доклады ТУСУРа. Томск: Изд-во ТУСУР. № 1(25), 2012. - С. 139-146.
6. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: Учебное пособие./Г.С. Зиновьев// Новосибирск: Изд-во НГТУ. Изд. 2-е, испр. и доп, 2003. – 664 с.

УДК 681.5

И. М. Чураков

студент кафедры управления в технических системах

М. В. Бураков

канд. техн. наук, доц. – научный руководитель

КРУИЗ-КОНТРОЛЬ

Круиз-контроль это термин, используемый для описания системы управления, которая регулирует скорость автомобиля. Круиз-контроль был коммерчески введен в 1958 г. в качестве опции на ChryslerImperial. Основные операции контроллера для определения скорости транспортного средства, сравнить эту скорость с желаемой, а затем ускорения или замедления автомобиля по мере необходимости. На рис. 1 показана блок-схема этой системы обратной связи.

Простой алгоритм управления для регулирования скорости дает использование обратной связи. В этом алгоритме, мы выбираем угол дроссельной заслонки, как основу для управления [1, 2].

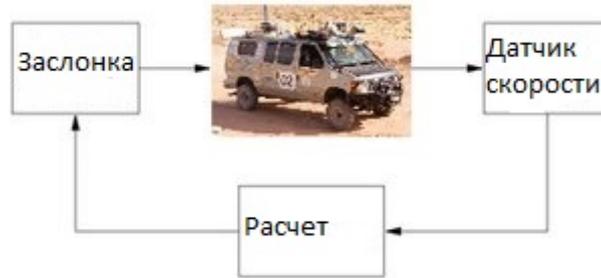


Рис. 1. Система управления скоростью

Сюжет показывает результаты этой обратной связи со ступенчатым изменением требуемой скорости и множеством различных масс для автомобиля (это может возникнуть в результате, изменения количества пассажиров или буксировке прицепа). Обратите внимание, что переходный процесс зависит от массы, но постоянная скорость транспортного средства всегда приближается к желаемой скорости и достигает этой скорости в течение примерно 5 секунд. Таким образом, производительность системы является надежной по отношению к этой неопределенности.

Чтобы разработать математическую модель, мы начинаем с баланса сил для кузова автомобиля. Пусть v – скорость автомобиля, m – общая масса (включая пассажиров), F – сила, порожденная контактом колес с дорогой, и F_d – сила земного притяжения, трения и аэродинамического сопротивления. Уравнение движения автомобиля простое:

$$m \frac{dv}{dt} = F - F_d.$$

Сила F генерируется двигателем, чей крутящий момент пропорционален скорости впрыска топлива, которое само по себе пропорционально сигналу управления

$$0 \leq u \leq 1.$$

Сигнал контролирует положение дроссельной заслонки. Крутящий момент также зависит от частоты вращения двигателя ω . Простое представление крутящего момента при полностью открытой дроссельной заслонке дается кривой крутящего момента:

$$T(\omega) = T_m \left(1 - \beta \left(\frac{\omega}{\omega_m} - 1 \right)^2 \right),$$

где максимальный крутящий момент T_m получается при частоте вращения двигателя ω_m . Типичные параметры $T_m = 190 \text{ Нм}$, $\omega_m = 420 \text{ рад/с}$ и $\beta = 0.4$.

Пусть n – передаточное отношение и r – радиус колеса. Частота вращения двигателя связана со скоростью посредством экспрессии:

$$\omega = \frac{n}{r} v = a_n v,$$

и движущая сила может быть записана в виде:

$$F = \frac{nu}{r} T(\omega) = a_n u T(a_n v).$$

Типичные значения a_n для передач с 1 по 5 являются $a_1 = 40$, $a_2 = 25$, $a_3 = 16$, $a_4 = 12$ и $a_5 = 10$. Физический смысл a_n – эффективный радиус колеса.

Сила F_d состоит из трех основных компонентов: F_g – сила земного притяжения; F_r – сила из-за трения качения; F_a – аэродинамическое сопротивление.

Пусть уклон дороги θ , гравитация дает силу

$$F_g = mgsin\theta.$$

Простая модель трения качения:

$$F_r = mgC_r sgn(v),$$

где C_r – коэффициент трения качения и $sgn(v)$ является признаком v .

Типичным значением для коэффициента трения качения является $C_r = 0.01$.

Наконец, аэродинамическое сопротивление пропорционально квадрату скорости:

$$F_a = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2,$$

где ρ – плотность воздуха, C_d – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления и A – площадь лобовой поверхности автомобиля. Типичные параметры: $\rho = 1.3 \text{ кг/м}^3$, $C_d = 0.32$ и $A = 2.4 \text{ м}^2$.

Модель системы управления, собранная в MatlabSimulink, показана на рис. 2.

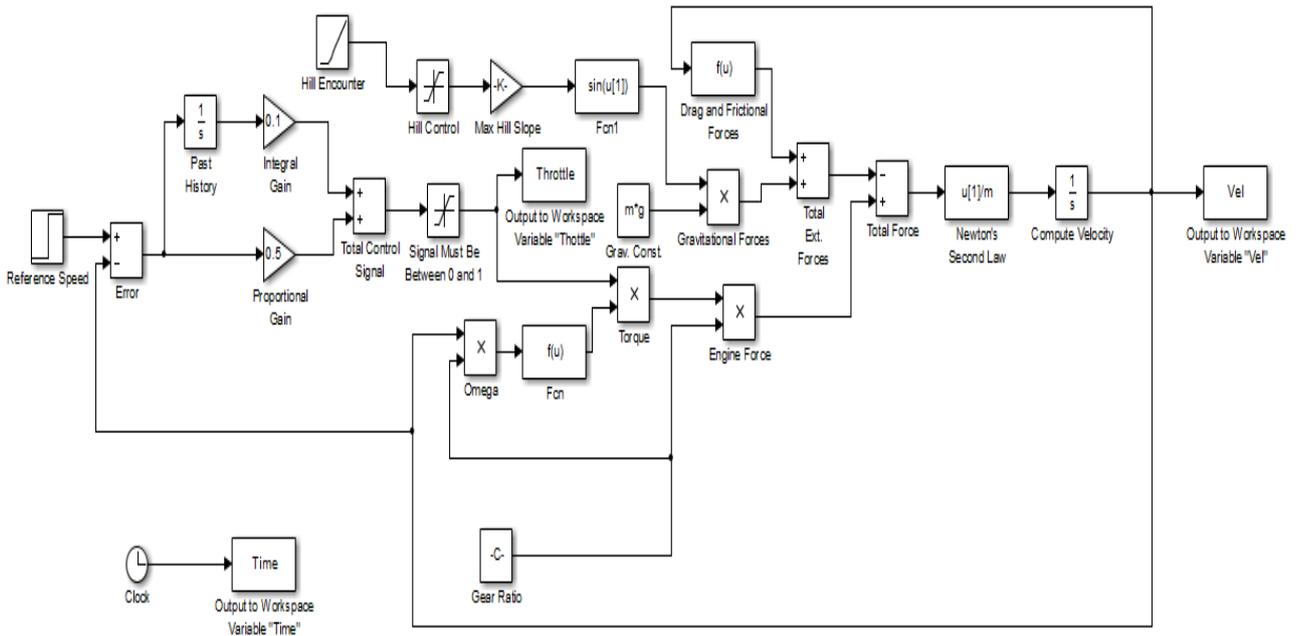


Рис. 2. Блок-схема в SimulinkMatlab

На рис. 3 приведены результаты моделирования работы системы управления.

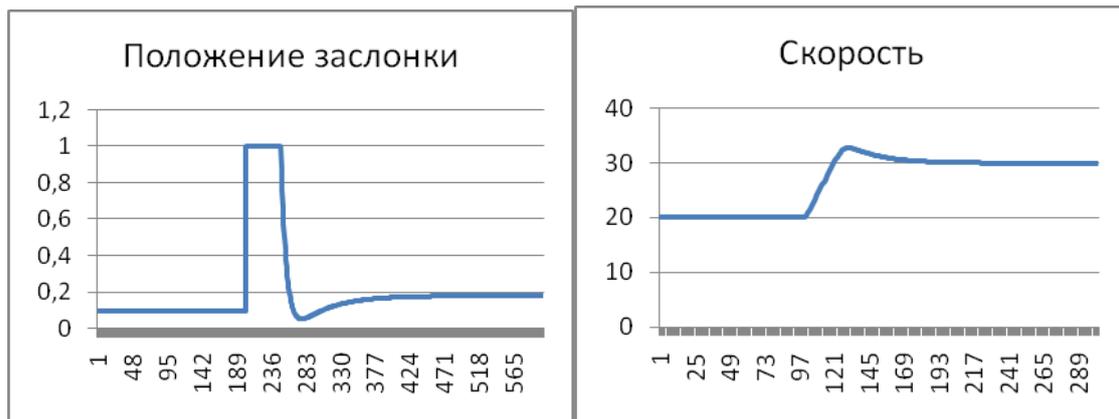


Рис. 3. Моделирование работы системы

Таким образом, автоматическая система круиз-контроля отличается простотой и может обеспечить качественное управление скоростью автомобиля.

Библиографический список

1. Хачиян А.С. и др. Двигатели внутреннего сгорания. М.: Высш. шк., 2007.
2. Cruise Control Case by Mark Wickert from Signals and Systems, 2013.

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

Аполинаров А. С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK НА ОСНОВЕ СПЕКТРОВ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ.....	3
Бороян В. Г. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА.....	6
Бороян В. Г. ИСПЫТАНИЯ ОБМОТОК МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА НА НАДЕЖНОСТЬ.....	10
Василюк Д. В. УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНОЙ ПОДВЕСКОЙ АВТОМОБИЛЯ	14
Волкодаев В. А. УПРАВЛЕНИЕ ДОРОЖНЫМ ПРОСВЕТОМ АВТОМОБИЛЯ	17
Грегулева Я. В. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В АВТОМОБИЛЕ	20
Жаворонков С. Г. ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ RLC-ЦЕПИ.....	22
Жарков Д. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK	24
Зайцев А. А. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГИРОДИНОМ	27
Зимин А. Ю., Федяевс А. А. РАЗРАБОТКА БЛОКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОДЧИНЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ	30
Зимин А. Ю. РАСЧЕТ КОНТУРА ТОКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОДЧИНЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ	33
Иванов П. О. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ	36
Игнатъева А. А., Желудева К. В. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТОКОВ СВЯЗЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	39
Ичетовкин Е. А. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ. ГЛАВНАЯ Понижающая подстанция	43
Ковалева Е. А. ПРИЛИВНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ	48
Козлов М. Д. РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ДИСКОВОГО ТИПА.....	52
Конюшков Н. А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОМ	56
Кравченко И. А. Разработка имитационной модели терминала порта в среде AnyLogic	59
Лавров Е. В. Нечеткий регулятор для управления работой ПОРТАЛЬНОГО КРАНА	62
Лапушкин А. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА В ELCUT	68
Ледкова А. В. НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОМ.....	76
Ледкова А. В. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПАРКОВКИ АВТОМОБИЛЯ.....	80
Лосев Е. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА СУДНЕ.....	83
Малахова М. В. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ШАРООБРАЗНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ СКОРОСТИ СУДНА.....	86
Михайлов П. А. ПРОБЛЕМЫ КИБЕРНЕТИКИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	88
Можаева В. В. А ЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДЛИНЫ СИЛОВОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.....	91

Омельченко А. А. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РАДИОБУЕМ	94
Острова О. В., Шералиев В. В. УЧЕТ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ МОДАЛЬНОМ СИНТЕЗЕ...	97
Паламарчук М. В. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА В УЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ	101
Резванов Г. С. АВИАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	105
Рублевский Р. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK.....	109
Рыбкин К. В. КОНТЕКСТНЫЙ ПОИСК ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КОХОНЕНА	112
Сафронов И. А. УСТРОЙСТВО И ИЗГОТОВЛЕНИЕ РОТОРА С ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТЗВ-1200-2 ДЛЯ АЭС.....	116
Семенов Ю. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK.....	118
Трофимов М. В. МЕТОД ЛАТЕНТНО-СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ТЕРМИНОВ В ДОКУМЕНТАХ	122
Тютюнова Л. С. ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	126
Тютюнова Л. С. МЕТОД АЛГЕБРАИЧЕСКОГО ИНВАРИАНТА В ПОСТРОЕНИИ БЛОКА КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	129
Федяевс А. ОХРАННАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ С ИНФРАКРАСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	133
Хромеев А. Ю. НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ	136
Чеховер К. М. АВИАЦИОННАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	139
Чураков И. М. КРУИЗ-КОНТРОЛЬ.....	144

Научное издание

ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ '14

Молодежная секция

Сборник докладов

Ответственный за выпуск:

Ответственный секретарь *В. Н. Соколова*

Материалы публикуются в авторской редакции
Подготовка к печати *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 26.11.14. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,9. Тираж 1€0 экз. Заказ № 598

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67