

# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 629.78.05

**С. И. Артамонов** – магистрант кафедры микро– и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**Д. К. Шелест** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

## **ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ**

Актуальность данной работы заключается в необходимости максимально автоматизировать и ускорить процесс лабораторных измерений удельной обнаружительной способности фотоприемных устройств (ФПУ) [2].

Объектом исследования является стенд для измерения характеристик ФПУ. Стенд предназначен для формирования образцовых излучений с помощью «абсолютно черного тела», создания условий максимальной чувствительности фотоприемников, заключающихся в создании вакуума и предельно низких температур, реализуемых с помощью гелиевого криостата, электронной системы снятия, измерения выходных сигналов ФПУ, проверки и определения основных параметров ФПУ. Структура стенда напрямую зависит от конструкции ФПУ.

Известны следующие типы конструкций ФПУ [1]: одноэлементные ФПУ; линейные ФПУ; матричные ФПУ.

В данном случае рассматривается задача разработки стенда для контроля параметров линейных ФПУ. Сдвоенные линейки фоточувствительных элементов, сдвинутые на полшага, обеспечивают регистрацию точечной цели, предотвращая попадания излучения в зазор между фоточувствительными элементами.

Любые многоэлементные ФПУ имеют разброс параметров отдельных фоточувствительных элементов, поэтому при проверке на стенде возникает необходимость скорректировать разброс параметров отдельных приемников в ФПУ и определить поправочные коэффициенты для каждого фоточувствительного элемента.

Предметом исследования являются различные методы регистрации измеряемых параметров, различные схемы обработки информации. Параллельное или последовательное считывание данных с фотоприемников, фильтрация, оцифровка и обработка результатов.

Целью исследования является повышение производительности процесса контроля, путем автоматизации процесса измерения удельной обнаружительной способности ФПУ.

В настоящее время измерения проводятся практически вручную, что сильно увеличивает вероятность ошибки, снижает точность и занимает много времени. Автоматизация процесса позволит резко сократить время полной проверки ФПУ, снизит вероятность ошибки и влияние «человеческого фактора», повысит объективность контроля.

Анализ известных методов контроля многоэлементных ФПУ [1–3] позволяет, для достижения поставленных задач, сформировать несколько возможных путей реализации структуры стенда для измерения характеристик ФПУ.

1. Структурная схема стенда, соответствующего описанному в ГОСТ 17772-88, для определения удельной обнаружительной способности ФПУ представлена (рис. 1). В каче-

стве источника излучения, в соответствии с ГОСТ 17772-88 выступает абсолютно черное тело (АЧТ), нагретое до температуры  $(500 \pm 2) \text{K}$ . Излучение от АЧТ проходит через модулятор, представляющий собой вращающийся диск с диафрагмами прямоугольной формы [2], и попадает на входное окно ФПУ. Выходы ФПУ подключаются к предусилителям [2], с выходов которых сигнал поступает на регистрирующее устройство, где производятся расчеты всех необходимых параметров и протоколирует результаты измерений.

В связи с этим имеется три возможных варианта реализации регистратора, как блока отвечающего за автоматизированную работу стенда и обработку данных.

Первый вариант регистратора предполагает использование персонального компьютера (ПК) со специальной программой, что снижает мобильность системы. Так же в данном случае будет необходимо наличие платы расширения, подключаемой к ПК для организации интерфейса между предусилителями и ПК.

Второй вариант предполагает применение микроконтроллера. В данном случае система получает автономность и мобильность, недоступную при первом варианте реализации.

Вся обработка и управление узлами стенда будет проводиться непосредственно с микроконтроллера., а результаты измерений могут сохраняться на FLASH-памяти, в удобном для визуализации виде, например в виде таблицы или текстового файла.

Третий вариант регистратора предполагает использование программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Данная реализация имеет все преимущества предыдущего варианта, однако возможности по параллельной цифровой обработке сигналов, в совокупности с реализацией управляющего микроконтроллерного ядра в виде soft-процессорного модуля внутри ПЛИС позволяют более гибко подойти к обработке данных.

Достоинством данной реализации стенда является возможность параллельного измерения характеристик всех элементов многоэлементного ФПУ. Однако вместе с тем имеется ряд недостатков. В данном случае блок предусилителей представляет собой

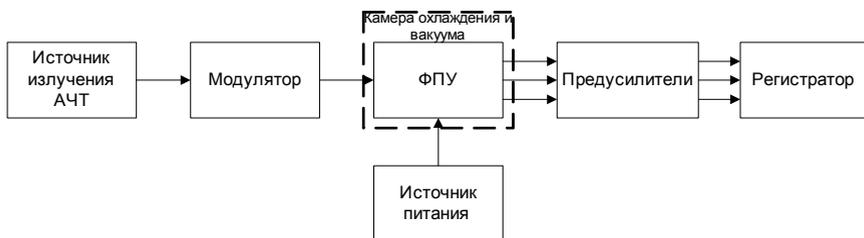


Рис. 1. Структурная схема стенда с многоканальным контролем обнаружительной способности ФПУ



Рис. 2 Структурная схема стенда одноканального контроля обнаружительной способности ФПУ с коммутацией выходов ФПУ на предусилитель

N отдельных каналов, где N – это количество элементов в ФПУ. Для ФПУ содержащего 512 элементов, использование такого блока может оказаться нерациональным, а так же может внести дополнительные погрешности в измерения, в связи с наличием большого числа паразитных параметров и их разбросов.

2. Возможно другое представление структурной схемы стенда, когда выходные сигналы ФПУ будут коммутироваться на вход единственного предусилителя с помощью специального коммутатора. Структурная схема стенда представлена на рис. 2.

Достоинством данной реализации являются: относительно низкие аппаратные затраты и обработка всех сигналов одним предусилителем, что несомненно исключает влияние разброса параметров на результаты измерений. В данной реализации регистратор управляет блоком коммутации чтобы коммутировать аналоговые сигналы на предусилитель по очереди.

К недостаткам следует отнести появление переходных процессов в аналоговых коммутаторах, погрешности вносимые коммутаторами, большее, по сравнению с первым вариантом время проведения измерений и жесткая привязка предусилителя к определенной частоте пропускания. Последний недостаток полностью исключает возможность получения достоверных результатов измерений, при частоте модуляции сигнала, отличающейся от номинальной, на которую настроен предусилитель.

3. Третий вариант структурной схемы стенда предполагает использование вместо простой схемы предусилителя на основе операционного усилителя, более гибкого и универсального дискретно-аналогового интегратора (ДАИ) [3].

В случае использования ДАИ, структурная схема стенда примет вид, показанный на рис. 3. В данной реализации ДАИ выполняет одновременно функции предусилителя с изменяемой под действием управляющих сигналов емкостью конденсатора в цепи обратной связи операционного усилителя и АЦП с управляемым блоком цифровой фильтрации. Все это в свою очередь требует управления от регистратора (ЭВМ).

Данная реализация сохраняет все достоинства и недостатки предыдущего варианта, однако преимуществом данного варианта является возможность программной перенастройки ДАИ, для изменения полосы пропускания усилителя. При такой реализации блок предусилителей не будет жестко связан с определенной частотой модуляции сигнала, а будет программным путем перенастраиваться под требуемую частоту, задаваемую модулятором. Это позволит создать гибкую систему, в виде отдельного устройства подключаемого к ФПУ, позволяющую в кратчайшие сроки перенастраивать стенд в том случае, если был изменен модулятор, или если ФПУ был установлен в другой лаборатории с другими характеристиками АЧТ и/или модулятора.

В заключение нужно отметить, что создание универсального и мобильного стенда для измерения обнаружительной способности многоэлементных ФПУ с возможностью быстрой перенастройки определяет необходимость использования программно-управляемых микросхемами ПЛИС блоков коммутации и ДАИ. Поэтому как наиболее подходящий для решения конкретной задачи, для реализации выбирается третий вариант стенда. Использование микроконтроллера или ПЛИС в регистраторе позволяет



Рис. 3 Схема стенда одноканального контроля обнаружительной способности ФПУ с коммутацией выходов ФПУ на предусилитель, реализованный на ДАИ

создать не только более гибкую систему, но и упрощает сам процесс разработки, реализуя идеи концепции системы на кристалле. Такой подход выглядит наиболее перспективным, и позволяет реализовать всю обработку показаний ФПУ в одном компактном и мобильном блоке.

#### Библиографический список

1. Формозов Б. Н. Аэрокосмические фотоприемные устройства видимого и инфракрасного диапазонов: учеб. пособие, изд. 2-е, перераб. и доп. / Б. Н. Формозов. СПб.: СПбГУАП, 2004. 128 с.
2. ГОСТ 17772-88. Приемники излучения полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик. М.: Издательство стандартов, 1988. 64 с.
3. Texas Instruments Incorporated. 20-Bit Analog-to-Digital Converter <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/dcc101.pdf>.

УДК 629.735.33

**А. В. Беляев** – студент кафедры электротехники и технической диагностики

**М. В. Пронин** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

**А. Г. Воронцов** (канд. техн. наук) – научный руководитель

### СИСТЕМА ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ С ДВИГАТЕЛЕМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

В системах электродвижения (СЭД) судов и кораблей используются гребные двигатели на постоянных магнитах (ДПМ). Эти машины имеют на 1–2% более высокий КПД, чем машины других типов, не содержат обмоток на роторе и поэтому могут быть выполнены погружными. Для них не требуются возбудители. ОАО «Силовые машины» [1–6], разрабатывают системы с ДПМ, в таких системах для регулирования ДПМ используются, как правило, полупроводниковые преобразователи (ПП). Если питание СЭД осуществляется от низковольтного источника постоянного напряжения, то при большой мощности установки ПП выполняются при параллельном включении преобразовательных элементов. При этом в ДПМ для уменьшения токов фаз обмотки статора выполняются многофазными.

Структурная схема СЭД с многофазным ДПМ и многоканальным ПП, мощностью несколько мегаватт представлена на рис. 1. В СЭД двигатель имеет 6 трехфазных обмоток, взаимно сдвинутых по фазе на угол 10 эл. град. ЭДС фаз ДПМ имеют трапецеидальную форму. Каждая обмотка двигателя получает питание по индивидуальному каналу электроснабжения. В каждом канале имеются 4-тактный широтно-импульсный преобразователь и двухтактный АИН.

Управление СЭД осуществляется по схеме рис. 2.

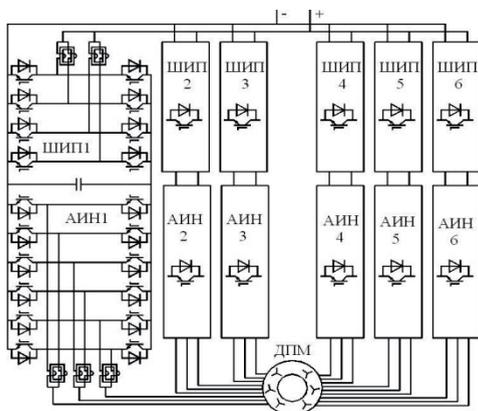


Рис. 1. СЭД с многоканальным ПП и многофазным ДПМ

Система управления (СУ) включает в себя ПИ-регулятор скорости ДПМ, задатчик токов и П-регуляторы токов в каждой фазе всех АИН. Скорость вращения ДПМ  $\omega_{rcs}$  задается. Регулятор скорости, контролируя заданную и фактическую скорости  $\omega$ , формирует экстремум  $I_m$  заданных токов фаз АИН, который подается на вход задатчика токов. При использовании сигнала по заданному сдвигу токов относительно ЭДС возбуждения  $\phi_E$ , а также сигналов по взаимным сдвигам токов в различных обмотках ДПМ  $\phi_m$ , на выходе задатчика токов формируются заданные мгновенные значения токов фаз АИН  $i_{rjlm}$ . Напряжения управления АИН определяются как суммы «токовых»  $u_{yinjlm}$  и «гладких»  $u_{yunjlm}$  составляющих. «Токовые» составляющие напряжений управления формируются П-регуляторами токов. Компоненты  $u_{yunjlm}$  формируются фильтром напряжений управления (фильтрация основана на формировании трехфазной системы единичных сигналов, подстройке их частоты и определении амплитуды основных составляющих напряжений управления).

Для исследования изменения характеристик СЭД была разработана математическая модель многофазного ДПМ и системы его питания [1]–[6] методами моделирования сложных систем по взаимосвязанным подсистемам [2]. Далее осуществляется

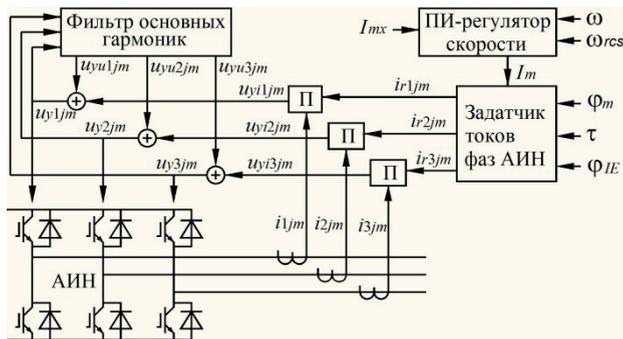


Рис. 2. Структурная схема СУ в осях фаз АИН

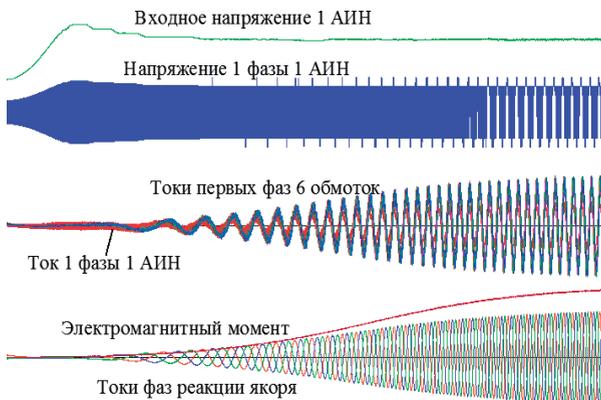


Рис. 3. Компьютерная модель электропривода, режим работы – пуск

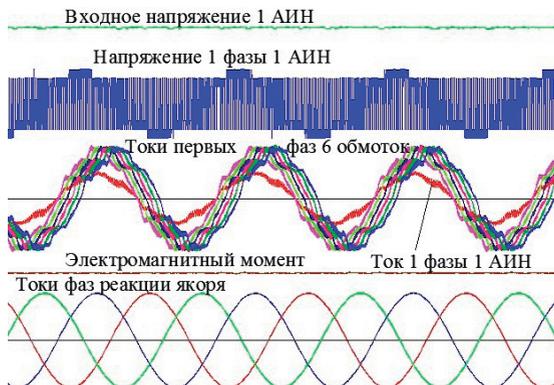


Рис. 4. Компьютерная модель электропривода, фрагмент номинального режима работы

математическое описание подсистем и их взаимных связей. После этого все полученные алгебраические, дифференциальные и интегральные уравнения объединяются в едином алгоритме расчета. На полной модели привода выполнены исследования режимов работы СЭД – пуск и номинальный режимы. Компьютерная модель СЭД с транзисторными преобразователями и многофазным ДПМ разработана в среде C++Builder [7], специалистами филиала ОАО «Силовые машины» «Электросила». Для ее построения использовались математические модели СЭД [5] и методология моделирования сложных систем по взаимосвязанным подсистемам. На рис. 3 и на рис. 4 представлены два режима работы СЭД.

При использовании компьютерной модели выполнен анализ электропривода в основных переходных и установившихся режимах работы, подтверждающий работоспособность СЭД с ДПМ.

#### Библиографический список

1. Пронин, М. В. Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / Пронин М. В., Воронцов А. Г. СПб.: ОАО «Электросила», 2003. 172 с.
2. Пронин, М. В. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями (моделирование, расчет, применение) / Пронин М. В., Воронцов А. Г. СПб.: ОАО «Силовые машины» «Электросила», 2004. 252 с.
3. Никифоров, Б. В. Силовая электроника в бортовых системах электроснабжения и электроприводах / Никифоров Б. В., Апилов В. Р. Новочеркасск: Изв. Вузов. Электромеханика, 2004. 177 с.
4. Соколов, В. С. Электротехнические и радиоэлектронные системы дизель-электрических подводных лодок / Соколов В. С., Никифоров Б. В. СПб.: Типография ФГУП ЦКБ МТ «РУБИН», 2005. 256 с.
5. Пронин, М. В. Моделирование электропривода с многофазным двигателем на постоянных магнитах с несинусоидальной ЭДС при управлении векторами токов инверторов в осях фаз / Пронин М. В., Воронцов А. Г. // International IEEE conference devoted to the 150-anniversary Alexander S. Popov СПб., 2009.
6. Пронин, М. В. Алгоритмы управления многофазными инверторами и двигателем с постоянными магнитами с несинусоидальными ЭДС / Пронин М. В., Воронцов А. Г. // EPE-PEMC 2010.
7. Pronin, M. Computer model-based evaluation of energy losses components in the systems with asynchronous machines and transistor converters / Pronin M., Shonin O., Vorontsov A., Tereschenkov V. // IECON 2007. Taiwan. 2007.

УДК 620. 169.1, 658.562

**Н. Ю. Гагарина** – студентка кафедры электротехники и технической диагностики  
**Е. В. Сударикова** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Вентильные двигатели (ВД) – это двигатели постоянного тока, у которых коллекторно-щёточный узел заменен полупроводниковым коммутатором – электронным устройством управления (ЭУУ). Это позволяет повысить предельную мощность и расширить область применения двигателей. ВД широко применяются в информационно-измерительных и управляющих системах различного назначения. Поэтому к их качеству функционирования и надежности часто предъявляются повышенные требования.

Вращением электромеханического блока ВД управляет ЭУУ, работающее по сигналу от датчика положения ротора (ДПР). Конструктивно двигатель может быть выполнен как со встроенным блоком ЭУУ, так и с ЭУУ в виде отдельного блока.

Блок-схема силовой цепи ВД показана на рис. 1. Фазы статорной обмотки подключены к источнику постоянного тока через силовые ключи ЭУУ, управляемые по сигналам ДПР. Обмотка трехфазная, соединена звездой. Чувствительные элементы (магниты 1–6) ДПР при его вращении включают транзисторные ключи ЭУУ. Последовательно включенные ключи 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 работают в противофазе и обеспечивают однонаправленный вращающий момент двигателя [1].

Самыми нагруженными элементами в силовых цепях ВД являются транзисторы силовых транзисторных ключей (СТК). Именно их техническое состояние (ТС) в наибольшей степени определяет качество функционирования и надежность ВД. Чаще всего в СТК применяются биполярные транзисторы.

В биполярном транзисторе, в отличие от других разновидностей, основными носителями заряда являются и электроны (в  $n$ -области), и дырки (в  $p$ -области). В основе работы биполярного транзистора лежат свойства  $p$ - $n$ -переходов. ТС  $p$ - $n$ -переходов определяется распределением и концентрацией носителей заряда в объеме полупроводника и их постепенным изменением за счёт постепенного изменения распределения легирующих и посторонних примесей и образования мигрирующих дефектов – дислокаций и вакансий. В результате этих процессов меняются электрические свойства – проводимость и плавность  $p$ - $n$ -перехода. Всё это ведет к изменению текущего ТС и параметров транзистора [2].

Наиболее распространен транзисторный ключ по схеме с общим эмиттером (рис. 2). При таком включении транзистора входным является ток базы, выходным – ток коллектора; входное напряжение – база-эмиттер, выходное – коллектор-эмиттер. Ёмкости ( $C_9$  и  $C_k$ ) учитывают ёмкости эмиттерного и коллекторного переходов.

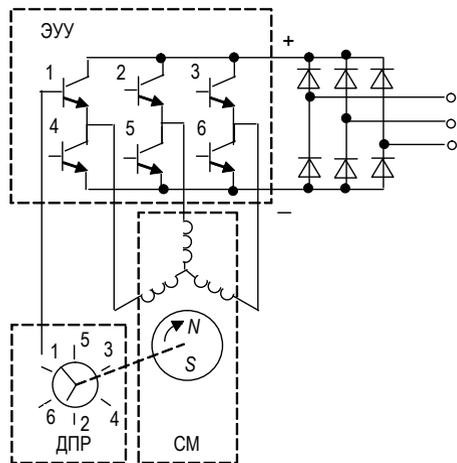


Рис. 1. Блок-схема силовой цепи ВД

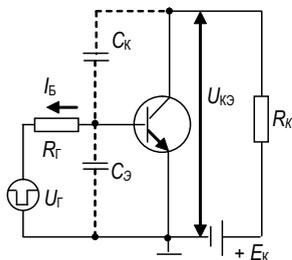


Рис. 2. Транзисторный ключ по схеме с общим эмиттером

Коэффициент усиления транзистора по току

$$\beta = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{б}}}$$

В соответствии с функциями ключа транзистор может находиться в одном из двух статических режимов: режиме отсечки (транзистор закрыт – точка А) и режиме насыщения (транзистор открыт и насыщен – точка В). Ключ удерживается в одном из состояний, пока на входе (базе транзистора) сохраняется соответствующий уровень сигнала.

Рассмотрим временные диаграммы транзистора СТК (рис. 3).

1. Включение транзисторного ключа.

До момента времени  $t_0$  на базе транзистора нет сигнала от ДПР. Поэтому ток базы  $I_{\text{б}} = 0$ , коллектора  $I_{\text{к}} = 0$  (точка А). В момент  $t_0$  появляется сигнал от ДПР, и в цепи базы возникает ток. Электроны переходят из эмиттера в базу и далее в коллектор. Время этого перехода определяет задержку возникновения коллекторного тока. Коллекторный ток возрастает по экспоненциальному закону и достигает величины насыщения (точка В). Транзисторный ключ открыт, и в фазу обмотки ВД поступает ток. При этом заряд в базе продолжает нарастать по закону экспоненты.

2. Выключение транзисторного ключа.

С поворотом ротора сигнал от ДПР перестаёт поступать на базу транзистора. И заряд Q, накопленный в базе, начинает уменьшаться – заряд «рассасывается». Время рассасывания  $t_{\text{рас}}$  определяется процессами «гибели» электронно-дырочных пар в полупроводнике и уходом электронов во внешнюю цепь. При этом транзистор еще насыщен, и транзисторный ключ остается открытым – до тех пор, пока заряд в базе не рассосется. С уменьшением заряда Q коллекторный ток уменьшается, и транзистор переходит в точку А, в режим отсечки. Время рассасывания заряда в базе определяется по формуле

$$t_{\text{рас}} = \tau \ln \left( 1 + \frac{I_{\text{бпр}}}{I_{\text{бобр}}} \right),$$

где  $\tau$  – время жизни электронов (неосновных носителей заряда) в базе в режиме насыщения.

Неосновными носителями заряда в биполярном транзисторе являются дырки в  $n$ -области и электроны в  $p$ -области  $p$ - $n$ -перехода.

Время  $\tau$ , в течение которого число неосновных носителей в базе уменьшается в  $e$  раз, где  $e$  – основание натурального логарифма, называется временем жизни неосновных носителей в базе [3]. По своему физическому смыслу время  $\tau$  – это постоянная времени транзистора в схеме с общим эмиттером.

Времени жизни  $\tau$  связано с коэффициентом усиления транзистора по току  $\beta$  выражением

$$\beta = \frac{2D_n \tau}{W_b^2} - 1,$$

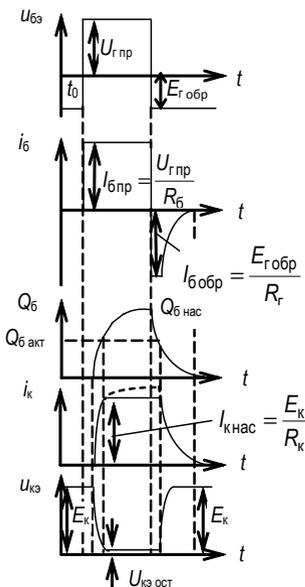


Рис. 3. Временные диаграммы транзистора СТК

где  $D_n$  – коэффициент диффузии неосновных носителей заряда в базе;  $W_6$  – ширина базы.

Время жизни неосновных носителей в базе  $\tau$  выбрано в качестве диагностического параметра транзистора, поскольку оно: (1) является основным и универсальным физико-техническим параметром полупроводникового материала; (2) имеет прямую связь с процессами рекомбинации в материале (и, следовательно, характеризует внутренние инерционные свойства транзистора); (3) определяет величину основного технического параметра транзистора – коэффициента усиления по току; (4) зависит от типа транзистора, режима его работы и качества изготовления (свойств материала, геометрических размеров базы и переходов, количества посторонних примесей, степени загрязненности поверхности кристалла и других дефектов, определяющих интенсивность процессов рекомбинации).

Пригодность выбранного диагностического параметра к диагностированию ТС транзисторов СТК была экспериментально подтверждена с помощью ускоренных испытаний. В качестве форсирующего фактора испытаний транзисторов была выбрана повышенная температура окружающей среды. Выражение для коэффициента ускорения было получено на основании уравнения Аррениуса и имеет вид

$$k_y = \exp \left[ \frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_\phi} \right) \right].$$

Математическая модель ускоренных испытаний при определении температуры кристалла транзистора учитывает мощность, рассеиваемую на транзисторе, и температуру окружающей среды.

Результаты диагностирования транзисторов в процессе ускоренных испытаний показывают, что с увеличением времени испытаний (т.е. с увеличением времени работы ВД) время жизни неосновных носителей заряда падает. По характеру и скорости изменения  $\tau$  можно идентифицировать предотказное состояние транзистора, то есть диагностировать и прогнозировать его отказ. Предельное значение параметра, соответствующее предотказному состоянию транзистора, составило  $\tau_{\text{пред}} = 2$  мкс.

По результатам диагностирования возможно не только оценить ТС транзисторов, но и осуществить их подбор для установки в ЭУУ. Если укомплектовать ЭУУ близкими по своим индивидуальным характеристикам транзисторами, это позволит обеспечить равномерность распределения по ним эксплуатационной нагрузки – как электрической, так и тепловой. Это в свою очередь позволит повысить качество функционирования и надежность ЭУУ ВД. Рассортировка партии транзисторов данного типа в группы с идентичными параметрами заключается в следующем.

На первом этапе производится сплошной входной контроль транзисторов с целью отбраковки потенциально ненадежных экземпляров. По результатам измерения времени жизни  $\tau$  и коэффициента усиления  $\beta$  вычисляется ширина базы транзистора  $W_6$ . Если условие

$$W_6 = \sqrt{\frac{2D\tau}{\beta}} \geq W_{6\text{min}} = 0,3 \text{ мкм}$$

выполняется, транзистор считается годным; в противном случае он отбраковывается. Здесь  $D = 13 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  – коэффициент диффузии.

На втором этапе производится сортировка транзисторов на 22 группы по величине остаточного напряжения  $U_{K3}$  в режиме насыщения.

На третьем этапе производится сортировка (внутри каждой группы) на 4 подгруппы по времени жизни неосновных зарядов в базе  $\tau$ .

На четвертом этапе ЭУУ ВД комплектуются транзисторами из одной подгруппы. При этом рекомендуемое число транзисторов в партии – не менее 500 штук. Подгруппы, содержащие менее 16 транзисторов, присоединяются к соответствующим подгруппам следующих партий сортируемых транзисторов.

### **Библиографический список**

1. Хрущев В. В. Электрические машины систем автоматики. Л.: Электроатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. 368 с.
2. Браун М., Раутани Дж., Пэтил Д. Диагностика и поиск неисправностей электрооборудования и цепей управления. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. 328 с. (Серия «Силовая электроника»).
3. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. М.: Радио и связь, 1988. 256 с.

---

УДК 53.082.4, 658.562

**В. Н. Герасименко** – студент кафедры электротехники и технической диагностики  
**Е. В. Сударикова** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА СОХРАНЯЕМОСТЬ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ ОПОР МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ**

В настоящее время мехатронные системы (МС) широко используются во многих отраслях промышленности. Изделия этого класса исполнительных устройств обеспечивают повышение надежности и качества формирования выходных механических характеристик исполнительного устройства за счет выполнения ряда функций средствами электроники. В силу своей универсальности они получили широкое распространение в производственных технологических процессах, бытовой, медицинской, военной и космической технике, связи. МС могут быть предназначены для работы в системах ответственного назначения и могут быть невосстанавливаемыми.

Из-за широкого диапазона функционального назначения МС, режимов их работы и условий эксплуатации требования, предъявляемые к этим изделиям, весьма разнообразны. Одним из важнейших требований, определяющих качество МС, является надежность.

Надежность является комплексным свойством, включающим в себя безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность.

В процессе хранения все изделия подвергаются неблагоприятным воздействиям, например колебаниям температуры, действию влажного воздуха, воздействию плесневых грибов, пыли. В результате после хранения надежность свойства МС могут ухудшиться: она может оказаться в неработоспособном и даже в предельном состоянии.

Сохраняемостью называется свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения [1]. (Сохраняемость объекта характеризуется его способностью противостоять отрицательному влиянию условий и продолжительности его хранения.)

Сохраняемость отдельно взятого образца высоконадежного дорогостоящего невосстанавливаемого изделия (МС) может быть оценена временным понятием надежности – сроком сохраняемости.

При хранении МС их подшипники могут подвергаться коррозии, а заложенный в них смазочный материал – окислению и высыханию. Таким образом, может быть сделан

вывод о том, что сохраняемость этих изделий главным образом определяется изменением свойств смазочного материала. С течением времени хранения смазка может изменить свои свойства, что в дальнейшем, в процессе эксплуатации, может привести к отказу опор и всей МС в целом. Отказ МС может привести к нарушению работоспособности всей технической системы, использующей это изделие в своем составе.

Особое значение свойства сохраняемости смазок имеет для невосстанавливаемых МС ответственного назначения, встраиваемых в технические системы с длительными сроками активного существования. В качестве опор наибольшее применение нашли шариковые подшипники на пластичных смазках.

Указанные в ГОСТ нормы на сохраняемость смазки предусматривают требования к качеству смазки, находящейся исключительно в таре изготовителя. Эти нормы не распространяются на смазку, заложенную в узлы трения. Возможность ее применения в узлах трения и допустимая длительность работы без смены и пополнения, а также показатели сохраняемости могут быть определены только по результатам испытаний.

Испытания смазок на сохраняемость в настоящее время проводят не на натуральных образцах изделий, а на смазке, заложенной в специальные контейнеры, имитирующие узлы трения. При этом масса смазки, закладываемая в эти контейнеры, может в десятки раз превышать массу смазки, закладываемой в шарикоподшипник натурального объекта. Интенсификация деградационных процессов, происходящих в смазке при хранении, достигается моделированием условий хранения с помощью испытательных камер и стендов. Через установленные промежутки времени контролируются следующие параметры смазки [2]:

- кислотное число;
- испаряемость;
- содержание свободных щелочей.

Параллельно с имитаторами узлов трения в те же испытательные камеры устанавливаются 1–2 образца МС (в выключенном состоянии). По окончании каждого этапа испытаний у них контролируют:

- величину потребляемого тока;
- время выбега ротора;
- момент трения;
- статический момент трения;
- частоту вращения ротора.

В общем случае все испытания производятся для того, чтобы изучить свойства смазки в контейнерах. Недостатками этих испытаний являются:

- для проведения ускоренных испытаний требуется относительно большое количество смазочного материала (2–8 г);
- не учитывается влияние изменения свойств смазки при хранении на изменение надежностных свойств узлов трения МС, что не позволяет оценить надежностные свойства (остаточный ресурс) смазки на момент начала функционирования изделия после хранения.

Поэтому работа, посвященная разработке методики ускоренных испытаний, по результатам которых должен быть оценен остаточный ресурс пластичной смазки в опорах качения МС, актуальна и представляет практический интерес.

В качестве объекта исследования рассматривается МС (синхронный двигатель), у которой отсутствует коллекторно-щеточный узел, и единственными узлами трения являются опоры электромеханического блока.

Это дорогостоящее уникальное малосерийное изделие (с гарантийным ресурсом 55000 ч и гарантийным сроком хранения 15 лет) предназначено для работы в высокоответственных невосстанавливаемых технических системах. В опорах используются радиальные шарикоподшипники типа 6-60018Ю, 6-60026Ю со смазкой ВНИИ НП-271.

Хранение объекта исследования допускается в упаковке предприятия–изготовителя в отапливаемых хранилищах при температуре 5–40°С и относительной влажности воздуха до 85%.

При организации УИ смазки на сохраняемость необходимо произвести выбор диагностических параметров МС и контролируемых показателей реологических свойств смазки. Также необходимо определить параметры, являющиеся критериями работоспособности МС.

Перед началом проведения ускоренных испытаний необходимо произвести выбор форсирующего фактора испытаний и разработать их модель.

Испытания, имитирующие длительное хранение в указанных условиях, проводятся при повышенной температуре (максимально допустимой), значение которой выбирают с учетом теплостойкости материалов [3].

Смазка ВНИИНП-271 работоспособна при температуре от  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Шарикоподшипники типа 6-60018Ю, 6-60026Ю обычно изготавливаются из нержавеющей шарикоподшипниковой стали. Сталь не изменяет своих свойств при предельном значении температуры  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для радиоэлектронных изделий предельным значением температуры (указанным в технической документации на изделие) является  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для обмотки –  $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Исходя из теплостойкости материалов, выбирается температура проведения УИ  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Продолжительность ускоренных испытаний при имитации одного реального года хранения определяется по формуле

$$\tau_{y1} = \frac{8760}{k_y},$$

где  $k_y$  – коэффициент ускорения, рассчитанный относительно среднегодового значения температуры, равной  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Коэффициент ускорения рассчитывается по формуле

$$\lg k_y = \frac{E}{19,13} \left( \frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_y} \right),$$

где  $E$  – эффективная энергия активации, Дж/моль ( $E = 4000$  Дж/моль);  $T_H$  – абсолютное значение температуры при натуральных испытаниях,  $^{\circ}\text{K}$

$$T_H = 15 + 273 = 288 \text{ (}^{\circ}\text{K)};$$

$T_y$  – абсолютное значение температуры ускоренных испытаний,  $^{\circ}\text{K}$

$$T_y = 80 + 273 = 353 \text{ (}^{\circ}\text{K)}.$$

Тогда

$$\lg k_y = \frac{E}{19,13} \left( \frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_y} \right) = \frac{40000}{19,13} \left( \frac{1}{273+15} - \frac{1}{80+273} \right) = 1,338;$$

$$k_y = 21,78;$$

$$\tau_{y1} = \frac{8760}{k_y} = \frac{8760}{21,78} = 402,2 \text{ ч.}$$

Общее минимальное время ускоренных испытаний при имитации хранения составляет

$$\tau_{y0} = \frac{15 \cdot 8760 - \tau}{k_y} = \frac{15 \cdot 8760 - 55000}{21,78} = 3508 \text{ ч.}$$

где  $\tau = 55000$  ч – минимальная наработка по техническому заданию.

Количество годовых циклов равно

$$n = \frac{3508}{402,2} = 8,7.$$

Процесс ускоренных испытаний смазки заключается в следующем.

Перед началом испытаний измеряются диагностические параметры выборки объекта исследования и контролируемые признаки реологических свойств смазки выборки имитаторов подшипниковых узлов (ИПУ). Их полученные значения проверяются на соответствие требованиям, установленным в технической документации. Если всё соответствует, можно начинать испытания.

Все образцы помещаются в испытательную камеру. Устанавливается значение расчетной величины форсирующего фактора. Фиксируется время начала этапа испытаний.

По достижении расчетной длительности цикла ускоренных испытаний он завершается. По окончании цикла из испытательного оборудования извлекаются образцы МС и ИПУ.

Далее измеряются диагностические параметры, параметры-критерии работоспособности МС и контролируемые признаки смазки.

1) Для выборки МС измеряются:

– диагностические параметры: время выбега ротора, функция контактирования; несущая способность смазочного слоя,

– параметры-критерии работоспособности МС: потребляемый ток, частота вращения ротора.

2) Для выборки ИПУ измеряются контролируемые признаки: кислотное число, содержание свободных щелочей, испаряемость.

Испытания проводятся заданное количество циклов. По окончании всех циклов испытания завершаются.

Производится обработка результатов.

По результатам проведенных испытаний сделаны следующие выводы.

1. За время испытаний значения параметров-критериев работоспособности (потребляемого тока, частоты вращения МС) и время выбега ротора по сравнению с исходными не изменились или изменились мало и остались в пределах установленных требований. Это свидетельствует о том, что триботехнические свойства смазки в опорах объекта существенным образом не изменились.

2. Степень окисления смазочного материала, заложенного в ИПУ, за время испытаний изменилась по сравнению с исходной в 1,4 раза. Основная потеря массы смазочного материала приходится на начальные периоды испытаний, а затем смазка испаряется мало.

3. При этом произошли существенные изменения значений диагностических параметров. Функция контактирования возросла на 25%, несущая способность смазочного слоя упала на те же 25% относительно своих исходных значений. Но в абсолютных значениях эти изменения невелики, и потому они практически не влияют на качество функционирования и надежные свойства объекта исследования.

Для того, чтобы оценить остаточный ресурс пластичной смазки в опорах МС после хранения, можно воспользоваться математической моделью критерия приемки для изделий данного вида (типа, марки). Для объекта исследования она может быть сформулирована в виде [4]

$$67811,8 \exp \left\{ - \left[ \frac{[a_0^H(0)]^2}{30,9124} + \frac{[e_0^H(0)]^2}{2,4464} \right] \right\} \geq 55000 = T^{\text{ост}},$$

где  $a_0(0)$ ,  $e_0(0)$  – измеренные начальные (после хранения) уровень виброускорения и функция контактирования опор МС;  $T^{ост}$  – остаточный ресурс объекта исследования.

Выбранный объект исследования по своим конструктивным особенностям, применяемым материалам и технологии изготовления и сборки является типичным для аэрокосмического приборостроения. Это позволяет распространить выводы по полученным в дипломной работе результатам на другие виды МС с опорами качения на пластичных смазках.

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. – 36 с.
2. ГОСТ 4.23-83. Система показателей качества продукции. Смазки пластичные. Номенклатура показателей. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 8 с.
3. ГОСТ Р 51372-99. Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 131 с.
4. Сударикова Е. В. Сплошной приемочный контроль качества приборных роторных систем по показателю надежности / Завалишинские чтения '07: Сборник докладов. 9–13 апреля 2007. – СПб.: ГУАП, 2007.

УДК 629.735.33

**Е. В. Гращенков** – магистрант кафедры управления и информатики в технических системах

**М. В. Бураков** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОСАДКОЙ САМОЛЕТА С ОТКЛОНЯЕМЫМ ВЕКТОРОМ ТЯГИ**

Самолет с отклоняемым вектором тяги (СОВТ) является сложным объектом управления, динамика которого описывается нелинейными дифференциальными уравнениями [1, 2]. Упрощенная математическая модель СОВТ и ее представление в Simulink MatLab рассмотрены в [3]. Посадка самолета – это один из самых трудных и ответственных этапов полета, поскольку СОВТ должен почти полностью погасить механическую энергию в момент столкновения с землей.

Процесс посадки включает три основных этапа: на первом этапе необходимо снизиться до заданной малой высоты (30–50 м.), на втором этапе требуется поддерживать постоянную высоту и обеспечить гашение скорости до заданной малой величины, на последнем этапе требуется посадить самолет в точку с нулевыми вертикальной и горизонтальной скоростью.

Существенная нелинейность математического описания динамики СОВТ и изменяемая на каждом этапе цель движения не позволяет использовать при синтезе системы управления классические подходы, связанные с линеаризацией. Одним из перспективных вариантов является использование регулятора на базе нейронной сети (НС). Такие регуляторы уже нашли применение в различных авиационных и космических системах [4].

При конструировании регулятора, управляющего посадкой СОВТ, можно было бы рассматривать эталонную траекторию полностью, описав требуемые законы изменения вертикальной и горизонтальной скорости для всего этого участка. Однако, как показали проведенные эксперименты, в этом случае необходимо использовать двухслойную НС

с большим числом нейронов. Процесс обучения является весьма длительным, а качество работы полученной НС оказывается довольно низким. Это является следствием характерной для НС проблемы «стабильности – пластичности» – обучаясь одному маневру, НС частично теряет полезные качества, накопленные при обучении другому маневру.

Гораздо более простым вариантом оказывается применение структуры нейронно-четкого регулятора [5], показанного на рис. 1.

В соответствии с этой структурой синтезируется не одна, а три НС, отвечающих соответственно за решение задач снижения, гашения скорости и посадки. Декомпозиция задачи управления позволяет использовать однослойные НС.

Рассмотрим в качестве примера участок снижения СОВТ. Для управляемых координат при обучении НС были приняты следующие условия:  $\alpha^*(t) \approx \text{const}$ ;  $V^*(t) \approx \text{const}$ .

$$H^*(t) = \begin{cases} H_Z, & t > 0.1 \cdot (H_O - H_Z) \\ H_Z + (H_O - H_Z) \cdot \left(1 - \frac{t}{0.1 \cdot (H_O - H_Z)}\right), & t \leq 0.1 \cdot (H_O - H_Z) \end{cases}$$

где:  $\alpha^*(t)$ ,  $V^*(t)$  и  $H^*(t)$  – желаемые значения;  $H_O$  и  $H_Z$  – начальная и заданная высота. Структура управляющей НС показана на рис. 2.

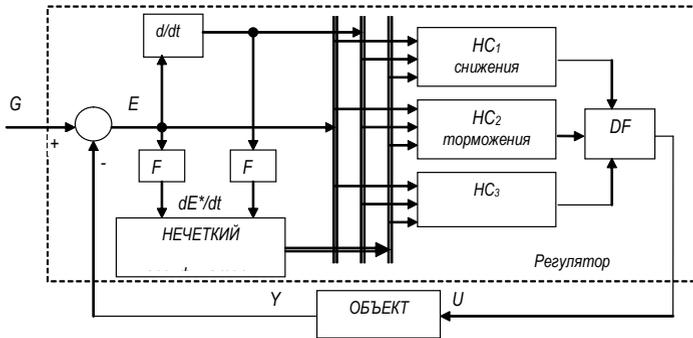


Рис. 1. Структура нейронно-четкого регулятора для управления посадкой СОВТ

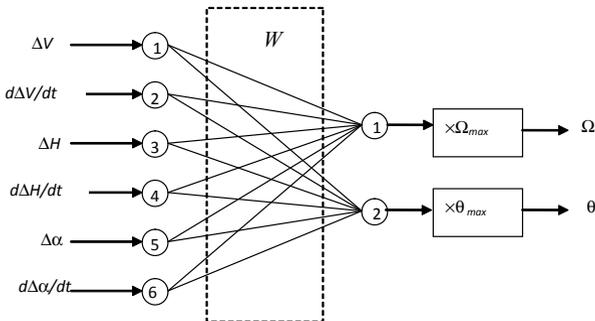


Рис. 2. Структура управляющей нейронной сети

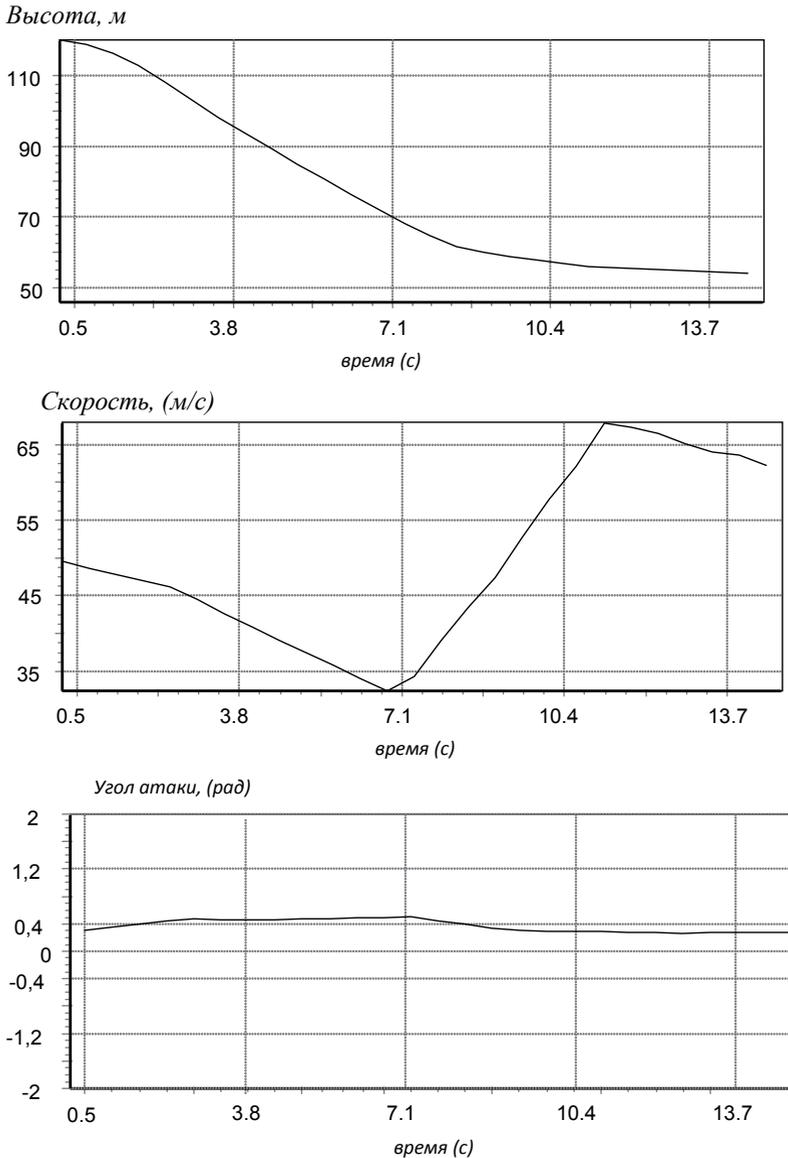


Рис. 3. Переходные процессы при моделировании снижения СОВТ

Два нейрона выходного слоя используют линейные с насыщением активационные функции. Обучение НС требует коррекции только 12 весов (вектор  $W$ ), что не вызывает трудностей.

Значения весов кодировались одним байтом. Входной слой НС из шести нейронов только распределяет входные сигналы, которым соответствуют следующие обозначения:  $\Delta V = V^* - V(t)$ ,  $\Delta H = H^* - H(t)$ ;  $\Delta \alpha = \alpha^* - \alpha(t)$ . Входные переменные масштабируются для приведения к диапазону  $[-1, +1]$ .

При обучении НС использовался генетический алгоритм. При этом популяцию составляли двоичные хромосомы, гены которых соответствовали весам межнейронных связей. Каждый вес описывался одним байтом. Типичный размер популяции составляет несколько сот хромосом, для обучения требуется порядка 100 генераций.

Нечеткий классификатор в системе, показанной на рис. 1 служит для переключения управления между различными НС. Он использует нечеткие правила, посылки которых описывают текущую ситуацию управления.

На рис. 3 представлены графики переходных процессов в системе при моделировании снижения СОВТ под управлением обученной НС.

Полученные удовлетворительные результаты позволяют судить о перспективности рассмотренной методологии проектирования системы управления посадкой СОВТ.

#### **Библиографический список**

1. Курочкин Ф. П. Основы проектирования самолётов с вертикальным взлётом и посадкой. М: Машиностроение, 1970. 352 с.
2. Тараненко В. Т. Динамика самолёта с вертикальным взлётом и посадкой. М: Машиностроение, 1978. 248 с.
3. Гращенков Е.В. Моделирование посадки самолета вертикального взлета и посадки / Сборник докладов 63 СНТК ГУАП. 2010. С. 117–119.
4. Васильев В. И., Ильясов Б. Г., Кусимов С. Т. Нейрокомпьютеры в авиации. М: Радиотехника, 2004. 496 с.
5. Бураков М.В. Структура нейронечеткого регулятора // Изв. Академии наук. Теория и системы управления, 2001, № 6. С.160–165.

УДК 620.199

**Т. А. Григорьева** – магистрант кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**В. П. Пашков** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ УСКОРЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СБИС**

Цель ускоренных испытаний (УИ) ЭРИ, в том числе сверхбольших интегральных микросхем (СБИС), на надежность – подтверждение заданного уровня надежности изделия, то есть подтверждение того, что изделие будет с достаточной вероятностью безотказно функционировать в заданных условиях эксплуатации в течение заданного срока эксплуатации. В статье рассмотрены: различные виды УИ в зависимости от их цели и режима проведения, математические модели расчета показателей надежности по результатам УИ, особенности выбора режима УИ, а также проблемы проведения УИ на надежность СБИС и возможные пути их решения.

УИ в зависимости от способов сокращения времени можно разделить на форсированные испытания, планирование эксперимента (применение статистических моделей)

и комбинированные. Второй вид испытаний (планирование эксперимента) предполагает соответствие режима работы в ходе испытаний нормальному режиму [1]. Интерес с точки зрения исследования режимов УИ представляют форсированные и комбинированные испытания, так как режимы проведения этих испытаний отличаются от нормального (режима эксплуатации).

При проведении форсированных испытаний сокращение времени достигается за счет интенсификации процессов старения, ведущих к быстрому исчерпанию ресурса работоспособности и появлению отказов. Интенсификация процессов старения достигается за счет ужесточения режимов. Режим (нагрузка) представляет собой вектор, характеризуемый составляющими, которые являются совокупностью значений воздействующих факторов (климатических: температура, давление, влажность, запыленность воздуха; электрических: напряжение, рассеиваемая мощность; механических: частота вибраций, момент сопротивления, напряжение) [1]. При эксплуатационном (нормальном) режиме ни одна из составляющих не выходит за границы норм ТУ. Форсирование состоит в ужесточении одного или нескольких составляющих режима.

Чаще всего форсирующими факторами для УИ на надежность являются температура и электрическая нагрузка, таким образом, УИ на надежность являются климатическими испытаниями. Для интегральных микросхем, в том числе и СБИС, основными факторами, влияющими на надежность, являются: температура, влажность, переходные процессы и перенапряжение [2]. Под воздействием этих факторов ускоряются наиболее распространенные для ИМС деградационные процессы, такие как разрушение слоев металлизации, электромиграция, пробой диэлектрика, механическое разрушение выводов, повреждение оксидных слоев [3].

Для подтверждения заданного уровня надежности проводят следующие виды ускоренных климатических испытаний на надежность: УИ на безотказность (при максимально возможной температуре и нормальной электрической нагрузке), УИ на сохраняемость (часть времени – при максимально возможной температуре и влажности без электрической нагрузки, часть времени – как испытания на безотказность), термотренировка и электротермотренировка (кратковременные испытания при максимально возможной температуре без электрической нагрузки и при максимально допустимой электрической нагрузке соответственно), термоциклирование (циклическое воздействие пониженной и повышенной температуры). Также частью перечисленных выше видов испытаний являются периодически проводимые операции контроля (функциональный контроль и контроль параметров-критериев годности), с помощью которых фиксируются отказы СБИС во время проведения испытаний.

Иностранцами фирмами-производителями широко используется такой вид испытаний как HAST (High Accelerated Stress Test). Режимы проведения этого вида испытаний отличаются сильным ужесточением режимов испытаний и одновременным воздействием трех ВВФ: повышенной температуры, электрической нагрузки и повышенной влажности. Типичный режим испытаний типа HAST: температура окружающей среды +130 °С, относительная влажность 85%, продолжительность 96 – 100 часов.

В условиях повышенной температуры (до 150 °С) и повышенной относительной влажности ускоряется коррозия металлических частей ИМС в силу действия гальванических и электролитических процессов. Гальваническая коррозия алюминиевой металлизации является основным механизмом деградации ИМС в пластмассовых корпусах. Процесс проникновения влаги через корпус микросхемы определяется величиной напряжения смещения и температурой.

Термотренировка и электротермотренировка являются отбраковочными испытаниями, они служат для выявления ранних отказов, таким образом, из всей партии отбраковываются потенциально ненадежные изделия. Испытания проводятся при повышенной температуре, которая соответствует максимально допустимой по ТУ.

УИ на безотказность и сохраняемость проводят для ограниченной выборки изделий, а не для всей партии, так как эти испытания считаются разрушающими. Перед прове-

дением УИ составляются программы и методики проведения испытаний. В методике указываются режимы проведения испытаний, продолжительность, оборудование для проведения УИ, объем выборки и параметры-критерии годности.

Показатели надежности СБИС для нормального режима (точнее, режима эксплуатации) по результатам УИ рассчитываются с использованием математических моделей. Например, интенсивность отказов по результатам испытаний рассчитывается по формуле [4]:

$$\lambda_{И} = \frac{\chi^2(m, P^*)}{2 \sum_{j=1}^S T_{\text{СУММ}}(\varepsilon_j) K_y(\varepsilon_{\text{ТУ}}, \varepsilon_j) N}, \quad (1)$$

где  $\chi^2(m, P^*)$  – распределение хи-квадрат (табулированная величина, зависящая от доверительной вероятности  $P^*$  и числа отказов;  $m = (2n + 2)$  – число степеней свободы, где  $n$  – количество отказавших изделий;  $T_{\text{СУММ}}(\varepsilon_j)$  – суммарная наработка изделий при испытании в  $\varepsilon_j$  режиме;  $N$  – объем выборки испытаний;  $S$  – количество режимов испытаний;  $K_y(\varepsilon_{\text{ТУ}}, \varepsilon_j)$  – коэффициент ускорения, коэффициент пересчета от режима испытаний (форсированного)  $\varepsilon_j$  к нормальному режиму  $\varepsilon_{\text{ТУ}}$ . Математическая модель коэффициента ускорения приведена ниже:

$$K_y = e^{-\frac{E_a}{K_t} \left( \frac{1}{T_{\text{окр.и}} + R_{\text{ja}} \cdot P_{\text{рас.и}}} - \frac{1}{T_{\text{окр.э}} + R_{\text{ja}} \cdot P_{\text{рас.э}}} \right)}, \quad (2)$$

где  $E_a$  – энергия активации отказа;  $K_t$  – постоянная Больцмана;  $T_{\text{окр}}$  – температура окружающей среды (при испытаниях и эксплуатации);  $P_{\text{рас}}$  – мощность рассеяния (при испытаниях и эксплуатации);  $R_{\text{ja}}$  – тепловое сопротивление кристалл – окружающая среда (зависящее от конструктивных особенностей ИМС).

Математическая модель расчета коэффициента ускорения приведена для УИ с двумя форсирующими факторами – повышенной температурой и электрической нагрузкой. Для реально проводящихся УИ энергия активации отказов выбирается для целого класса, например для полупроводниковых приборов или интегральных микросхем. Это обобщенное значение энергий активации, полученное экспериментальным путем, она не учитывает особенности конкретной СБИС, ее функциональных и конструктивных параметров, а также заданной модели ВВФ.

Режимы УИ выбирают, исходя из того, чтобы не нарушался закон распределения интенсивности отказов, то есть, чтобы можно было по результатам испытаний получить достоверные показатели надежности СБИС для заданных условий эксплуатации. Предельная степень форсирования при УИ определяется:

- физическими ограничениями, обусловленными конструктивно-технологическими особенностями конкретного типа СБИС (например, ограничения температурного режима по ТУ);

- условием сохранения идентичности видов, причин и механизмов отказов СБИС в нормальном и форсированном режимах.

Современные технологии изготовления микросхем позволяют производить высоконадежную продукцию, особенно это касается СБИС. В настоящее время, по мере внедрения конструктивно-технологических усовершенствований, уровень отказов СБИС снижается, а время появления отказов при этом увеличивается. В течение времени проведения УИ, которое является экономически обоснованным, как правило, не происходит ни одного отказа, что не позволяет применить расчетно-экспериментальные методы, основанные на достижении отказов в процессе испытаний.

Объем выборки для УИ на безотказность интегральных микросхем с высокой степенью интеграции объемы выборок составляют для испытаний на безотказность 5 штук, для испытаний на сохраняемость – 3 штуки. Как видно из математической модели (1), при таких небольших выборках и стандартном времени испытаний 2000 часов, ускоренные испытания на надежность не достигают своей цели – подтверждения заданных показателей надежности для условий эксплуатации, даже если их реальная надежность достаточно высокая. При увеличении объема выборки увеличивается и количество отказов, что позволяет более достоверно оценивать показатели надежности ИМС за счет расширения статистики.

Возможные пути решения описанных выше проблем проведения и оценки результатов УИ СБИС следующие: увеличение выборки, увеличение времени испытаний, применение ужесточенных норм, искусственное увеличение выборки (каждую ячейку считать отдельным изделием), ужесточение форсированных режимов. Конечно, для увеличения эффективности испытаний можно повысить температуру. Однако стоит учитывать, что при повышенных температурах могут возникнуть повреждения, обусловленные большими неконтролируемыми внутренними токами или другими причинами, которые не поддаются контролю.

Увеличивать время испытаний экономически невыгодно, так как результаты длительных испытаний не всегда могут быть использованы актуально. Увеличение объема выборки также влечет за собой большие затраты, так как интересующие нас СБИС (программируемые логические интегральные микросхемы – ПЛИС) являются дорогостоящим продуктом. Ужесточить режимы УИ можно путем добавления дополнительного ускоряющего фактора (например, как в испытаниях типа HAST), разработав соответствующие методики проведения испытаний.

Перспективным путем решения представляется искусственное увеличение объема выборки путем представления ПЛИС как набора более мелких логических ячеек, которые считаются отдельными объектами испытаний. При увеличении объема выборки испытаний расширяется статистика, полученная по результатам испытаний, что позволяет более достоверно определять показатели надежности. Целесообразно при оценке показателей надежности отдельно взятого типоминимала СБИС учитывать результаты проведенных ранее УИ на надежность его конструктивных и функциональных аналогов, так как можно предположить, что у этих аналогов будут схожие показатели надежности.

Существующие методы проведения УИ и оценки показателей надежности по результатам этих испытаний устарели, так же как и нормативная документация, касающаяся этих вопросов. Топологические нормы изготовления ИМС достигают десятков нанометров, соответственно физико-химические процессы, протекающие на кристалле ИМС под воздействием тех же факторов, могут быть другими, и механизмы отказов вследствие этого могут быть отличными от тех, которые принимались в расчет при составлении методов испытаний ИМС предыдущего поколения. В связи с этим необходимо произвести обновление нормативной документации для ИМС нового поколения, с субмикронными топологическими нормами.

Для решения проблем, связанных с устаревшей методологией, необходимо на основании проведения испытаний и исследования физико-химических процессов, происходящих в структуре, экспериментальным путем определить энергии активации доминирующих отказов, на основе исследования процессов этих отказов составить математические модели таких процессов, где входными данными будет режим (набор внешних воздействующих факторов), а выходными – скорость протекания процессов. Для описания зависимости скорости протекания физико-химического процесса, а соответственно время до наступления отказа, от температуры применяются уравнения (уравнения Аррениуса, Эйринга, Рейх-Хакима, Пека, Лавсона) [5].

На каждую ИМС одновременно воздействуют несколько ВВФ, внутри протекает одновременно несколько физико-химических процессов, в том числе процессов,

приводящих к отказам. При создании математической модели необходимо учитывать одновременное возникновение нескольких разных механизмов отказов, а также их вероятностное распределение. Создание математической модели основано на изучении физики деградационных процессов, протекающих в материалах, из которых изготавливается ИМС. Также необходимо учитывать неравномерность энергии активации отказов в зависимости от тепловой нагрузки [6].

На основании такой математической модели возможно составить методику выбора оптимального режима УИ для каждого вида СБИС в зависимости от его функциональных и конструктивных параметров (тип корпуса, количество внутренних ячеек СБИС), а также от режима эксплуатации. Конечным результатом создания математической модели может быть также методика расчета показателей надежности на основании знания физико-химических процессов, протекающих в СБИС под воздействием заданных условий эксплуатации.

#### **Библиографический список**

1. Богданов В. М., Ржевский В. Г., Слыхов А. А. Испытания промышленной продукции. Ч. IV. Ускоренные испытания на надежность. М., 1980.
2. Ганиев Р. А. Ускоренные испытания на надежность с использованием сильнодействующих факторов. Казань, 1985.
3. Ленков С. В., Зубарев В. В., Тариелашвили Г. Т. Физико-технический анализ причин отказов электрорадиоизделий в составе радиоэлектронной аппаратуры // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1997. № 3. С. 31–33.
4. Строганов А. В. Оценка долговечности БИС по результатам ускоренных испытаний // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 3. С. 90–96.
5. Лакшминараянан В. Методы повышения надежности электронных систем: пер. Ю. Потапова. Ч. 2 // EDN, август 2000 г.
6. Федухин А. В., Бутенко Е. В. Ускоренная оценка надежности изделий электронной техники // Математические машины и системы. 1997. № 2. С. 84–93.

УДК 921.9.06

**И. В. Дворников** – магистрант кафедры микро– и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**П. А. Хабаров** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДИК БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ ОСНОВАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

Прототипирование является обязательным этапом в процессе разработки любого нового изделия. Возникают проблемы точного повторения геометрической формы, собираемости, внешнего вида и поиска материалов, максимально похожих на заданные. Во всем мире проводятся интенсивные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию технологических методик и систем послойного лазерного синтеза объемных изделий деталей машин. Такие системы позволяют резко ускорить и удешевить процесс внедрения новой техники на всех этапах от конструирования и проектирования изделия до создания его первоначального макета в натуральную величину. С помощью подобной технологии возможно не только производство пробных, пилотных образцов изделий, но и конечных полностью функциональных изделий с заданными параметрами.

Для определения правильного подхода к выбору системы построения прототипа в конкретной области производства необходимо ориентироваться во множестве технологий быстрого прототипирования. В большинстве случаев используется принцип обратного проектирования, когда конечное изделие разрабатывается исходя из возможностей выбранной технологии. Таким образом, необходимо выбрать методику преимуществ, недостатки и возможности которой будут находиться в балансе с требованиями, предъявляемыми к конечному прототипу.

Принципиальная схема всех установок прототипирования одинакова: на рабочий стол, элеватор установки, наносится тонкий слой материала, воспроизводящего первое сечение изделия, затем элеватор смещается вниз на один шаг и наносится следующий слой. Так слой за слоем воспроизводится полный набор сечений модели, повторяя форму требуемого изделия. При этом на некотором слое может оказаться, что отдельные элементы «повисают» в воздухе, поскольку они должны крепиться к верхним слоям. Чтобы избежать такой проблемы, 3D модель предварительно подготавливается, в ней строится система поддержек на каждый такой элемент.

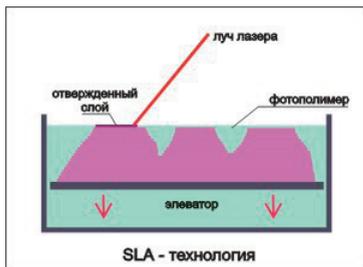


Рис. 1. Стереолитография

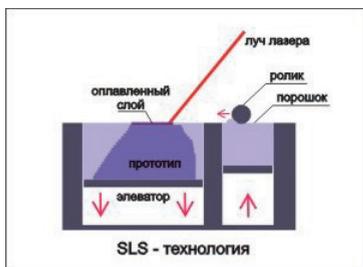


Рис. 2. Технология SLS

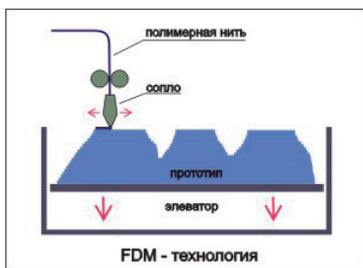


Рис. 3. Технология FDM

Далее приведены наиболее распространённые методики быстрого прототипирования:

Стереолитография (SLA – Stereo Lithography Apparatus)

Стереолитография (рис. 1) является самым первым и наиболее распространенным методом прототипирования, во многом благодаря достаточно низкой стоимости прототипа. Принцип метода состоит в послойном отверждении жидкого фотополимера лазерным лучом, направляемым сканирующей системой. Элеватор находится в емкости с жидкой фотополимерной композицией, и после отверждения очередного слоя смещается вниз с шагом 0,025–0,3 мм. Используется достаточно твердый, но хрупкий полупрозрачный материал, подверженный короблению под влиянием атмосферной влаги. Материал легко обрабатывается, склеивается и окрашивается. Качество поверхностей без доводки хорошее.

Технология SLS (Selective Laser Sintering – лазерное спекание порошковых материалов)

В SLS технологии (рис. 2) в качестве рабочего материала используются порошковый пластик, металл или керамика, близкие по свойствам к конструкционным маркам. На поверхность наносится тонкий слой порошка, который затем спекается лазерным лучом, формируя твердую массу, соответствующую сечению 3D-модели и определяющую геометрию детали. SLS это единственная технология, которая может быть применена для изготовления металлического и пластмассового литья. Прототипы из пластмасс обладают хорошими механическими свойствами, могут быть использованы для создания полнофункциональных изделий.

Технология FDM (Fused Deposition Modeling – послойное наложение расплавленной полимерной нити)

Используются нити из АБС, поликарбоната или воска. Свойства используемых пластиков очень близки к конструкционным маркам. Термопластичный моделирующий материал подается через выдавливающую головку с контролируемой температурой, нагреваясь там до полужидкого состояния. Головка наносит материал очень тонкими слоями на неподвижное основание с высочайшей точностью. Последующие слои ложатся на предыдущие, отвердевают и соединяются друг с другом. Технология применяется для получения единичных образцов изделий, по своим функциональным возможностям приближенных к серийным, а также для производства выплавляемых моделей для литья металлов.

Технология струйного моделирования (Ink Jet Modelling) (рис. 4)

Все технологии имеют свои особенности, но функционируют по одному принципу. Головка, содержащая от двух до 96 сопел наносит модельный и поддерживающий материал на плоскость слоя. После нанесения слоя, могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание. В качестве поддерживающего материала обычно используется воск, а в качестве модельного – широкий спектр материалов, очень близких по свойствам к конструкционным термопластам. Данный метод позволяет получать прозрачные и окрашенные прототипы с различными механическими свойствами – от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластики.

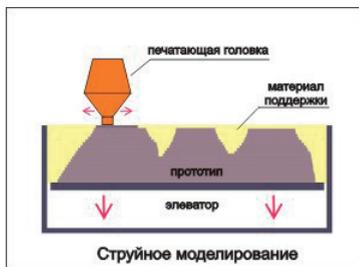


Рис. 4. Технология струйного моделирования

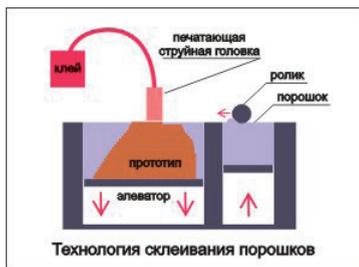


Рис. 5. Технология склеивания порошков

Технология склеивания порошков (binding powder by adhesives) (рис. 5)

Используются крахмально-целлюлозный порошок и жидкий клей на водной основе, который поступает из струйной головки и связывает частицы порошка, формируя контур модели. По окончании построения излишки порошка удаляются. Для увеличения прочности модели, имеющиеся пустоты могут быть заполнены жидким воском. Такие технологии позволяют не просто создавать 3D-объекты произвольной формы, но еще и раскрашивать их.

Технология LOM (Laminated Object Manufacturing – ламинирование листовых материалов).

Слои прототипа создаются при помощи ламинирования бумажного листа. Контур слоя вырезается лазером, а поверхность, которую нужно затем удалить, режется лазером на мелкие квадратики. После извлечения детали мелко порезанные излишки материала легко удаляются. Структура полученного прототипа похожа на древесную, боится влаги.

Технология SGC (Solid Ground Curing) – облучение УФ-лампой через фотомаску. Для создания слоя, на поверхность распыляется тонкий слой фоточувствительного пластика. Затем этот слой облучается ультрафиолетом через фотомаску с изображением очередного сечения. Неэкспонированный материал удаляется вакуумом, оставляя затвержденный материал, который повторно облучается жестким ультрафиолетом. Свободные области заполняются воском, который обеспечивает поддержку для следующих слоев. Перед нанесением следующего слоя поверхность механически выравнивается.

При изготовлении керамических коммутационных оснований для электронной аппаратуры необходимо выбрать технологию, в которой может быть использована группа

материалов, использующиеся при создании подобных изделий, а так же с помощью которой может быть создана модель с высокой точностью размеров и прочностью элементов. Наиболее удовлетворяющей этим требованиям является технология Селективного Лазерного Спекания (СЛС). К преимуществам технологии СЛС можно использовать использование недорогих, нетоксичных материалов, низкие деформации моделей, возможность одновременно производить одновременно несколько моделей в одной камере, высокая вариативность в выборе используемых порошковых смесей. Самыми значимыми недостатками является высокая шероховатость и пористость изделий.

#### **Библиографический список**

1. Зорин С. Ф. Промдизайн <http://www.espotec.ru/articles.htm>
2. Шишковский И. В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объёмных изделий – М.: ФИЗМАЛИТ, 2009. – 424 с.

---

УДК 621.314.24:621.382.233

**В. Е. Жуков** – студент кафедры электротехники и технической диагностики

**А. А. Ефимов** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С АСИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ**

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 автоматизации 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 28 В на основе электрических машин постоянного тока и контактных схем до систем смешанного электроснабжения постоянного (28 В, 270 В) и переменного тока (115 В, 400 Гц) на основе машин переменного тока с редкоземельными магнитами и устройств силовой полупроводниковой электроники.

В настоящее время находит применение система переменного трехфазного тока 115/200 В постоянной частоты 400 Гц с полупроводниковым преобразователем частоты (ППЧ). В качестве полупроводникового преобразователя использовались первоначально циклоконвертеры – полупроводниковые тиристорные преобразователи переменного тока. С развитием элементной базы силовых полупроводниковых приборов появилась возможность замены циклоконвертеров на транзисторные ПЧ. Это обстоятельство позволяет делать систему электроснабжения более гибкой, надежной и управляемой.

Современный этап развития авиационных систем электроснабжения (АСЭС) характеризуется использованием в новейших разработках последних достижений интел-

лектуальной 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 массо-габаритными показателями обладают магнитоэлектрические генераторы (МЭГ) [1–3], что и предопределяет их преимущественное применение в АСЭС. Вместе с тем, они являются и наиболее дорогими и сложными. С возрастанием скорости вращения авиадвигателей до 12...24 тыс. об./мин. сложность конструкции МЭГ существенно увеличивается. Для обеспечения прочности магнитов ротора применяют слоистую структуру индуктора, в котором постоянные магниты чередуются с немагнитными вставками из высокопрочных материалов, например из титана, что ведет к усложнению и удорожанию МЭГ. Поэтому усиливается интерес к новым типам электрических машин, например, вентильно – индукторным, которые по энергетическим показателям не уступают асинхронным и синхронным машинам, вновь обращают внимание на возможности применения в АСЭС традиционных асинхронных машин, являющихся наиболее массовыми, надежными и дешевыми. Асинхронный генератор имеет простейшую конструкцию и не содержит дорогостоящих постоянных магнитов, не допускающих регулирования возбуждения. Это обеспечивает дешевизну и надежность асинхронной машины. Токи короткого замыкания асинхронных генераторов меньше, а требования к коммутационной аппаратуре и ко многим другим элементам системы ниже. При резком сбросе нагрузки магнитоэлектрических генераторов возможно значительное увеличение их напряжения (до 40%). В установках с асинхронными генераторами этот недостаток отсутствует, и требования к элементам системы по напряжению также снижаются.

Новейшие достижения интеллектуальной силовой электроники позволяют вновь вернуться к проблеме создания авиационных систем генерирования электроэнергии (СГЭ) с асинхронными генераторами.

В состав СГЭ (рис. 1) входит асинхронный генератор (АГ), активный полупроводниковый преобразователь (АПП) электрической энергии, система контроля, диагностики и управления (СКДУ) и нагрузка (Н). Активный преобразователь может быть выполнен двухзвенным, непосредственным или двухзвенно-непосредственным [4]. В свою очередь двухзвенные преобразователи могут быть выполнены на базе, либо активных преобразователей напряжения, либо активных преобразователей тока. Выбор типа АПП требует детальной проработки в зависимости от конкретных требований технического задания на вид проектируемой СГЭ и условий ее эксплуатации. Вместе с тем, опыт разработки и исследования схем активных преобразователей свидетельствует

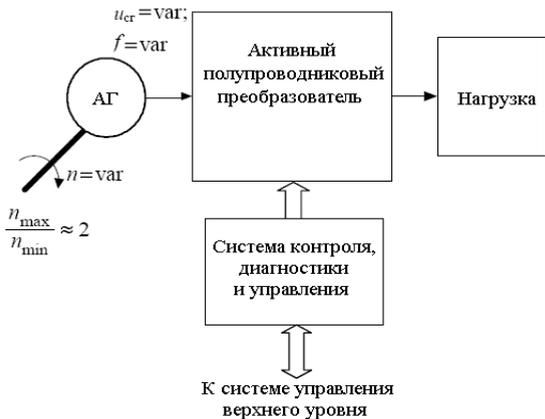


Рис. 1. Функциональная схема системы генерирования электроэнергии с асинхронным генератором

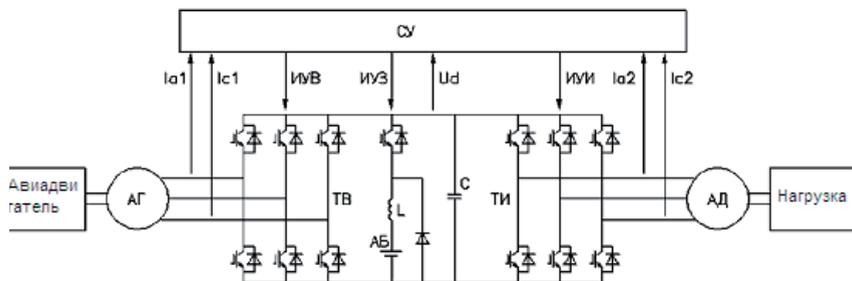


Рис. 2. Силовая часть активного полупроводникового преобразователя

о наибольшей универсальности и перспективности схемы двухзвенного преобразователя с активными преобразователями напряжения, в которой силовая часть АПП выполняется симметричной относительно звена постоянного тока. Силовая часть АПП (рис. 2) содержит два идентичных полупроводниковых коммутатора (ПК): сетевой – транзисторный выпрямитель (ТВ) и нагрузочный – транзисторный инвертор (ТИ), выполненные по трехфазным мостовым схемам. В режиме генерирования электроэнергии сетевой ПК работает в режиме активного выпрямителя напряжения (АВН), нагрузочный ПК – автономного инвертора напряжения (АИН). Тем самым в СГЭ возможно получение электроэнергии, как постоянного, так и переменного тока. К цепи выпрямленного напряжения подключена аккумуляторная батарея АБ с широтно-импульсным преобразователем. В систему управления СУ поступают сигналы по выпрямленному напряжению  $U_d$ , токам выпрямителя  $I_{a1}$  и  $I_{c1}$  и инвертора  $I_{a2}$ ,  $I_{c2}$ . Система управления формирует управляющие воздействия в виде импульсов управления выпрямителем ИУВ, инвертором ИУИ, широтно-импульсным преобразователем ИУЗ.

Также обеспечивается возможность электростартерного пуска первичного авиационного двигателя, для чего сетевой ПК (ТВ) должен работать в инверторном режиме. Электроэнергия поступает от аккумуляторной батареи через сетевой ПК (ТВ), работающий в инверторном режиме. Асинхронная машина (АГ) в этом случае работает в режиме двигателя и обеспечивает запуск авиационной турбины (первичного авиационного двигателя). Для повышения ресурса первичного двигателя и повышения КПД системы возможно регулирование частоты вращения асинхронного генератора в широком диапазоне при стабилизации выпрямленного напряжения на постоянном уровне. Зарядка и подзарядка аккумуляторной батареи могут осуществляться независимо от режима работы генератора и двигателя, в том числе одновременно с выполнением ими основных функций.

В системе возможна рекуперация энергии и её накопление во вращающихся массах первичного двигателя. При использовании аккумуляторной батареи достаточной мощности возможна работа асинхронного двигателя от аккумуляторной батареи при остановленном генераторе. При отключенном генераторе возможно создание с помощью транзисторного выпрямителя стабилизированной сети переменного напряжения с питанием ее от аккумуляторной батареи.

В отличие от двигательного в генераторном режиме работы в разомкнутой САР частоты вращения ротора и возбуждения АГ заданы, а напряжения на выводах, токи и электромагнитный момент определяются условиями внутреннего равновесия системы АГ-АПП-Н, которые и определяют математическое описание этой системы.

Математическое описание АГ в осях координат, вращающихся с частотой возбуждения АГ, записано в относительных единицах [5,6] и уравнение ПИ-регулятора напряжения представлено ниже в виде системы операторных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{cccc} R_{1*} + pL_{1*} & -\omega_{1*}L_{1*} & pL_{m*} & -\omega_{1*}K_{m*} \\ \omega_{1*}L_{1*} & R_{1*} + \alpha L_{1*} & \omega_{1*}L_{m*} & pL_{m*} \\ pL_{m*} & (\omega_* - \omega_{1*})L_{m*} & R_{2*} + pL_{22*} & (\omega_* - \omega_{1*})L_{22*} \\ (\omega_{1*} - \omega_*)L_{m*} & pL_{m*} & (\omega_{1*} - \omega_*)L_{22*} & R_{2*} + pL_{22*} \end{array} \right\} \cdot \left\| \begin{array}{c} i_{d*}^S \\ i_{q*}^S \\ i_{d*}^R \\ i_{q*}^R \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{c} K_U u_{g*} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\| ;$$

$$\left. \begin{array}{l} g_* u_{g*} + pC_* u_{g*} - K_U i_{d*}^S = 0; \\ \omega_{3*} = K_{p*} (u_{g*} - u_*) \frac{(1 + pT_{ИЗ*})}{pT_{ИЗ*}}; \\ L_{m*} = f(\psi_*^2) \\ \psi_*^2 = \frac{2}{3} i_{m*}^2 \left( (i_{d*}^S + i_{d*}^R)^2 + (i_{q*}^S + i_{q*}^R)^2 \right) \end{array} \right\}$$

Математическая модель АВН с учетом дискретности процессов в нем описывается во вращающейся с частотой возбуждения АГ системе координат следующими уравнениями [4]:

$$\mathbf{U} = \mathbf{U}_n + \mathbf{RI} + \mathbf{L} \frac{d\mathbf{I}}{dt} + \omega_k \mathbf{BI} ;$$

$$\mathbf{U}_n = u_d \Phi_n ;$$

$$\Phi_n = \frac{1}{2} \mathbf{CF}_n(\mathbf{U}_n, \tau) ;$$

$$i_d = \frac{3}{2} \Phi_n \cdot \mathbf{I} ;$$

$$i_d - i_n = C_d \frac{du_d}{d\tau} ;$$

$$\omega_k = \frac{d\theta_k}{d\tau} .$$

В этих уравнениях:

..

$$\mathbf{B} = \omega_k^{-1} \mathbf{A} \frac{d\mathbf{A}^{-1}}{d\tau} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} ; \mathbf{C} = \mathbf{AMA}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матричные константы};$$

$\mathbf{R} = r\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{L} = l\mathbf{E}$  – преобразованные матрицы активных сопротивлений и индуктивностей симметричного дросселя, где  $\mathbf{E}$  – матричная единица;

$\Phi_n \stackrel{\text{df}}{=} \begin{bmatrix} f_{nx} \\ f_{ny} \\ f_{nz} \end{bmatrix}$  – преобразованная дискретная коммутационная вектор-функция АВН;

$F_n(U_n^*, \tau) \stackrel{\text{df}}{=} \begin{bmatrix} f_{nx}^* \\ f_{ny}^* \\ f_{nz}^* \end{bmatrix} = \mathbf{A} F_n(\mathbf{A}^{-1} U_n^*, \tau)$  – преобразованная дискретная вектор-функция,

описывающая управляющие сигналы и состояния ключей ПК.

Уравнения системы «АГ-АПП» могут быть решены, либо путем составления соответствующих компьютерных моделирующих программ, например [7], либо, что наиболее целесообразно, в пакете MATLAB/Simulink.

### 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. Ефимов, А. А. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока / А. А. Ефимов, Р. Т. Шрейнер. Новоуральск: НГТИ, 2001. 250 с.
5. Костырев, М. Л. Автономные асинхронные генераторы с вентильным возбуждением / М. Л. Костырев, А. И. Скороспешкин. М.: Энергоатомиздат, 1993. 157с.
6. Костырев, М. Л. Алгоритм проектирования асинхронных генераторов с вентильным возбуждением для автономных объектов / М. Л. Костырев, Н. В. Мотовилов, А. А. Дружков. *Электротехника*. № 7, 1986. С. 32–35.
7. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями (моделирование, расчет, применение). Под редакцией Е. А. Крутякова / М. В. Пронин, А. Г. Воронцов, П. Н. Калачиков, А. П. Емельянов. СПб.: «Силовые машины» «Электросила», 2004. 252 с.

УДК 658

**И. В. Ильичев** – магистрант кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**В. Г. Федченко** (канд. тех. наук, доц.) – научный руководитель

### ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

Неуклонно повышающиеся требования рынка вынуждают разработчиков радиоэлектронной аппаратуры использовать электронные компоненты с большим количеством выводов. Количество паяных соединений на единицу площади печатной платы

неуклонно возрастает (например, при переходе от QFP к CSP – в 8 раз). Применение конструкций печатных узлов с использованием компонентов в корпусах BGA, Flip, Chip и CSP, смонтированных на многослойные печатные платы с внешними экранирующими слоями, резко снижает эффективность традиционных методов диагностики и локализации дефектов в производстве [1].

Преимущества использования рентгена очень широки, в силу его возможности «смотреть сквозь корпус», включая: корпуса полупроводниковых приборов, теплоотводы для ИС и металлические экраны, для выявления дефектов соединения, и позволяет распознавать потенциальные проблемы качества с помощью неразрушающего метода контроля. Особенно рентгеновский контроль выгоден при работе с такими типами корпусов как: BGA, CSP, FC, WLP, POP, SIP, QFN; ввиду недостаточного качества оценки таких компонентов другими методами инспекции (Автоматическая Оптическая Инспекция, 2D/3D контроль, электрический тест и т.д.) [2].

Под 3D контролем подразумевается создание трехмерной модели инспектируемого объекта на печатном узле, так называемая компьютерная томография. Процесс создания трехмерного изображения заключается в наборе множества изображений проекций под разными углами. Затем эти изображения проекций корректируются с использованием калибровочных изображений. Затем по этим калибровочным изображениям может быть воссоздано трехмерное изображение (рис. 1) объекта непосредственно после инспектирования. Скорректированные изображения должны быть набраны для каждого объекта инспектирования. Таким образом, построение трехмерной модели, например, позволяет рассматривать пайку ножек кристалла в корпусе находящегося на разных высотах от основания и увидеть дефект визуально на трехмерной модели.

Учитывая указанные причины, при постановке на производство современных электронных модулей на печатных платах особое внимание необходимо уделить диагностике и локализации следующих типов дефектов:

- дефекты металлизации переходных отверстий печатной платы;
- отклонение диаметров переходных отверстий и смещение слоев;
- расслоение многослойной печатной платы;
- дефекты паяных соединений;
- дефекты электронных компонентов.

Учитывая все более возрастающую плотность расположения компонентов на печатных узлах, в настоящее время предлагается использовать сплошной многоступенчатый автоматический контроль качества изготовления печатных узлов. При этом технологический процесс производства современных электронных модулей (рис. 2) предусматривая следующие контрольные операции:

- автоматический оптический контроль;
- рентгеновский контроль;
- электрический функциональный контроль.

контроль.

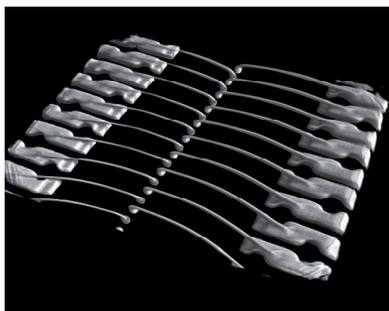


Рис. 1. Созданная трехмерная модель инспектируемого объекта



Рис. 2. Организация многоступенчатого контроля современных электронных модулей на печатных платах

Автоматическая оптическая инспекция – мощное и эффективное средство диагностики и локализации технологических дефектов, но с его помощью нельзя «заглянуть» под корпус компонента, внутрь печатной платы, интегральной микросхемы или паяного соединения.

Электрические методы контроля, как правило, требуют изготовления дорогостоящей оснастки (за исключением функционального теста по краевым разъемам) для каждой модификации электронного модуля с целью обеспечения доступа к каждой цепи. И при этом не анализируется качество паяного соединения. Более того, в момент прижима испытуемого печатного узла к адаптеру происходит неизбежная в таких случаях деформация электронного модуля, и некачественное соединение может быть временно (на время прохождения теста) восстановлено [3].

Современный уровень методов и средств рентгеновского контроля делает его незаменимым инструментом для оценки качества выполнения технологических процессов изготовления и ремонта печатных узлов. Используя возможности цифровой обработки изображения, возможность накопления и обработки результатов эксплуатации этих узлов обеспечивает возможность отладки существующих технологических процессов и создает базу для разработки новых методов изготовления печатных узлов. Что в конечном итоге приводит к повышению надежности выпускаемых изделий, появляются предпосылки для совершенствования технологических процессов, сокращается брак и уменьшается возврат готовых изделий по гарантии. Одним словом, наличие рентгена положительно воздействует на жизненный цикл конечного продукта, а так же на развитие технологии изготовления печатных узлов.

В заключении можно сказать, что рентгеновский контроль на данный момент является самым современным, неразрушающим объект исследования методом, поэтому тема является актуальной.

#### **Библиографический список**

1. Международный журнал «Печатный монтаж» ([www.circuitsassembly.com](http://www.circuitsassembly.com)).
2. <http://tecnew.ru/article/xray-system-in-production.html>
3. [http://www.kit-e.ru/articles/circuitbrd/2004\\_6\\_182.php](http://www.kit-e.ru/articles/circuitbrd/2004_6_182.php)

---

УДК 314.735.15

**Д. В. Казаков** – студент кафедры электротехники

**С. И. Бардинский** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ПРИЁМНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ**

В нефтехимическом производстве остро стоит задача очистки загрязнённых стоков в соответствии требованиям экологии. Для решения этой задачи загрязнённые стоки сливаются в специальные резервуары, а затем по мере наполнения резервуаров специальными насосами перекачиваются в отстойники. Для предотвращения переполнения резервуаров необходимо следить за уровнем жидкости и вовремя откачивать её в отстойники [1].

В ООО «КИНЕФ» используется устаревшая система контроля уровня и включения насосов откачки стоков. В этой системе специальные датчики давления при превышении верхнего уровня жидкости посылают соответствующий сигнал оператору, который включает откачивающие насосы. При снижении уровня жидкости до требуемого нижнего уровня оператор по сигналу датчика останавливает насосы [2]. Поскольку все операции

производятся оператором, то это оказывает существенное влияние на противоаварийную устойчивость нефтеперерабатывающего производства, поскольку присутствует «человеческий фактор» (неудовлетворительное состояние технологической дисциплины, ошибки при пуске технологических процессов и выводы установок на режимы эксплуатации). Уменьшением роли этого фактора является предложение новых технологий, которые рассматриваются далее.

Сущность новых технологий заключается в использовании регулируемых по скорости электроприводов насосов по сигналам от датчиков уровня жидкости, без вмешательства оператора. Роль последнего ограничивается лишь наблюдением за правильной работой системы.

Предлагаемая автоматизированная система работает следующим образом. Радарный датчик, установленный на крышке приёмного резервуара, контролирует уровень жидкости с требуемой точностью. Посылаемый им сигнал сравнивается с заданной уставкой уровня жидкости и в зависимости от величины и знака отклонения сигнала от уставки формируется сигнал, который поступает на устройство регулирования скорости насосов и изменяет их скорость в нужном направлении [3]. Использование такой обратной связи по уровню обеспечивает плавное изменение скорости электропривода, причём при малом отклонении уровня от заданного скорости двигателей невелика и расход электроэнергии также мал. При резком увеличении уровня скорость двигателей возрастает до нужной величины, чтобы не допустить переполнения резервуара.

Привод насосов осуществляется наиболее простыми конструктивно, надёжными и дешёвыми асинхронными двигателями. Но регулирование их скорости в широких пределах и притом экономично возможно лишь изменением чистоты питающего напряжения [4]. До появления мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором типа EGBT не существовало простого и экономичного способа регулировать частоту напряжения для питания двигателей. В настоящее время многие фирмы выпускают серийно дешёвые преобразователи частоты на мощных транзисторах указанного выше типа. Наиболее пригодны для модернизации системы стабилизации уровня жидкости в ООО «КИНЕФ» преобразователь [5]. Предлагаемая модернизированная автоматизированная система управления, в отличие от существующей позволяет решить следующие задачи:

- 1) исключение гидроударов, что позволяет резко увеличить срок службы трубопроводов и запорной арматуры;
- 2) работа электродвигателей и пусковой аппаратуры с пониженной нагрузкой, что значительно увеличивает срок службы электродвигателей;
- 3) непрерывный контроль параметров;
- 4) автоматическое и дистанционное управление оборудованием;
- 5) снижение расхода энергоносителей.

#### **Библиографический список**

1. Инструкция по эксплуатации насосной станции (об. 862-52). ООО «КИНЕФ», 2004.
2. Кузнецов А. А., Кагерман С. М., Судаков Е. Н. Расчёты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Химия, 1974.
3. Основы проектирования следящих систем / Под ред. Лакоты Н. А. М.: Машиностроение, 1978.
4. Булгаков А. А. Частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергоиздат, 1982.
5. Алексей Бармин, Максим Ташлицкий. Преобразователи частоты фирмы Siemens. // ProSoft. СТА, № 4, 2000.

**М. Е. Кафидов** – студент кафедры управления и информатики в технических системах  
**И. Г. Криволапчук** – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСОВ МЦОС

Приводится краткое описание и характеристики интерфейсов разрабатываемых для модуля цифровой обработки сигналов в блоке универсального программируемого приемника.

Сейчас, в связи со сложной политической обстановкой, требуются все новые и новые виды вооружений. Политические события, произошедшие в 2011 г., показали, что военная агрессия и опасность могут исходить так же и от небольших стран с кажущимся стабильными политическими системами, не рассматриваемыми в качестве потенциального противника. [1, 2]

Вооруженные силы России испытывают нехватку в современной технике, старое вооружение устарело морально, давно выработав свой ресурс. Готовой новой военной техники на заводах страны нет. Стоимость разработки и создание новых образцов требует много времени и огромных средств. Ситуация с авиацией мало отличается от общей. Выходом из ситуации является модернизация и замена наиважнейших узлов ВВТ. Вот например, по государственной программе вооружений 2007–2015 гг. планируется модернизация 408 самолетов фронтовой авиации [3].

В составе любого воздушного судна есть бортовая радиолокационная станция. БРЛС предназначена для получения радиолокационной информации о воздушных, космических и наземных объектах, в том числе в сложных метеоусловиях и при отсутствии видимости [4]. Существующие образцы громоздки, они занимают много места на борту самолета. Современные микропроцессорные системы позволяют создавать РЛС с превосходными ТТХ в десятки раз меньше чем аналоги, выпущенные 5–10 лет назад. Замена на новые БРЛС позволит высвободить свободное пространство и уменьшит вес борта.

Основой любой РЛС являются передатчик, антенна, приемник. Предлагается рассмотреть блок универсального программируемого приемника (УПП), где присутствует модуль цифровой обработки сигналов (МЦОС).

Аппаратный состав МЦОС предусматривает выполнение следующих операций:

- вторичная обработка сигналов приемных каналов;
- быстрое прямое и обратное преобразование Фурье;
- цифровое гетеродинирование;
- корреляционная шивка парциальных кадров.

Аналого-цифровой модуль (АЦМ) (рис. 1) – выполняет цифровое кодирование радиолокационного сигнала и выдает в форме удобной для приема и его последующей обработки МЦОС. 4 сигнала (суммарный, компенсационный, 2 разностных) из АЦМ выдают на ПЛИС Altera StratixIII в соответствии с общей диаграммой работы блока УПП. На ПЛИС и сигнальных процессорах Analog Devices TigerSHARC 201s (TS) выполняется вторичная обработка сигнала. Программу работы TS загружает StratixIII по каналу LVDS, соединенным с LinkPort #0. Обмен данными между StratixIII и TS осуществляется по каналу LinkPort #3 (на рис.1 не отображен). Между собой TS связаны LinkPort #1 и #2. Работой МЦОС управляет ПЛИС Altera StratixIIGX. Так же, здесь в памяти QDR происходит аккумуляция результатов обработки. Результат обработки выдается на процессор данных (ПД) при помощи интерфейса serial RapidIO. ПД производит повторный анализ, хранение и выдачу конечных результатов на терминал. Терминал представляет собой выходной модуль блока УПП, он управляет работой ПД и выводит данные о цели: ее наличие, координаты, скорость и пр. Основан на ПЛИС со встраиваемым процессором NiosII, для которого установлена ОС PB (RTOS Багет 2.0). Планируется замена на модифицированный дистрибутив ОС Linux uClinux.

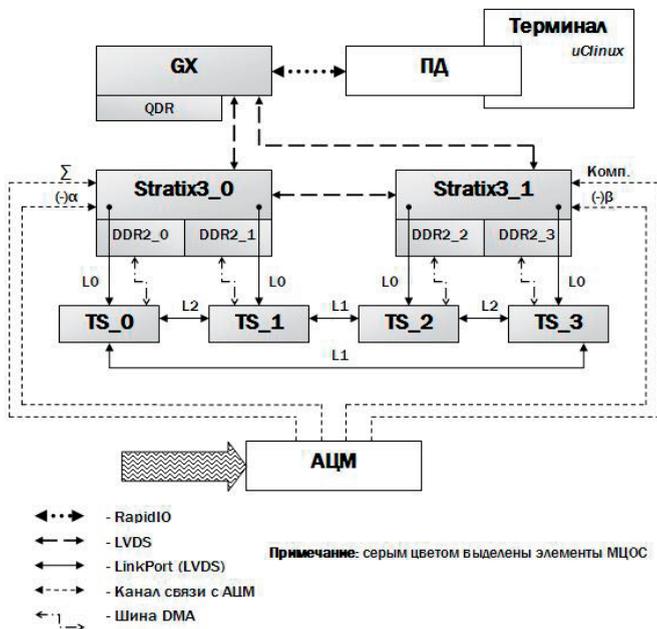


Рис. 1. Упрощенная структурная схема УПП и МЦОС

МЦОС является сложным многопроцессорным устройством. Поэтому для связи решающих блоков, а так же для связи с другими частями УПП (процессор данных и аналого-цифровой модуль) используются высокоскоростные каналы связи. Для их корректной работы необходимы протоколы связи, которые будут обеспечивать запись информационного потока в ПД, приходящего из АЦМ с темпом не ниже 14 МГц.

Разработка протокола TokenShare находится на завершающей стадии – идет подготовка к испытанию на конечном оборудовании.

Задачи, решаемые протоколом:

- организация упорядоченного обмена между TS;
- организация доступа к данным в различных блоках DDR2.

Его особенностями являются:

- строгая диаграмма работы;
- стабильность и защита от сбоев;
- вписывается в невытесняющую многозадачность, реализованную в ТПО TS;
- блочная передача (размер блока 128 бит, пропускная способность до 56 Мбит).
- возможность расширения числа узлов.

Диаграмма работы схожа с диаграммой работы сетей с топологией кольцо (TokenRing)

TS\_0 генерирует пакет типа «маркер» по таймер-счетчику, прием пакета от TS\_3 сбрасывает таймер-счетчик. При 3-х неудачных посылках (нет замыкания кольца) TS\_0 рапортует об ошибке.

Для получения доступа к информации в «чужом» блоке DDR2, при получении маркера, формируется пакет типа «запрос». Указывается «владелец» блока, адрес и размером запрашиваемого массива.

При получении пакета анализируется его тип и служебная информация, если это запрос на массив, адресованный этому процессору, то он выдает необходимую информацию и прикрепляет к ней заголовочный пакет типа «ответ».

При получении пакетов адресованных другому процессору, пакеты транслируются далее по кольцу.

При получении пакета «ответ» происходит копирование необходимой информации, и далее транслируется пакет типа «маркер».

Алгоритм данного протокола строится на использовании векторов обработки прерывания при приеме по LinkPort. Прерывания имеют высокий приоритет, поэтому конфликтов с основной программой не возникает. Протокол поставляется в виде заголо-

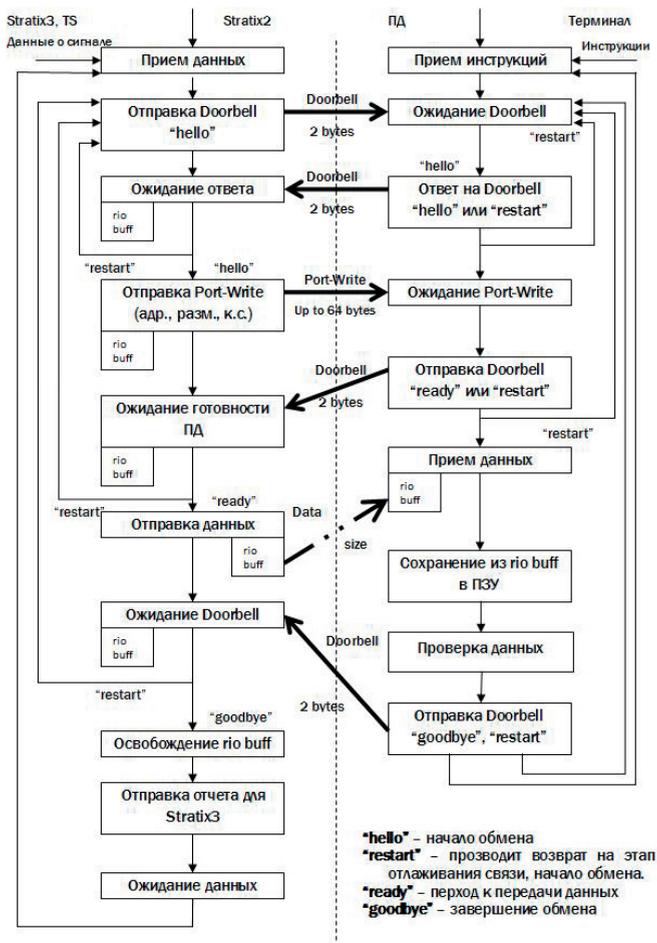


Рис. 2. Диаграмма работы протокола sRIO\_1250x1 для связи МЦОС и ПД

вочного файла, и подключается к программе вызовом нескольких служебных функций описанных в данном заголовочном файле.

Протокол sRIO\_1250x1 использует технологию RapidIO и обеспечивает коммутируемое соединение точка-точка последовательным интерфейсом. Передача осуществляется по одному подканалу с частотой 1.25 ГГц. Особенностью работы интерфейса является передача данных в фоновом режиме. Использование данного протокола позволит установить однозначную связь с ПД. И предавать данные в соответствии с общим циклом работы блока УПП.

Требования к протоколу:

– выдача модулю ПД информации в соответствии с диаграммой работы блока УПП;

– обеспечение надежной передачи данных (рис. 2).

Со StratixIII по каналу LVDS приходят данные. GX пытается установить связь с ПД, отправляя коротенькие пакеты «hello». Во время ожидания, данные копируются в буфер «rio buff». При получении ответа, формируется пакет с объемом полезной информации до 64 байт. В этом пакете указывается, размер, тип, адрес, контрольная сумма и прочая информация о данных. После приема и анализа ПД отправляет коротенький пакет «ready». Далее происходит настройка интерфейса RapidIO на передачу массива. Сама передача происходит автоматически с помощью транспортного и физического уровней. По окончании приема, ПД сохраняет данные из буфера, производит проверку целостности данных. Выдает отчет о принятии и разрывает связь. GX освобождает «rio buff», отправляет отчет о передаче на StratixIII, и переходит в режим ожидания данных, выполняя прочие команды основного ПО. При сбое передачи на любом этапе и/или отчете «restart», происходит возвращение на этап установки связи между GX и ПД.

Протокол sRIO\_1250x1 будет представлять собой участок кода программного обеспечения для встраиваемого процессора NiosII размещенного на ПЛИС Altera StratixIIGX.

Тестовое программное обеспечение (ТПО) представляет собой совокупность программ для проверки работоспособности функциональных элементов блока УПП в отсутствие основного программного обеспечения (ОПО). При разработке ТПО уделяется особое внимание узлам связи и методам передачи данных от одного функционального элемента к другому. В МЦОС ОПО будет установлено на ПЛИС Altera StratixIIGX и на TigerSHARC. Поэтому именно для них и разрабатываются тестовые программы.

uClinux – (читается «you see linux») – дистрибутив ОС Linux для мобильных устройств. Также часто используется на процессорах ЦОС семейства Analog Devices Blackfin. Основным отличием от других ОС и дистрибутивов является вытесняющая многозадачность, сверхмалый размер ядра – максимум до 2 Мбайт, измененные командная оболочка и основные библиотеки Linux.

Разработана методика установки uClinux на ПЛИС. Отработан порядок действий для подготовки рабочей станции и отладочного стенда. Отработан порядок сборки ядра ОС. А также произведена установка в ОЗУ ПЛИС. Подготовлена документация по использованию данной методики.

#### Библиографический список

1. Война в Ливии // [Информационный портал Лента.Ру] // URL <http://lenta.ru/articles/2011/03/20/libya/> (дата обращения 1.04.2011).
2. Угроза конфликта с Японией // [Открытая электронная газета Forum.msk.ru] / А. Баранов 22.02.201 // URL <http://forum-msk.org/material/news/5587520.html> (дата обращения 1.04.2011).
3. Куда летит российская авиация // [Журнал «Коммерсантъ Власть» №33 (787)] / М. Барабанов 25.08.2008 // URL <http://www.kommersant.ru/Doc/1014592> (дата обращения 1.04.2011).
4. БРЛС // [Википедия] // URL <http://ru.wikipedia.org/> (дата обращения 1.04.2011).

УДК 004.031.2

**С. А. Кашликов** – студент кафедры информационных технологий в электромеханике и робототехнике

**В. Ф. Шишлаков** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

### ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОЙ ШИНЫ CAN

На сегодняшний день при проектировании робототехнических и промышленных систем имеется широкий выбор технологических интерфейсов и интерфейсов передачи большого объема данных. В связи с тем, что к нижнему (технологическому) уровню, как ответственному за управление технологическим процессом, предъявляются повышенные требования по надежности функционирования, то и используемая на этом уровне сеть также должна отвечать определенным требованиям. Такие сети, называемые промышленными, используются для связи контроллеров между собой и организации взаимодействия с устройствами ввода/вывода и исполнительными механизмами. В таких сетях необходимым условием является работа всех компонентов системы в режиме реального времени. Кроме этого, к промышленным сетям предъявляются и другие требования по надежности, такие как, например, помехоустойчивость, обнаружение ошибок передачи, скорость передачи данных, допустимое количество узлов, среда передачи. В статье описываются возможности промышленной асинхронной шины CAN, а также рассматриваются особенности применения этой шины в области робототехники.

Идея CAN была предложена в середине 80-х немецкой компанией Robert Bosch, которая задумывала ее в качестве экономичного средства для объединения контроллеров, расположенных внутри автомобиля. Традиционный способ связи контроллеров жгутами проводов по своей технической сложности, по ценовым и по весовым параметрам оказался непригоден. Требовалось альтернативное решение, сокращающее количество проводов, поэтому был предложен протокол CAN, для которого достаточно любой проводной пары. Идея заключалась в том, чтобы создать сетевое решение для распределенных систем, работающих в реальном времени. Первоначально CAN применялся в автомобилях, но затем область его применения расширилась и на автоматизацию технологических процессов [1]. CAN обеспечивает высокий уровень защиты данных от повреждения даже при работе в условиях сильных помех, при этом достигается достаточно большая скорость передачи данных (до 1 Мбит/с). Важным достоинством также является то, что разработчик системы может влиять на приоритет сообщений для того, чтобы самые важные из них не ожидали в очереди на отправку.

Это свойство CAN позволяет строить сети, поддерживающие реальный масштаб времени, что является наиболее важным критерием для робототехнических систем.

CAN представляет собой сеть с общей средой передачи данных [2] (рис. 1). Это означает, что все узлы сети одновременно принимают сигналы, передаваемые по шине. Это позволяет получать данные без посредников и задержек. Каждый узел состоит из двух составляющих. Это собственно CAN контроллер, который обеспечивает взаимодействие с сетью и реализует протокол, и микропроцессор (CPU).

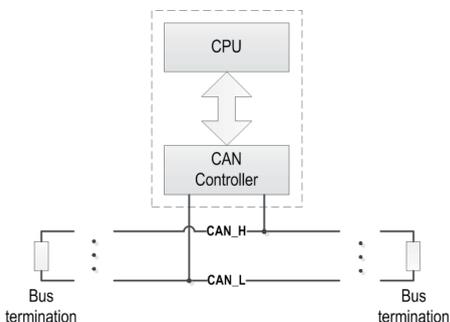


Рис. 1

Для более простой и прозрачной совместной работы сетевого оборудования и программного обеспечения существует сетевая модель OSI (Open System Interconnection Basic Reference Model). Это абстрактная сетевая модель для коммуникаций и разработки сетевых протоколов, включающая семь уровней (табл. 1). Каждый уровень обслуживает свою часть процесса взаимодействия.

Таблица 1

Сетевая модель OSI		
Уровень 7	Application layer	Уровень приложения
Уровень 6	Presentation layer	Уровень представления
Уровень 5	Session layer	Сеансовый уровень
Уровень 4	Transport layer	Транспортный уровень
Уровень 3	Network layer	Сетевой уровень
Уровень 2	DataLink layer	Канальный уровень
Уровень 1	Physical layer	Физический уровень

Протокол CAN в модели OSI реализует канальный уровень (Data Link layer) и часть физического уровня (Physical layer) (рис. 2). Оставшаяся часть физического уровня и все остальные вышележащие уровни не входят в спецификацию CAN и могут либо определяться разработчиком системы, либо реализовываться с помощью существующих вышележащих протоколов.

Физический уровень (Physical Layer) протокола CAN [3] определяет сопротивление кабеля, уровень электрических сигналов в сети и т.п. В качестве среды передачи обычно используют двухпроводную дифференциальную линию (стандарт ISO 11898). Максимальная скорость шины CAN в соответствии с протоколом равна 1 Мбит/с. При такой скорости максимальная длина кабеля равна примерно 40 метрам. Ограничение на длину кабеля связано с конечной скоростью распространения сигнала и механизмом побитового арбитража (во время арбитража все узлы сети должны получать текущий бит передачи одновременно, то есть сигнал должен успеть распространиться по всему кабелю за единичный отсчет времени в сети). Быстродействие CAN сети достигается благодаря механизму «недеструктивного» арбитража шины посредством сравнения бит конкурирующих сообщений.

Канальный уровень (Data Link layer) протокола CAN определяет формат передаваемых сообщений. Сообщения в протоколе CAN называются кадрами. Наиболее важными

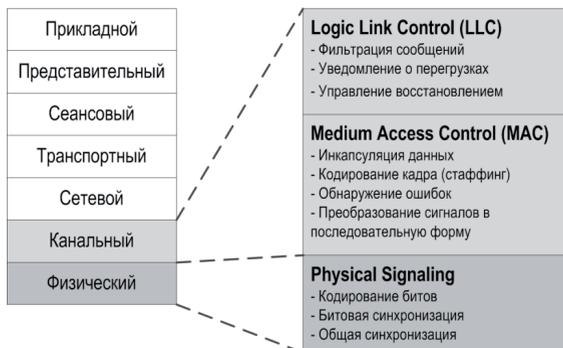


Рис. 2

полями являются поле идентификатора (identifier) и сами передаваемые данные (data). Остальные поля в кадре используются для передачи специфических данных, необходимых для функционирования CAN. Идентификатор служит уникальным именем для типа сообщения и определяет то, кем будет принято и как будет интерпретировано следующее за ним поле данных. Сеть CAN обеспечивает максимально возможную простоту модернизации. Поскольку децентрализованные контроллеры никак не связаны между собой логически, добавление нового элемента в систему никак не повлияет на поведение всех остальных. Приоритетность сообщения при «недеструктивном» арбитраже определяется значением идентификатора. Приоритет тем больше, чем идентификатор меньше.

Надежность CAN сети определяется также механизмами обнаружения ошибок. Стандарт CAN определяет следующие методы обнаружения ошибок в сети CAN:

- **Chek Bit monitoring** – каждый узел во время передачи в сеть сравнивает значение передаваемого им бита со значением бита, которое появляется на шине. Если эти значения не совпадают, то узел генерирует ошибку Bit Error. Во время арбитража на шине этот механизм проверки ошибок отключается.

- **Bit stuffing** – когда узел передает последовательно в шину 5 бит с одинаковым значением, то он добавляет шестой бит с противоположным значением. Принимающие узлы этот дополнительный бит удаляют. Если узел обнаруживает на шине больше 5 последовательных бит с одинаковым значением, то он генерирует ошибку Stuff Error.

- **Frame Check** – некоторые части CAN-сообщения имеют одинаковое значение во всех типах сообщений. Т.е. протокол CAN точно определяет, какие уровни напряжения и когда должны появляться на шине. Если формат сообщений нарушается, то узлы генерируют ошибку Form Error.

- **Acknowledgement Check** – каждый узел, получив правильное сообщение по сети, посылает в сеть доминантный бит. Если же этого не происходит, то передающий узел регистрирует ошибку Acknowledgement Error.

- **CRC Check** – каждое сообщение CAN содержит CRC сумму, и каждый принимающий узел подсчитывает значение CRC для каждого полученного сообщения. Если подсчитанное значение CRC суммы не совпадает со значением CRC в теле сообщения, принимающий узел генерирует ошибку CRC Error.

Каждый узел сети CAN во время работы пытается обнаружить одну из пяти возможных ошибок. Если ошибка обнаружена, узел передает в сеть кадр ошибки, разрушая тем самым весь текущий трафик сети (передачу и прием текущего сообщения). Все остальные узлы обнаруживают этот кадр и принимают соответствующие действия (сбрасывают принятое сообщение).

Сам по себе протокол CAN определяет лишь принципы работы сети и типы передаваемых сообщений. Поскольку все остальные уровни функций не специализированы, то разработчик может определить их самостоятельно. В настоящее время существует целый набор различных протоколов прикладного уровня, наиболее популярными из которых являются: CANOpen, DeviceNet, CANKingdom. Функционально они предлагают принципиально схожие решения, отличающиеся деталями реализации. Наиболее активно развивающимся является протокол CANOpen, поддерживаемый международной организацией CAN in Automation и имеющей статус европейского стандарта EN50325-4.

Из проведенного рассмотрения возможностей CAN можно сделать вывод о целесообразности применения этой шины как технологического канала в робототехнических системах, требующих передачи данных в реальном времени и, в тоже время, не требующих передачи большого количества данных. При использовании CAN возникает задача реализации механизмов сетевого управления, что обеспечивается уже на уровне программного обеспечения с помощью протоколов верхнего уровня. Возможность использования уже разработанных протоколов верхнего уровня, а также возможность разработки собственного специализированного протокола, способствуют широкому распространению асинхронной шины CAN в области робототехнических систем.

**Библиографический список**

1. Скворцов А. Н., Сердюков О. В., Тимошин А. И., Дорошкин А. А. Применение промышленной сети CAN в современных системах автоматизации
2. CAN Implementation // CAN in Automation, <http://www.can-cia.org>
3. CAN Physical layer // CAN in Automation, <http://www.can-cia.org>

УДК 629.735.33

**О. А. Каштанова** – студентка кафедры электротехники и технической диагностики  
**С. Ю. Мельников** (канд. техн. наук) – научный руководитель

**ВИРТУАЛЬНЫЙ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА**

Виброакустическая диагностика является самым популярным и эффективным методом оперативного безразборного контроля технического состояния машин и механизмов. Для решения задач вибродиагностики применяются различные методы анализа виброакустического сигнала, в частности спектральный. Для анализа виброакустических сигналов используются анализаторы спектра.

Анализатор спектра – устройство для получения спектров физических процессов. Он позволяет определить амплитуду и частоту спектральных компонентов, входящих в состав анализируемого процесса. Анализатором спектра может служить любой прибор, поведение которого зависит от частоты воздействия. К основным характеристикам относятся рабочий диапазон частот, чувствительность, разрешающая способность, время анализа. Анализаторы спектра выполняются по обобщенной функциональной схеме вида: входное устройство – преобразователь – показывающее или регистрирующее устройство. Конкретные схемы и конструкции приборов, осуществляющих анализ методом фильтрации, разнообразны, но основным узлом является узкополосная система, выделяющая спектральные составляющие или участки спектра.

Наиболее распространенными являются осциллографические анализаторы. В подобных приборах с последовательным анализом предусматривают электрическую перестройку в весьма широком диапазоне частот. Перестройка достигается в результате видоизменения способа анализа: вместо того, чтобы передвигать среднюю частоту полосового фильтра по шкале частот относительно неподвижного спектра, перемещают спектр относительно фиксированной средней частоты фильтра. Структурная схема анализатора последовательного типа показана на рис. 1.

Современные анализаторы спектра, в связи с расширенными функциями анализа, такими как возможность дистанционного управления, расширение количества измерительных каналов, генерация отчетов, имеют достаточно высокую стоимость. Поэтому в данной работе мы разрабатываем виртуальный ана-



Рис. 1. Структурная схема анализатора последовательного типа

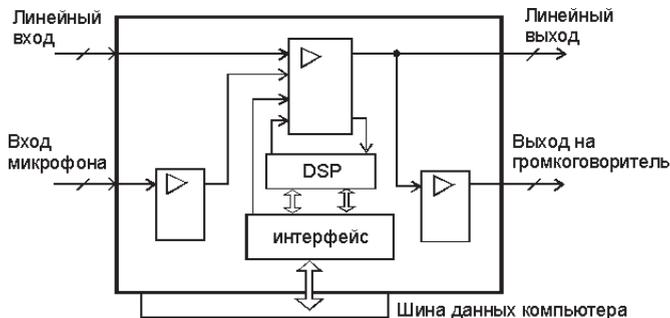


Рис. 2. Типовая структура звуковой карты Sound Blaster

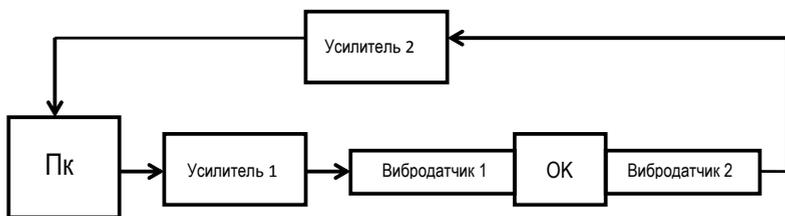


Рис. 3. Схема подключения виртуального анализатора спектра

лизатор спектра, реализованный программными средствами LabView на ПК, который будет предназначен для определения спектрального состава сигнала, прошедшего через исследуемый объект, и имеющий характеристики, достаточные для анализа виброакустических сигналов.

Звуковую карту Sound Blaster (семейство звуковых карт, выпускаемых фирмой Creative Technology), можно использовать как аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователь с исключительно широкими возможностями обработки данных. Компьютер с такой картой можно использовать в качестве осциллографа, генератора или анализатора сигналов. Типовая структура звуковой карты Sound Blaster представлена на рис. 2.

Рассматриваемая нами звуковая плата способна регистрировать и формировать сигналы в диапазоне частот до 20 кГц, что достаточно для рассматриваемых нами задач вибродиагностики.

Чтобы провести измерения виртуальным анализатором спектра, необходимо к входу и выходу звуковой платы подключить вибродатчики через усилители. Задающийся сигнал поступает на выход звуковой карты, который усиливается первым усилителем и поступает на первый вибродатчик, который плотно прикреплён к объекту контроля, и снимается вторым вибродатчиком, а затем через второй усилитель подаётся на линейный вход звуковой карты. Затем можно производить анализ с помощью виртуального анализатора спектра, реализованного на ПК, программными средствами LabView.

#### Библиографический список

1. Лерер А. М., Нойкин Ю. М., Нойкина Т. К., Синявский Г. П. Методические указания к выполнению лабораторного практикума «Радиофизика и электроника». Ростов-на-Дону, 2001.

**Г. А. Киршин** – магистрант кафедры микро– и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**О. Л. Смирнов** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ КОНСТРУКТОРСКИХ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ**

Любое проектирование связано с выполнением расчетов. Зачастую эти расчеты трудоемки и требуют больших затрат времени. Поэтому требуется их автоматизация. Для радиоэлектронных модулей были ранее разработаны такие программы для расчетов в операционной системе MS DOS, которые пользовались большим успехом у студентов. В связи с появлением более новых операционных систем возникла необходимость в модернизации программ для устранения проблем совместимости.

Модуль был написан на языке C#. Для создания программы была использована среда разработки Microsoft Visual Studio 2010 (бесплатная версия Visual C# Express доступна на сайте Microsoft). Используются технологии .Net Framework, WinForms. Системные требования: Операционная система Microsoft Windows XP и более поздние, программная платформа .NET Framework 2.0 (доступна для скачивания на сайте Microsoft).

Алгоритмы расчетов основаны на разработанных ранее программных модулях, поэтому основными усовершенствованиями являются: более удобный и наглядный интерфейс, совместимость с 64-разрядными операционными системами, сохранение результатов в более удобном формате и кодировке, объединение нескольких модулей в один.

Пользовательский интерфейс представляет собой окно с тремя основными страницами, переключаясь между которыми можно выбрать необходимый тип расчетов (надежность, виброустойчивость или тепловой режим).

На первой странице выполняется расчет надежности. Страница содержит три подстраницы. На первой представлены краткие теоретические сведения и указаны формулы, лежащие в основе расчетов. Вторая подстраница служит для ввода данных. Коэффициент температурного режима  $\alpha(T)$  в таблице компонентов необходимо определять графически по заранее известным зависимостям. Для основных типов компонентов зависимости представлены в теоретическом материале. При нажатии кнопки «Расчет» выполняются все необходимые расчеты и происходит автоматическое переключение на третью подстраницу, где представлены результаты расчетов. Также на третьей странице есть кнопка «Сохранить», после нажатия которой будет предложено сохранить результаты расчетов, а также таблицу с исходными данными в файл. Результаты расчетов будут сохранены в формате .rtf, который совместим со встроением в Microsoft Windows редактором WordPad, а также пакетом Microsoft Word. Таблица с исходными данными будет сохранена в текстовом формате .csv, для удобства просмотра которого необходимо использовать пакет Microsoft Excel. Эта таблица может быть скопирована в документ MS Word через буфер обмена. [1]

На второй странице выполняется расчет виброустойчивости. Эта страница также содержит три подстраницы по аналогии с расчетом надежности. Допустимые диапазоны некоторых параметров могут автоматически корректироваться в зависимости от изменения других связанных с ними параметров. Для выбора типа крепления платы необходимо нажать левой кнопкой мыши на изображение. При нажатии кнопки «Расчет» выполняются все необходимые расчеты. При сохранении результатов таблица с исходными данными записывается в тот же файл что и результаты расчетов. [2, 3]

На третьей странице выполняется расчет теплового режима. Структура расчета аналогична предыдущим двум. Поля для ввода последних четырех параметров (производительность вентилятора, скорость обдува, площадь ребер, коэффициент перфорации)

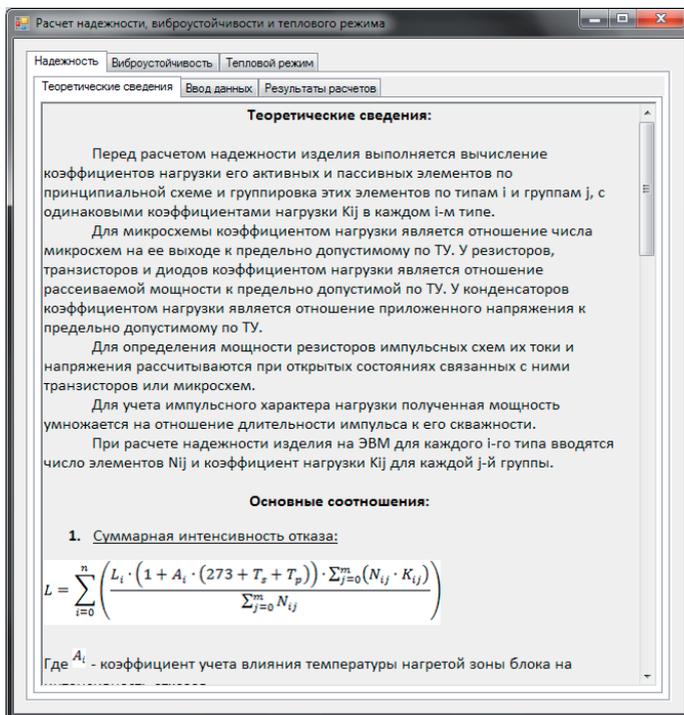


Рис. 1. Окно теоретических сведений

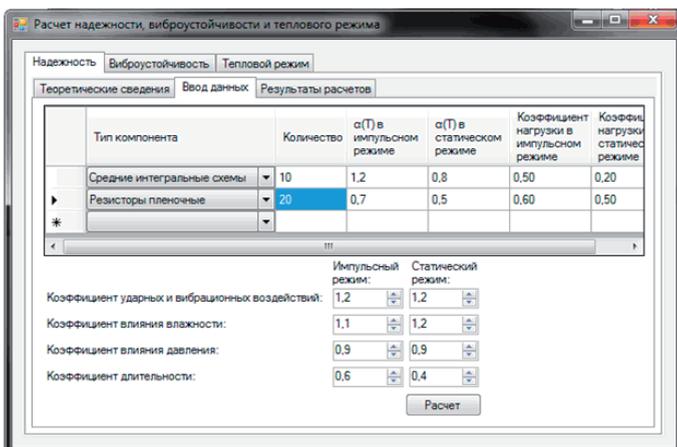


Рис. 2. Окно ввода данных для расчета надежности

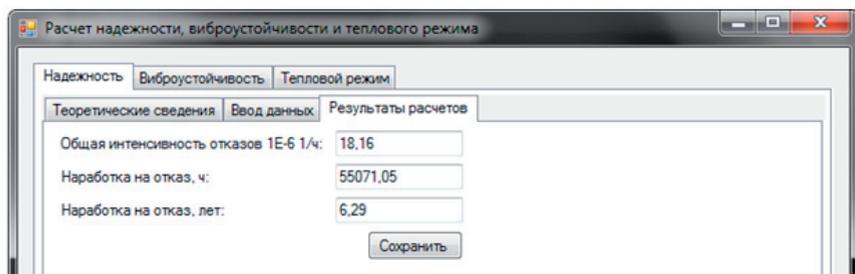


Рис. 3. Окно с результатами расчетов

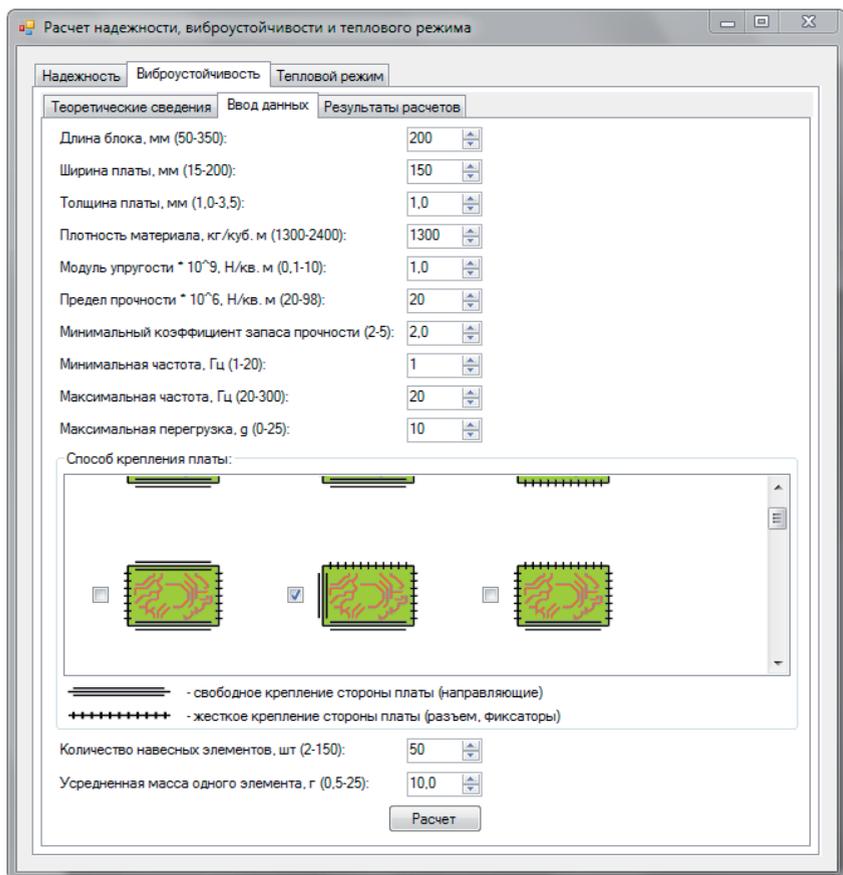


Рис. 4. Окно ввода данных для расчета виброустойчивости

становятся активными в зависимости от выбранного типа блока. При нажатии кнопки «Расчет» выполняются все необходимые расчеты. [4]

Далее представлены изображения некоторых выше элементов пользовательского интерфейса с примерами введенных данных и полученных на их основе результатов расчетов.

На рис. 1 представлено окно описания теоретических сведений для расчета надежности.

На рис. 2 представлено окно ввода данных: количества элементов и коэффициентов температурного режима, ударных и вибрационных воздействий, влияния влажности, давления и длительности воздействия для импульсного и статического режимов.

На рис. 2 представлено окно с результатами расчета параметров надежности: интенсивности отказов и наработки на отказ в часах и годах.

На рис. 4 представлено окно ввода данных для расчета виброустойчивости. Отметка слева от выбранного типа крепления платы автоматически появляется при нажатии левой кнопкой мыши на изображение платы.

Таким образом, в данной статье представлено описание новой версии программного модуля для конструкторских расчетов электронных узлов.

#### **Библиографический список**

1. Варламов Р. Г. Справочник конструирования РЭА: общие принципы конструирования. М: Радио и связь, 1980. 430 с.
2. Вайнберг Д. В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. Киев: будівельник, 1973. 488 с.
3. Писаренко Г. С., Яковлев А. П. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Киев: наукова Думка, 1971. 376 с.
4. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю.Э. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА. М.: Сов. Радио, 1976. 250 с.

УДК 621.88

**К. И. Киселев** – студент кафедры управления и информатики в технических системах  
**В. С. Акопов** (канд. техн. наук, ст. научн. сотр.) – научный руководитель

### **АНТИОБЛЕДЕНТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Проблема использования антиобледенительных систем приобрела особую актуальность в связи с большими масштабами строительства современных элитных городских зданий и комфортабельных коттеджей, имеющих красивую, дорогостоящую кровлю и водостоки, срок службы которых составляет до 50 и более лет. Наледь и сосульки могут в несколько раз сократить срок службы и даже, за один зимний сезон, вывести ее из строя. Борьба с наледью на таких кровлях и водостоках привычным методом практически невозможна в связи с большой вероятностью их повреждения. Кроме этого, в последние годы значительно ухудшились погодные условия, возросло число несчастных случаев, причиной которых стал неконтролируемый сход снега и льда.

Кратко процесс образования наледи можно описать следующим образом. Под воздействием атмосферного тепла или тепловыделения кровли происходит плавление снега. Образовавшаяся талая вода на своем пути встречает холодные участки крыши и замерзает. При невозможности стока, вода наслаивается на этот затор и превращается в лед.

С появлением систем снеготаяния стало возможным предотвращение разрушений и деформации водостоков, желобов и канализационных стоков. Ее установка обеспечи-

вадет безопасность людей и имущества, продлевает срок службы кровельного покрытия и водосточной системы в несколько раз.

В данном случае эффективным способом борьбы с наледью является антиобледенительная система обогрева кровли на основе греющих кабелей, которая позволяет решить все проблемы связанные со сходом снега, скользкими дорожками и ступеньками, с замерзающими жидкостями в трубах. Использование антиобледенительных систем на основе греющих кабелей позволяет исключить образование наледи в местах ее наиболее вероятного появления. Повсеместное внедрение таких систем позволит отказаться от ручной очистки крыши, избавиться от скапливающихся масс снега, обеспечить беспрепятственный отвод талой воды через водостоки, а также исключить протечки крыши и разрушение водосточных труб. Принцип работы такой системы заключается в своевременном включении и отключении нагревательного кабеля. Стоимость антиобледенительной системы и ее характеристики, а также эксплуатационные затраты напрямую зависят от типа используемых греющих кабелей. Так, например, резистивные модели являются бюджетным решением, их стоимость не превышает 100–150 руб./пог. м. Они состоят из токонесущей греющей жилы, изоляции, оплетки и внешнего защитного покрытия. Более дорогие варианты могут быть снабжены бронированной оплеткой из стальной проволоки и второй, соединительной жилой, значительно упрощающей монтаж. Помимо невысокой цены главные достоинства кабелей данного типа – гибкость и значительная мощность, а основной недостаток – одинаковые мощность и теплоотдача по всей длине. При включении системы элементы в равной степени нагревают и затененные углы с толстой коркой льда, и освещенные солнцем чистые участки крыши, что в конечном счете приведет к значительному перерасходу электроэнергии. Другой недостаток резистивных изделий – строго фиксированная длина каждой секции, изначально рассчитанная с учетом мощности и теплоотдачи. Второй тип кабелей – саморегулирующиеся кабели. Их конструктивной основой является полупроводниковая матрица, расположенная между двух токонесущих жил с навитой поверх них теплоизлучающей спиралью. Под воздействием температуры матрица меняет свое сечение в довольно широком диапазоне. Так, при похолодании происходит ее сжатие и, соответственно, понижение сопротивления. Одновременно по законам физики возрастает сила тока и теплоотдача. Таким образом, экономия электроэнергии при использовании таких кабелей будет весьма существенной. Кроме этого, еще одним достоинством таких кабелей является возможность использования в системе отрезков кабеля произвольной длины. Однако, такие кабели имеют высокую стоимость (около 500–700 руб./пог.м).

Необходимо отметить, что существуют также и другие способы борьбы с наледью. Кроме нагревательных систем часто используются системы покрытий поверхностей слоем специального материала, обеспечивающие «скатывание» воды и снега с поверхности крыши, а также промышленный альпинизм. Однако, в этом случае существенно возрастает вероятность повреждения дорогостоящей кровли. Кроме того, очистка больших площадей плоских крыш очень трудоемка и занимает много времени, требует найма рабочих и может вообще не дать положительного результата при длительном снегопаде. В подобных условиях обогрев кровли весьма актуален и по большому счету просто необходим. Достаточно часто случающиеся температурные колебания приводят к неизбежному обледенению и предельной заснеженности крыш, вызывают замерзание системы водостоков строения, опасному наращиванию сосулек, падение которых при оттепелях способно нанести существенные материальные потери и представлять опасность для жизни и здоровья окружающих людей. Скопившаяся избыточная масса снежного покрова на водостоках и крыше с предельной перегрузкой оказывает давление на кровлю, подвергая ее быстрому разрушению. Все это обуславливает необходимость использования новейших технологий в области промышленного обогрева и систем снеготаяния.

УДК 667

**А. А. Козлов** – студент кафедры микро и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**О. Л. Смирнов** (канд. техн. наук., доц.) – научный руководитель

### БЛОК УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОПРИВОДАМИ

В повседневной жизни все больше внимания уделяется автоматизации. Не обошел стороной процесс автоматизации и такую вроде бы незаметную отрасль, как ламинирование (оклеивание пленкой) изделий из ПВХ профиля. В данной работе рассмотрены вопросы автоматизации процессов ламинирования оконного профиля.

Один из таких аспектов – регулировка прижимных валиков. Эта проблема появилась из-за большого количества различных профилей. Для каждого профиля необходимо перенастроить прижимной ролик вручную (рис. 1). Настройка одного ролика занимает около 5 мин. Таких роликов на станке 18 штук, в итоге получаем приблизительно 90 мин. простоя станка.



Рис. 1. Прижимные ролики на ламинационной машине

Был проведен анализ данной проблемы, в ходе которого нашли решение – путем использования сервоприводов с программируемыми микроконтроллерами, которые могут регулировать положение прижимного ролика во всех трех координатах и высчитывать, то расстояние и скорость движения сервопривода, которые позволяют задать нужную координату для ролика. Во время поиска уже готовых решений на рынке столкнулись с проблемой несоответствия существующих изделий поставленной задаче по одному или нескольким параметрам (например: коли-

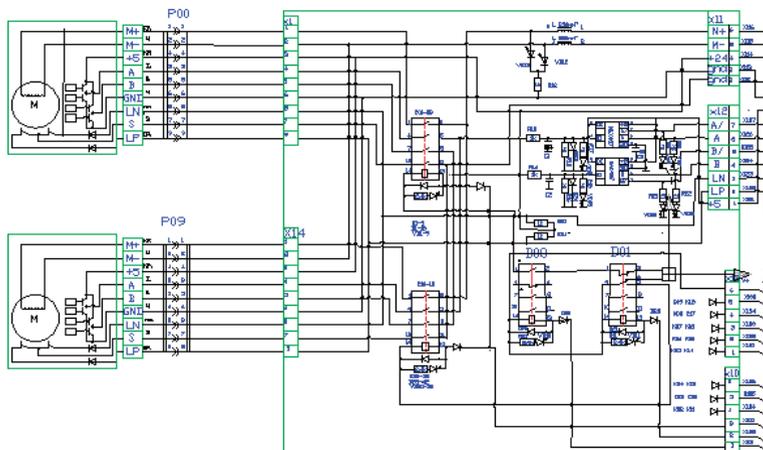


Рис. 2. Электрическая схема устройства

чество сервоприводов в системе, количество сохраняемых координат для сервоприводов, возможность ручной настройки и контроля над работоспособностью) [1].

Во время создания данной системы появилась задача сделать так, чтобы каждый ролик регулировался поочередно (проблема появилась из-за достаточно сложной реализации данного процесса для всех 18 роликов одновременно). Была найдена печатная плата [1], которая подключается к программируемому устройству ISPCON и позволяет управлять роликами поочередно (рис. 2 и 3).

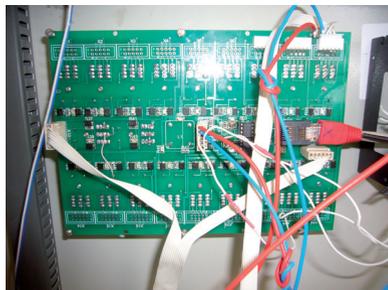


Рис. 3. Печатная плата устройства

Все ролики разбиты на 2 группы по 9 штук.

Для выбора нужной группы на плате существуют два реле D0 и D1. При срабатывании этих реле подается питание либо на верхнюю группу роликов, либо на нижнюю группу роликов. Далее каждый двигатель соединен с модулем контроля и сбора данных ICP CON 7043D через реле K1-K18 [2]. Данное устройство позволяет замкнуть необходимую цепь. Когда мы выбираем нужный нам мотор, то срабатывает реле и около него загорается светодиод. Питание подается на нужный мотор и через необходимое время блок 7043D размыкает цепь.

Разработанное устройство на данный момент проходит настройку и отладку. После его внедрения время настройки ламинарующего станка сокращается на 70 мин. и занимает всего 20 мин., что позволяет сократить время простоя оборудования и использование людских ресурсов. Что в свою очередь повышает производительность, снижает себестоимость и, как следствие, позволяет предлагать более выгодные цены на рынке готового продукта. Также внедрение данного блока снижает вероятность брака и позволяет синхронизировать станок с персональным компьютером, в результате чего появляется возможность полностью автоматизировать процесс ламинации ПВХ профиля. Людские ресурсы будут использованы только для приемки и выемки изделий. Также данная модернизация позволяет более точно контролировать склад уже готовых изделий.

#### Библиографический список

1. Приводная техника, URL: <http://www.privod.ru>
2. Aggsoftware. Technology at your service, URL: <http://www.aggsoft.ru>

УДК 629.735.33

**А. И. Левков** – студент кафедры электротехники и технической диагностики

**М. В. Пронин** (д-р техн. наук) – научный руководитель

**А. Г. Воронцов** (канд. техн. наук) – научный руководитель

#### УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ СИГНАЛА ДПП

В системах электродвижения (СЭД) судов и кораблей используются двигатели на постоянных магнитах (ДПМ), получающие питание от автономных инверторов напряжения (АИН) [1–9]. ДПМ не имеет контактных колец, ему не нужен возбудитель, СЭД этого типа имеют на 1–2% более высокий КПД, чем машины других типов. При использовании датчика положения ротора (ДПР) система управления (СУ) ДПМ и АИН сравнительно

проста [9]. Существуют варианты исполнения СЭД с аппаратурой управления, встроенной в корпус ДПМ. В таких системах из-за близкого расположения магнитов, АИН и устройств управления магнитные поля электрооборудования могут создавать помехи и неблагоприятно влиять на работу системы. Помехи проявляются в меньшей степени при низких частотах вращения ДПМ. При увеличении частоты мощность нагрузки СЭД увеличивается пропорционально кубу скорости вращения гребного винта и помехи возрастают. По этой причине в некоторых случаях номинальный режим работы не достигается. В данной работе рассматривается СЭД, в которой для повышения помехоустойчивости системы в зоне низких частот вращения ДПМ управление осуществляется с ДПР, а в зонах высоких частот – без ДПР. То есть надежность работы СЭД повышается за счет исключения из СУ ненадежного канала измерения угла положения ротора.

Структурная схема СЭД мощностью несколько мегаватт представлена на рис. 1. ДПМ имеет 4 трехфазных обмоток, взаимно сдвинутых по фазе на 15 эл. град. В каждом канале имеются 4-тактный широтно-импульсный преобразователь (ШИП), повышающий постоянное напряжение, и двухтактный транзисторный инвертор напряжения (АИН), преобразующий постоянное напряжение в регулируемое по частоте и амплитуде напряжение питания гребного двигателя. На валу двигателя установлен датчик положения и скорости вращения ротора (ДПР). Параллельная работа ветвей ШИП и АИН обеспечивается уравнительными дросселями и СУ. Управление СЭД осуществляется по схеме СУ (рис. 2).

СУ включает в себя ПИ-регулятор скорости ДПМ, блок выбора режима работы и задания токов фаз, П-регуляторы токов в каждой фазе всех АИН и фильтры напряжений управления. Скорость вращения ДПМ задается сигналом  $\omega_{rcs}$ . Регулятор скорости, контролируя заданную и фактическую  $\omega$  скорости, формирует экстремум  $I_m$  заданных токов фаз всех АИН. На входы блока выбора режима работы и задания токов АИН поступают сигналы по частоте вращения ДПМ  $\omega$ , по экстремуму токов  $I_m$ , по угловому положению ротора  $\tau_r$ , по фазе напряжений управления  $\tau_{ym}$ , по фазе токов  $\varphi_{IE}$  относительно ЭДС возбуждения, по фазе токов относительно напряжений  $\varphi_{IU}$ , по сдвигу токов в каждой обмотке ДПМ  $\varphi_m$ , по установке выбора режима работы  $\omega_h$ .

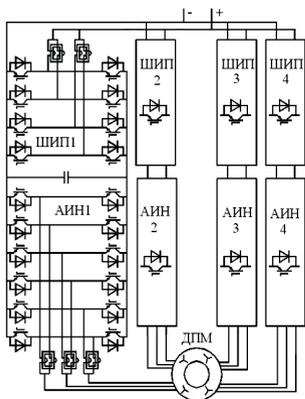


Рис. 1. СЭД с многофазным ДПМ

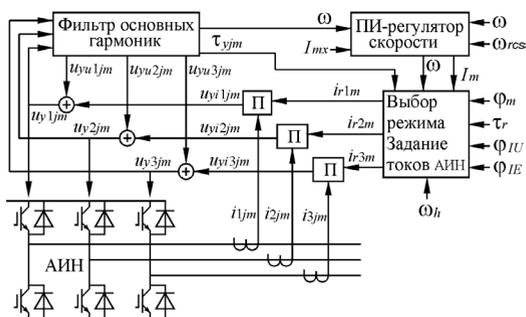


Рис. 2. Структурная схема системы управления АИН

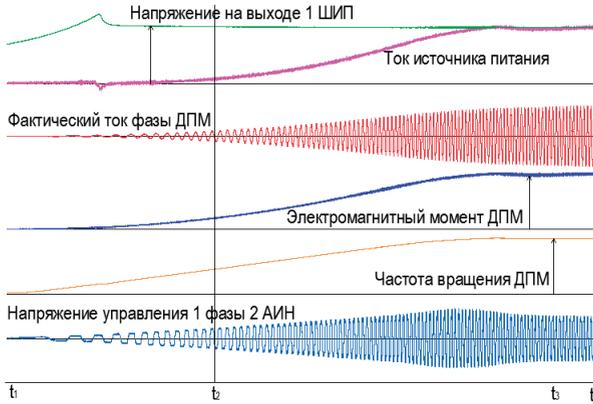


Рис. 3. Диаграмма пуска ДПМ

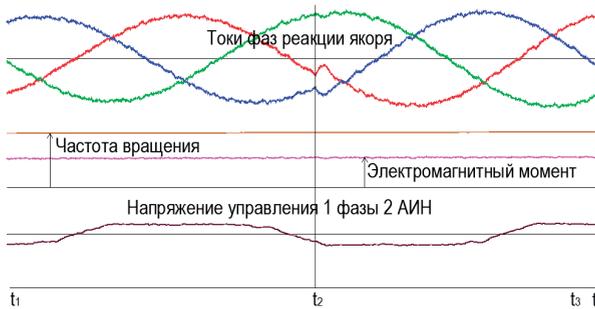


Рис. 4. Фрагмент диаграммы пуска ДПМ

Условия выбора режима или перехода к управлению с ДПР и без ДПР определяются функцией  $K_p$ :

$$\left. \begin{array}{l} \text{если } -\omega_h \leq \omega \leq \omega_h, \text{ то } K_p = 0 \text{ (с ДПР),} \\ \text{если } \omega > \omega_h, \text{ то } K_p = 1 \text{ (без ДПР),} \\ \text{если } \omega < -\omega_h, \text{ то } K_p = -1 \text{ (без ДПР).} \end{array} \right\}$$

Для исследования изменения характеристик СЭД была разработана математическая модель многофазного ДПМ и системы его питания методами моделирования сложных систем по взаимосвязанным подсистемам. На полной модели привода, разработанной в среде C++Builder специалистами филиала ОАО «Силловые машины» «Электросила», выполнены расчеты при управлении АИН и ДПМ в зоне низких частот с ДПР и в зоне высоких частот без ДПР. На рис. 3 представлена диаграмма пуска ДПМ, рассчитанная на модели. На рис. 4 фрагмент диаграммы пуска, на котором видно переключение сигнала.

На диаграммах изображены: фактический ток 1 фазы 1 обмотки ДПМ, токи фаз реакции якоря, частота вращения ДПМ, электромагнитный момент ДПМ, напряжение управление 1 фазы 2 АИН. На интервалах времени  $t_1-t_2$  СЭД работает при использовании в СУ

сигналов ДПР. На интервалах  $t_2-t_3$  сигналы ДПР в СУ не используются, что существенно повышает надежность СЭД. В моменты переключения режимов работы ( $t_2$ ) в токах и напряжениях СЭД и в электромагнитном моменте скачкообразные изменения малы.

Использование предлагаемого алгоритма управления особенно существенно в тех плавучих объектах, в которых СЭД длительно работает при постоянной частоте вращения гребного винта, а пуски и реверсы выполняются сравнительно редко – длительные режимы обеспечиваются по более надежной схеме СУ.

#### **Библиографический список**

1. Schrödl M., Hofer M., Staffler W. Sensorless Control of PM Synchronous Motors in the Whole Speed Range Including Standstill Using a Combined INFORM/EMF Model / EPE-PEMC 2006, Portorož, Slovenia, pp. 1943–1949.
2. Schrödl M., Simetzberger C. Sensorless Control of PM Synchronous Motors Using a Predictive Current Controller with Integrated INFORM and EMF Evaluation / EPE-PEMC 2008, Poznan, Poland, pp. 2306–2313.
3. Khaburi D. A., Shahnazari M. Sensorless Vector Control Method for Permanent Magnet Synchronous Motors Using Reduced Order Observer in Park Frame / EPE 2003. Toulouse.
4. Kumar R., Gupta R. A., Singh B. Performance Analysis of Vector Controlled Permanent Magnet Synchronous Motor with Fuzzy Tuned PID Controller / EPE-PEMC 2004, Riga, Latvia
5. Hadiouche D., Razik H., Rezzoug A. On the Modeling and Design of Dual-Stator Windings to Minimize Circulating Harmonic Currents for VSI Fed AC Machines / IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 40, NO. 2, March/April, 2004.
6. Nakai T., Fujimoto H. Harmonic Current Suppression Method of PMSM Based on Repetitive Perfect Tracking Control / IECON. Nov. 5-8, 2007, Taipei, Taiwan, pp. 1049-1054.
7. Pronin M., Shonin O., Gogolev G., Vorontsov A., Shopin S. Modeling a Transistor Converter-Fed Permanent Magnet Poly-Phase Machine and a Variable-Frequency Drive Controller under Non-Sinusoidal Back-EMF and Distorted Current Conditions / EPE-PEMC 2009, Spain.
8. Borisavljevic A., Ho E., Takahashi T. Fan Drive Starting into Naturally Rotating Load by Sinusoidal Sensorless Permanent Magnet Motor Control / EPE-PEMC 2006, Portorož, Slovenia, pp. 1190–1198.
9. Pronin M., Shonin O., Gogolev G., Vorontsov A. Control Algorithms for a Multistage VSI-Fed Poly-Phase PMSM Electric Drive with Non-Sinusoidal Back-EMF / EPE-PEMC 2010, Ohrid, Macedonia.

УДК 62-799

**А. В. Леонтьев** – студент кафедры электротехники и технической диагностики  
**В. А. Голубков** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

#### **ПРИБОР КОНТРОЛЯ ДИСБАЛАНСА ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА СТАНКА GL-50**

Современные шлифовальные станки имеют вращающийся абразивный инструмент. Эти станки применяют в основном для окончательной (финишной) чистовой обработки деталей, путем снятия с их поверхности слоев металла с точностью, достигающей иногда до десятых долей микрометра и придания обрабатываемой поверхности высокой чистоты.

На шлифовальные станки поступают заготовки, предварительно обработанные на других станках с оставлением небольшого припуска под шлифование, величина которого зависит от требуемого класса точности, размеров детали и предшествующей обработки.

На шлифовальных станках выполняют:

- обдирку, разрезку и отрезку заготовок;
- точную обработку плоскостей, поверхностей вращения, зубьев колес, винтовых и фасонных поверхностей и т. п.;
- заточку всевозможного инструмента.

Круглошлифовальные станки предназначены для наружного шлифования цилиндрических и конических поверхностей и подразделяются на универсальные и простые.

Основным недостатком таких станков является отсутствие прибора контроля дисбаланса шлифовального круга. В процессе шлифования колец подшипников возникает необходимость в периодической проверке и регулировке дисбаланса шлифовального круга, а также настройки башмаков, удерживающих заготовку колец. Дисбаланс шлифовального круга приводит к повышенной вибрации на частоте вращения и, соответственно отражается на некруглости и волнистости дорожек качения обрабатываемых колец, что в конечном итоге приводит к снижению класса точности выпускаемых подшипников. В связи с этим создание приборов контроля дисбаланса приобретает большую актуальность.

Изначально, нужно понимать, что следствием дисбаланса является вибрация. Она возникает в результате нарушения равномерного (поступательного) движения деталей при вращении. При этом возникают, так называемые, «силы инерции», которые для удобства, рассчитывают в килограммах. Величина этой силы зависит от скорости вращения детали (в расчетной формуле квадрату ускорения или частоты), соответственно она является переменной величиной, чего не скажешь о массе и радиусе вращения.

Анализируя технические данные станка (диаметр шлифовального круга = 400 мм, масса шлифовального круга = 40 кг, минимальная величина неуравновешенной массы 0,001 кг, максимальная величина неуравновешенной массы 0,01 кг, частота вращения шлифовального круга – 1900 об./мин. ± 600 об./мин.), определяем параметры, на которых будут базироваться расчеты параметров схемы прибора. Учитывая, что величина неуравновешенной массы = 0,001 кг, а радиус шлифовального круга = 200 мм, производим расчет силы инерции:

$$F = m \cdot r \omega^2, \quad (1)$$

где  $m$  – величина неуравновешенной массы;  $r$  – радиус вращения детали;  $\omega$  – угловая скорость вращения детали

$$F = 0,2 \text{ м} \cdot (31 \text{ гц} \cdot 2\pi)^2 \cdot 0,001 \text{ кг} = 7,58 \text{ кг-м/с}^2.$$

Дальше выбираем в качестве вибропреобразователя датчик колебаний типа КВ 11 фирмы РФТ. С чувствительностью 15,6 мВ/мс<sup>-2</sup>. Поскольку масса круга шлифовального станка составляет 40 кг, мы можем рассчитать минимальное виброускорение, которое нужно контролировать:

$$M \cdot w = F; \quad w = F/M, \quad (2)$$

где  $w = 7,58/40 = 0,189 \text{ м/с}^2$  – минимальное виброускорение;  $M$  – масса шлифовального круга.

Рассчитываем минимальное напряжение, которое будет на выходе вибропреобразователя.

$$U_{\min} = K\pi \cdot w \quad (3)$$

где  $U_{\min} = 15,6 \cdot 0,189 = 2,9 \text{ мВ}$  – минимальное напряжение;  $K\pi$  – чувствительность вибропреобразователя.

Учитывая напряжение питания операционных усилителей равно  $\pm 3 \text{ В}$ , определяем сквозной коэффициент усиления схемы прибора на частоте вращения – 1000.

В связи с этим, функциональная схема приборов контроля дисбаланса шлифовального круга строится по принципу фильтрации колебаний в районе частоты вращения (рис. 1).

Коэффициент усиления масштабного усилителя принимается равным 100, фильтра – 10.

Прибор функционирует следующим образом. Механические колебания станка преобразуются с помощью вибропреобразователя<sup>1</sup> в электрический сигнал, который по-

<sup>1</sup> Воробьев Е. А. Датчики-преобразователи: учебн. пособие. СПб., ГУАП, 2001. 42 с.



Рис. 1. Функциональная схема прибора контроля дисбаланса

ступает на согласующий блок. Согласующий блок осуществляет согласование высокоомного вибропреобразователя с входным сопротивлением масштабного усилителя. Масштабный усилитель усиливает сигнал. Фильтр выделяет колебания настраиваемого узла (шлифовального круга на частоте вращения). Выпрямитель преобразует гармонический сигнал в постоянное напряжение. Блок компараторов сравнивает постоянное напряжение, пропорциональное уровню колебаний с пороговыми значениями (соответствующими разным состояниям исследуемого узла). Блок индикации отражает уровень колебаний в информационном диапазоне частот, т. е. состояние исследуемого узла.

УДК 621

**А. С. Любимов** – студент кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**К. Д. Шелест** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОВОДНИКОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Входной контроль компонентов является неотъемлемой частью обеспечения качества продукции в производстве электроники. С повышением уровня сложности производимых изделий увеличивается уровень ответственности компонента в изделии. Особенно важна стопроцентная исправность комплектующих при сборке ответственных узлов управляющих систем, когда неисправность какой-либо одной детали может повлечь за собой выход из строя других деталей, узлов, возможно, и всего комплекса в целом, а в летательных аппаратах и повлечь за собой смерть людей.

Проведение входного контроля необходимо для всех типов компонентов, а также нельзя забывать и о тщательном контроле коммутационных проводников и собираемых из них жгутов, так как нарушение связи между элементами электрической схемы можно приравнять к выходу из строя этих элементов.

В данной работе будут рассмотрены виды испытаний, которым подвергаются как коммутационные жгуты, так и проводники из которых они собираются.

Согласно ТУ 16-505.185-71 в приемо-сдаточные испытания проводов монтажных теплостойких, в дальнейшем именуемых «провода», входят следующие виды испытаний:

- контроль качества термообработки;
- контроль на соответствие требованиям маркировке;

- контроль на соответствие требованиям к конструкции (кроме толщины изоляции);
- определение электрического сопротивления токопроводящих жил постоянному току;

- испытание напряжением.

Также согласно ТУ 16-505.185-71 в периодические испытания входят следующие виды испытаний:

- испытания на безотказность;
- определение электрического сопротивления изоляции;
- испытание на воздействие изменения температуры;
- испытание на воздействие повышенной влажности воздуха;
- испытание на воздействие максимальной рабочей температуры эксплуатации;
- испытание на воздействие пониженной температуры среды.

Такие периодические испытания проводят с целью:

- периодического контроля качества изделий;
- контроля стабильности технологического процесса в период между очередными испытаниями;
- подтверждения возможности продолжения изготовления изделий по действующей документации;
- подтверждения уровня качества изделия, выпущенного в течении контролируемого периода;
- подтверждения эффективности методов испытаний, применяемых при приемочном контроле.

Периодические испытания предназначены для продукции установившегося серийного (массового) производства. При их проведении контролируют значения показателей, которые определяют стабильность технологического процесса, но не проверяются при приемосдаточных испытаниях. Для испытаний представляют образцы продукции, отобранные в соответствии с государственными стандартами, техническими условиями и прошедшие приемосдаточные испытания.

Программа периодических испытаний максимально приближена к условиям эксплуатации. Их периодичность – обычно каждый месяц или квартал, а также в начале выпуска изделий на заводе-изготовителе и при возобновлении производства после временного его прекращения. Периодические испытания включают в себя такие виды испытаний, при которых вырабатывается часть ресурса (длительная вибрация многократные удары термоциклы), и сравнительно дорогостоящие испытания (такие, как испытания на работу при повышенной температуре и контроль электрических параметров), поэтому они всегда являются выборочными.

Что касается методов контроля жгутовых сборок, то их можно представить в виде табл. 1.

Таблица 1

Методы контроля жгутовыхборок

Методы неразрушающего контроля	Методы разрушающего контроля
<ul style="list-style-type: none"> <li>– внешний осмотр;</li> <li>– проверка жгутовой сборки на наличие короткого замыкания;</li> <li>– сопротивление изоляции;</li> <li>– проверка жгута проводов на правильность сборки;</li> <li>– высота обжима;</li> <li>– мониторинг силы и динамики обжима;</li> <li>– сила удержания контакта в ответной части</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– измерение падения напряжения (проводник-контакт, контакт-контакт);</li> <li>– испытание изоляции на пробой (напряжение прочности диэлектрика);</li> <li>– усилие отрыва контакта (усилие на отрыв);</li> <li>– распределение жилы в контакте («холодный обжим»);</li> <li>– испытание на стойкость сборки к агрессивным средам (соли, кислоты);</li> <li>– испытание на наработку</li> </ul>

Это далеко не полный список контрольных параметров, которые следует учитывать при производстве жгутовых сборок. Однако даже из данного перечня Большая часть испытаний является выборочными, а оставшаяся является дорогими и не обязательными. По факту на большинстве отечественных предприятий жгутовые сборки подлежат минимальному контролю на короткое замыкание и на целостность цепи, поэтому, к сожалению, не многие отечественные предприятия с уверенностью и обоснованно могут утверждать, что продукция соответствует всем требованиям, которые заложил конструктор. Часто вопросам контроля качества на предприятиях уделяется очень мало внимания из-за высокой стоимости проведения испытаний, а входной контроль проводов и вовсе не производится. Для решения данной проблемы необходимо разработать более дешевую и быструю методику контроля проводников, которая не пугала бы производителей финансовыми вложениями и необходимым для этого временем.

Качество собираемых жгутов будет зависеть от качества входного контроля проводов и качества операций процесса сборки. Так как качество процесса сборки зависит еще и от человеческого фактора, то было решено повысить качество собираемых жгутов путем повышения качества входного контроля поставляемых проводов. Так как контроль должен быть сплошным, а провода на предприятия поставляются в виде бухт, то было бы удобным проводить контроль во время перематывания провода с одной бухты на другую, то есть до разрезания его на куски. В основе идеи такого контроля – протяжка провода в электролите через металлическое кольцо или трубку. При помощи такого метода контроля можно провести несколько испытаний за одну протяжку, а именно:

- испытание на минимальную толщину изоляции;
- испытание напряжением;
- определение электрического сопротивления изоляции;
- испытание изоляции на пробой (напряжение прочности диэлектрика);
- расчет среднего сопротивления на единицу длины;
- испытание на обрыв проводника;
- тангенс угла диэлектрических потерь.

В дополнение к тому возможна маркировка опасных участков провода, с целью недопущения их к использованию в процессе производства жгутовых сборок.

### **Библиографический список**

1. Тихонов С. Как проверить качество жгутовых сборок. Информационный бюллетень «Со-ЕДИНЕНИЕ»: ЗАО Предприятие Остек. 2009, № 3. С.18–25.
2. ТУ 16-505.185-71. Провода монтажные теплостойкие с изоляцией из фторопласта. Технические условия.

---

УДК 621.313.13

**А. С. Миневрин** – студент кафедры электротехники и технической диагностики  
**В. Д. Косулин** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **КОМПЛЕКС ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

Одним из факторов, обеспечивающих эффективность силовых и теплопотребляющих установок, является контроль теплопотерь и поддержание их на заданном уровне. Тепловизионный метод позволяет контролировать потери тепла на всех этапах производства, транспортировки и потребления тепловой энергии. Кроме того, тепловизионный контроль является одним из методов неразрушающего контроля за состоянием обору-

дования. При этом термографические обследования особенно эффективны, поскольку аномалии в тепловых полях энергетического оборудования носят опережающий характер по отношению к аварийному развитию аномалий в электрических процессах.

В состав оборудования насосных станций топливно-энергетического комплекса (ТЭК) входят: перекачивающие насосы, теплообменники, системы вентиляции, трубопроводы контуров горячего водоснабжения и отопления, системы автоматического регулирования расхода воды.

Актуальность разработки комплекса тепловизионной диагностики обусловлено тем, что его применение позволяет при минимальных временных и трудовых затратах провести анализ состояния оборудования и получить рекомендации по необходимым регламентным или ремонтным работам. Тепловизионный контроль проводится при испытаниях, паспортизации, а также в ходе энергетических обследований (энергоаудите).

Инфракрасная термография (тепловидение) (есть метод дистанционной регистрации и визуализации тепловых полей объектов, прежде всего с целью анализа их температурных полей. Инфракрасное излучение занимает широкий диапазон электромагнитного спектра с длинами волн от 0,75 мкм до 1000 мкм, находясь между видимым светом и радиоволнами (рис. 1).

При падении излучения на тело имеют место следующие оптические феномены: поглощение с коэффициентом  $\alpha_\lambda$ ; отражение с коэффициентом  $\rho_\lambda$ ; пропускание с коэффициентом  $\tau_\lambda$ .

Очевидно, что на любой длине волны  $\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$ , что выражает закон сохранения энергии.

В большинстве случаев термография имеет дело с оптически непрозрачными объектами, для которых последняя формула приобретает вид:  $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$ .

Поток излучения, регистрируемый тепловизором, складывается из потока собственного излучения и потока излучения окружающей среды и посторонних объектов, отраженного от поверхности объекта контроля:  $\Phi = \Phi_{\text{соб}} + \Phi_{\text{отр}}$ . В объектив тепловизора попадает также прямое излучение внутренних элементов тепловизора и, в частности, самого приемника излучения. В современных измерительных системах эти составляющие потока излучения измеряют и учитывают при калибровке приборов.

В качестве основных средств инфра-красной диагностики инженерных систем и оборудования используются тепловизоры. В настоящее время применяются коротковолновые (рабочий диапазон длин волн 2,0–5,5 мкм) и длинноволновые (рабочий диапазон длин волн 7,0 – 14,0 мкм) модели тепловизоров. Основными характеристиками тепловизоров являются параметры, определяющие соответствие термограммы реальному распределению температуры на поверхности наблюдаемого объекта.

В результате анализа условий работы отдельных единиц оборудования насосной станции ТЭК сформулированы требования к характеристикам тепловизора:

– спектральный диапазон 2,0–5,5 или 7,0–14,0 мкм;

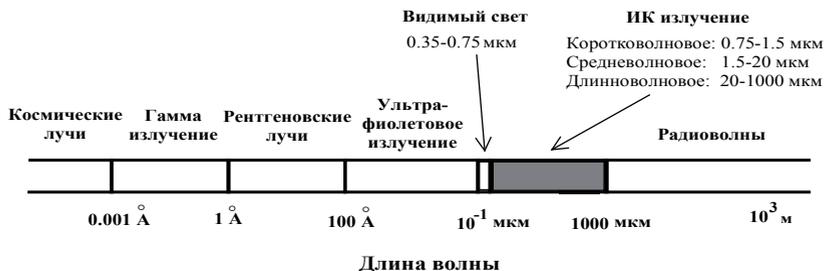


Рис. 1. Электромагнитный спектр излучения

- диапазон измеряемых температур  $(-20)$ – $(+200)$  °С;
- чувствительность – не хуже 0,2 °С;
- формат изображения – не менее 128×128 элементов;
- частота кадров – не менее 8 Гц (8–0,5 Гц при наличии штатива);
- количество сохраняемых изображений – не менее 50;
- диапазон рабочих температур – не менее  $(-20)$ – $(+40)$  °С.

При создании комплекса тепловизионной диагностики в качестве основной модели принят тепловизор ThermaCAM P60, который обеспечивает сохранение изображений в виде полноформатных радиометрических изображений в формате JPEG. Эти изображения совместно с результатами измерений, текстовыми комментариями сохраняются на съемной компактной флэш-карте 128 Мбайт или в памяти самой камеры, откуда легко осуществить передачу изображений на ПК при использовании программных средств, которые входят в комплект стандартной поставки.

Термографическое обследование оборудования, как один из методов неразрушающего контроля, имеет основной своей целью прогнозирование показателей надежности работы обследуемых объектов на период, превышающий периодичность внешних воздействий. Проводимые обследования ориентированы на выявление дефектов оборудования на различных стадиях их образования, в то время, как информация об отсутствии отклонений от нормального состояния агрегатов имеет не менее важное значение в прогнозировании безотказной работы как составных частей, так и комплексов оборудования в целом. Результаты термографических обследований могут существенно повысить точность прогнозов, если эти наблюдения будут проводиться с определенной периодичностью, поскольку значения интервала между термографическими обследованиями и время начала эксплуатации изделия прямым образом входят в количественную оценку параметров прогнозируемой надежности эксплуатируемого оборудования<sup>1</sup>.

Система контроля основных теплотехнических характеристик реализована на основе комплексного использования контактных и бесконтактных методов теплового контроля: тепловизора и набора контактных датчиков температур и тепловых потоков, объединенных в единую систему измерения и регистрации. В комплекс тепловизионной диагностики (рис. 2) входят: датчики теплового потока – 1, датчики температуры воздуха – 2, датчики температуры поверхностей – 3, усилители – 4, контроллер – 5, компьютер – 6, тепловизор – 7.

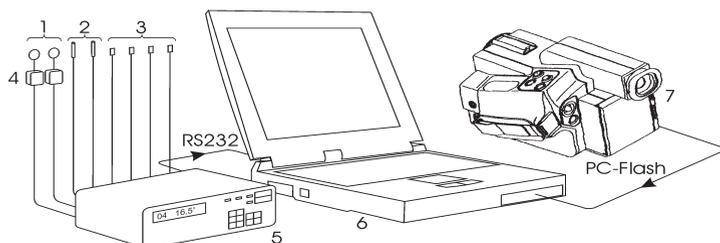
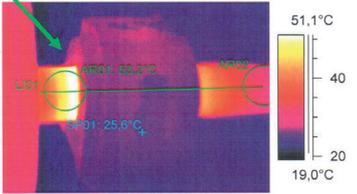
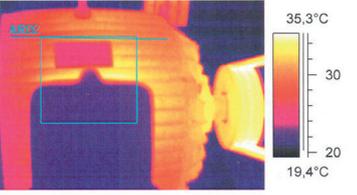
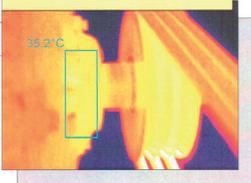
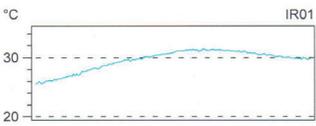


Рис. 2. Схема комплекса тепловизионной диагностики

<sup>1</sup> Белоусов, Ю. И. Выбор периодичности термографического обследования энергетического оборудования / Ю. И. Белоусов // Сб. науч. тр. Вып. 17 / Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. СПб.,: ПЭИПК, 2002. С. 51–56.

Анализ						
Эл.двиг. / редуктор АНУ 29012	Назначение: термовент.	Дата:				
<b>Вал вентилятора</b>						
						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Темп. вала AR01:</td> <td style="width: 50%;">53,2°C</td> </tr> <tr> <td>Темп. вала AR02:</td> <td>34,2°C</td> </tr> </table>			Темп. вала AR01:	53,2°C	Темп. вала AR02:	34,2°C
Темп. вала AR01:	53,2°C					
Темп. вала AR02:	34,2°C					
						
						
<b>Двигатель</b>						
						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Темп. подшипника</td> <td style="width: 50%;">35,2°C</td> </tr> <tr> <td>Темп. поверхности</td> <td>35,0°C</td> </tr> </table>			Темп. подшипника	35,2°C	Темп. поверхности	35,0°C
Темп. подшипника	35,2°C					
Темп. поверхности	35,0°C					
						
<b>Подшипник двигателя</b>						
						
Темп. профиль на пов. двигателя						
<b>Согласно нормам РАО "ЕЭС России":</b>						
Состояние	Контроль					
<b>Комментарии:</b>						
<p><i>Температура переднего подшипника двигателя - в норме. Провести ревизию смазки подшипника вала вентилятора.</i></p>						
<b>Информация для ТехОбслуживания :</b>						
Устранить до ..... Ответственный ..... Устранено.....						

По результатам тепловизионной съемки выбираются термически однородные зоны (для протяженных поверхностей), в которых устанавливаются контактные датчики температур и тепловых потоков. Результаты измерений автоматически регистрируются в запоминающем устройстве контроллера, к которому подключены установленные датчики (рис. 3).

Анализ термограмм, полученных по завершении цикла контактных измерений, совместно с результатами измерений тепловизором позволяет сформулировать наиболее полные рекомендации по предотвращению возможных аварийных ситуаций.

Экономический эффект от применения метода тепловизионной диагностики оборудования обусловлен следующими основными факторами:

- обследование оборудования производится без отключения потребителей;
- своевременное обнаружение опасных явлений многократно уменьшает затраты на капитальный ремонт и техническое обслуживание;
- проведение обследований требует в 2–3 раза меньше персонала, чем при традиционных методах;
- рабочее время для проведения обследований в 5–6 раз меньше, чем при традиционных методах.

В заключение приведем результаты тепловизионного обследования состояния подшипникового узла электродвигателя вентилятора системы вентиляции насосной станции ТЭК. Форма представления информации о тепловом состоянии отдельных узлов двигателя с приведением температурного профиля на поверхности двигателя позволяет наглядно и достоверно оценить и спрогнозировать возможные неисправности отдельных узлов, сравнивая тепловые нагрузки с принятыми нормами, а также сформулировать рекомендации по регламентным работам.

---

УДК 620.171.32

**П. В. Морозов** – магистрант кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**В. П. Ларин** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

### **ТЕХНОЛОГИЯ ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИБОРНОЙ АППАРАТУРЫ**

Процесс развития радиоэлектроники не стоит на месте. Появляются все более сложные структуры компонентов, разрабатываются многофункциональные микросборки. Широкая номенклатура электрорадиоизделий (ЭРИ), их свойства и параметры требуют тщательного анализа не только в процессе отладки готового образца, но и на этапе эскизного проектирования.

Стабильное функционирование приборной аппаратуры в целом зависит от множества различных факторов, одним из которых является теплофизические свойства изделия, изменяющиеся под воздействием внешних факторов, которые дестабилизируют работу аппаратуры. Даже такие простые, на первый взгляд, конструктивные особенности установки ЭРИ на монтажное основание могут влиять на тепловую модель будущей аппаратуры.

В данной статье рассматривается вариант построения процесса тепловых испытаний аппаратуры, позволяющий повысить точность оценки и уровень дефектации прибора.

Как известно, основные конструкторско-технологические решения по проектированию изделий закладываются на этапах технического предложения и эскизного

проектирования, поэтому именно здесь имеется опасность принятия ошибочного или не оптимального решения, которое потом трудно исправить. Для обеспечения оптимальных решений необходим единый процесс схемотехнического и конструкторско-технологического проектирования, выполняемого одним лицом или группой лиц.

Проведение теплового анализа электрических схем на этапе технических предложений и эскизного проектирования, когда конструкция аппаратуры еще не приобрела свои реальные размеры и форму, а также при выполнении тепловых испытаний опытного образца необходимо прогнозировать перегревы, деформации и коррозии как более теплонапряженных, так и других ЭРИ. Это позволит своевременно выбрать схему построения системы обеспечения теплового режима (СОТР) разрабатываемой аппаратуры в целом, и заранее, с учетом других важных факторов, определить размеры и массу конструкции в соответствии с техническим заданием.

Объектом исследования является приборная аппаратура (ПА) летательного аппарата. Специфика конструирования такой ПА имеет свои отличия от других типов аппаратуры:

- ограничение к применению систем обеспечения теплового режима;
- необходимость в обеспечении работоспособности ПА в жестких условиях эксплуатации;
- использование пассивных систем регулирования теплового режима как наиболее рационального варианта.

Рассмотрим структурную схему процесса тепловых испытаний, представленную на рис. 1, решающую задачу по организации тепловых испытаний ПА на различных стадиях жизненного цикла изделий. На стадии проектирования (этап эскизного проектирования) решается задача создания математической модели (ММ), описывающей тепловые состояния опытного образца изделия.

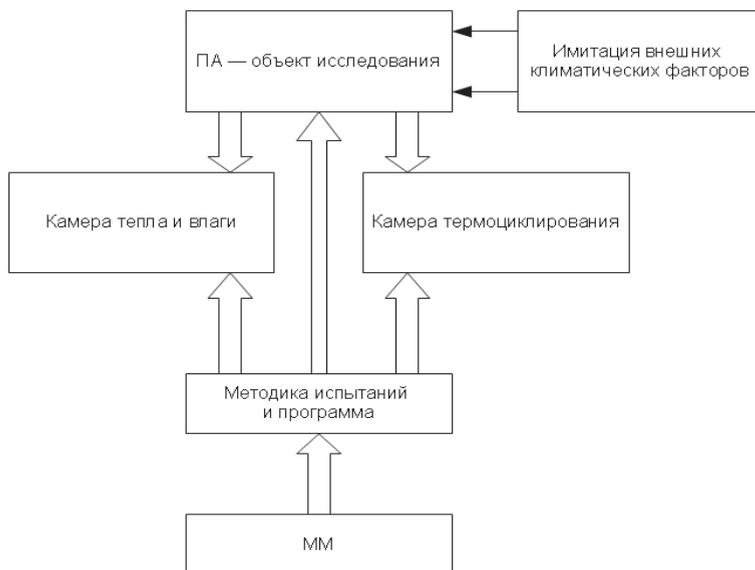


Рис. 1. Структурная схема процесса тепловых испытаний

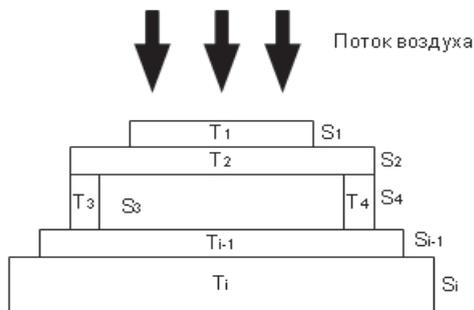


Рис. 2. Тепловая модель

ММ строится на основании:

- перечня ЭРИ отдельных модулей и устройства в целом;
- конструкции и электрических параметров ЭРИ;
- способа крепления и компоновочных решений составных частей аппаратуры;
- использования принципа местного влияния, который заключается в том, что любое местное возмущение температурного поля является локальным и не распределяется на все участки теплового поля [1].

В основу разработки ММ положен аналитический метод расчета

на основе метода регулярного режима Гольдфарба [1]. Одномерную модель, которая состоит из ЭРИ и соединенных друг с другом элементов конструкций узла вплоть до некоторого единого теплоотводящего контура в этом узле, с учетом ранее принятых условий, можно представить в виде набора соприкасающихся пластин [2] или пластин, разделенных теплоизоляционными стержнями (см. рис. 2).

На рис. 2 показан пример варианта тепловой модели узла ЭРИ с неодинаковыми поверхностями ( $S_1 \neq S_2 \neq S_3 \neq S_{i-1} \neq S_i$ ) контакта между слоями. На рисунке обозначено:  $T_1; T_2; T_3; T_{i-1}; T_i$  – температура соответствующей пластины,  $S_1; S_2; S_3; S_{i-1}; S_i$  – площадь соответствующей пластины.

На этапе технического проектирования устройства, последовательного прошедшего путь от модели до работоспособного образца, проводятся различные приемочные испытания, в том числе и климатические.

Как известно из Государственных регламентов (стандартов), целью испытаний является определение способности компонентов, элементов конструкции и аппаратуры в целом к использованию, транспортированию и хранению при воздействии внешних факторов.

Согласно рис. 1, испытания проводятся в климатической камере тепла и влаги и климатической камере термодоклирования. Термодоклирование является одним из самых жестких видов климатических испытаний и позволяет выявить скрытые конструктивные дефекты в изделии, допущенные при разработке. В процессе проведения тепловых испытаний может выполняться термотренировка изделия. Термотренировка отличается от термодоклирования тем, что изделие заставляют работать некоторое время в установившейся окружающей среде с подачей или без подачи электрической нагрузки.

Рассмотренная методика проведения тепловых испытаний будет отличаться от тех методик, которые прописаны в ГОСТ 28209-89, ГОСТ 28200-89, ГОСТ 28201-89.

В последующие задачи входит создание обобщенной методики проведения тепловых испытаний с использованием современных климатических камер, работой которых можно управлять с помощью разработанного программного обеспечения, т.е. создание испытательной системы и ее программно-аппаратного обеспечения.

Вся система в целом должна выполнять следующие основные задачи:

- разработка графиков работы климатических камер;
- непрерывная работа, управление и ежеминутный анализ получаемых данных;
- возможность получения исчерпывающей и точной информации от датчиков.

Методика испытаний должна преследовать следующие цели:

- проверка работоспособности ММ;
- повышение качества и надежности ПА, путем выявления неустойчивых узлов ПА к тепловым нагрузкам.

В первом приближении обобщенная методика испытаний должна содержать непрерывный этап процесса теплового контроля термодетектирующего и термотренировочного режимов для ужесточения процесса испытания с целью уверенного выявления слабых узлов аппаратуры.

Поскольку тренировка ПА в таких условиях – это не что иное, как кратковременное испытание на срок службы, то пользуясь этим можно:

- значительно сократить расходы на испытания;
- определить доверительную вероятность найденных показателей надежности, в том числе и интенсивностей отказов;
- обеспечить непрерывный контроль совокупного процесса не только в целях его проверки, но и для внесения изменений.

Кроме того, непрерывный процесс тренировочного селективного режима дает новые отказы, результаты анализа которых можно использовать для эффективной корректировки процесса конструирования прибора.

Правильный подбор режима и длительности тепловых испытаний позволяет наиболее полно отбраковать потенциально ненадежные ЭРИ и элементы конструкции ПА.

### Библиографический список

1. Гольдфарб Э. М. Теплотехника металлургических процессов. М.: Металлургия, 1967. 440 с.
2. Алексеев В. А. Глава 13. Обеспечение тепловых режимов источников вторичного электропитания и их элементов. – В справочнике «Источники электропитания РЭА». М.: Радио и связь, 1985. С. 520–569.
3. Ларин В. П. Проблемы обеспечения надежности аппаратуры гиперзвуковых летательных аппаратов. Научная сессия ГУАП. Ч. 1. Технические науки. Сборник докладов. СПбГУАП. СПб., 2010. С. 28–30.

УДК 621.3

**С. С. Мудров** – студент кафедры электротехники и технической диагностики

**В. Я. Лавров** (канд. техн. наук, проф.) – научный руководитель

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ПОМЕХОНЕСУЩИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Изучение электромагнитной обстановки в реальных условиях связаны с одной стороны с исследованием полей, создаваемых электро и радиотехническими изделиями, с другой стороны с исследованием влияния внешних полей, в которых работает то или иное изделие или размещен биологический объект. В последнем случае поля представляется возможным назвать помехонесущими. И с их влиянием на биологические объекты связано понятие электромагнитной экологии. Оценка интенсивности этих полей в настоящее время регламентируется нормативными документами.

Таким образом представляет интерес оценка электромагнитной обстановки в заданной области пространства.

Математическое моделирование помехонесущих полей представляет самостоятельную задачу, которая может быть решена на основе теории идентификации полей, разработанной на кафедре электротехники и технической диагностики ГУАП.

В низкочастотной области общее решение для магнитного поля может быть построено на основе уравнения Лапласа, которая в сферической системе имеет вид

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left( \sin^2 \vartheta \frac{\partial U}{\partial \vartheta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \frac{\partial^2 U}{\partial \phi^2} = 0 \quad (1)$$

Решение для скалярного произведения может быть представлено в виде

$$U = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n A_{nm} U_{nm}, \quad (2)$$

$$\text{где } U_{nm} = r^n P_n^m(\cos \vartheta) e^{im\phi} \quad (3)$$

$P_n^m(\cos \vartheta)$  – присоединенная функция Лежандра;  $m \leq n$ ;  $A_{nm}$  – комплексный весовой коэффициент исследуемого поля, являющийся параметром идентификации поля.

Весовой коэффициент может быть определен на основе экспериментального исследования радиальной составляющей магнитного поля на сферической базовой поверхности или на основе сканирования касательных составляющих. В работе рассматривается использование касательных составляющих.

В результате применения операции градиента для выражения (3) можно получить выражение для составляющей вектора напряженности магнитного помехонесущего поля.

$$\begin{cases} H_r^{(II)}(r, \vartheta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n -A_{nm} n r^{n-1} P_n^m(\cos \vartheta) e^{im\phi}, \\ H_{\vartheta}^{(II)}(r, \vartheta, \phi) = - \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n -A_{nm} r^{n-1} \frac{d}{d\vartheta} P_n^m(\cos \vartheta) e^{im\phi}, \\ H_{\phi}^{(II)}(r, \vartheta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n A_{nm} r^{n-1} i \frac{m}{\sin \vartheta} P_n^m(\cos \vartheta) e^{im\phi}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $A_{nm}$  определяется по формуле

$$a_{nm}^M = \frac{2n+1}{4\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \frac{1}{n(n+1)} \zeta_{nm}(r_0) r_0^{n+2}, \quad (5)$$

$$\text{где } \zeta_{nm}(r_0) = \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \left[ H_{\vartheta}(r_0) \frac{d}{d\vartheta} P_n^m(\cos \vartheta) - i H_{\phi}(r_0) \frac{m}{\sin \vartheta} P_n^m(\cos \vartheta) \right] \times e^{-im\phi} \sin \vartheta d\vartheta d\phi,$$

Система уравнений (4) с учетом (5) является обобщенной математической моделью помехонесущего магнитного поля, пригодной для математического моделирования помехонесущих низкочастотных полей в любых реальных условиях.

### Библиографический список

1. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров / Пер. с фр. под общ. ред. К. С. Шифрина. М.: Наука, 1967. 779 с.
2. Шимони К. Теоретическая электротехника / Пер. с нем. под ред. К. М. Поливанова. М.: Мир, 1964. 774 с.
3. Кирпанев А. В., Лавров В. Я. Электромагнитное поле: Теория идентификации и ее применение: учебн. пособие. М.: Вузовская книга, 2002. 280 с.
4. Кирпанев А. В., Лавров В. Я. Электромагнитное поле: Теория идентификации и ее применение: учебн. пособие, 2-е изд. перераб. и доп. М.: Вузовская книга, 2005. 280 с.
5. Стреттон Дж. А. Теория электромагнетизма. М.: Л.: ГИТТЛ, 1948. 540 с.
6. Кирпанев А. В., Лавров В. Я. Идентификация электромагнитных полей и ее применение: Монография. СПб.: ГУАП, 1998. 140 с.

**И. В. Мюккера** – магистрант кафедры управления и информатики в технических системах

**М. В. Бураков** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННОГО РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЁТОМ ВЕРТОЛЁТА**

Даже при рассмотрении движения вертолета только в одной (вертикальной) плоскости, необходимо использовать систему нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают движение центра масс вертолёта и движение вертолёта вокруг центра масс [1]. Поэтому использование традиционных линейных регуляторов для автоматизации управления полетом вертолета вызывает затруднения. В работе [2] были рассмотрены принципы использования нейрорегуляторов в задаче пилотирования вертолета. Настоящая работа содержит сведения о проведенных имитационных экспериментах.

При моделировании использовалась существенно упрощённая модель вертолёта. Траектория полёта рассматривается только в одной, вертикальной плоскости. Угловая скорость вращения несущего винта полагается постоянной. В качестве независимых параметров управления приняты: значение общего шага несущего винта и тангажа вертолёта (поскольку, математическая модель связи циклического шага и тангажа вертолёта довольно сложна, т.к. требует анализа аэродинамики стабилизатора, способов управления им, знание момента инерции вертолёта, анализа аэродинамики фюзеляжа при вращении). Выходными параметрами траектории полёта являются: вертикальная и горизонтальная скорости, высота и дальность полёта.

Модель реализована в пакете MatLab Simulink. В неё введены некоторые эвристические поправки, придающие модели вертолёта более реалистичные свойства:

- в блоки расчёта тяги несущего винта и лобового сопротивления фюзеляжа введены «поправочные» усилители, коэффициенты передачи которых выбраны так, чтобы обеспечить реальные тактико-технические характеристики вертолёта (потолок  $\approx 6000$  м; максимальная скорость горизонтального полёта  $\approx 350$  км/час);

- для придания некоторой инерции при повороте фюзеляжа в вертикальной плоскости, водится инерционное звено в цепь управления тангажом вертолёта.

Система автоматического управления полётом вертолёта строится на базе двухслойной нейронной сети (НС) прямого распространения. НС этого типа наиболее часто применяются в авиационных приложениях [3]. Выходные параметры траектории полёта – высота полёта и горизонтальная скорость сравниваются с полётным заданием по высоте и по скорости соответственно. Две ошибки управления (по высоте и по скорости) поступает на два входа нейронного регулятора (НР), который на своих двух выходах формирует сигналы управления моделью – тангаж и общий шаг несущего винта.

Полётное задание реализуется в пакете MatLab Simulink соответственно двумя структурами:

- одна формирует требуемую функцию высоты полёта от времени, в частности, в виде совокупности разных сглаженных «ступенек», функцию «синусоидального» вида;

- вторая задаёт требуемую скорость горизонтального полёта на определённом временном интервале (в остальное время значение скорости горизонтального полёта вертолёта полагается не существенным параметром). Более того, произвольное задание значения требуемой скорости при манёврах вертолёта, в частности при взлёте, может привести к физически нереализуемым требованиям. В MatLab Simulink это обеспечивается стробированием значения требуемой скорости, т. е. на интервалах времени, где значение скорости не важно, ошибка по скорости искусственно обнуляется.

Второй слой НС состоит из двух нейронов, каждый из которых формирует соответствующий сигнал управления. Активационные функции выходных нейронов и коэффициенты передачи выходных усилителей определяются диапазоном изменения значений самих выходных величин (тангажа вертолёта  $\pm 80^\circ$  и общего шага несущего винта  $0-23^\circ$ ).

Обучение НС производится с помощью генетического алгоритма [4]. Текст М-файла, описывающего целевую функцию, имеет вид ( $k_1 - k_{24}$  – настраиваемые весовые коэффициенты,  $z$  – целевая функция):

```
function z=DNR1(X)
global k1; .....; global k24;
k1=X(1); .....; k24=X(24);
sim('helicopterDnr');
z1=sum(abs(simout));
z2=sum(abs(simout1));
z=10*z1+z2;
end
```

Поскольку управление осуществляется по скорости и высоте полёта, имеющим различные размерности и существенно разные диапазоны изменения значений, в целевую функцию вводятся весовые коэффициенты. Их значения подбирались по критерию «равной сходимости» (примерно одинакового уменьшения ошибки по высоте и по скорости в каждой улучшенной популяции), определяемому субъективно, при наблюдении процесса обучения НР.

Для проверки работы системы управления с обученным НР осуществлялся анализ динамики регулирования при двух различных воздействиях (отличных от обучающих): «синусоидальном» и «ступенчатом» полётном задании по высоте. Существенные ошибки проявляются во время изменения параметров полётного задания, особенно в момент «включения» задания требуемой горизонтальной скорости полёта. Статическая ошибка управления при этом остаётся.

С целью улучшения качества управления был исследован нейронный регулятор с пропорционально-интегрирующими звеньями, в котором второй слой нейронов включает в себя пропорционально-интегрирующие (ПИ) звенья. Эти ПИ-звенья установлены «внутри» нейронов между сумматорами и нелинейными элементами, реализующими активационную функцию (хотя их можно, по-видимому, устанавливать и в других местах ИНС). Структура такого «ПИ-нейрона» представлена на рис. 1.

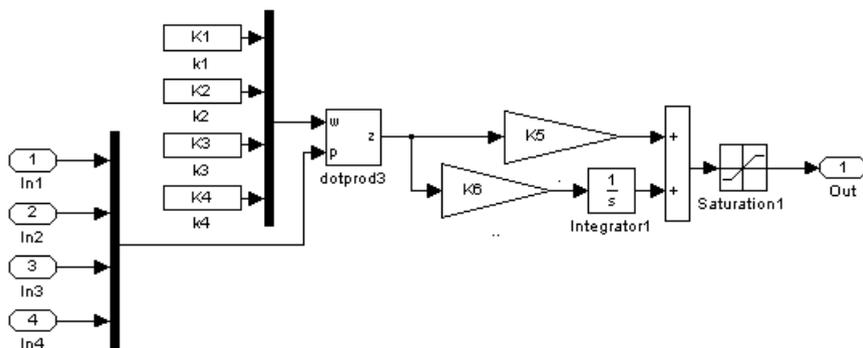


Рис. 1. Структура искусственного нейрона, содержащего пропорционально-интегрирующее (ПИ) звено

Коэффициенты передачи усилителей в пропорциональных и интегрирующих ветвях изначально являются неопределёнными и их значения определяются в процессе генетического обучения НР.

Обучение НР с ПИ-звеньями производилось одновременно по двум существенно различающимся и наиболее сложным полётным заданиям. В работе использовались:

- первое задание с функцией по высоте, в виде четырёх сглаженных ступенек (от взлёта до посадки) и «импульсном» задании скорости на среднем участке траектории;

- второе задание с «синусоидальной» функцией по высоте (синусоида наложена на сглаженную ступенчатую функцию) и сдвинутой по времени (от взлёта) ступенчатой функции по скорости.

Способ обучения реализуется путём последовательного (через цикл) обучения то по первому, то по второму полётному заданию. В этом случае в тексте М-файла итоговая целевая функция представляется суммой частных целевых функций по каждому из заданий:

```
function z=NPISSR(X)
global k1; .....; global k28;
k1=X(1); .....; k28=X(28);
sim('helicopterNPIInr');
z11=sum(abs(simout));
z12=sum(abs(simout1));
z1=10*z11+z12;
sim('helicopterNPISnr');
z21=sum(abs(simout));
z22=sum(abs(simout1));
z2=10*z21+z22;
z=z1+z2;
end
```

Результат обучения НР даёт хорошие результаты и устраняется статическая ошибка управления.

Таким образом, проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы.

- Применение генетического обучения НР одновременно по нескольким разнообразным заданиям делает систему управления более «интеллектуальной», дающей меньшие ошибки в новых («незнакомых») ситуациях.

- Введение в НР ПИ-звеньев (использование «ПИ-нейронов») позволяет устранять статические ошибки в таких системах управления.

#### **Библиографический список**

1. Попов Л. Г. Динамика полёта вертолёта. Лекции. Ленинград: ЛИАП, 1980. 64с.
2. Мюккеря И. В. Нейроуправление высотой полета вертолета / Сборник докладов 63 СНТК ГУАП. 2010. С. 146–148.
3. Васильев В. И., Ильясов Б. Г., Кусимов С. Т. Нейрокомпьютеры в авиации. М: Радиотехника, 2004. 496 с.
4. Бураков М. В. Генетический алгоритм: теория и практика. СПб.: ГУАП, 2008. 164 с.

УДК 004.716

**Д. А. Новиков** – магистрант кафедры управления и информатики в технических системах

**И. Г. Криволапчук** – ст. преп. кафедры управления и информатики в технических системах

### БЕСПРОВОДНАЯ ПЕРЕДАЧА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО ПРОТОКОЛУ ZIGBEE

Возможность передачи видеоинформации является характерной чертой современных систем и сетей связи. Передача изображений в цифровой форме позволяет существенно повысить качество и объем видеоинформации, получаемой пользователями проводных и беспроводных сетей. Спектр приложений передачи видео чрезвычайно широк. Это не только ставшие востребованными в последнее время системы охранного телевидения, видеонаблюдения, дистанционного мониторинга, видеоконференций, но и многочисленные системы, обеспечивающие предоставление развлекательных сетевых сервисов.

ZigBee – название набора протоколов высокого сетевого уровня, использующих маленькие, маломощные радиопередатчики, основанные на стандарте IEEE 802.15.4. Этот стандарт описывает беспроводные персональные вычислительные сети (WPAN). ZigBee нацелена на приложения, которым требуется большее время автономной работы от батарей и большая безопасность, при меньших скоростях передачи данных.

Основная особенность технологии ZigBee заключается в том, что она при относительно невысоком энергопотреблении поддерживает не только простые топологии беспроводной связи («точка-точка» и «звезда»), но и сложные беспроводные сети с ячеистой топологией с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений.

Области применения данной технологии – это построение беспроводных сетей датчиков.

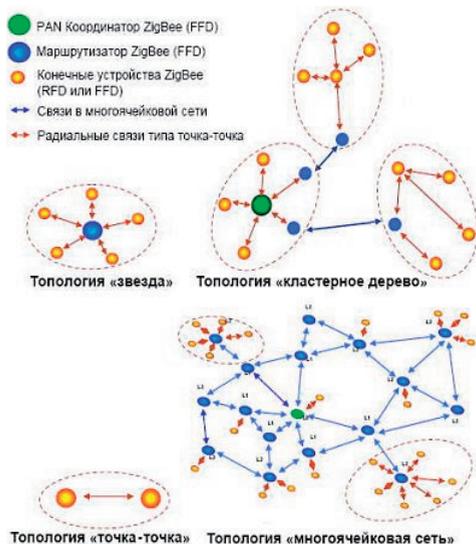


Рис. 1. Возможные топологии

В данных сетях присутствуют три типа устройств. Координатор сети выполняет функцию основного элемента сети, выбирает частотный диапазон для передачи данных, разрешает добавление новых устройств, занимается шифрованием данных и является уникальным устройством в сети. Роутер или маршрутизатор выполняет функции ретрансляции сообщений и добавления новых устройств. Оконечное устройство может впасть в режим «сна», что позволяет значительно экономить ресурс элемента питания. Все необходимые датчики подключаются к оконечному устройству. Продолжительность работы элементов сети может составлять от нескольких месяцев до полугода в необслуживаемом режиме.

На рис. 1 показаны основные топологии сетей. Самая простая это «точка-точка», когда в сети находятся только два устройства, подобный принцип реализован в сетях Bluetooth.

В сетях с топологией «звезда» все устройства передают данные центральному прибору, примером являются Wi-Fi сети. При использовании «кластерного дерева» возможна ретрансляция сообщений между удаленными участками сети. В протоколе ZigBee используется «многоячеистая» топология. На данный момент наиболее перспективная. Передача данных осуществляется между устройствами в сети по средствам ретрансляции сообщений, но при этом прохождение через центральное устройство не является обязательным.

В ходе проведенных исследований был изучен принцип передачи изображения в сетях ZigBee. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Характеристики изображения

Характеристика	Значение
Разрешение	320×240 пикселей
Размер изображения	2–8 кБайт
Темп передачи	≈300 байт/сек.
Тип изображения	Черно-белое
Тип сжатия	JPEG

На языке C/C++ была написана программа для взаимодействия беспроводного модуля и JPEG видеокамеры по интерфейсу UART. Для координатора ZigBee сети была разработана программа на языке Python, выполняющая сопряжение двух сетей – ZigBee и проводной Ethernet сети по протоколу TCP. Обработка изображения выполняется с помощью библиотеки, написанной на языке C#. Основная программа для отображения переданной информации и дальнейшей обработки выполнена на языке LabVIEW.

Вывод: был отработан принцип передачи изображения в перспективных сетях высокого уровня. Требуются дальнейшие исследования для улучшения характеристик, таких как темп передачи и качество изображения. Передача изображения беспроводным способом является актуальной на сегодняшний день.

#### Библиографический список

1. Zigbee Alliance, <http://www.zigbee.org/>
2. IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4), <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>

УДК 681.5

**А. А. Омельченко, Е. А. Кулаев** – студенты кафедры управления и информатики в компьютерных системах.

**А. Ю. Кучмин** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНТРЕФЛЕКТОРОМ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОТЕЛЕСКОПА

Перспективно использование охлажденных космических радиотелескопов работающих при температуре менее 10° К т.к. при сверхнизких температурах уровень тепловых шумов антенной системы снижается, что позволяет принимать сигналы предельно низкой интенсивности.

В антенной установке космического радиотелескопа ряд ключевых задач связан с выставлением заданной формы и положения её зеркальных поверхностей после раскрытия и возможностью их периодической коррекции, а так же наведения на источник излучения с высочайшей точностью. Таким образом, необходимо разработать систему управления зеркалами.

В ходе исследования электрических свойств антенны было установлено, что при небольших отклонениях проблему точности наведения можно решать эффективно с помощью управления контр рефлектором.

Подобную систему предполагается использовать в Российском космическом радиотелескопе «Миллиметрон»:

В Астрокосмическом центре (АКЦ) Физического института имени П. Н. Лебедева в настоящее время разрабатывается космическая обсерватория миллиметрового диапазона (0.01–20 мм) «Миллиметрон» (проект «Спектр-М»).

Космическая обсерватория «Миллиметрон» и интерферометр Земля–космос (предусмотрено использование совместно с наземными телескопами) создаются для проведения фундаментальных космических исследований в миллиметровом, субмиллиметровом и инфракрасном диапазонах длин волн со сверхвысокой чувствительностью в автономном режиме и со сверхвысоким угловым разрешением в интерферометрическом.

В состав космической обсерватории войдут: служебный модуль, космический криогенный телескоп с раскрывающимся в космосе рефлектором, активная и пассивная системы охлаждения телескопа, приборный комплекс.

12-метровое зеркало телескопа образуется из раскладывающихся 24 лепестков и 3-метрового центрального элемента. Все охлаждаемые конструкции телескопа будут закрыты радиационными защищающими экранами от излучения Солнца, Земли, Луны.

В телескопе предполагается использовать трехзеркальную схему – глубокое главное зеркало (одновременно играющее роль теплового экрана), Кассегреновское зеркало диаметром 60 см и плоское зеркало для переключения диапазонов и обеспечения высокой точности наведения-гидирования (0.3'). Точность главного зеркала после раскрытия не хуже 10 мкм, его элементов, Кассегреновского и плоского зеркал – не хуже 3 мкм. Точность ориентации главного зеркала – 1'... [1]

Особенность эксплуатации систем управления контр рефлектором – необходимость обеспечения работоспособности в вакууме и при температуре 4 °К.

Один из перспективных вариантов решения – использование гексаподов с безредукторными электродвигателями работающих на эффекте сверхпроводимости.

Для компенсации ошибок наведения и влияния деформации поверхностей необходимо обеспечить пять степеней свободы (3 линейных и 2 угловых).

Гексапод обеспечивает 3 линейных и 3 угловых степени свободы с высокой точностью, возможность выбирать люфты и требуемое быстродействие.

Следует отметить что на данный момент не существует систем управления контр рефлектором способных работать при сверхнизких температурах.

Необходимо выполнить исследование результатом которого стала бы возможность проектирования такой системы.

Необходимо решить следующие задачи:

- смоделировать кинематику и динамику гексапода;
- разработать систему управления гексаподом.

Задачу моделирования удобно решать с использованием пакета MSC Adams, а разрабатывать систему управления – в Matlab.

#### **Библиографический список:**

1. Копик А. Новости космонавтики, журнал.
2. Городецкий А. Е., Артеменко Ю. Н., Дубаренко В. В., Тарасова И. Л., Кучмин А. Ю. Проблемы создания систем адаптации космических радиотелескопов. Информационно-управляющие системы № 3, 2010.

УДК 629.76.051

**П. П. Петров** – студент кафедры управления и информатики в технических системах  
**М. В. Бураков** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРИВОДА ГИРОДИНА

Исполнительный электропривод гиродина является исполнительным органом космического аппарата дистанционного зондирования земли. Космический аппарат относится к классу малых космических аппаратов (МКА), для управления которыми используется силовой гироскопический комплекс (СГК)<sup>1</sup>.

Гиродин обладает двумя степенями свободы относительно корпуса космического аппарата. Одна из них связана с вращением силового гироскопа вокруг его оси симметрии, создающим вектор кинетического момента, а другая – с поворотом оси вращения силового гироскопа. Расположение основных устройств гиродина относительно приборной системы координат ( $X_{II}Y_{II}Z_{II}$ ), связанной с основанием СГК и неподвижной относительно космического аппарата, и вид упругой деформации, приведенной к местам установки подшипников, показаны на рис. 1.

На рис. 1 представлены: ИУП – измеритель углового положения; Ред – редуктор; Дв – двигатель;  $\alpha, \beta, \nu, \psi$  – углы упругих деформаций вала ротора, подшипников ротора и кожуха СГ, подвеса СГ, подшипников подвеса СГ;  $\phi$  – угол поворота подвеса;  $\alpha_{дв}$  – угол поворота вала двигателя;  $C_{пк}$  – коэффициент жесткости подвеса кожуха;  $C_{пр}$  – коэффициент жесткости подвеса ротора;  $C_1$  – коэффициент жесткости редуктора;  $C_2$  – коэффициент жесткости люфтовывирающего устройства.

Исполнительный электропривод является составной частью СГК 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,

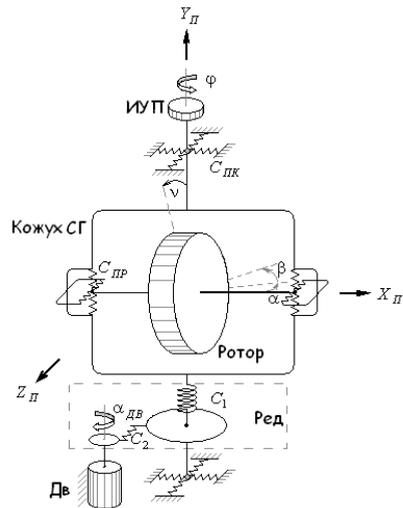


Рис. 1. Двухстепенной силовой гироскоп

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

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 часть.

Цифровая часть должна быть разработана с использованием специализированного микроконтроллера (МК), применяемого для управления двигателями (например – ADUC 7024). МК должен интегрировать заданный код скорости, осуществлять сравнение кодов углов, выполнять функции цифрового регулятора, а также формировать 3-х фазный ШИМ-сигнал для управления коммутатором тока.

Микроконтроллер 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; драйвер; бесконтактный моментный двигатель постоянного тока; редуктор; измеритель углового положения; силовой гироскоп.

---

УДК 621.3.019.3

**М. А. Пименов** – студент кафедры электротехники и технической диагностики  
**В. Д. Косулин** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **РАСЧЕТ ЗАПАСНОГО ФОНДА И ПЕРИОДИЧНОСТИ РЕГЛАМЕНТНЫХ РАБОТ ЭЛЕМЕНТОВ САУ**

Киришский нефте-перерабатывающий завод является крупнейшим предприятием по производству различных видов топлива. Стратегия, выбранная предприятием в условиях проведения экономических реформ, состоит в снижении себестоимости продукции, повышении ее качества, освоении новых ее видов, совершенствовании организации производства. Она осуществляется при последовательном курсе на научно-технический прогресс по двум направлениям: совершенствование действующего производства и внедрение новых технологий, процессов, производств. При этом немаловажное значение для функционирования всего технологического процесса имеет система сигнализации, блокировки и противоаварийной защиты (СБ и ПАЗ), представляющая собой комплекс средств КИП и А, АСУ ТП и связей между ними. В систему СБ и ПАЗ входят датчики, преобразователи, логические схемы, устройства световой и звуковой сигнализации, исполнительные устройства АСУ ТП. Кроме системы СБ и ПАЗ применяется также защита от ложного срабатывания вследствие отказов КИП и А, АСУ ТП. Снижение эксплуатационных затрат напрямую связано с решением задач по определению объема запасного фонда элементов системы и периодичности регламентных работ, обеспечивающих безотказную работу всего комплекса оборудования. Рассмотрим каждую из них на примере одного из узлов системы автоматического управления.

*Расчет запасного фонда элементов САУ*

При расчете фонда запасных элементов следует исходить из того, что ремонт отказавших блоков осуществляется методом замены или самих блоков, или их конструктивно-законченных элементов. В соответствии с этим необходим анализ технологических возможностей восстановления отказавших изделий и составления перечня элементов, которые следует иметь в запасном фонде и в обменном фонде агрегатов.

Причинами замены агрегата, блока, прибора могут быть: выработка технического ресурса; отказы, после которых восстановление невозможно или нецелесообразно в условиях эксплуатирующего предприятия; эксплуатационные повреждения в результате нарушений правил технического обслуживания.

Характеристики узла автоматического управления:

- число однотипных элементов, установленных в одной САУ  $a = 2$ ;
- установленный ресурс для данного элемента  $T_{\text{рес}} = 10000$  час.;
- суммарная интенсивность отказов  $\lambda = \lambda_{\Sigma} \cdot 8 \times 10^{-5}$ ;
- коэффициент замены отказавших элементов  $\kappa_3 = 0,75$ ;
- интенсивность эксплуатационных повреждений  $\alpha_3 = 0,8 \times 10^{-5}$ ;
- суммарная наработка изделий –  $t_{\text{н}\Sigma} = 100$  час.;
- коэффициент, учитывающий выход из эксплуатации  $\alpha_{\text{л}} = 0,99$ ;
- заданная вероятность достаточности запасного фонда  $\beta_3 = 0,91$ .

Оптимальное количество электронных датчиков, входящих в систему управления и измерения топлива, в обменном фонде (R1), рассчитаем методом математического ожидания числа элементов [1].

Определим:

а) количество элементов узла автоматического управления, необходимых для замены по ресурсу  $m_p$  для установившегося режима:

$$m_p = \frac{a t_{\text{н}\Sigma} \alpha_{\text{л}}}{T_{\text{рес}}},$$

$$m_p = \frac{2 \times 100 \times 0,99}{10000} = 0,0198;$$

б) среднее число УПП, подлежащих замене ввиду их эксплуатационных повреждений  $m_3$ :

$$m_3 = \alpha_{\text{л}} \alpha_3 a t_{\text{н}\Sigma};$$

$$m_3 = 0,99 \times 0,8 \times 10^{-5} \times 2 \times 100 = 0,00158;$$

в) среднее число УПП, подлежащих замене ввиду их отказов  $m_{\text{н}}$ :

$$m_{\text{н}} = \kappa_3 \alpha_{\text{л}} \lambda a t_{\text{н}\Sigma}$$

$$m_{\text{н}} = 0,75 \times 0,99 \times 8 \times 10^{-5} \times 2 \times 100 = 0,0118.$$

Математическое ожидание числа элементов, которое должно быть в запасном фонде  $m$ :

$$m = m_p + m_3 + m_{\text{н}};$$

$$m = 0,0198 + 0,00158 + 0,0118 = 0,03.$$

Однако на практике это условие не всегда выполняется, поэтому результаты расчетов по этим формулам могут значительно отличаться от действительных потребностей в запасных элементах. Чтобы избежать этого, расчет следует производить с учетом заданной вероятности  $\beta$  достаточности запасного фонда.

Поскольку число устройств, заменяемых по ресурсу, имеет не случайный, а детерминированный характер, вероятность  $\beta$  должна учитываться только для устройств, заменяемых по отказам и эксплуатационным повреждениям.

Математическое ожидание числа элементов  $m$ ,

$$m = m_n + m_p;$$

$$m = 0,0118 + 0,00158 = 0,0133.$$

Рассчитаем вероятность достаточности запасного фонда  $\beta$ , которая выполняла бы условие  $\beta \geq \beta_3$ .

При  $\beta_3 = 0,91$ , задавая количество запасных элементов  $R$ , рассчитаем  $\beta$  по формуле:

$$\beta = \sum_{k=0}^R \frac{m^k}{k!} e^{-m};$$

$$\beta = \sum_{k=0}^R \frac{0,0133^k}{k!} e^{-0,0133} = \sum_{k=0}^R \frac{0,0133^k}{k!} \times 0,987.$$

$$\text{При } k=1, \beta = \left( \frac{0,0133^0}{1} + \frac{0,0133^1}{1} \right) \times 0,987 = 2;$$

$\beta \geq \beta_3$ , т. е. условие выполняется. Таким образом, полное число объектов замены  $R_1$  в обменном фонде на планируемый период эксплуатации должно быть:

$$R_1 = k + m_p;$$

$$R_1 = 1 + 0,0198 = 1,02 \approx 2.$$

Расчеты, проведенные по формулам математического ожидания, справедливы, когда имеет место большое число эксплуатируемых объектов и большая наработка  $t_{\Sigma}$  изделий САУ. На практике следует пользоваться расчетом с учетом заданной вероятности  $\beta$  достаточности запасного фонда  $R_1$ , которое для данных характеристик УПП равняется 2.

Расчет периодичности регламентных работ

В процессе эксплуатации отказы электронных являются следствием постепенного и мгновенного изменения характеристик объекта, обусловленного старением, износом элементов, расстройками, ослаблениями креплений, подгарами контактов, низким качеством изготовления и т.д. Для многих элементов и сложных систем интенсивность отказов (или параметр потока отказов) не остаются постоянными, а возрастают с течением времени.

Основная цель регламентных и других профилактических работ – уменьшение интенсивности отказов до их минимальных значений. Интуитивно понятно, что если бы регламентные работы не уменьшали параметр потока отказов, то в их проведении не было бы смысла.

Имея данные о характере изменения интенсивности отказов разработанного объекта, можно оценить периодичность выполнения регламентных работ (в случае метода эксплуатации по наработке) или работ по глубокому контролю состояния объекта, если при эксплуатации по состоянию с контролем параметров не обеспечивается непрерывный их контроль. Оценку периодичности выполнения регламентных работ целесообразно проинформировать из условия получения максимального коэффициента исправности объекта.

Рассчитаем оптимальную периодичность регламентных работ  $t_{n1}$  опт. узла автоматического управления, состоящую из  $N = 202$  элементов, где  $n_{\Sigma}$  – суммарная интенсивность отказов узла [2].

Исходные данные для расчета:

$$-\lambda_{\Sigma} = 9 \times 10^{-5};$$

$$-\text{время работы изделия} - t_n = 1020 \text{ часов};$$

- время простоя исправного изделия –  $t_{\text{пи}} = 860$  часов;
- время, затраченное на регламентные работы –  $t_{\text{рр}} = 240$  часов;
- время, затраченное на восстановление отказавшего узла –  $t_{\text{в}} = 32$  часа;
- коэффициенты:  $v = 0,1$ ;  $c = 0,4$ .

Найдем коэффициент исправности  $K_{\text{и}}$ , коэффициент наработки  $K_{\text{н}}$  и коэффициент потерь на восстановление объекта  $K_{\text{пв}}$ . Для этого надо вычислить суммарное время (в часах) эксплуатации объекта за рассматриваемый календарный период времени  $t_{\text{о}}$ ,

$$t_{\text{о}} = t_{\text{н}} + t_{\text{пи}} + t_{\text{рр}} + t_{\text{в}} = 1020 + 860 + 240 + 32 = 2152 \text{ часа}$$

и тогда:

$$K_{\text{и}} = \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{пи}}}{t_{\text{о}}} = \frac{1020 + 860}{2152} = 0,874, \quad K_{\text{н}} = \frac{t_{\text{н}}}{t_{\text{о}}} = \frac{1020}{2152} = 0,474,$$

$$K_{\text{пв}} = \frac{1 - K_{\text{и}}}{K_{\text{н}}} = \frac{1 - 0,874}{0,474} = 0,266.$$

Найдем вероятность отказа  $P_i$  и среднее время поиска и устранения отказа  $T_{\text{в}}$  в объекте:

$$P_i = 1 - e^{-\lambda \Sigma T_y} = 1 - e^{-9 \cdot 10^{-5} \cdot 1020} = 0,01014.$$

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^N P_i t_{\text{в}i} = 0,01014 \times 32 = 0,32448 \text{ часа}$$

Определим:  $t_{\text{н}1_{\text{опт}}}$

$$t_{\text{н}1_{\text{опт}}} = \left( \frac{(c+1) \times t_{\text{рр}}}{cbT_{\text{в}}} \right)^{\frac{1}{c+1}} = \left( \frac{(0,4+1) \times 240}{0,4 \times 0,1 \times 0,32448} \right)^{\frac{1}{0,4+1}} = 1415,62 \text{ часа.}$$

Таким образом, при заданных условиях эксплуатации узла автоматического управления регламентные работы следует проводить один раз в два месяца.

#### Библиографический список

1. Калявин, В. П. Надежность и диагностика элементов электроустановок: учебн. пособие / В. П. Калявин, Л. М. Рыбаков. СПб.: Элмор, 2009. 336 с.
2. Технологический регламент установки ЭЛОУ-АВТ-6. ООО «КИНЕФ».

УДК 681.586.4

**Д. С. Пирогов** – магистрант кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**Б. Г. Филатов** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПАЙКЕ И МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Прогресс в технологии РЭА достигается совершенствованием инструментов, используемых материалов, оборудования, а также путём разработки новых, более эффективных технологических процессов. Перспективными методами являются различного

рода воздействия на процессы пайки и металлизации, при помощи энергии ультразвуковых (УЗ) и электромагнитных колебаний, инфракрасного и видимого излучений, электронного и ионного лучей.

При эксплуатации УЗ аппаратуры в целях интенсификации различных технологических процессов, необходимо проводить систематический контроль амплитуды колебаний излучателей ультразвука, который оказывает определяющее влияние на качество обработки.

Для измерения амплитуды ультразвуковых колебаний используют контактные и бесконтактные методы на основе оптических приборов, пьезоэлектрических и индуктивных датчиков. Однако эти приборы не позволяют осуществить непрерывное измерение амплитуды колебаний ультразвуковых инструментов в процессе выполнения технологических процессов и серийно промышленностью не выпускаются.

Была поставлена задача сконструировать прибор, который мог бы с высокой точностью измерять амплитуду УЗ-вибраций и, следовательно, производить настройку в резонансный режим работы УЗ технологического оснащения процессов пайки, металлизации.

Темой данной работы является разработка системы контроля при ультразвуковой пайке и металлизации.

Способ измерения амплитуды механических колебаний рабочего конца ультразвукового инструмента основан на преобразовании амплитуды механических колебаний в электрическое напряжение.

Для автоматического контроля колебаний, при котором отсутствует перестановка датчика, и изменения измерительного зазора малы, предложено устройство, позволяющее получить стабильную чувствительность.

К устройству подключается выносной вибродатчик, который при контакте с поверхностью работающего УЗ-инструмента, преобразовывает механические колебания последнего в электрический сигнал синусоидальной формы. Датчик вибраций состоит из металлического волновода, жестко соединенного с ручкой из изоляционного материала. Во внутренней полости ручки на расстоянии, равном  $\lambda/4$  от нерабочего торца волновода ( $\lambda$  – средняя длина УЗ-колебаний в материале волновода для исследуемых частот), жестко, например методом пайки, закреплена упорная пластина, а между ней и демпфером из материала с низкой акустической добротностью расположен пьезоэлектрический преобразователь, изготовленный из пьезокерамики ЦТС-21 в форме кольца диаметром 10–20 мм.

Электрическое напряжение с обкладок пьезоэлемента снимается с помощью ланунных контактов и по высокочастотному кабелю передается на измеритель. Рабочий конец датчика оканчивается иглой, изготовленной из высокопрочной инструментальной стали, и припаянной к торцу волновода припоем ПСр45. Снаружи внутренний объем ручки, где размещен пьезоэлектрический преобразователь, защищен прокладкой из термостойкой резины.

Напряжение с датчика поступает на измеритель вибраций, который состоит из: делителя входного напряжения, усилителя-дискриминатора, детектора средневыпрямленного напряжения, источника образцового напряжения, внутреннего генератора, инвертора зажигания символов запятой, аналогово-цифрового преобразователя, индикатора.

Напряжение электрического синусоидального сигнала с датчика, приведенное входным делителем к интервалу 0–200 мВ поступает на операционный усилитель, который

служит для получения линейности детектирования в 1%. Для этого усиление ОУ должно быть не менее 40 дБ. Далее, напряжение, поступившее с датчика, детектируется детектором средневыпрямленных напряжений. На его выходе получается средне-

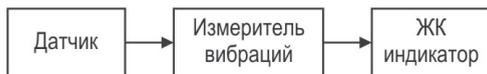


Рис. 1. Структурная схема устройства контроля при ультразвуковой пайке и металлизации

выпрямленное напряжение пропорциональное измеряемому колебанию, которое подается на сигнальный вход АЦП. На эталонный вход АЦП с источника образцового напряжения подается опорное напряжение. Преобразователь из аналогового сигнала, полученного с детектора, выделяет цифровой код. Этот код определяется отношением входного напряжения к опорному с учетом фиксированного числа импульсов тактовой частоты АЦП. Тактовая частота преобразователя задается внутренним генератором и должна быть равна 50 кГц. Далее выделенные напряжения с АЦП в виде цифрового кода подаются на ЖКИ.

Исходя из вышеизложенного, разрабатываемый прибор должен иметь малые габаритные размеры с автономным источником питания, на корпусе которого будут расположены цифровой жидкокристаллический индикатор, выключатель питания и переключатель пределов, а также разъем для подключения датчика.

Конструкция прибора удобна для пользования и ремонта. При работе с прибором следует пользоваться технологической инструкцией, а так же соблюдать правила безопасности при работе с ультразвуком.

Питание должно осуществляться от внутреннего источника тока. Время наработки на отказ – не менее 1000 часов.

При разработке конструкции и технологии изготовления какого-либо устройства необходимо проанализировать основные требования к нему и условиям его эксплуатации. По результатам этого анализа можно определить порядок проектирования, перечень необходимых расчетов, заранее предусмотреть наиболее существенные конструктивные решения.

Анализ пунктов технического задания может быть произведен в следующей последовательности:

1) анализ возможности применения той или иной элементной базы для построения устройства с целью обеспечения выполнения им заданных функций;

2) определение основных составных частей проектируемого изделия и их основных конструктивных особенностей;

3) определение необходимости проведения различных конструкторских расчетов;

4) анализ необходимости применения в конструкции решений для уменьшения влияния дестабилизирующих факторов;

5) определение перечня вопросов, которые должны быть рассмотрены при разработке технологической инструкции к устройству;

6) определение методики расчета технико-экономических показателей проектируемого устройства;

7) определение основных мероприятий по защите обслуживающего персонала.

В результате выполнения данного проекта была разработана конструкция системы контроля при ультразвуковой пайке и металлизации, а также были проанализированы основные требования к устройству. Данный прибор имеет высокую точность измерения амплитуды. Устройство имеет малые габариты, массу и высокую надежность.

Система контроля при УЗ пайке и металлизации должна иметь ряд преимуществ над уже существующими образцами:

– снижение габаритов и потребляемой мощности за счет использования современных экономичных ИМС и жидкокристаллического индикатора;

– снижение себестоимости прибора путем повышения технологичности, усовершенствования принципиальной схемы.

#### **Библиографический список**

1. Аналоговые и цифровые интегральные схемы / С. В. Якубовский, Н. А. Барканов, В. П. Кудряшов и др. Под ред. С. В. Якубовского. М.: Советское радио, 1979. 335 с.
2. Ангелов Г. С., Ермолов И. Н. и др. Применение ультразвука в промышленности. М., Машиностроение, 1985. 240 с.

3. Бенькова А. Ф., Расторгуев Д. Л., Хлопотунова Н. А., Эй-дельмант М. П. Новые разработки в УЗ технике и их применение. Л.: ЛДНТП, 1982. С. 72–75.
4. Вышинский Н. В., Тьявлонский М. Д. Способ измерения амплитуды колебаний рабочего конца ультразвукового инструмента.
5. Интегральные микросхемы: Справочник / Б. В. Тарабрин, Л. В. Лунин, Ю. Н. Смирнов и др. Под ред. Б. В. Тарабрина. М.: Радио и связь, 1984. 528 с.
6. Федорков Б. Г., Телец В. А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.

УДК 662

**Е. А. Птюшкина** – студентка кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**О. Л. Смирнов** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА СТАДИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В современной радиоэлектронной аппаратуре наиболее распространенным методом создания электрических цепей является печатная плата.

Печатные платы – элементы конструкции, которые состоят из плоских проводников в виде участков металлизированного покрытия, размещенных на диэлектрическом основании и обеспечивающих соединения элементов электрической цепи.

Для того чтобы печатные платы были качественными, на каждой стадии изготовления производится контроль над изделием (рис. 1).

Чтобы платы получились качественные, к их изготовлению предъявляются обязательные требования:

1. Диэлектрические основания должны быть однородными по цвету, монолитными по структуре, не иметь пузырей, раковин, сколов, трещин и расслоений.

2. Проводящий рисунок должен быть четким, с ровными краями, без вздутий, разрывов, отслоений, подтравливания, следов инструмента и остатков технологических материалов.

3. Для повышения коррозионной стойкости наносится электролитическое покрытие.

4. Монтажные и фиксирующие отверстия должны отвечать требованиям чертежа.

5. Для повышения надежности паяных соединений внутреннюю поверхность монтажных отверстий должен покрывать слой меди не менее 20–25 мкм. Слой должен быть сплошным, без включений, мелкокристаллической структуры, а также должен обладать хорошим сцеплением с поверхностью.

6. Так же слой должен выдерживать ток 250 А/м<sup>2</sup> в течении 3 секунд, нагрузку на контакты до 1,5 Н и выдерживать 4 перепайки (для многослойных печатных плат – 3 перепайки) без изменения внешнего вида.

7. При циклическом воздействии температуры допускается изменение сопротивления не более чем на 10%.

8. Контактные площадки представляют собой участки металлического покрытия, которые соединяют печатные проводники с металлизацией монтажных отверстий. Их площадь должна быть такой, чтобы не было разрывов при сверлении, и остался гарантийный поясок меди шириной не менее 50 мкм.

9. Сопротивление изоляции не должно быть менее 30 000 МОм при T = 25 °С, влажности 46–84%, давлении 96–100 КПа, при расстоянии 0,2–0,4 мм между проводниками.

10. Электрическая прочность 700 вольт в нормальных условиях и 500 вольт после воздействия в течении 2 суток T = 40 °С и влажности 90–96%.

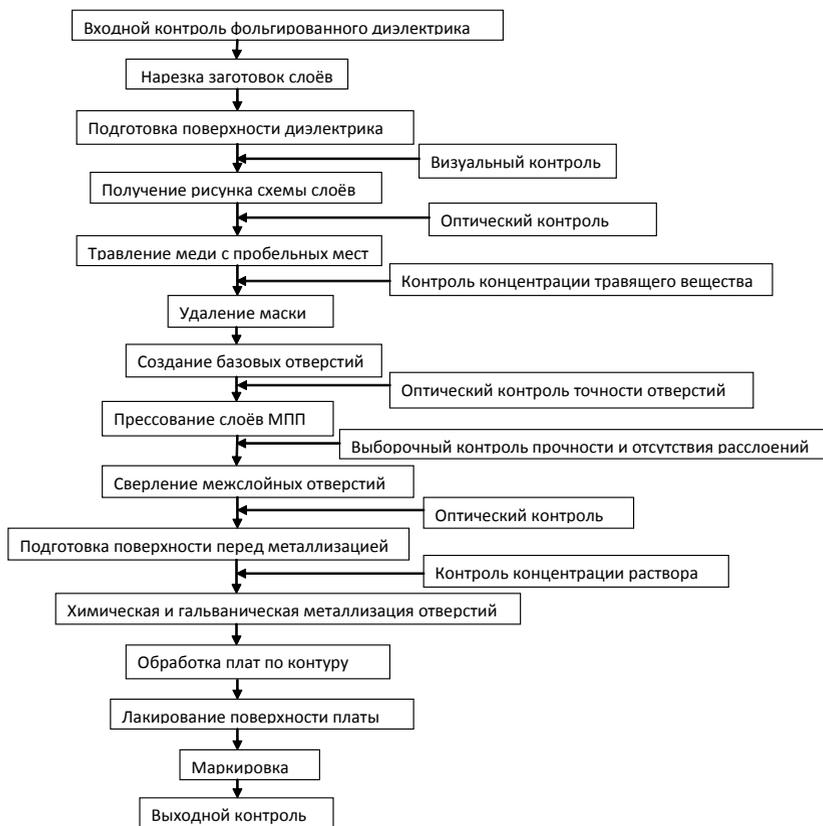


Рис. 1. Этапы производства и контроля качества печатных плат

11. Деформация печатных плат при толщинах 1,5–3 мм на 100 мм: для многослойных печатных плат (МПП) – 0,4–0,5 мм для двусторонних печатных плат (ДПП) – 0,5–0,9 мм

12. При воздействии на печатную плату  $T = 260\text{--}290\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течении 10 с не должно быть разрывов проводников и отслоений.

13. Технологический процесс изготовления ПП не должен ухудшать электрофизические и механические свойства применяемых конструкционных материалов.

В процессе производства возникает деформация ПП, которая приводит к их изгибу и скручиванию, затрудняющих последующую сборку, следовательно, для обеспечения качества при выполнении основных процессов формирования элементов печатного монтажа предназначены подготовительные операции. Они включают:

- очистку исходных материалов и монтажных отверстий от окислов, жировых пятен, смазки, пленок и других загрязнений;
- активирование поверхностей проводящего рисунка;
- специальную обработку диэлектриков;
- контроль качества подготовки.

Соответствие физико-механических свойств и других качественных характеристик конструкционных материалов, используемых при изготовлении ПП и МПП, требованиям технических условий устанавливается входным контролем предприятия по стандартным методикам [1]. Одновременно контролируются технологические свойства материалов и производятся испытания заготовок, которые включают в себя:

- определение прочности сцепления фольги с диэлектриком;
- определение допустимого числа изгибов;
- испытание электрических свойств;
- испытание на горючесть;
- испытание на пробивку отверстий;
- испытание на устойчивость к электролитической коррозии;
- испытание на устойчивость к действию растворителей.
- содержание смолы в стеклоткани.

Около 80% всех дефектов, которые выявляются в процессе производства и использования изделий, обусловлены недостаточным качеством процессов разработки концепции изделия, конструирования и подготовки его производства.

При разработке и производстве изделия действует правило десятикратных затрат – если на одной из стадий круга качества изделия допущена ошибка, которая выявлена на следующей стадии, то для ее исправления потребуется затратить в 10 раз больше средств, чем если бы она была обнаружена вовремя. Если она была обнаружена через одну стадию – то уже в 100 раз больше, через две стадии – в 1000 раз и т. д.

Поэтому на всех стадиях сборочно-монтажных операций выполняются операции контроля: входной контроль, операционный контроль, выходной контроль. Обнаруженные дефекты фиксируются в сопроводительной документации на узел для последующего устранения, для статистического учета и с целью выявления и устранения причин их появления [2].

Автоматизированный контроль реализуется в ходе четырех основных этапов технологического процесса: нанесения припойной пасты, позиционирования компонентов, отверждения адгезива и проверки после пайки. Он позволяет контролировать:

- нанесение припойной пасты (недостаточное, избыточное, неточное позиционирование трафарета);
- качество позиционирования компонентов (отсутствие/наличие компонента, точность позиционирования, включая разворот по горизонтали и вертикали, несоответствие полярности или номера вывода, дефект вывода, наличие посторонних предметов);
- качество паяного соединения (короткое замыкание, непропай, несмачиваемость, излишек или недостаток припоя).

Для контроля качества внутренних слоев ПП и качества пайки некоторых типов компонентов применяется анализ изображений, полученных с помощью рентгеновских установок.

Исправление брака, в сущности, сводится к повторному выполнению определенной части сборочно-монтажных операций. Необходим тщательный контроль и управление процессом устранения брака, чтобы исключить возможность повреждения годного (заменяющего бракованный) компонента, а также соседних компонентов и элементов коммутационной платы. Надежной гарантией от проблем, связанных с ремонтом изделий, является обеспечение высокого качества процесса сборки и обязательный контроль процесса монтажа.

#### **Библиографический список**

1. Жданов В. В. и др. Подсистема АСОНИКА-К – расчет надежности аппаратуры и ЭРИ // EDA Express, № 5, 2002.
2. Ильин В. Технология изготовления печатных плат. Машиностроение. М, 1984.

УДК 681.513.6

**А. В. Радчиков** – студент кафедры управления и информатики в технических системах  
**М. В. Бураков** (канд. тех. наук, доц.) – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЮ

Адаптивными системами называют такие системы, в которых параметры регулятора меняются вслед за изменением параметров объекта, таким образом, чтобы поведение системы в целом оставалось неизменным и соответствовало желаемому. В теории адаптивных систем существуют два основных направления: адаптивные системы с эталонной моделью (АСЭМ) и адаптивные системы с идентификатором [1, 2]. Адаптивная система с эталонной моделью показана на рис. 1.

Модель выдает желаемый выход системы  $y_m$  в ответ на входное воздействие  $ref$ . Параметры регулятора  $p$  изменяются в соответствии с ошибкой управления, так чтобы приблизить реальный выход объекта к желаемому выходу.

Внешний контур должен так настроить параметры, чтобы ошибка управления (слежения)

$$e = y - y_m \rightarrow 0 \quad (1)$$

Эталонная модель описывает желаемую реакцию объекта управления. Выбор эталонной модели является частью процедуры проектирования. Модель описывает такие параметры переходного процесса как время нарастания, время установления, время переходного процесса.

Регулятор должен так корректировать динамику объекта, чтобы динамика замкнутой системы была близка к динамике эталонной модели.

Механизм настройки меняет параметры регулятора. Настройка параметров происходит в соответствии со значением ошибки  $e$ , так чтобы происходила ее минимизация.

Контур адаптации должен работать таким образом, чтобы обеспечивалась стабильность внутреннего контура.

Определим целевую функцию, подлежащую минимизации, в виде:

$$J(\theta) = \frac{1}{2} e^2(\theta),$$

где  $\theta$  – настраиваемые параметры. Таким образом, целевая функция всегда положительна, и уменьшение  $J(\theta)$  означает уменьшение  $e$ .

Правило MIT (от Massachusetts Institute of Technology [2]) предполагает изменение параметров  $\theta$  в направлении отрицательного градиента  $J$ :

$$\frac{d\theta}{dt} = -k \frac{\partial J}{\partial \theta} = -k e \frac{\partial e}{\partial \theta}.$$

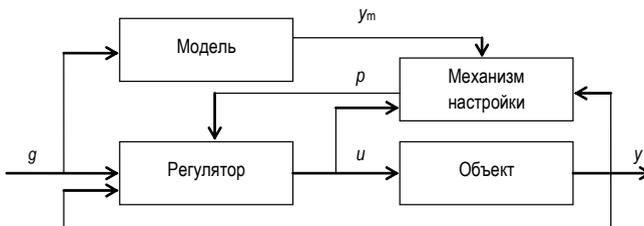


Рис. 1. Адаптивная система с эталонной моделью (АСЭМ)

коэффициент адаптации  $k$  определяет длину шага в процессе минимизации. Частная производная ошибки по параметрам описывает чувствительность ошибки к изменению параметра.

Правило MIT можно объяснить следующим образом: Если параметры  $\theta$  изменяются значительно медленнее, чем состояние системы, тогда для того, чтобы сделать квадрат ошибки малым, целесообразно изменять параметры в направлении отрицательного градиента.

Целевую функцию также можно выбрать в следующем виде:

$$J(\theta) = |e(\theta)|; \quad \frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\delta e}{\delta \theta} \text{sign}(e); \quad \text{where } \text{sign}(e) = \begin{cases} 1, & e > 0 \\ 0, & e = 0 \\ -1, & e < 0 \end{cases}$$

Рассмотрим пример использования правила MIT – адаптация коэффициента усиления. Пусть модель и процесс характеризуются передаточной функцией  $W(s)$ , так что:

$$y(s) = \theta(s)g(s); \quad y_m(s) = W(s)g(s)$$

где  $\theta$  – неизвестный коэффициент усиления.

Тогда ошибка будет равна:

$$e = \theta W(s)g - W_m(s)g; \quad \frac{\partial e}{\partial \theta} = W(s)g = y_m.$$

Выше было показано, что правило MIT описывается выражением:

$$\frac{d\theta}{dt} = -ke \frac{\partial e}{\partial \theta} = -key_m.$$

Таким образом, скорость изменения параметра пропорциональна произведению ошибки на выходной сигнал модели (рис. 2).

На рис. 3 показан пример использования АСЭМ для подстройки коэффициента усиления.

На рис. 4 показаны переходные процессы в адаптивной системе.

Проведенный эксперимент, несмотря на свою простоту, демонстрирует возможности АСЭМ для решения практических задач построения систем автоматического управления.

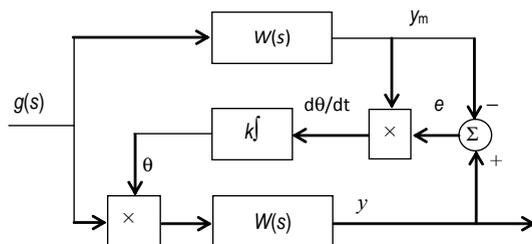


Рис. 2. АСЭМ для подстройки коэффициента усиления

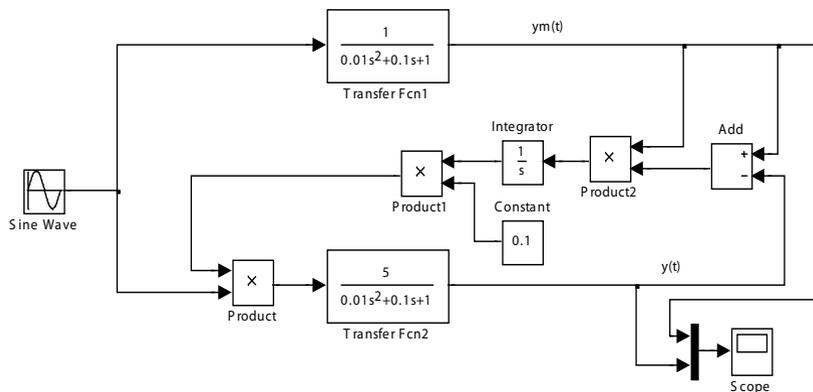


Рис. 3. Пример простейшей адаптивной системы в MatLab

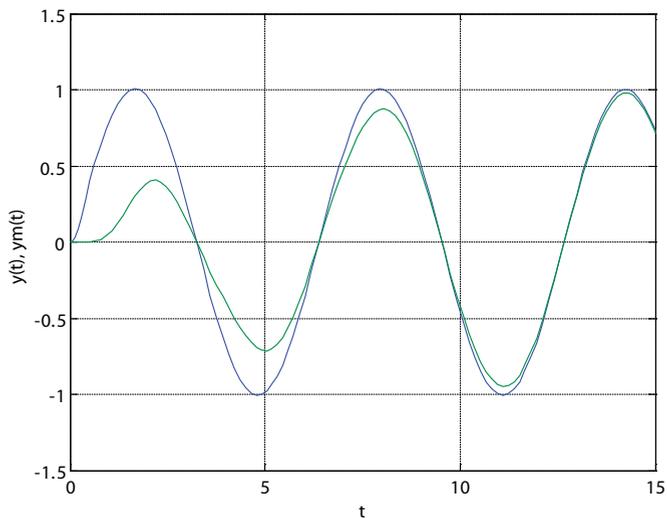


Рис. 4. Переходные процессы в адаптивной системе

#### Библиографический список

1. Методы робастного нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н. Д. Егупова, М., 2001. 744 с.
2. Astrom K. J., Wittenmark B. Adaptive control. Addison Wesley, 2<sup>nd</sup> Ed., 1995. 360 p.

УДК 621.373.826

**А. В. Репина** – магистрант кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**В. П. Ларин** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

### **ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

Печатные платы в электронике, наряду с электронными компонентами, оказывают значительное влияние на основополагающие характеристики электронного приборостроения. Постоянно повышающиеся требования рынка вынуждают разработчиков минимизировать размеры и увеличивать плотность расположения компонентов на печатных платах. Вследствие этого повышаются требования к печатным платам (ПП): уменьшаются минимальные диаметры отверстий, ширина печатных проводников, размеры контактных площадок и расстояния между ними, увеличивается количество сигнальных слоев.

Традиционные технологии формирования печатного рисунка на диэлектрическом основании подошли уже к предельным возможностям реализации, а дальнейшая миниатюризация сопряжена с высокой трудоемкостью, стоимостью и нестабильностью качества. Все это требует поиска альтернативных решений, причем не только на базе новых, но и использования технологий, не получивших в свое время развития по объективным причинам. Речь идет о лазерных технологиях

В области производства ПП можно выделить технологию прямого получения изображения на ПП из электронного файла, минуя промежуточный инструмент, т.е. без фотошаблона. На рынке представлены технологии прямого лазерного формирования изображений (LDI – Laser Direct Imaging). Решаются задачи не только формирования изображений, но и лазерной ретуши, контроля и т.д.

Растровое формирование изображения по технологии LDI было впервые использовано в 1990 году. В самой обычной реализации LDI управляющая CAD/CAM-система применяется для того, чтобы модулировать сфокусированный лазерный луч, который в свою очередь создает растровый топологический рисунок на поверхности платы. После того как формирование изображения завершено на одной стороне заготовки, плата переворачивается, и на второй стороне аналогичным способом формируется рисунок.

Лазерный луч формирует растровое изображение топологического рисунка в негативном или позитивном фоторезисте, свободное от пыли и дефектов, свойственных фотошаблонам, без деформаций, связанных с неустойчивостью параметров внешней среды, без необходимости использования процессов контактной печати и дорогостоящих установок экспонирования. Топологическая точность растрового рисунка, сделанного лазерным лучом, не зависит от внешних условий.

Доступные в настоящее время LDI-системы этого типа могут прорисовать заготовки шириной в 24 дюйма (610 мм) за один проход, исключая необходимость в любом типе пошагового прохождения изображения или сшивания фрагментов в один формат. Эти системы обычно используют газовый или твердотельный лазер, который выделяет несколько ватт мощности в ультрафиолетовом диапазоне [1].

Многие зарубежные компании предлагают такое оборудование. Различные варианты и их особенности представлены в таблице 1 [2].

В частности, высокотехнологичные решения в этом направлении предлагает фирма Orbotech, партнером которой в России выступает предприятие «Остек» [3]. Например, системы Paragon 9000 позволяют производить печатные платы с шириной проводников и зазоров до 15 мкм, не используя при этом фотошаблоны. Она применяется для изготовления следующих продуктов:

– многослойные печатные платы с большим (более 20) количеством слоев;

- послойно изготавливаемые печатные платы с отверстиями малого диаметра;
- печатные платы с нормируемым импедансом;
- гибкие и жестко-гибкие печатные платы;
- производство интегральных микросхем).

Характеристики этой системы:

- экспонирование до 160 сторон в час;
- минимальное время технологической подготовки производства;
- полная автоматизация технологического процесса;
- точное динамическое совмещение, выравнивание и масштабирование;
- экспонирование на все чувствительные к ультрафиолетовому облучению сухие и жидкие фоторезисты;
- формирование изображения для внутренних и внешних слоёв, гибких печатных плат, паяльных масок и подложек микросборок;
- подготовлена к использованию в «желтых комнатах».

Компания Orbotech в своих системах использует лазеры Paladin. Высокая эффективность твердотельных лазеров снизила потребляемую ими мощность, что привело к значительному сокращению рассеиваемой лазером мощности. Это позволяет подключать лазер Paladin к стандартной сети 110/220 В, а для охлаждения использовать небольшой охладитель с замкнутым водооборотом, который устраняет необходимость в большом потреблении воды. Потребляемая мощность Paladin – 4 кВт/час, для сравнения: аргоновый лазер потребляет около 60 кВт/час. По данным разработчика LDI-системы Orbotech (Yavne, Израиль), такая существенная разница позволяет сэкономить на электричестве до \$30 000 в год (исходя из 40-часовой недели односменной работы) [4].

Таблица 1

*Технология прямого формирования изображения лазером*

Примеры	Особенности
УФ-лазер (аргон) Примеры: DP100 (Orbotech, Израиль), Atoma-Technical (Франция)	Плоская плата, одностороннее экспонирование, использование стандартного чувствительного к воздействию УФ фоторезиста или фоторезиста с высокой чувствительностью к УФ-излучению для высокопроизводительных процессов
Твердотельный УФ-лазер Пример: Gemini (Maria-Bosco)	Вертикальное, двустороннее экспонирование. Автоматическая загрузка и разгрузка.
Твердотельный УФ-лазер Примеры: Pentas (Asahi Kogogaka)	Структура блока формирования изображений сходна с видимым лазерным изображением Pentas. Твердотельный лазер от фирмы Spectra, серийное производство организовано в 2002 г.
Твердотельный лазер УФ-излучения Примеры: DP-1005L (Orbotech, Израиль)	Производительность: 150 отпечатков/час. Разрешающая способность: 6,3 мкм или 5 мкм. Источник излучения: твердотельный лазер 3–4 кВт. Минимальный размер подложки: 660×815 мм. Минимальная площадь изображения: 609×812 мм. Минимальное расстояние между линиями: 50 мкм. Точность позиционирования: ±1,2 мкм. Совмещение по бокам: 24 мкм.
Лазер с видимым (зеленым) излучением Пример: DI 2000 (Asahi Kogogaka)	Использование специальной сухой пленки или фоточувствительного жидкого фоторезиста
Тепловой лазер (thermal laser – CO <sub>2</sub> ) Примеры: Diamond 2028F (CREO)	Конструкция наружного барабана пригодна для формирования изображения
Лазер с видимым излучением (405 нм) DI-2080 от фирмы Pentax (Asahi Optical)	DMD (цифровое микроустройство). Минимальный размер элемента: 15 мкм. Точность позиционирования (повторяемость): ±7,5 мкм. Совмещение по сторонам: ±10 мкм. Время экспонирования: 35 с для 340×510 мм.
Полупроводниковый лазер с видимым излучением (405 нм) от фирмы Fuji.	Многokrатное расщепление пучка для высокой скорости экспонирования. Экспонирование 10 с для платы размером 510×600 мм. Минимальный размер элемента: 10 мкм.

В сравнении с традиционной контактной печатью LDI имеет как преимущества, так и недостатки. Самые очевидные преимущества LDI – экономия времени и отсутствие расходов на изготовление, использование, обработку и хранение фотошаблонов. Кроме того, LDI избавлено от проблем, связанным с фотопленкой, ее хранением и дефектами. Методика LDI обеспечивает уникальную четкость и позволяет увеличить процент выхода годных изделий. Процессы LDI также обеспечивают более точное совмещение элементов межсоединений, чем методы контактной печати, и потому позволяют производить платы самой разнообразной сложности и классов точности.

Большая управляемость, присущая LDI-процессу, позволяет при необходимости изменять размеры, позиционирование и формы элементов рисунка.

К преимуществам формирования рисунка с помощью лазера также можно отнести:

- при использовании систем прямого экспонирования не происходит накопления погрешности совмещения, как при использовании фотошаблонов. Система сама изображает реперные знаки на одной стороне заготовки и использует их для экспонирования другой;

- большое фокусное расстояние (более 300 мкм) обеспечивает повторяемость экспонирования и малую величину отклонения толщины линий от заданной на всей поверхности групповой заготовки даже для внешних слоев со сложным рельефом;

- кроме того, может происходить коробление мультизаготовок печатных плат после мокрых процессов и прессования. Для таких случаев установка прямого экспонирования использует динамическое выравнивание и масштабирование и для каждой платы в составе заготовки может применяться свой коэффициент масштабирования;

- как итог снижение себестоимости за счет исключения фотошаблонов.[5,6].

Один из недостатков LDI заключается в невозможности достичь такой же высокой разрешающей способности рисунка, как при контактной печати. Однако это препятствие не является непреодолимым и решение проблемы сводится к уменьшению светового пятна лазера и увеличению фокусного расстояния, чтобы избежать расфокусировки при разновысокости заготовок.

Еще один недостаток LDI – относительно низкая производительность процесса, но этот недостаток можно считать несущественным, так как данная технология занимает свою определенную нишу в области мелкосерийного и единичного производства и в условиях опытного и контрактного производства, когда требуется быстрая переналадка оборудования.

Одним из направлений развития этой технологии является расширение применения этого процесса на 3D-объекты, на платы с неплоской поверхностью, когда нет возможности использовать фотошаблонов.

Недостаточно динамичное движение к совершенству ПП обусловлено тем, что капиталоемкость их производства столь велика, а рыночная цена плат столь мизерна, что окупаемость вложений в ПП – наиболее медленный процесс относительно других отраслей электроники.

Но результаты исследований в области лазерной литографии предвещают им успех в конкуренции с контактной печатью и традиционными технологиями производства ПП. Для российских производств, с их малыми объемами в сочетании с необходимостью изготавливать платы высокого класса точности, лазерная литография может занять лидирующее место, хотя это и не отменяет право на существование базовых процессов, особенно для больших партий плат.

Итак, основными направлениями исследований в области использования лазерного формирования топологии ПП являются:

- повышение разрешающей способности с получением качественного проводника шириной до 0,1 мм;

- отработка информационно-программного обеспечения управления процессом, совместимого с основными программами трассировки ПП;

– снижение стоимости комплекса оборудования для проведения процесса лазерного формирования топологии;

– разработка методик формирования рисунка на основаниях с неплоской поверхностью и разновысоких элементах поверхности, что позволит использовать LDI – процесс в технологиях внутреннего монтажа и нанесении печатного рисунка на сферические и т. п. поверхности.

Решение этих задач позволит получить существенные преимущества над фотолитографической технологией получения топологии ПП.

#### **Библиографический список**

1. Медведев А. Оборудование для производства печатных плат // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2006. № 1.
2. Никируй В. Лазерные технологии в производстве печатных плат и не только // Научно-технический журнал «Печатный монтаж»: Технологии. 2009. № 2–3.
3. Разоренов А. Г. и Семенов П. В. ЗАО «ОСТЕК». Наша цель – конкурентоспособность российских производителей // Научно-технический журнал «Печатный монтаж», 2009. № 6. С. 2–8.
4. Шри Венкат. Лазерные разработки расширяют возможности LDI // Технология в электронной промышленности. 2006. № 1.
5. Шеин А. Почему прямое экспонирование? // Поверхностный монтаж. 2007. № 9. С. 36–39.
6. Медведев А., Сержантов А. Лазерная литография в производстве печатных плат// Технология в электронной промышленности. 2006. № 5. С. 22–26

---

УДК 650

**А. М. Родин** – магистрант кафедры микро и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**О. Л. Смирнов** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ ЦЕНТРА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КОНТРОЛЬНО-КАССОВОЙ ТЕХНИКИ**

Автоматизация – применение саморегулирующих технических средств, и систем управления, освобождающих человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации. Цель автоматизации – повышение производительности труда и устранение участия человека в процессах, опасных для здоровья. Автоматизация требует комплексного и системного подхода.

Система управления – набор средств влияния на подконтрольный объект для достижения определённых целей. Объектом системы управления могут быть как технические объекты, так и люди.

Системы управления с участием людей как объектов управления называют системами менеджмента.

Техническая система управления – набор устройств для манипулирования поведением других устройств или систем.

Состояние объекта характеризуется некоторыми количественными величинами, изменяющимися во времени, то есть переменными состояниями. В естественных процессах в роли таких переменных может выступать температура, плотность определенного вещества в организме, курс ценных бумаг и т. д. Для технических объектов это механические перемещения (угловые или линейные) и их скорость, электрические переменные, температуры и т. д. Анализ и синтез систем управления проводится методами специального раздела математики – теории управления.

Автоматизированная система управления или АСУ – комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления процессами производства в различных отраслях промышленности, энергетики, транспорта и т. п.

Центр технического обслуживания (ЦТО) контрольно-кассовых машин (ККМ) компании СОФТ-МАРКЕТ решает следующие задачи:

- регистрация ККМ в государственных налоговых инспекциях;
- обучение и краткий инструктаж по эксплуатации ККМ и торгового оборудования;
- подключение ККМ;
- техническое сопровождение ККМ;
- гарантийный и постгарантийный ремонт ККМ.

Перечисленные задачи выполняются вручную. Задачи выдаются в устной форме, либо по корпоративной электронной почте. Главная проблема заключается в невозможности отследить этапы выполнения конкретной поставленной задачи специалисту, что приводит к увеличению времени и затрат на поставленные задачи.

В компании имеется база данных, упорядочивающая работу всей фирмы на основе платформы «1С:Предприятие Управление Торговлей» и «1С:CRM» [1]. Но в стандартном исполнении она не включает в себя процессы для работы ЦТО и ТО, как такового. Следовательно, для автоматизации процессов работы ЦТО необходима полная взаимосвязь с имеющейся базой данных. Предметом автоматизации ЦТО ККМ является доработка программного продукта «Управление торговлей и взаимоотношениями с клиентами (CRM)» для учета услуг по обслуживанию оборудования, а также рабочего времени сотрудников.

Задачи, которые необходимо реализовать, и, тем самым, доработать штатный функционал программного продукта следующие:

1. Создание связей между документами в соответствии с типовыми алгоритмами (процессами) предприятия.
2. Доработка справочника «Договоры контрагентов».
3. Доработка документа «Заказ покупателя».
4. Доработка документа «Реализация товаров и услуг».
5. Разработка документа «Заявка на обслуживание».
6. Доработка документа «Событие».
7. Разработка документа «Акт выполненных работ по оборудованию».
8. Доработка документа «Возврат товаров поставщику».
9. Доработка документа «Заказ поставщику».
10. Создание документа «Ввод остатков по оборудованию заказчиков».
11. Создание отчета «Работы по оборудованию заказчиков».
12. Создание обработки формирования счетов покупателям по договорам с расрочкой окончательного платежа.
13. Создание отчета «Окончание гарантийного срока».
14. Создание отчета «Анализ Заявок на обслуживание».
15. Дополнительные доработки.

Рассмотрим перечень работ по нескольким задачам.

Создание связей между документами в соответствии с типовыми бизнес-процессами предприятия.

**Требования:** система должна поддерживать последовательный ввод документов в соответствии с порядком ввода документов при установке оборудования и порядок ввода документов при проведении сервисного обслуживания.

**Содержание работ:**

- разработка новых документов в соответствии с требованиями п. 5, п. 7, п. 10;
- программирование механизма ввода.

Разработка документа «Заявка на обслуживание»

**Требования:**

1. Документ «Заявка на обслуживание» должен содержать следующие реквизиты:
  - контрагент;

- договор;
- адрес проведения работ;
- контактное лицо;
- тип заявки (Ввод в эксплуатацию/Гарантийные работы/Работы по договору);
- наименование оборудования;
- заводской номер;
- период работ, дней;
- список деталей, необходимых для проведения работ (Табличная часть для ввода из справочника Номенклатура, отбор осуществляется по остаткам на складе).

2. При вводе документа на основании «Заказа покупателя» тип заявки автоматически выбирается, как «Ввод в эксплуатацию»

3. Документ «Заявка на обслуживание» при выборе типа «Гарантийные работы» в процессе заполнения, должен отображать дату окончания гарантии по оборудованию (указана в договоре поставки в графе «Гарантия (месяцев)»), указанному в реквизите «Наименование оборудования». Если дата окончания гарантии меньше текущей она отображается красным цветом. При попытке проведения документа по оборудованию с истекшей гарантией система выдает предупреждающее сообщение при этом не запрещая проведение документа.

4. Если гарантия на оборудование закончилась, в заявке должны стать активными возможности «Создать сервисный договор» и «Уведомление по истечении гарантийного срока». Первая кнопка создает новый элемент в справочнике «Договоры контрагентов» (печать договора по форме «Договор о сервисном обслуживании оборудования» осуществляется из справочника «Договоры контрагентов»), после чего подставляет его в реквизит Договор, вторая – открывает печатную форму «Ответ на запрос сервиса после истечения гарантийного срока».

5. Необходимо чтобы на основании документа «Заявка на обслуживание» можно было создать напоминание о закупке ЗИП.

6. При проведении документа, Система автоматически резервирует номенклатуру, перечисленную в табличной части «Список деталей» и доступную на складе, под данную «Заявку на обслуживание».

7. При отсутствии необходимого количества ЗИП на складе, система формирует «Событие» с темой «Запчасти к заказу поставщику» и заполняет табличную часть «Товары и услуги» документа номенклатурой, которой в текущий момент не хватает для исполнения заявки.

Содержание работ:

1. Разработка документа «Заявка на обслуживание»
2. Разработка обработок контроля сроков гарантии и создания нового договора
3. Создание печатной формы «Ответ на запрос сервиса после истечения гарантийного срока».
4. Создание обработки резервирования запчастей.
5. Создание обработки формирования события.

#### **Библиографический список**

1. 1С: Предприятие 8, URL: <http://v8.1c.ru/trade/>
2. 1С: Предприятие 8. CRM ПРОФ, URL: [http://v8.1c.ru/solutions/product.jsp?prod\\_id=12](http://v8.1c.ru/solutions/product.jsp?prod_id=12)

УДК 62-83-52

**С. А. Свинолобов** – студент кафедры электротехники и технической диагностики  
**В. А. Атанов** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕРИИ ПТ50-3-6/110

Электропривод – совокупность устройств для преобразования электрической энергии в механическую и регулирование потока преобразованной энергии по определенному закону.

Цель диагностирования заключается в своевременной оценке технического состояния (работоспособности или не работоспособности) и в обнаружении причин нарушения работоспособности, распознавания вида технического состояния объекта и локализации места отказа. Задачи диагностирования – формирование диагностической модели, выбор диагностируемых параметров, выбор метода диагностирования и построения его алгоритма, проведение необходимых измерений, обработка полученной информации и получение результатов диагностирования [1].

Функциональная схема электропривода с подчиненным регулированием представлена на рис. 1.

Электропривод состоит из двигателя постоянного тока Д с управлением по якорной цепи и встроенным тахогенератором, предназначенный для преобразования электрической энергии в механическую и наоборот.

Система управления состоит из тиристорного преобразователя напряжения ТП, регулятора тока РТ, регулятора скорости РС и датчиков обратных связей: (датчика тока ДТ, датчика скорости ДС).

Под функциональным диагностированием понимают диагностирование, осуществляемое во время функционирования объекта, на который поступают рабочие воздействия. К достоинствам функционального диагностирования относится его непрерывность и связанная с этим оперативность получения информации о правильности функционирования объекта.

В зависимости от цели диагностирования, вида диагностических признаков в модели дефектов возможны различные постановки задач функционального диагностирования. Целью диагностирования является определение технического состояния объекта с указанием при необходимости места, вида и причины дефекта.

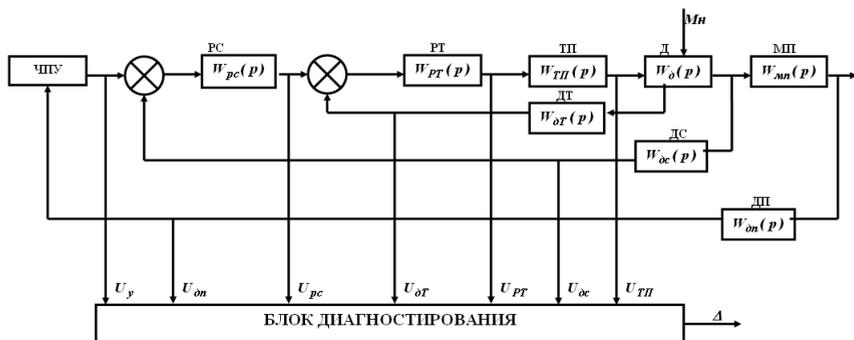


Рис. 1 Функциональная схема электропривода

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



Рис. 2. Классификация методов функционального диагностирования

Анализ методов проверки правильности функционирования позволяет выделить два основных подхода к контролю за техническим состоянием объекта: в пространстве параметров и в пространстве сигналов. В первом случае определяются текущие значения параметров объекта (коэффициенты передаточной функции, постоянные времени и т. д.) и оценивается отклонение их от номинального значения. Во втором случае проверяется отклонение выходных сигналов объекта и его блоков от теоретических значений. В обоих случаях объект считается функционирующим неправильно, если отклонение превышает допустимую величину. Основная трудность при первом подходе связана со сложностью измерения текущих значений параметров, тогда как их номинальные значения обычно бывают известны. При втором подходе главная проблема состоит в необходимости непрерывного определения номинальных значений выходных сигналов для текущих значений входных сигналов. Классификация методов представлена на рис. 2.

В системе подчиненного регулирования каждый контур имеет свою жесткую отрицательную обратную связь по регулируемой переменной и свой регулятор, значит, появляется возможность раздельной настройки контуров и коррекции в них переходных процессов. Характер переходного процесса замкнутой системы определяется соотношением постоянных времени ее звеньев. Математически это выражается оптимальным соотношением коэффициентов характеристического уравнения системы [2].

Для настройки на технический оптимум контура тока якоря эти коэффициенты подбираются регулятором тока (ПИ – регулятор), постоянные времени которого  $T_1$  и  $T_2$  выражаются через передаточные функции звеньев замкнутого контура.

Передаточная функция разомкнутого контура тока:

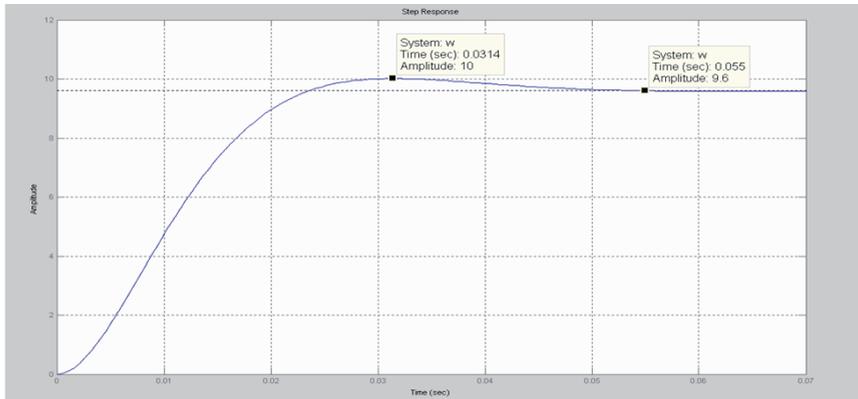
$$W_{pk}(p) = W_{pT}(p) \cdot W_{TP}(p) \cdot W_{яц}(p).$$

Передаточная функция замкнутого контура тока:

$$W_{зк} = \frac{W_{pk}}{1 + W_{pk} \cdot W_{обр.св.}}; \quad W_{обр.св.} = K_{дТ}.$$

После алгебраических преобразований имеем

$$W_{зк}(p) = \frac{\frac{K_{TP}/R_{я}}{(T_{TP}p + 1)T_2p}}{1 + \frac{K_{TP}/R_{я}}{(T_{TP}p + 1)T_2p} K_{дТ}} = \frac{1/K_{дТ}}{\frac{R_{я}T_{TP}T_2}{K_{TP}K_{дТ}} p^2 + \frac{R_{я}T_2}{K_{TP}K_{дТ}} p + 1}.$$



$\sigma = 4.2\%$ $t_1 = 0.0055c$	$\sigma = 4.33\%$ $t_1 = 4.7T_{TP} = 0.024c$
-------------------------------------	---

Рис. 3. Переходный процесс в контуре тока

Для получения оптимального переходного процесса необходимо получить характеристическое уравнение, указанное в знаменателе следующего выражения:

$$W_{зк}(p) = \frac{1/K_{ДТ}}{2T_{ТП}^2 p^2 + 2T_{ТП}p + 1} = \frac{1/K_{ДТ}}{2T_{ТП}p(T_{ТП}p + 1) + 1}$$

Для этого необходима связь:  $T_2 = 2T_{ТП}K_{ТП}K_{ДТ}/R_я$   $T_1 = T_я$

Используя передаточную функцию  $W_{зк}(p)$ , смоделируем переходный процесс для тока якоря в пакете MatLab. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

В левом столбце рис. 3 представлены значения время регулирования  $t_1$  и переуправления, полученные в результате моделирования.

Справа – значения соответствующие оптимальному процессу. Очевидно, что настройка контура тока якоря соответствует требованиям, предъявляемым к настройкам регулятора на технический оптимум.

#### Библиографический список

1. Ефимов А. А., Мельников С. Ю. Проектирование средств контроля и диагностики электромеханических систем. СПб., 2007.
2. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода. Москва. ЭНЕГОИЗДАТ. 1981.

УДК 519.876.5

**С. А. Селяев** – студент кафедры микро – и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**О. Л. Смирнов** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ В СИСТЕМЕ LABVIEW

При выполнении лабораторных работ на реальных установках возникает ряд проблем, связанных с пониманием студентами сути процессов и явлений. Это вызвано погрешностями и искажениями, вносимыми устаревшим оборудованием. Обновление же оборудования связано с большими временными и финансовыми затратами.

В данной работе предлагается моделирование лабораторных установок в широко известной системе визуального программирования LabVIEW. Описывается создание виртуальной установки для исследования преобразования спектров колебаний в нелинейной цепи. Основное внимание уделяется оформлению передней панели прибора.

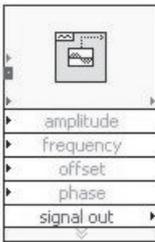


Рис. 1. Waveform Generator – компонент для реализации генератора

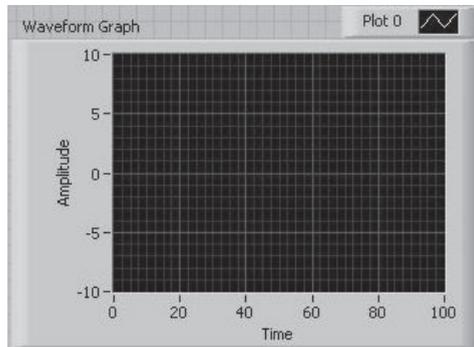


Рис. 2. Waveform Graph – компонент для построения осциллограмм

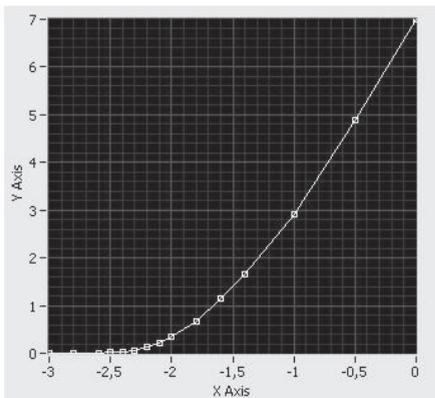
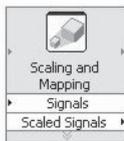


Рис. 3. Компонент для реализации нелинейного элемента и его характеристика

Рассматриваем прибор должен включать блоки, аналогичные блокам, используемым в реальной установке: внутренний и внешний генераторы, осциллограф и нелинейный элемент. В среде LabVIEW генераторы легко реализуются с помощью встроенных компонентов. На вход компонента подаются значения смещения, амплитуды, частоты и фазы сигнала, а на выходе получается заданный сигнал (рис. 1). Функцию осциллографа выполняет графопостроитель (рис. 2).

Нелинейный элемент смоделирован компонентом масштабирования с заложенной в него характеристикой (в лабораторной работе нелинейный элемент – полевой транзистор, его характеристика называется стокозатворной) (рис. 3) [1].

Кроме названных компонентов потребуются и другие. Их набор зависит от предпочтений разработчика установки, его способа реализации какой-либо части программы, какого-либо органа прибора. Система LabVIEW предоставляет широкий набор самых разнообразных компонентов, поэтому одна и та же задача может иметь несколько решений. В связи с этим алгоритм программы рассматриваться не будет. Большой интерес представляет интерфейсная часть прибора – средство взаимодействия с пользователем.

При размещении компонентов на блок-диаграмме (Block Diagram) для некоторых из них на передней панели виртуального прибора (Front Panel) появляются различные органы индикации и управления. Необходимо разместить их так, чтобы обеспечить удобство работы с прибором, наглядность представления выводимой информации и эстетический вид. Это задача эргономики и дизайна. Решение её в процессе проектирования виртуальных приборов является возможностью получить навыки в этой области студентам, обучающимся на конструкторских специальностях.

Автор решил задачу эргономики следующим образом (рис. 4). Верхнюю часть передней панели прибора занимают органы управления, остальную – органы индикации. Причём в средней части располагаются графопостроители, а в нижней – координаты положения курсоров и органы настройки осциллограмм.

Таким образом, моделирование лабораторной установки даёт возможность получить прибор, идеально отображающий исследуемый процесс и позволяющий использовать его для проведения лабораторных работ при выходе из строя реальной установки. Прибор целесообразно использовать и при подготовке студентов к выполнению работы, чтобы сформировать чёткое представление об исследуемом процессе или явлении. Кроме того, это даёт возможность будущим конструкторам грамотно компоновать ор-

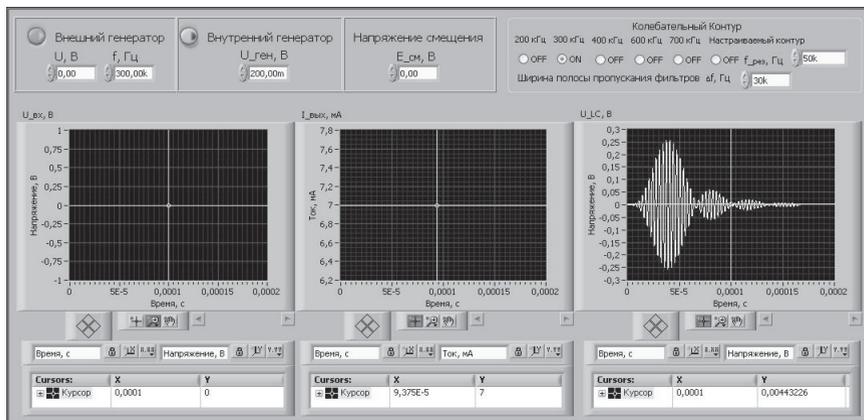


Рис. 4. Передняя панель прибора (авторский вариант)

ганы индикации и управления в соответствии с эргономическими требованиями, получать навыки в данной области, а также, возможно, вырабатывать свой стиль оформления приборных панелей.

**Библиографический список**

- 1 Суранов А. Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2007. 536 с.
  - 2 Бальшева О. Л., Смирнов Ю. Г., Кулаков С. В. Радиотехнические цепи и сигналы. Нелинейные цепи: методические указания к выполнению лабораторных работ. СПб., СПбГУАП, 1999. 53 с.
- 

УДК 621.3

**С. Ю. Семенов** – студент кафедры электротехники и технической диагностики  
**В. Я. Лавров** (канд. техн. наук, проф.) – научный руководитель

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
РЕАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

В настоящее время при разработке электротехнических изделий требуется, чтобы они обладали не только хорошими эксплуатационными характеристиками, но и создавали магнитное поле во внешней области с интенсивностью, удовлетворяющей нормативным требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС) и электромагнитной экологии (ЭМЭ) [1].

Установление структуры внешних полей даже в низкочастотном диапазоне является сложной полевой задачей и в большинстве случаев, аналитическое решение которой на основе использования классической теории электромагнитного поля (ЭМП) не может быть получено.

Разработанная на кафедре электротехники и технической диагностики теория идентификации электромагнитного поля позволяет осуществить математическое моделирование внешнего магнитного поля реальных источников в реальных условиях работы.

Для осуществления математического моделирования необходимо решить следующие задачи:

- построить обобщённую математическую модель внешнего магнитного поля в сферических координатах;
- найти выражение для численного определения весового коэффициента, входящего в обобщённую математическую модель поля;
- сформировать массив данных на основе экспериментального исследования магнитного поля на базовой сферической поверхности, охватывающей реальное устройство;
- разработать программное обеспечение для математического моделирования;
- осуществить проверку достоверности математической модели и программных средств.

При отсутствии устройств для экспериментального исследования полей проверки достоверности математической модели программных средств можно осуществить с помощью вычислительного эксперимента. Для осуществления вычислительного эксперимента может быть использована математическая модель магнитного поля витка с током, выражения для составляющих поля которого могут быть получены на основе применения классической теории.

В работе рассматриваются вопросы построения математической модели внешних низкочастотных магнитных полей реальных устройств.

Для построения моделей электромагнитных полей в задачах ЭМЭ и ЭМС наиболее целесообразно является использовать сферическую систему координат, так как она охватывает полностью испытуемое изделие. Уравнение Лапласа при этом приобретает вид

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left( \sin \vartheta \frac{\partial U}{\partial \vartheta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} \right) = 0. \quad (1)$$

Общее решение уравнения Лапласа (2) может быть представлено в следующем виде

$$U = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n a_{nm} U_{nm}, \quad (2)$$

где  $U_{nm}$  – частные решения уравнения (2), которые определяются следующими выражениями

$$U_{nm} = r^{-n-1} P_n^m(\cos \vartheta) e^{im\varphi}. \quad (3)$$

В(2),(3)  $U_{nm}$  можно назвать скалярными сферическими гармониками исследуемого поля;  $P_n^m(\cos \vartheta)$  – присоединённая функция Лежандра, суммирование в(2) выполняется по всем целым значениям  $n$  и  $m$ , причём  $m \leq n$ ;  $a_{nm}$  – комплексный весовой коэффициент исследуемого поля, являющийся параметром идентификации и подлежащий определению по результатам зондирования поля.

Наиболее просто весовые коэффициенты могут быть определены на основе исследования распределения радиальной составляющей магнитного поля  $H_r(r_0, \vartheta, \varphi)$  на базовой поверхности, имеющей сферическую форму[2]. Аппроксимация  $H_r(r_0, \vartheta, \varphi)$  может быть осуществлена в виде ряда по сферическим функциям Лапласа.

$$H_r(r_0, \vartheta, \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n A_{nm}^0 P_n^m(\cos \vartheta) e^{im\varphi}, \quad (4)$$

где коэффициенты разложения  $A_{nm}^0$  определяются интегральным выражением

$$A_{nm}^0 = \frac{2n+1}{4\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} H_r^0(\vartheta, \varphi) P_n^m(\cos \vartheta) e^{im\varphi} \sin \vartheta d\vartheta d\varphi. \quad (5)$$

Каждая из составляющих векторных сферических гармоник по координатам сферической системы определяется из выражения потенциала через операцию градиента

$$\begin{cases} H_{rnm} = -\frac{\partial U_{nm}}{\partial \vartheta}, \\ H_{\vartheta nm} = -\frac{1}{r} \frac{\partial U_{nm}}{\partial r}, \\ H_{\varphi nm} = -\frac{1}{r \sin \vartheta} \frac{\partial U_{nm}}{\partial \varphi}. \end{cases} \quad (6)$$

Окончательные выражения для осуществления математического моделирования внешних магнитных полей реальных источников в сферических координатах имеют вид

$$\left\{ \begin{aligned} H_r(r, \vartheta, \varphi) &= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n a_{nm}(n+1)r^{-n-2}P_n^m(\cos \vartheta)e^{im\varphi}, \\ H_{\vartheta}(r, \vartheta, \varphi) &= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n -a_{nm}r^{-n-2} \frac{d}{d\vartheta} P_n^m(\cos \vartheta)e^{im\varphi}, \\ H_{\varphi}(r, \vartheta, \varphi) &= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n a_{nm}r^{-n-2}i \frac{m}{\sin \vartheta} P_n^m(\cos \vartheta)e^{im\varphi}, \end{aligned} \right. \quad (7)$$

где весовой коэффициент обобщенной модели определяется выражением

$$a_{nm} = \frac{2n+1}{4\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \frac{\int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} H_r^0(\vartheta, \varphi) P_n^m(\cos \vartheta) e^{im\varphi} \sin \vartheta d\vartheta d\varphi}{n+1} r_0^{n+1}. \quad (8)$$

#### Библиографический список

1. Сподобаев, Ю. М. Основы электромагнитной экологии / Ю. М. Сподобаев, В. П. Кубанов. М.: Радио и связь, 2000. 240 с.
2. Кирпанев, А. В. Электромагнитное поле: Теория идентификации и её применение: учебн. пособие / А. В. Кирпанев, В. Я. Лавров. – 2-е изд. М.: Вузовская книга, 2005. 280 с.

УДК 004.032.26

**С. А. Смирнов** – студент кафедры управления и информатики в технических системах  
**М. В. Бураков** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### НЕЙРОСЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ КУРСОМ СУДНА

При управлении судном управляющим воздействием является угол перекадки руля, задаваемый рулевой машиной, а на выходной переменной является курс судна. Судно испытывает возмущающие воздействия: ветер, волны, течения, а в самом судне обязательно присутствуют внутренние параметрические возмущения, обусловленные, например, загрузкой судна. Таким образом, судно является сложным, существенно нелинейным динамическим объектом с переменными параметрами.

Практически все применяемые в настоящее время на судах авторулевые относятся к классу ПИД– или ПД-регуляторов. Их применение не требует точного знания модели, настройка может осуществляться инженерами-практиками и операторами.

Традиционная САУ курсом судна показана на рис. 1

Во время эксплуатации системы параметры и внешние воздействия меняются случайным образом в широком диапазоне (направление и сила ветра, высота и длина волны, гидродинамические характеристики судна, осадка, глубина воды под килем, скорость хода судна). В этих условиях требуется добиться адаптивности системы управления, этого можно добиться за счет использования в контуре управления искусственной нейронной сети (ИНС) [1].

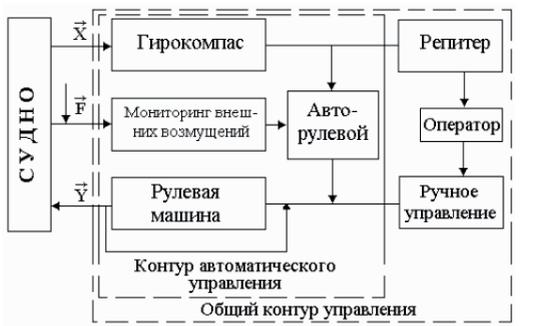


Рис. 1. Система управления курсом судна

Нейросетевой регулятор обладает определенной естественной адаптивностью и способен к устойчивой работе в условиях возмущений. Такой регулятор обучается в режиме off line, для его обучения необходимо иметь имитационную (компьютерную) модель, поскольку требуется проводить большое количество экспериментов. В качестве эффективного инструмента обучения ИНС может быть использован генетический алгоритм – эффективное средство глобальной оптимизации [2].

Динамика судна как объекта управления традиционно описывается моделью Номото второго порядка:

$$W(s) = \frac{k(1 + \tau_3 s)}{s(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)},$$

в которой параметры зависят от скорости судна и его загрузки.

#### Библиографический список

1. Бураков М. В., Попов О. С. Интеллектуальные системы управления: учебн. пособие. СПб., ГААП, 1997. 108 с.
2. Бураков М. В. Генетический алгоритм: теория и практика. СПб., ГУАП, 2008. 164 с.

УДК 62-799

**Д. И. Товкес** – студент кафедры электротехники и технической диагностики

**В. А. Голубков** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

#### ПРИБОР КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА

На сегодняшний день приборы контроля безопасности объекта стали необходимым атрибутом в жизни людей, в связи с высокой криминогенной ситуацией в современном обществе. Люди стараются уберечь свое имущество от третьих лиц, поэтому интерес к таким системам постоянно возрастает. Такие системы могут устанавливаться как на движимое так и не недвижимое имущество. Учитывая, что автомобиль относится к наиболее криминогенным объектам, нужно позаботиться о его сохранности. Для решения проблемы охраны транспортного средства необходимо решить охранно-технические задачи. На этом этапе необходимо иметь представление о взаимодействии охранных устройств автомобиля и действий со стороны угонщиков.

Не смотря на обилие появившихся в последние годы противоугонных систем (Pandora, StarLine, Sheriff, COBRA) количество угонов не уменьшается. При анализе статистики по сравнению с 2009 г. просматривается прирост количества угонов автомобилей. По заявлению большинства СМИ, кризис в России закончился, это худшим образом повлияло на статистику угонов в 2010 г. В итоге, угоны автомобилей в среднем повысились. Объяснение аналитиков, это повышение спроса на рынке как подержанных, так и новых автомобилей. По статистике в 2010 г. по России в целом – 116000 машин лишлись законные владельцы.

Причина проста, профессиональные угонщики хорошо знают промышленные системы и их уязвимые места, что не составляет для них труда оставить владельца без автомобиля. Конечно, не бывает систем защиты, с которыми не смог бы справиться подготовленный специалист угонщик, но, если противостоящая ему система окажется незнакомой, вероятность ее взлома резко падает и, скорее всего, он откажется от такой машины в пользу соседней, которая имеет популярную сигнализацию. С этой точки зрения самодельные системы, выполненные в единичных экземплярах и известные только авторам, их изготовившим, весьма эффективны.

Прибор контроля безопасности объекта представляет собой устройство состоящие из двух основных блоков: приемник и передатчик (рис. 1).

Передатчик служит для того, чтобы установить под контроль анализируемый объект. Приемник необходим для того, чтобы воспринимать сигналы передатчика: установку или снятие контроля и разрешает доступ на объект.

Для увеличения помехоустойчивости целесообразно использовать инфракрасный канал передачи информации, а не радиочастотный, поскольку последний может быть отсканирован специальными устройствами, которые в настоящий момент достаточно широко распространены. Инфракрасный сигнал сложнее поддается сканированию и в настоящий момент отсутствуют приборы для его сканирования и идентификации. Использование инфракрасного канала сопряжено с наличием различного рода помеховыми сигналами (таких, как солнечный свет, лампа дневного света, лампа накаливания и т. д.)

Приемники ИК излучения бывают разных типов. Наиболее простые приемники используются в бытовой технике в системах дистанционного управления RC (remote control). Приемники RC предназначены для приема сигналов, имеющих вид пачки (пакета) импульсов излучения, причем длительность каждого импульса в пачке совпадает с длительностью паузы между импульсами. Число импульсов в пачке должно быть не слишком маленьким (обычно не менее десятка). Принято называть всю такую пачку «импульсом с высокочастотным заполнением». Частота заполнения обычно лежит в диапазоне 30–50 кГц. Типичное значение частоты – 36 кГц. Использование высокочастотного заполнения позволяет значительно повысить помехоустойчивость системы связи, введя в состав приемника узкополосный фильтр, настроенный на частоту заполнения.

В качестве приемного устройства целесообразно использовать фотоприемник типа TOSP31236.

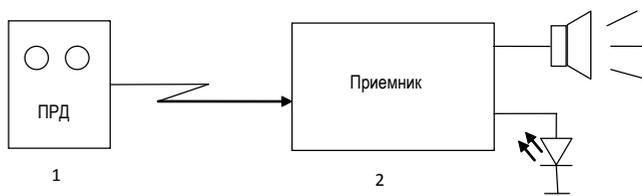


Рис. 1. Структурная схема прибора контроля объекта



Рис. 2. Кодовая последовательность для установки на контроль

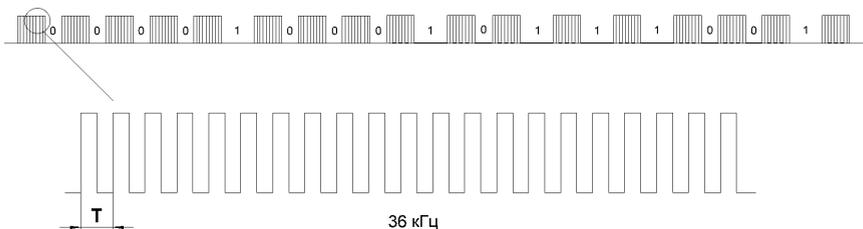


Рис. 3. Кодовая последовательность для снятия с контроля

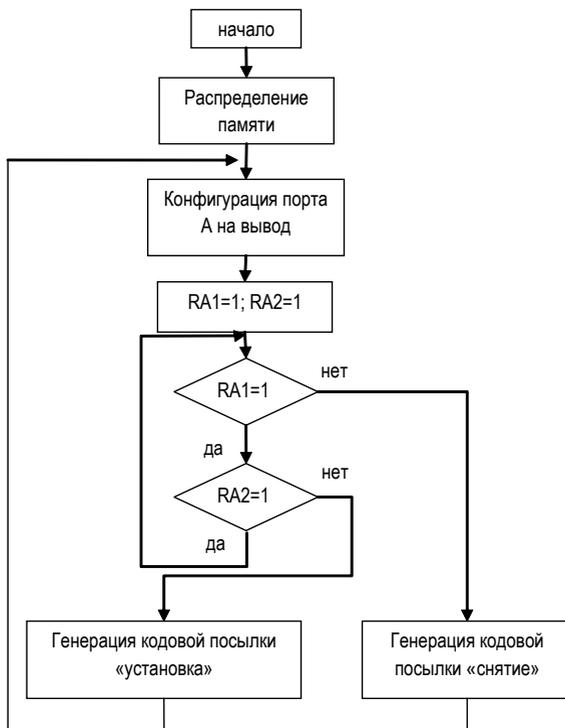


Рис. 4. Алгоритм функционирования передатчика

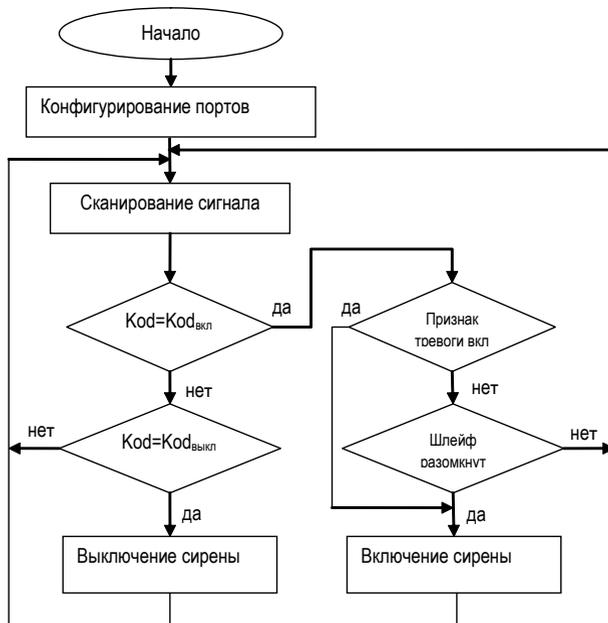


Рис. 5. Алгоритм работы приемно-декодирующего устройства

Для повышения степени защиты объекта сигнал передатчика должен быть закодирован. В качестве кодировки целесообразно использовать последовательность двоичных символов «1» и «0». Степень защиты будет зависеть от избыточности кода, т.е. от размера кодовой посылки. Но недостаточно подать сигнал, необходимо закодировать подаваемую информацию таким образом, чтобы один код отвечал за включение, а второй за выключение (снятие с контроля).

В связи с особенностью функционирования передатчика будем формировать импульсные последовательности, состоящие из 21 импульсов (пачка импульсов частоты 36 кГц), что больше 10 импульсов, необходимых для надежного срабатывания фотоприемника. При подаче 6–10 импульсов частоты 36 кГц напряжение на выходе снижается до нуля, это можно использовать для кодирования, т.е. кодировать не саму пачку импульсов, а промежутки между ними. Пусть временной интервал между импульсами равный 0,124 мсек соответствует «1», а временной интервал 0,374 будет соответствовать «0».

Выберем кодовую последовательность для установки на контроль: 0000100001111001 (рис. 2).

Для снятия с контроля: 0000100010111001 (рис. 3).

Пачка, состоящая из 21 импульса частотой 36 кГц формируется путем подачи на соответствующий вывод порта последовательности 101010101... (рис. 3). Длительность каждого символа будет составлять половину периода частоты  $f = 36$  кГц.

Алгоритм функционирования передатчика представлен на рис. 4, с учетом того, что кнопки управления подключены к порту А микроконтроллера PIC16F84A<sup>1</sup>: разряд RA1 – «снятие»,

<sup>1</sup> Яценков В. С. Микроконтроллеры Microchip. Практическое руководство. М.: Финпресс, 2003. 493 с.

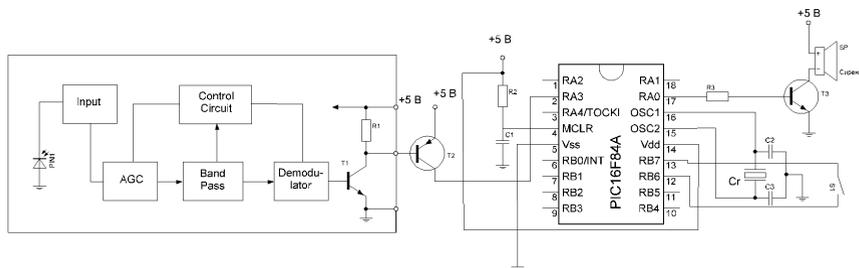


Рис. 6. Принципиальная схема приемника

RA2-«установка». Алгоритм построен исходя из того, что вторые выводы кнопок подключены к общему выводу. Для определения нажатия кнопки записываем «1» (+5В) на вывод RA2, RA1. В таком случае кнопки необходимо подсоединить к этим выводам и к общей шине. При нажатии кнопки RA появляется низкий потенциал, поскольку кнопка сажает его на «землю». Контролируя появление «0» на соответствующем выводе фиксируется состояние кнопки. И при нажатии определенной кнопки, генерируется определенная кодовая последовательность.

Алгоритм работы приемно-декодирующего устройства представлен на рис. 5. После сканирования полученного сигнала производится сравнение его с эталоном. В случае совпадения этого сигнала с одним из кодов включения или выключения переходим к следующему блоку. При обнаружении включенной системы переходим к проверке признака тревоги. Этот промежуточный блок делается для того, чтобы в случае обрыва шлейфа, вернув его в первоначальное состояние, сирена не прекращала свою работу. Далее проверяем шлейф, если он разомкнут – включается сирена, в противном случае возвращаемся к сканированию кода и далее к проверке работы системы.

Если проверка показала, что система отключена, то производится отключение сирены и возвращение к сканированию кода.

Информация о разряде кода содержится в промежутке между импульсами. Поэтому можно с помощью таймера контролировать этот временной промежуток посредством подсчета числа импульсов пропорционального длительности временного интервала.

Принципиальная схема приемника представлена на рис. 6.

К приемнику подключен шлейф, ИК приемник, мощный транзистор управляющий сиреной, сирена.

Разработанный прибор обладает высокой степенью защиты.

УДК 004.312

**М. В. Трофимов** – студент кафедры управления и информатики в технических системах  
**М. В. Бураков** (канд. тех. наук, доц.) – научный руководитель

## РОБОТИЗИРОВАННАЯ РУКА-МАНИПУЛЯТОР

Роботизированная рука-манипулятор представляет собой макет промышленного манипулятора, который разработан для учебно-исследовательских целей. Макет может быть использован для изучения принципов действия манипуляторов, вопросов

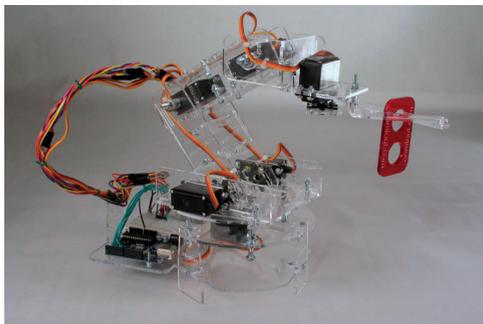


Рис. 1. Роботизированная рука-манипулятор



Рис. 2. Сервопривод с обратной связью

их математического описания [1, 2], а также навыков программирования управляющей микроконтроллерной системы (рис. 1).

Рука может использоваться для захвата и перемещения предметов в пределах заданной области. Подключается к компьютеру через LTP порт, имеет свой собственный набор управляющих команд.

Управление сервоприводами осуществляется посредством микроконтроллера ATmega8-16PU [3, 4]. Используются сервоприводы (приводы с отрицательной обратной связью) – Power HD High-Torque Servo 1501MG POLOLU. Вес сервопривода составляет 60 г., крутящий момент – 17 кг\*см (рис. 2).

Программное обеспечение, прилагаемое к стенду – драйвер, управляющая программа. При расчете математической модели (нахождение углов поворота сервоприводов) использовалась инверсная кинематика.

Формат управляющих команд I<sup>2</sup>C:

[ S | addr | A | num | A | angle | A | speed | A | P ],

где S – начальное состояние, A – подтверждение, num – номер сервопривода, от 0 до 6, angle – положение сервопривода, от 0 до 90, 45 – среднее, speed – скорость поворота сервопривода ( от 1 до 255 ), P – остановка.

Пример: S 04 A 0x05 A 0x10 A 0x0A A P – выставляем сервопривод под номером 5 на 16°, со скоростью 10.

Интерфейс сервопривода предполагает использование трех проводов: черный – земля, красный – питание, желтый – управление.

Управляющий сигнал – это импульсный сигнал с ШИМ (широтно-импульсной модуляцией), представляющий собой последовательность прямоугольных импульсов с амплитудой 3 – 5 В и длительностью от 0,9 до 2,1 мс.

Номинальная периодичность следования импульсов 50 Гц (интервал – 20 мс), но сервоприводы сохраняют работоспособность и при достаточно сильном отклонении этого параметра (15–20%). Таким образом, скважность управляющего сигнала очень маленькая – от 5% до 10%. Собственно длительность импульса и определяет положение исполнительного механизма. Минимальное значение (1 мс) – означает разворот в крайнее левое (или против часовой стрелки –40...–80°) положение, среднее значение (1,5 мс) – центральное положение штока, а максимальное значение (2 мс) – крайнее правое (по часовой стрелке +40...+80°) положение (рис. 3).

Использование стенда предполагает выполнение курсовых работ по следующим примерным темам:

– разработка драйвера управления роботизированной рукой на основе заданной таблицы управляющих кодов и комбинаций LTP порта;

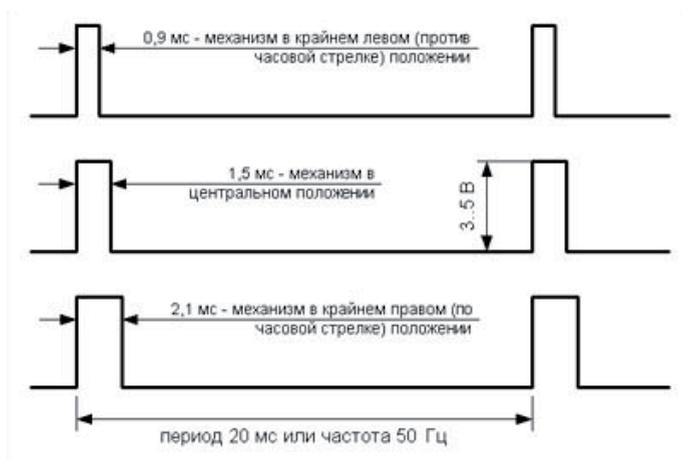


Рис. 3. Формирование управляющих сигналов

– разработка управляющей программы, определяющей и представляющей пользователю текущее положение руки, способной по заданным координатам  $x$ ,  $y$ ,  $z$  определить необходимые углы поворота приводов, причем наиболее эффективным образом;

– разработка программы-посредника между драйвером руки и уже существующей компьютерной программой. Например, шахматного симулятора, таким образом, чтобы рука перемещала фигуры на шахматной доске в соответствии с фигурами виртуальной доски.

К числу перспективных направлений развития программно-аппаратного обеспечения стенда (которые также могут быть темами курсового и дипломного проектирования) относятся:

- разработка интерфейса для работы с USB портом компьютера;
- сопряжение управляющего микроконтроллера с двумя Web-камерами и разработка алгоритма отслеживания объектов на видео;
- создание захвата с датчиками давления для возможности безопасного захвата хрупких предметов, а так же для возможности указания и отображения силы нажатия.

#### Библиографический список

1. Механика промышленных роботов: учебн. пособие для вузов: В 3-х кн. / Под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. М.: Высш. шк., 1988.
2. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота – манипулятора. М: Наука, 1976.
3. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. М: Додэка, 2007. 594 с.
4. Голубцов М.С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. М: Солон, 2004. 304 с.

УДК 62-791

**А. А. Филькин** – студент кафедры электротехники и технической диагностики**В. А. Голубков** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель**ПРИБОР КОНТРОЛЯ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА**

В современном, динамично развивающемся мире всё чаще возникает необходимость использования различной счётной и измерительной техники. Необходимость эта появляется на многих уровнях жизнедеятельности человека: в науке, в производственной сфере. Даже на бытовом уровне человек сталкивается с необходимостью производить достаточно точные измерения и расчёты.

На рынке аппаратуры представлено достаточно большое количество приборов, способных упростить человеку процесс измерения какой-либо величины. Но элементарные инструменты, такие как: рулетка или метр уже не всегда могут полностью удовлетворить потребности людей, ввиду ряда недостатков. Либо из-за недостаточной универсальности и неспособности сочетать в себе различные функции.

В связи с этим для устройств измерения на первый план всё чаще выходят такие свойства, как мобильность, компактность, точность, эргономичность, простота в освоении и, конечно, цена.

На этом фоне разработка прибора контроля расстояния выглядит весьма актуальной.

Возможность контроля расстояния может быть реализована, основываясь на различных физических явлениях таких, как ультразвуковое излучение, лазерное излучение, радиолокация и инфракрасное излучение.

С целью минимизации производственных затрат, облегчения процесса сборки (за счёт относительно более удобной схемы, на которой реализована работа устройства) и получения ряда преимуществ в процессе эксплуатации, будем осуществлять реализацию устройства на базе инфракрасного излучения.

Для того чтобы осуществлять контроль некоторого заданного расстояния прибор должен иметь передатчик и соответственно приёмник инфракрасного излучения (рис. 1).

Суть использования передатчика сводится к тому, что он генерирует пачку импульсов инфракрасного излучения, определённой длительности, частотой в 36к Гц (такая частота выбрана для того чтобы исключить воздействие помех, например в виде солнечного света).

В качестве ИК-приёмника целесообразно использовать приёмник-демодулятор TSOP31236. В связи с тем, что срабатывание приёмника происходит после принятия 10–12 импульсов необходимо формировать пачку размером в 15–20 импульсов.

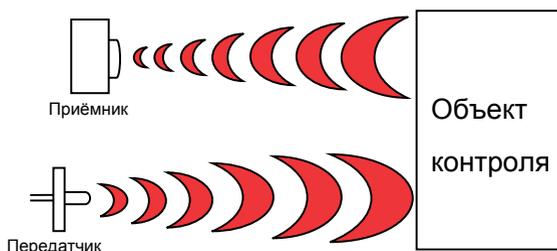


Рис. 1. Схема контроля расстояния



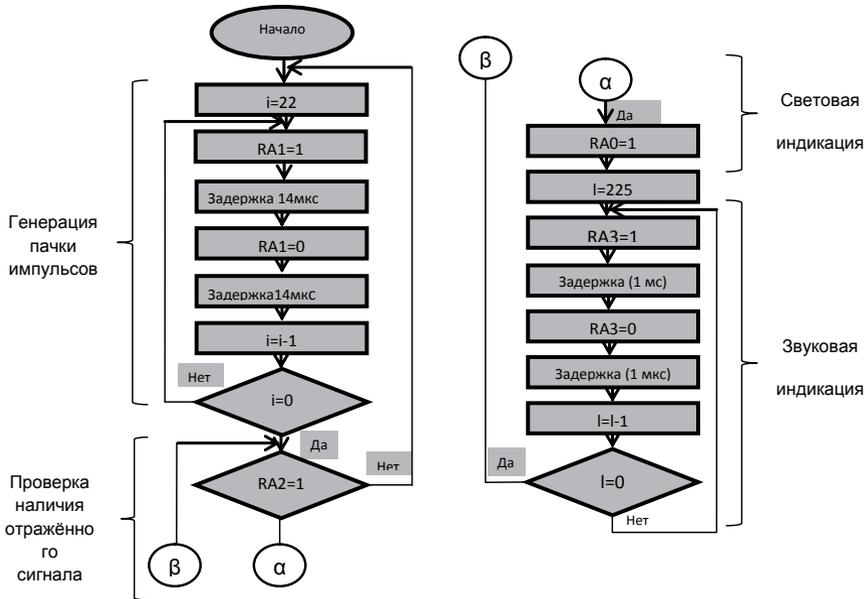


Рис. 3. Алгоритм функционирования прибора контроля

Питание устройства происходит от 4-х батареек, которые подключены к схеме через стабилизатор напряжения КРЕН5А.

Для обеспечения работы прибора контроля расстояния до объекта было разработано программное обеспечение, алгоритм работы которого представлен на рис. 3. В нём можно выделить четыре основных фрагмента, которые отвечают за генерацию пачки импульсов, проверку наличия отражённого сигнала, световую и звуковую индикацию.

В результате разработан экономичный прибор, позволяющий контролировать расстояние до объекта в пределах 10–50 см с использованием инфракрасного излучения.

УДК 681.5

**А. П. Чекрыгин** – магистрант кафедры управления в технических системах  
**А. Ю. Кучмин** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРИСКОПИЧЕСКИМ ЗЕРКАЛОМ РАДИОТЕЛЕСКОПА МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Радиотелескопы предназначены для работы в разных диапазонах (м, дм, см, мм) и проведения различных экспериментов (обнаружение, спектроскопия, определение поляризации и т. д.) поэтому необходимо использовать различные типы приёмников.

Замена приёмника – очень трудоёмкий процесс, и чтобы её избежать используется трёхзеркальная схема Нейсмита с подвижным плоским зеркалом. Подвижное плоское зеркало (зеркало Нейсмита или перископическое зеркало) позволяет направлять излучение на выбранный стационарный приёмник. Зеркала Нейсмита преимущественно используются в длиннофокусных системах Грегори

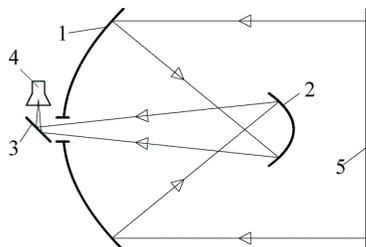


Рис.1 Схема Нейсмита

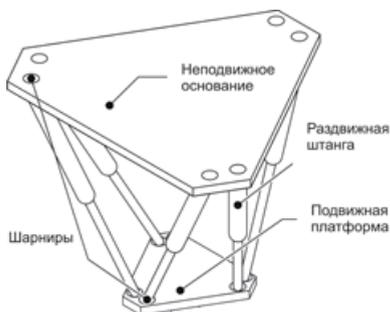


Рис. 2. Платформа Гью-Стюарта

из-за малых угловых размеров луча, так как в этом случае зеркало имеет маленькие размеры. Схема Нейсмита показана на (рис. 1) где: 1 – главное зеркало (параболоид вращения); 2 – контррефлектор (эллипсоид вращения); 3 – зеркало Нейсмита (плоскость); 4 – облучатель; 5 – фронт электромагнитной волны.

Для обеспечения точности в 50 мкм и больше степени свободы возможно и целесообразно использовать платформу Гью-Стюарта. Платформа Гью-Стюарта (рис. 2) имеет шесть степеней свободы (три поступательных и три вращательных, как абсолютно твердое тело).

Достаточно составить уравнение движения только для одной кинематической цепи механизма. Выполненные с идентичным кинематическим строением кинематические цепи механизма описываются одинаковыми уравнениями динамики. Различие в уравнениях отдельных кинематических цепей будет состоять в различных количественных показателях, составляющих уравнения (координаты, скорости и ускорения отдельных элементов кинематических цепей). На рис. 3 представлена схема расположения сил в одной из кинематических цепей в пространственных механизмах параллельной структуры, находящегося в состоянии покоя (реакции

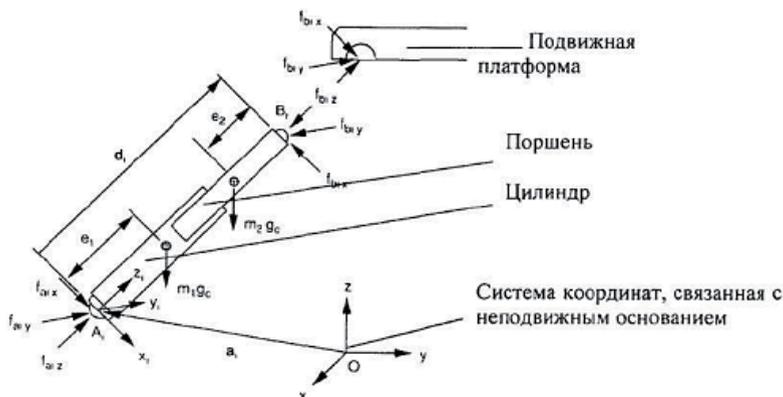


Рис. 3. Схема расположения сил, действующих на кинематическую цепь параллельного механизма

сил между цилиндром и поршнем не входят в уравнения движения). На основании этой схемы для платформы Стюарта производится описание динамики кинематической цепи.

Из предложенной схемы расчета, представленной на (рис. 3), видно, что ограничения на кинематическую цепь со стороны подвижной и неподвижной платформ заменены реакциями связей. Кроме этих сил на кинематическую цепь действуют силы тяжести.

Для каждой из шести кинематических цепей вычисляют:

- координаты сферических шарниров  $b_i$  по известным компонентам матрицы вращения  ${}^A R_B$  и геометрии расположения шарниров на подвижной платформе  ${}^B B_i$ ;
- длину  $d_i$  и величину относительного удлинения телескопического шарнира  $s_i$ ;
- для каждого сферического шарнира – углы Эйлера и компоненты матрицы вращения в системе координат неподвижного основания;
- скорости сферических шарниров подвижной платформы  $v_i$  и компоненты матрицы скоростей  ${}^i V_{b_i}$ ;
- угловые скорости телескопических звеньев  ${}^i W_i$ ;
- ускорения  $V_{b_i}$  и компоненты матрицы ускорений  ${}^i V_{b_i}$  сферических шарниров;
- компоненты матрицы угловых ускорений  ${}^i W_{b_i}$ ;
- компоненты матрицы скоростей для элементов телескопического звена  ${}^i V_{j_i}$  и  ${}^i V_{2i}$ .

Для реализации одной кинематической цепи требуется исполнительный двигатель и винтовая передача. В качестве исполнительного двигателя целесообразно выбрать вентильный двигатель с возбуждением от редкоземельных магнитов.

Вентильные двигатели с возбуждением от редкоземельных магнитов (рис. 4) предназначены для привода различных механизмов автоматических устройств. Двигатели имеют повышенную надежность за счет отсутствия подвижного контакта (коллектора). Специалисты считают, что вентильные двигатели с возбуждением от редкоземельных магнитов в настоящее время остаются наиболее перспективными из всех типов электродвигателей, применяемых в современных регулируемых электроприводах малой и средней мощности. Это объясняется целым рядом конструктивных и технико-эксплуатационных преимуществ двигателя по сравнению с существующими типами электрических машин, к числу которых можно отнести:

- бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания. Отсутствие у вентильных электродвигателей скользящих электрических контактов существенно повышает их ресурс и надежность по сравнению с электрическими двигателями постоянного тока или асинхронными двигателями с явно выраженной обмоткой на роторе;
- большая перегрузочная способность по моменту (кратковременно кратность максимального момента равна 5 и более);
- высокое быстродействие;
- наивысшие энергетические показатели (кпд). Показатели кпд вентильных двигателей превышают 90% и очень мало меняются при изменении нагрузки двигателя по мощности и при колебаниях напряжения питающей сети, в то время как у асинхронных электродвигателей максимальный кпд составляет не более 86% и зависит от изменений нагрузки;
- минимальное значение токов холостого хода и рабочих токов, что позволяет достаточно точно измерять нагрузку на привод и оптимизировать режим работы;
- имеют практически неограниченный диапазон регулирования частоты вращения (1:10000 и более) и возможность регулирования частоты вращения по различным законам;
- у вентильных двигателей более простая схема преобразователя по сравнению с асинхронным частотно регулируемым электроприводом;

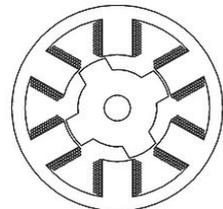


Рис. 4. Сечение вентильного двигателя с 6 статорными и 4 роторными полюсами

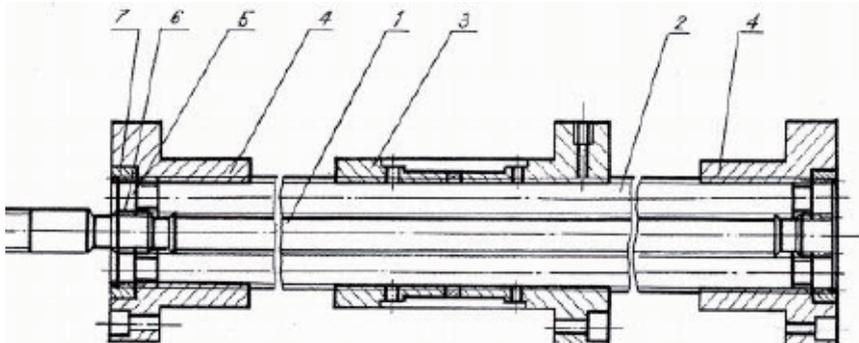


Рис. 5. РВПД

– низкий перегрев вентиляльного электродвигателя увеличивает срок службы электропривода, поскольку увеличивается ресурс изоляционных материалов, работающих при более низких температурах. Этот же фактор позволяет электроприводу работать в нестандартных режимах с возможными перегрузками;

– минимальные массогабаритные показатели при прочих равных условиях;

– значительный срок службы (наработка на отказ составляет 10000 ч и более), надежность. Ресурс электродвигателя и всего агрегата увеличивается также за счет возможности оптимизации режимов работы по скорости и нагрузке.

Винтовая пара должна обеспечивать большое передаточное число, например, подойдет РВПД 42х1 показанная на (рис. 5), где 1 – винт; 2 – резьбовые ролики – сателлиты; 3 – ходовая гайка; 4 – опорная гайка; 5 – зубчатые венцы роликов; 6 – зубчатые венцы винта; 7 – зубчатые венцы опорных гаек.

Также необходимо использовать датчики расстояния. Целесообразно использовать лазерные датчики. Лазерные датчики могут измерять расстояние с точностью до 10 мкм и менее, а также обеспечивают высокую частоту работы.

Исходя из заданных данных по точности, максимальному выдвигению ноги, длины ноги, максимальной нагрузки и частоте сканирования можно выбрать исполнительный механизм, винтовую пару, а также датчики. А благодаря своему строению для платформы Гью–Стюарта необходимо рассчитать всего одну из кинематических цепей механизма.

#### Библиографический список

1. Юревич Е. И. Основы робототехники: учебник для вузов. Л.: Машиностроение, 1986. 271 с.
2. Ивахненко А. Г. Управление станками с параллельной кинематикой при формообразовании. Фундаментальные и прикладные вопросы механики: Сборник докладов международной научной конференции / Под ред. К. А. Чехонина. Хабаровск: Хабар. гос. техн. ун-т, 2003. Т.2. С. 140–144.
3. Быканова А. Ю., Юрчик Ф. Д. Моделирование динамики манипуляционных механизмов с шестью степенями свободы // Вологодские чтения: материалы научной конференции, 26–28 ноября 2002 г. Владивосток, 2002. С. 18–22.

УДК 681.5

**Ю. И. Чекрыгина** – магистрант кафедры управления в технических системах  
**А. Ю. Кучмин** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОНТРЕФЛЕКТОРОМ РАДИОТЕЛЕСКОПА МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Радиотелескоп – астрономический инструмент для приёма собственного радиоизлучения небесных объектов (в Солнечной системе, Галактике и Метагалактике) и исследования их характеристик: координат, пространственной структуры, интенсивности излучения, спектра и поляризации. Одним из основных направлений развития современной радиоастрономии является исследование объектов Вселенной в миллиметровом диапазоне длин волн. Освоение диапазона длин волн, занимающего промежуток между широко используемыми сантиметровым и оптическими диапазонами в радиосистемах и радиоастрономии позволит решить ряд важнейших научных проблем (вопросы формирования, физики и эволюции звезд и галактик; геодинамика и геотектоника) и практических задач (координатно-временное обеспечение научной и хозяйственной деятельности, сверхточная спутниковая и космическая навигация). Сверхвысокое разрешение и высокая чувствительность радиотелескопа миллиметрового диапазона (рис. 1) позволят детально исследовать множество звезд с планетными системами. В этом диапазоне очень мал эффект рассеяния излучения из-за флуктуаций межзвездной плазмы, что способствует получению изображений сверхкомпактных объектов, высокоточному измерению их координат и параметров движения. Исследования могут проводиться как в непрерывном спектре, так и в молекулярных линиях, а также включать поляризационные измерения и наблюдения переменности объектов.

Более удобны в эксплуатации и эффективны по сбору энергии двухзеркальные системы (рис. 2). Это обеспечивается применением дополнительного зеркала (контррефлектора). Контррефлектор (КР) устанавливается за первичным фокусом, что допускает

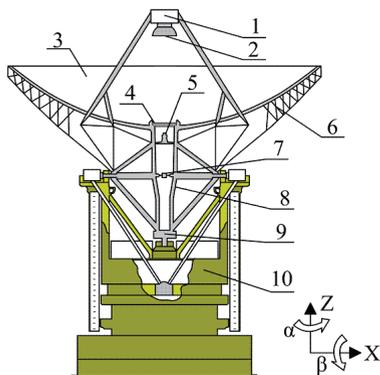


Рис. 1 Общая схема: 1 – Ригель;  
 2 – Контррефлектор; 3 – Главное зеркало;  
 4 – Опорное кольцо; 5 – Облучатель;  
 6 – Ферменный каркас; 7 – Гироплатформа;  
 8 – Основание; 9 – Противовес;  
 10 – Платформа

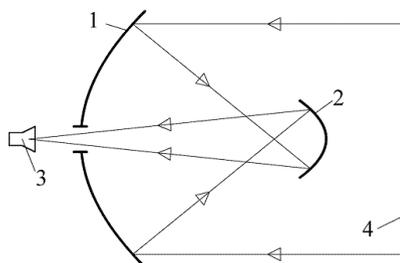


Рис. 2 Двухзеркальная система (схема Грегори): 1 – Главное зеркало (параболоид вращения); 2 – Контррефлектор (эллипсоид вращения); 3 – Облучатель; 4 – Фронт электромагнитной волны

возможность работы из первичного фокуса без снятия вторичного зеркала. Несмотря на то, что КР создаёт значительное затемнение для падающих на рефлектор лучей принимаемого сигнала, коэффициент использования поверхности рефлектора за счёт эффективного сбора с него энергии оказывается довольно высоким. С КР энергия собирается рупорным облучателем с относительно малым углом раскрытия. Кроме того, такой двухэтапный сбор энергии приводит к более плавному, а следовательно, и более полному согласованию облучателя с основным рефлектором. Это, казалось бы, должно существенно уменьшить стоячие волны. Однако отражённые от входа конвертера волны, попадающие на центральную часть контррефлектора, не уходят в свободное пространство, из-за чего уровень стоячих волн увеличивается.

Для обеспечения большего количества степеней свободы и точности позиционирования 50 мкм контррефлектора целесообразно использовать платформу Гью–Стюарта (гексапод) (рис. 3).

Обычно, гексапод, (в дальнейшем – параллельный манипулятор) состоит из движущейся платформы, которая шарнирно прикрепляется к зафиксированной платформе – базе несколькими соединениями (ногами). Соединения представляют собой механизмы поступательного перемещения, например, шариковые винтовые передачи. В большинстве случаев число ног равно числу степеней свободы. Каждое соединение управляется одним приводом, и все приводы могут размещаться на или возле базы. Вследствие того, что внешняя нагрузка на подвижную платформу может разделяться между приводами, параллельные манипуляторы имеют хорошую грузоподъемность. Управляя вылетом штанг, можно управлять положением контррефлектора по шести координатам:  $X, Y, Z$  и тремя углами поворота.

Рассмотрим кинематику параллельного манипулятора, т.е. движение объекта без учета сил и крутящих моментов, которые вызвали это движение. Существует два типа кинематического анализа: прямой и обратный. При прямом анализе необходимо получить положение и ориентацию подвижной платформы при заданных длинах ног. Для обратного анализа наоборот: заданы положение и ориентация платформы, необходимо определить длины ног. В нашем случае используется обратный кинематический анализ.

Для обратного анализа параллельного манипулятора две декартовы системы координат  $A(x, y, z)$  и  $B(x, y, z)$ , прикрепляются к зафиксированной базе и движущейся платформе соответственно (рис. 4). Движение от движущейся платформы к базе может описываться положением вектора  $p$  центра  $P$  и матрицей вращения движущейся платформы.



Рис. 3 Платформа Гью–Стюарта

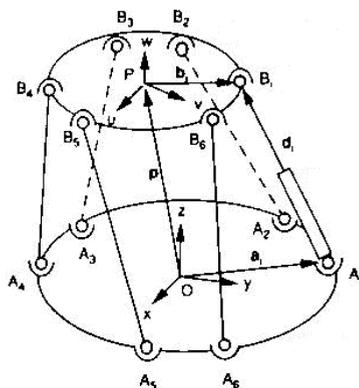


Рис. 4 Кинематическая модель параллельного манипулятора

Пусть  $u$ ,  $v$  и  $w$  – это три единичные вектора, расположенные вдоль осей  $u$ ,  $v$  и  $w$  движущейся координатной системы. Тогда матрица вращения может быть представлена в виде:

$${}^A R_B = \begin{bmatrix} u_x & v_x & w_x \\ u_y & v_y & w_y \\ u_z & v_z & w_z \end{bmatrix}$$

Длина  $i$ -ого соединения вычисляется скалярным произведением вектора АВ на самого себя:

$$d_i^2 = \left[ \rho + {}^A R_B {}^B b_i - a_i \right]^T \left[ \rho + {}^A R_B {}^B b_i - a_i \right], \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

Это уравнение, записанное шесть раз для каждой ноги  $i = 1, 2, \dots, 6$ , дает шесть уравнений, описывающие положение движущейся платформы относительно базы. Для обратной кинематической задачи заданы положение вектора  $\rho$  и матрица вращения системы В относительно А и необходимо найти длины соединений  $d_i$   $i = 1, 2, \dots, 6$ . Решение задачи очень простое: необходимо найти квадратный корень из вышеприведенного уравнения.

$$d_2 = \pm \sqrt{\rho^T \rho + \left[ {}^B b_1 \right]^T \left[ {}^B b_2 \right] + a_1^T a_2 + 2\rho^T \left[ {}^A R_B {}^B b_1 \right] - 2\rho^T a_2 - 2 \left[ {}^A R_B {}^B b_2 \right] a_1^T}$$

Следовательно, для каждого положения движущейся платформы, существует два возможных решения для каждой ноги.

Задача управления параллельным манипулятором состоит с том, чтобы перемещать подвижную платформу манипулятора (контррефлектор) согласно заданной траектории. Перемещение платформы осуществляется при помощи шести соединений (ног) механизма. В нашем случае имеется заданное положение и ориентация подвижной платформы, относительно базы. Для модели платформы входными переменными будут шесть сил, воздействующие на ноги, а выходными – длины и скорости ног.

Традиционный метод проектирования регуляторов для САУ параллельных манипуляторов требует использования сложных дифференциальных уравнений, отображающих механические компоненты механизма. Затем необходимо решать эти уравнения, что является непростой задачей. Этого можно избежать, используя программное обеспечение, моделирующее механические объекты. Для моделирования механической части будет использоваться MATLAB.

#### Библиографический список

1. Юревич Е. И. Основы робототехники: учебник для вузов. Л.: Машиностроение, 1986. 271 с.
2. Ивахненко А. Г. Управление станками с параллельной кинематикой при формообразовании. Фундаментальные и прикладные вопросы механики: Сборник докладов международной научной конференции / Под ред. К. А. Чехонина. Хабаровск: Хабар. гос. техн. ун-т, 2003. Т.2. С. 140–144.
3. Быканова А. Ю., Юрчик Ф. Д. Моделирование динамики манипуляционных механизмов с шестью степенями свободы // Вологодские чтения: материалы научной конференции, 26–28 ноября 2002 г. Владивосток, 2002. С. 18–22.
4. <http://www.telephototech.ru>
5. <http://www.masters.donntu.edu.ua>
6. <http://www.ipme.ru>

УДК 658

**П. А. Черепанов** – магистрант кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения

**А. В. Назаров** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

При решении задач классификации необходимо отнести имеющиеся статические образцы к определенным классам. Возможно несколько способов представления данных. Наиболее распространенным является способ, при котором образец представляется вектором. Компоненты этого вектора представляют собой различные характеристики образца, которые влияют на принятие решения о том, к какому классу можно отнести данный образец. Таким образом, на основании некоторой информации о примере, необходимо определить, к какому классу его можно отнести. Классификатор таким образом относит объект к одному из классов в соответствии с определенным разбиением  $N$ -мерного пространства, которое называется пространством входов, и размерность этого пространства является количеством компонент вектора.

Прежде всего, нужно определить уровень сложности системы. Можно выделить три основных уровня сложности. Первый (самый простой) – когда классы можно разделить прямыми линиями (или гиперплоскостями, если пространство входов имеет размерность больше двух) – так называемая линейная разделимость. Во втором случае классы невозможно разделить линиями (плоскостями), но их возможно отделить с помощью более сложного деления – нелинейная разделимость (рис. 1). В третьем случае классы пересекаются и можно говорить только о вероятностной разделимости.

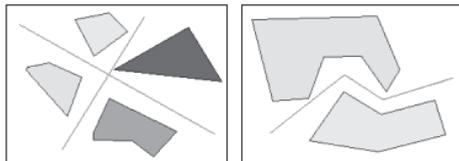


Рис. 1. Линейно и нелинейно разделимые классы

В качестве классификатора можно использовать искусственные нейронные сети. Основным элементом этих сетей является искусственный нейрон. Он представляет собой единицу обработки информации. Модель нейрона приведена на рис. 2.

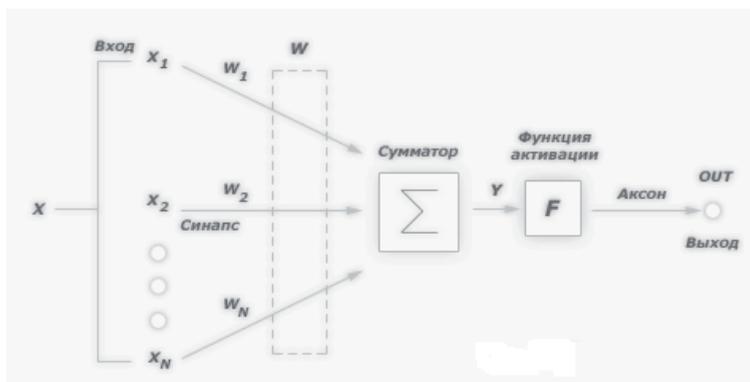


Рис. 2. Модель искусственного нейрона

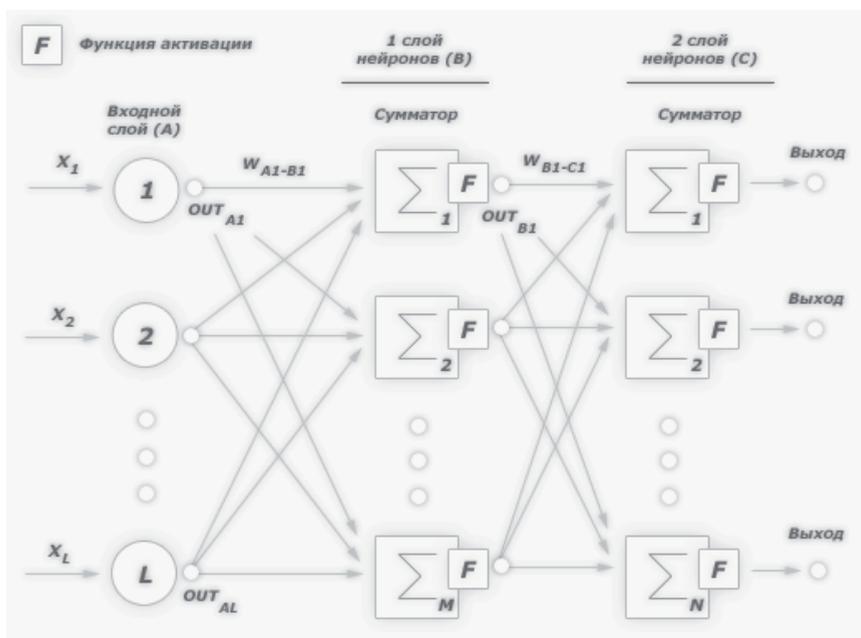


Рис. 3. Архитектура многослойной нейронной сети

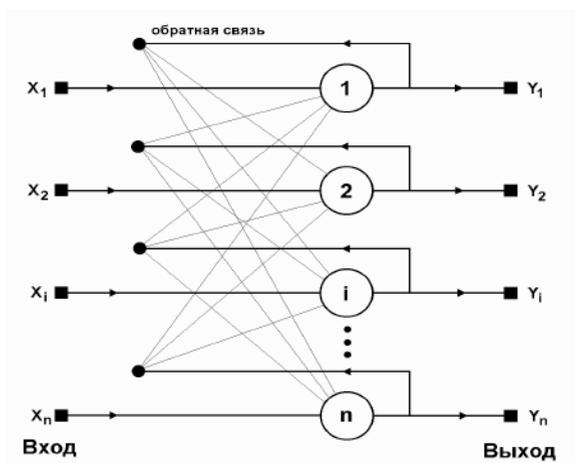


Рис. 4. Архитектура НС с обратными связями

В этой модели нейрона можно выделить три основных элемента:

– синапсы, каждый из которых характеризуется своим весом или силой. Осуществляют связь между нейронами, умножают входной сигнал  $x_i$  на весовой коэффициент синапса  $w_i$ , характеризующий силу синаптической связи;

– сумматор. Выполняет сложение внешних входных сигналов или сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов. Определяет уровень возбуждения нейрона;

– функция активации, определяет окончательный выходной уровень нейрона, с которым сигнал возбуждения (торможения) поступает на синапсы следующих нейронов.

В данной статье рассмотрены несколько видов нейронных сетей, применение которых возможно при классификации дефектов печатных плат.

1. Многослойная нейронная сеть (МНС.) Её архитектура состоит из последовательно соединённых слоёв, где нейрон каждого слоя своими входами связан со всеми нейронами предыдущего слоя, а выходами – следующего (рис. 3). Активационными функциями для таких нейронов служат разновидности линейных и пороговых функций.

2. Нейронная сеть с обратными связями. Она состоит из единственного слоя нейронов, число которых является одновременно числом входов и выходов сети. Каждый нейрон связан синапсами со всеми остальными нейронами, а также имеет один входной синапс, через который осуществляется ввод сигнала. Выходные сигналы, как обычно, образуются на аксонах (рис. 4).

3. Самоорганизующиеся нейронные сети Кохонена (СНСК) обеспечивают топологическое упорядочивание входного пространства образов. Они позволяют топологически непрерывно отображать входное  $n$ -мерное пространство в выходное  $m$ -мерное,  $m \ll n$ . Входной образ проецируется на некоторую позицию в сети, кодируемую как положение активированного узла. Сети такого типа состоят из одного слоя (не считая входного), который так же может быть организован в  $n$ -мерную решётку, в зависимости от размерности выходного пространства. Каждый нейрон связан со всеми входными нейронами.

По данным источников [1–12] в табл. 1 представлены результаты анализа этих трех базовых архитектур НС с целью выбора требуемой структуры для распознавания дефектов печатных плат на их изображениях.

Таблица 1

Характеристики НС различных архитектур

Архитектура НС	Максимальный объем памяти, (A – количество запоминаемых образов)	Требуемые функции	Требуемый объем обучающей выборки	Ограничения и недостатки использования архитектуры
Многослойная НС	$A \gg 2^{BV}$ , B – количество нейронов в слое, V – количество слоев	Распознавание с обобщением по подобию, по преобладанию	Требуется большого объема обучающей выборки	Непрогнозируемое время обучения НС
НС с обратными связями	$A \approx 0,14C$ , C – количество нейронов в сети	Оптимизация, ассоциативное воспроизведение	Не требует большого объема обучающей выборки	Непредсказуемость структуры фазового пространства
Самоорганизующиеся сети	$A \approx D$ , D – количество нейронов слоя Кохонена	Отображение входной информации с сохранением топологии	Не требует большого объема обучающей выборки	Требуется продолжительного обучения

Как видно из таблицы – многослойная НС прямого распространения обладает наибольшей информационной емкостью и требуемой обобщающей способностью, необходимой при распознавании статичных изображений. А недостаток, связанный с необходимым большим объемом обучающей выборки несущественен в связи с наличием таковой при наличии множества изображений серийных объектов в течении длительного срока эксплуатации.

Можно сказать, что в рассматриваемой ситуации выбора приемлемой архитектуры НС существует соответствие между способностями (возможностями) НС прямого распространения обобщать образы в ходе автоматического визуального контроля, когда по различным исходным данным и результатам их обобщения необходимо сделать вывод относительно не наблюдавшейся ранее условий наблюдений.

Использование динамических нейронных сетей с обратными связями более подходит для решения многопараметрических оптимизационных задач в реальном масштабе времени, что в свою очередь, сопряжено с трудностями ортогонализации (линейной независимости) представления входных векторов. Ортогонализация входной выборки необходима для исключения появления ложных минимумов в энергетическом рельефе сети. Тем не менее, наличие мощной аппаратной платформы, позволяет путем избыточного кодирования уменьшить влияние локальных минимумов и, следовательно, реализовать алгоритмы, предназначенные для решения таких диагностических задач как поиск мест и причин неисправностей, сокращения и оптимизация процедур тестового диагностирования и другие комбинаторные процедуры [2–5].

Самообучаемость карт и слоев Кохонена позволяют автоматизировать выбор признаков изображений, осуществлять выявление скрытых закономерностей между элементами статичного изображения. В отличие от большинства других методов классификации и кластеризации, топологическое упорядочивание классов сохраняет на выходе подобие во входных образах, что является особенно полезным при классификации данных, имеющих большое количество классов. Например, при классификации локальных участков изображений, может быть очень большое число классов, в которых переход от одного класса к другому практически непрерывен, затрудняя определение границ классов.

#### **Библиографический список**

1. Ежов А. А., Шумский С. А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе (серия «Учебники экономико-аналитического института МИФИ» под ред. проф. В. В. Харитонova). М.: МИФИ, 1998. 224 с.
2. Заенцев И. В. Нейронные сети: основные модели: учебн. пособие. Воронеж: ВГУ, 1999. 76 с.
3. Головок В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн.4. М.: ИПРЖР, 2001. 256 с.
4. Назаров А. В., Лоскутов А. И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. СПб.: Наука и Техника, 2003. 384 с.
5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер с польского. М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
6. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей / Пер с англ. М.: Вильямс, 2001. 288с.
7. Lectons: Prof. Y. P. ZAYCHENKO. [www.i2.com.ua](http://www.i2.com.ua)
8. Стариков А. Нейронные сети как средство добычи данных . [www.basegroup.ru](http://www.basegroup.ru)
9. Терехов С. А. Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей. <http://aiife.narod.ru/lectures>
10. Щербаков М. А. Искусственные нейронные сети. Конспект лекций. Пенза: ПГТУ,1996. 45 с.
11. Веденов А. А. Моделирование элементов мышления. М.: Наука,1988. 160 с.
12. Галушкин А. И.Теория нейронных сетей. Кн.1: учебн. пособие для вузов. М.: ИПРЖР, 2000. 416 с.

УДК 629.735.33

**С. А. Якименко** – студент кафедры электротехники и технической диагностики  
**М. В. Пронин** (д-р техн. наук) – научный руководитель  
**А. Г. Воронцов** (канд. техн. наук) – научный консультант

### ДИАГНОСТИКА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЭС С АСИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ-ДВИГАТЕЛЕМ И МНОГОТАКТНО-МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

На гидроаккумулирующих электростанциях (ГАЭС) используются синхронные и асинхронные генераторы-двигатели (АГД). Асинхронные генераторы-двигатели выполняются с фазным ротором, к которому подключается преобразователь частоты, позволяющий регулировать частоту вращения этих машин. Регулирование частоты вращения в данном случае используется для повышения КПД агрегатов, для устранения кавитационных процессов в турбинах. Преобразователи частоты (ПЧ) в цепи ротора АГД могут быть разных типов: двухуровневые, каскадные и многотактно-многоуровневые. Рассмотрим режимы работы АГД с многотактно-многоуровневым преобразователем частоты (рис. 1).

В данной статье ставятся следующие задачи: используя специализированные программные средства, произвести анализ параметров асинхронного генератора двигателя с многотактно-многоуровневым преобразователем частоты; сделать расчеты установившихся режимов при различных скольжениях частоты вращения генератора двигателя  $+7\%$ ;  $-7\%$ ; номинал.

С помощью программы Comsim выполним расчеты по разработанной модели АГД с многотактно-многоуровневым ПЧ со следующими параметрами: активная мощность АГД 274 МВт, коэффициент мощности 0,95, напряжение обмотки статора 15,75 кВ, частота напряжения статора 50 Гц.

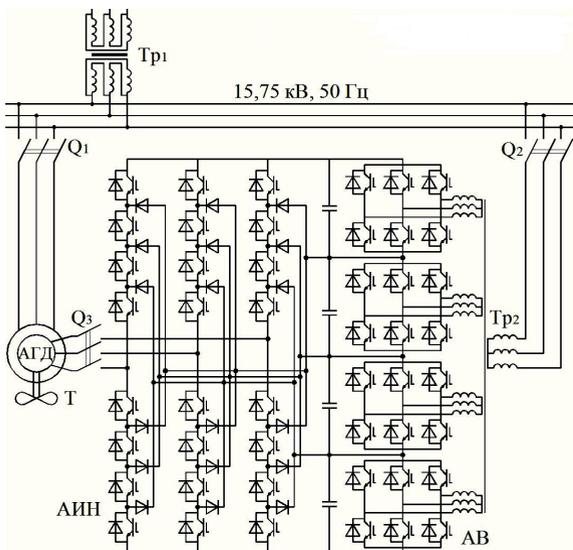


Рис. 1. Схема АГД с многотактно-многоуровневым ПЧ

На рис. 2 представлены кривые зависимости токов, напряжений, мощностей, частоты вращения от времени, полученные при моделировании режимов работы АГД с многотактно-многоуровневым ПЧ в программной среде Comsim. Здесь показан интервал времени, охватывающий все режимы работы. Как видно из рис. 2, на 32-й секунде происходит переход с номинального режима работы на режим  $+7\%$  и приблизительно к 37-й секунде он уже является установившимся. На интервале с 42-й по 52-ю секунды происходит переход режима работы с  $+7\%$  на  $-7\%$  от номинала частоты вращения. И начиная с 62-й секунды, режим работы снова становится номинальным.

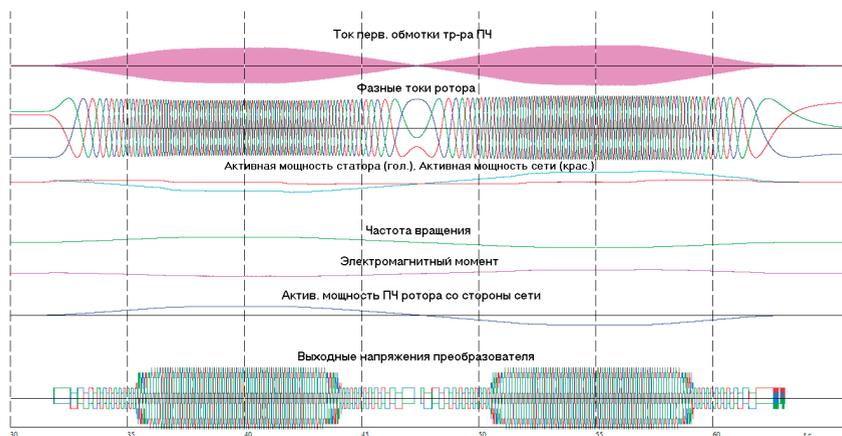


Рис. 2. Установившиеся режимы при различных скольжениях частоты вращения АГД

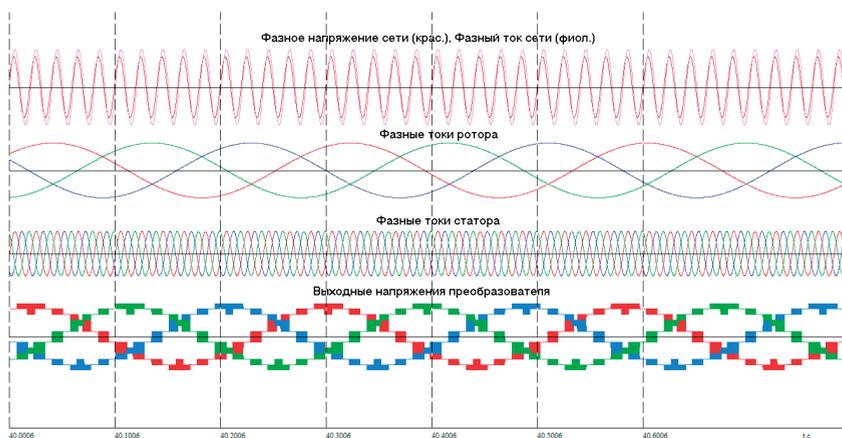


Рис. 3 Установившийся режим при частоте вращения АГД 107%

Рассмотрим более подробно установившийся режим при 107% частоте вращения АГД (рис. 3).

В табл. 1 представлены результаты гармонического анализа установившегося режима при частоте вращения генератора-двигателя +7% от номинала. Здесь показаны расчеты выборочных кривых токов и напряжений. Электромагнитный момент при частоте вращения 107% равен приблизительно 92%. Активная мощность статора и активная мощность сети имеют значения 256 и 274 МВт соответственно. А активная мощность ПЧ ротора со стороны сети равна 18 МВт.

Действующее фазное напряжение сети, В		8812.504
Частоты гармоник(Гц)	Действ.знач.гарм.	Фазы (град.)
50	8812.090	-4.4201
Коэффициент гармоник:		0.009585
Действующий фазный ток сети, А		10975.950
Частоты гармоник(Гц)	Действ.знач.гарм.	Фазы (град.)
50	10957.412	-23.6868
Коэффициент гармоник:		0.009905
Действующий ток перв. обмотки тр-ра ПЧ, А		682.913
Частоты гармоник(Гц)	Действ.знач.гарм.	Фазы (град.)
50	682.780	-3.6164
Коэффициент гармоник:		0.01973
Действующий фазный ток статора, А		10337.259
Частоты гармоник(Гц)	Действ.знач.гарм.	Фазы (град.)
50	10336.751	-24.9857
Коэффициент гармоник:		0.009913
Действующий фазный ток ротора, А		2132.525
Частоты гармоник(Гц)	Действ.знач.гарм.	Фазы (град.)
3.57	2131.736	32.1589
Коэффициент гармоник:		0.02719
Действующее выходное напряжение преобразователя, В		3201.450
Частоты гармоник(Гц)	Действ.знач.гарм.	Фазы (град.)
3.57	3157.948	58.8911
Коэффициент гармоник:		0.1642

Кривые параметров АГД с многотактно-многоуровневым ПЧ для установившегося режима работы при частоте вращения -7% от номинала имеют схожий характер, как это видно из рис. 2. Только при частоте вращения 93% электромагнитный момент будет иметь значение около 106%, а активная мощность статора будет равна 295 МВт. Активная мощность ПЧ ротора со стороны сети равна 20 МВт. В номинальном режиме частота тока в роторе равна 0, напряжение возбуждения мало, и почти все кривые, кроме фазного тока статора, фазного напряжения сети и фазного тока сети преобразуются в прямые линии и практически не изменяются.

Таким образом, асинхронный генератор-двигатель может работать в трех режимах частоты вращения, в то время как синхронный может работать только в номинальном режиме, с постоянной частотой вращения, что значительно влияет на КПД. Тем самым асинхронный генератор-двигатель обеспечивает себе преимущество перед синхронным.

#### Библиографический список

1. Пронин М. В., Воронцов А. Г., Нахди. Т. Гидроаккумулирующая электростанция с асинхронизированными машинами и каскадными преобразователями частоты / Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011, № 1.
2. Абубакиров Ш. И. Опыт и перспективы использования асинхронизированных гидрогенераторов в проектах ОАО «Институт Гидропроект», журнал «Гидротехника», № 2(19), 2010.