

УДК 681.3(075)

И.В. Мельник, д-р техн. наук, А.А. Кузьмин

Моделирование источников электронов высоковольтного тлеющего разряда с использованием клиент-серверных технологий

На сегодняшний день решение задач автоматизированного проектирования электронных приборов в первую очередь связано с созданием их адекватных математических моделей и с особенностями их программной реализации. В данной статье рассматривается возможность моделирования технологических источников электронов высоковольтного тлеющего разряда путем совместного использования клиент-серверных технологий и системы научно-технических расчетов MatLab. Достоинством предлагаемого подхода является возможность полной автоматизации всего вычислительного процесса при решении сложных задач математического моделирования электронных устройств и систем и ориентация на современные сетевые технологии передачи данных.

Today solving of tasks of electron devices CAD touches essentially upon the creation of its exact mathematic models and with particularities of its computer realization. The possibility of simulation of technological high voltage glow discharge electron sources by simultaneous using of client-server technologies and MatLab application is considered in this article. The advantages of considered approach are complex automation of whole calculation process for solving the hard tasks of mathematical simulation of electronic devices and systems, and orienting to modern network technologies of data exchange.

Введение

В настоящее время широкое развитие получили современные системы автоматизированного проектирования электронных схем (САПРЭС), дальнейшее развитие которых невозможно без применения методов и средств математического моделирования [1]. Чаще всего для построения моделей электронных приборов используются достаточно сложные математические функции, и для программной реализации подобных моделей могут быть эффективно использованы методы и средства современных математических САПР. Такие программные комплексы обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными средствами

программирования. Это, прежде всего, обширные библиотеки математических функций, включая функции численных методов, развитые средства аналитических вычислений, а также дополнительные средства моделирования сложных линейных и нелинейных систем. Сегодня среди современных математических САПР особое место занимает система MatLab, отличительными чертами которой являются ориентация на работу со структурами числовых данных, обширная библиотека математических функций, развитые средства программирования и ориентация на программистов высокой квалификации [2, 3].

Однако, при использовании для создания программ моделирования средств математических САПР возникает серьезная проблема интеграции программного кода, написанного средствами САПР, с остальным программным обеспечением, написанным средствами классических языков программирования. В принципе, для программ, написанных на языке системы MatLab, возможна интеграция с системами программирования Microsoft Visual Java и Microsoft Visual C++. Однако создание таких программных комплексов требует от программиста достаточно высокой квалификации и досконального знания не только используемых средств программирования, но и специфических особенностей используемой операционной системы [3].

В последние годы широкое развитие получили сетевые САПР, которые, при профессиональном использовании, дают проектировщикам дополнительные возможности и позволяют значительно сократить время проектирования. Основой построения таких САПР являются технологии и протоколы передачи данных локальных и глобальных сетей, в частности, клиент-серверные технологии [4]. Программное обеспечение, позволяющее реализовать обмен данными между клиентом и сервером, имеет свою специфику, учитывающую особенности используемых протоколов и служб компьютерных сетей. Поэтому при написании программ для работы в компьютерных сетях используют современные средства программирования, в частности интерпретаторы языков Java и PHP, в которых легко реализовать обмен данными между компьютерами, однако они не имеют развитых

математических библиотек [5, 6]. Кроме того, необходимо устанавливать специальное программное обеспечение, поддерживающее запуск и работу соответствующих протоколов и служб для реализации обмена данными между клиентом и сервером [7].

В статье рассматривается интегрированная сетевая система, предназначенная для моделирования характеристик технологических газоразрядных электронных пушек. Отличительной чертой разработанной системы моделирования является наличие удобного интерфейса пользователя и использование сетевых технологий обмена данными, однако при этом сложные вычислительные алгоритмы реализуются путем автоматического вызова серверного приложения MatLab.

Постановка задачи

Разработанная система предназначена для моделирования и проектирования газоразрядных источников электронов, которые в настоящее время находят широкое применение в промышленности при термообработке изделий, модификации поверхностей, и реализации многих других технологических операций в низком и среднем вакууме [8, 9]. Газоразрядные источники электронов обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными термокатодными: они отличаются относительной простотой конструкции, высокой надёжностью работы и долговечностью, а также простотой управления параметрами формируемого электронного пучка. Однако сложность и многообразие физических процессов, протекающих в высоковольтном тлеющем разряде, и, как следствие, отсутствие эффективных средств моделирования конструкций газоразрядных пушек и их автоматизированного проектирования, в значительной степени снижает эффективность разработки таких пушек и сдерживает их внедрение в промышленность [9].

В работах [10, 11] было показано, что физико-математические модели газоразрядных источников электронов достаточно легко реализуются средствами системы MatLab. При этом основными преимуществами являются относительная простота программного кода, эффективность макроопераций над структурами числовых данных, наличие обширных библиотек математических функций, а также ряд дополнительных возможностей, связанных с совместным использованием функций численных методов и аналитического процессора.

Однако главный недостаток такого подхода состоит в том, что в ряде случаев вычислитель-

ный процесс не может быть полностью автоматизирован, и при настройке параметров системы и выполнении аналитических преобразований требует квалифицированного вмешательства оператора [10, 11]. Этому недостатку можно избежать в случае использования комплексной системы моделирования, позволяющей считывать задаваемые пользователем параметры модели, автоматически формировать программный код на языке системы MatLab по готовым шаблонам, а затем, в режиме реального времени, запускать MatLab как серверное приложение для проведения расчетов и для графической интерпретации полученных результатов. Важным преимуществом такой интегрированной системы должна быть её ориентация на сетевые технологии передачи данных. Анализ существующих возможностей создания подобной системы и описание её структуры является целью данной статьи.

Основные особенности системы моделирования газоразрядных источников электронов и её информационная структура

С целью обеспечения удобства написания программного кода и простоты администрирования разработанная система моделирования газоразрядных источников электронов была реализована в виде нескольких взаимосвязанных программных модулей. Перед тем, как описывать специфические особенности их работы, рассмотрим общие функции системы, обобщенная структура которой приведена на рис. 1.

Для удобства решения задач моделирования и конструирования газоразрядных источников электронов используется простой сетевой интерфейс с большим количеством функций. При этом в одной программной разработке реализовано моделирование различных характеристик источников электронов (рис. 1), каждая из которых соответствует отдельным задачам проектирования электронно-лучевого технологического оборудования [10]. Кроме того, система позволяет формировать и распечатывать техническую документацию.

Модель энергетических и вольт-амперных характеристик высоковольтного тлеющего разряда является встраиваемой и может использоваться как функциональный модуль для систем моделирования электронно-лучевых газоразрядных устройств. Также отдельными модулями, с обеспечением связей между ними, реализованы модели электронно-оптической системы и транспортировки электронного пучка из пушки в технологическую камеру. В соответствии с принципами модульного программирования

между этими модулями устанавливаются логические информационные связи, позволяющие за счет обмена данными осуществлять комплексное автоматизированное проектирование газоразрядных источников электронов, включая также моделирование технологического процесса (рис. 1).

Рассмотрим более подробно используемые информационные технологии межмодульного обмена данными и покажем, как в данном конкретном случае происходит взаимодействие отдельных программных модулей в рамках работы всей системы. Как видно из рис. 1, все основные и промежуточные расчеты реализуются в системе MatLab. Особенность разработанной системы моделирования состоит в том, что отлаженные программные модули, написанные на языке программирования MatLab, запускается на сервере, то есть рядовому пользователю при работе с системой не требуются глубоких знаний в области программирования. Тем не менее, в системе предусмотрена возможность

просматривать и модифицировать программный код функций моделирования, а также анализировать его в режиме реального времени при выполнении программы. Программный код формируется из шаблонов библиотеки моделей в процессе их обработки с помощью генератора кода, который написан на языке программирования PHP [6].

В программных модулях, написанных на языке PHP, принимаются и обрабатываются значения входных параметров модели, для этого обычно используются POST-запросы со стороны клиента [6]. Затем, с использованием шаблонов библиотечных функций, формируется код программы MatLab, а после этого запускается графическая функция **plot**, и результаты моделирования выводятся на экран. Далее будет более подробно разъяснена работа модулей, написанных на языке PHP, во взаимодействии со всеми остальными компонентами системы.

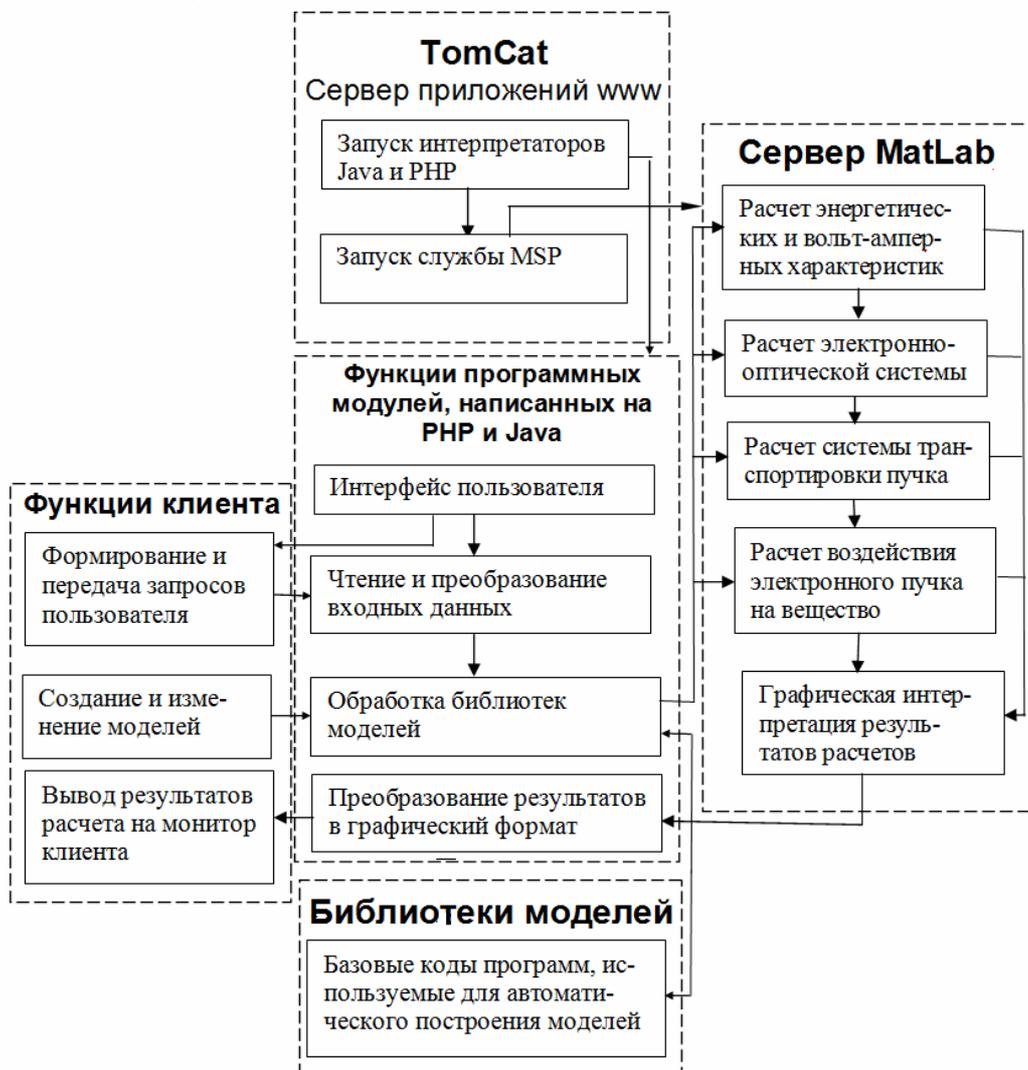


Рис. 1. Обобщенная структура разработанной системы моделирования газоразрядных источников электронов

Анализ взаимосвязей программных модулей при решении задач моделирования

Разработанная система моделирования имеет удобный графический интерфейс пользователя и ориентирована на сетевые технологии передачи данных, при этом роль сервера www выполняет приложение **TomCat** [7], позволяющее запускать апплеты Java [5] как серверные приложения. Возможно использование и других программных комплексов, выполняющих функции сервера www, в зависимости от используемой операционной системы и установленного программного обеспечения. В сущности, сервер www необходим для того, чтобы управлять всем вычислительным процессом в режиме реального времени. Серверная часть разработанной системы моделирования в автоматическом режиме обменивается данными с системой MatLab, при этом проводятся необходимые вычисления, а затем полученные результаты либо используются для дальнейших вычислений, либо в графическом виде отправляются на компьютер клиента (рис. 1). Приложением, связывающим все компоненты системы моделирования, служит модуль `index.php`, хранящийся в корневой директории системы. Этот файл содержит в себе множество директив и вызовов системных функций, формирующих программный интерфейс и управляющих вычислительным процессом путем обращения к соответствующим модулям.

Рассмотрим, как выполняется обмен данными между модулями разработанной системы для формируемых математических моделей, например, для расчета осевого распределения тока разряда или вольт-амперных характеристик источника [10]. В файле `index.php` организованы ввод данных пользователя и проверка их корректности с учетом всех физических, геометрических, технологических и вычислительных ограничений [12, 13]. После этого считанные данные подставляются в библиотечные файлы, использующие шаблоны кода языка программирования MatLab. Затем код программы сохраняется во временном файле с именем `math1.mlsr` и запускается сетевое приложение, которое будет работать с этим файлом. В разработанной системе TomCat используется именно для того, чтобы запустить службу www, непосредственно работающую с MatLab. Запуск этой службы происходит тогда, когда посылается на выполнение временный файл `math1.mlsr`, при этом сервер протокола http учитывает расширение выполняемого файла и запускает именно java-апплет **MatLab Server**

Pages (MSP) [14]. Теперь загрузка в MatLab соответствующего программного кода обеспечивает решение поставленной пользователем задачи моделирования.

Кроме того, язык программирования PHP используется для решения задач управления и для формирования документов формата HTML [6]. PHP связан с сервером TomCat с помощью библиотек, созданных специально для запуска интерпретатора PHP в среде программирования Java, в частности, файлов `phpsvlt.dll`, `php_java.jar`, а также ряда других динамических библиотек и функций, совместимых с интерпретатором PHP версии 5.0.2.

Отличительной чертой разработанной системы является то, что в ней используется программное обеспечение, позволяющее управлять системой MatLab без участия пользователя. Это свободно распространяемая, бесплатная, кроссплатформенная разработка, которая работает под управлением сервера www. Эта служба использует виртуальную машину Java для автоматизированного взаимодействия с сервером MatLab по заранее подготовленным шаблонам программ (рис. 1) с использованием универсальных сетевых технологий обмена данными. Взаимодействие сервера MatLab MSP с сервером www происходит с помощью универсального языка программирования XML [4]. MSP использует ряд зарезервированных функций языка XML для формирования запросов системе MatLab, а также для обработки результатов моделирования и их вывода на экран в виде документа формата HTML.

Рассмотрим, как обрабатывается сформированный временный файл `math1.mlsr` сервером MatLab MSP. В сущности, этот файл представляет собой документ XML, который содержит код сформированной программы и необходимые директивы для установки соответствующих режимов работы системы MatLab, автоматически формируемые данной службой www.

При обращении к службе MSP и работе с ней необходимо выполнить следующую последовательность действий.

1. Запустить службу MSP с помощью системной команды [14]:

```
<matlab: Engine>
```

2. С использованием библиотек математических функций системы MatLab выполнить все необходимые расчеты [2, 3, 10].

3. При необходимости вывода графических результатов вызывать функцию MatLab **plot** с требуемыми параметрами [2, 10] и выполнить системную команду [14]:

```
</matlab:PlotData>
```

4. Выполнить системную команду преобразования графических результатов для их использования в документе формата html [14]:

```
<matlab:Thumbnail imagename="figure1"
width="600" height="600"/>
```

В результате выполнения указанной последовательности действий построенный график преобразуется в графический формат и отправляется на компьютер клиента в сформированном документе формата HTML. Все эти действия также выполняет основной модуль разработанной системы моделирования index.php.

Выводы

На рис. 2 приведены результаты моделирования осевого распределения плотности токов электронов и ионов в разрядном промежутке, а на рис. 3 – вольт-амперные характеристики источника электронов для различных значений давления газа. При проведении вычислений использовался известный математический аппарат, приведенный в работах [10, 11], и полученные графики полностью соответствуют предыдущим результатам. Тем не менее, основное достоинство разработанной системы моделирования состоит именно в том, что весь вычислительный процесс реализован в автоматическом режиме без вмешательства оператора. Ориентация разработанной системы на современные сетевые технологии передачи данных также является её несомненным преимуществом и позволяет использовать её для построения сетевой САПР.

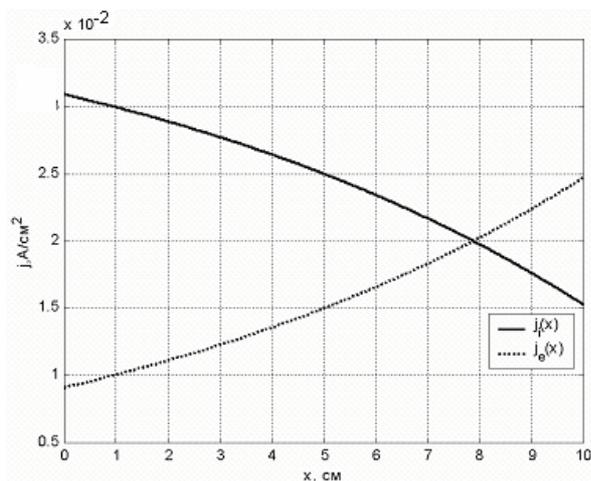


Рис. 2 Распределение плотности электронного и ионного токов вдоль длины катодного падения потенциала [10]

Дальнейшее развитие разработанного программного комплекса, основанного на клиент-серверных технологиях передачи данных, позволит создать эффективную сетевую проблем-

но-ориентированную САПР технологических газоразрядных источников электронов. Для этого, в первую очередь, необходимо разработать средства автоматизированного оформления конструкторской документации, основанные на взаимодействии и обмене данными реализованных вычислительных модулей с форматами современных машиностроительных САПР, например Compas или AutoCAD. Разработанные средства моделирования и проектирования газоразрядных источников электронов представляют большой интерес для проектировщиков электронно-лучевого технологического оборудования.

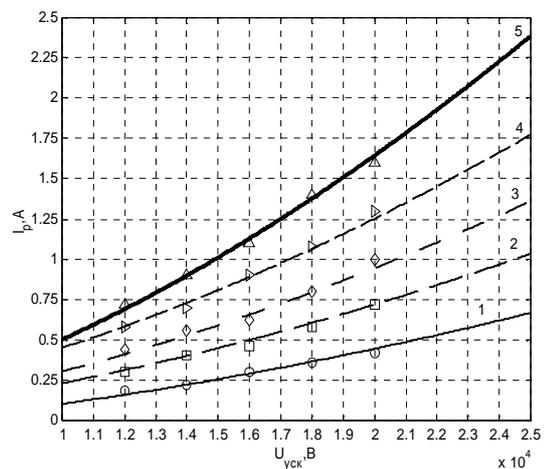


Рис. 3. Аппроксимация вольт-амперных характеристик газоразрядных источников электронов для различных давлений рабочего газа. 1 – $p = 3$ Па, 2 – $p = 4$ Па, 3 – $p = 5$ Па, 4 – $p = 6$ Па, 5 – $p = 8$ Па [11]

Описанный в статье подход, основанный на взаимодействии клиент-серверных технологий передачи данных и вычислительных возможностей системы MatLab, является в достаточной степени универсальным и может быть использован при создании других программных средств, предназначенных для математического моделирования и автоматизированного проектирования сложных электронных устройств и систем.

Литература

1. Петренко А.И., Ладогубец В.В., Чкалов В.В. Оптимальное схемотехническое проектирование в машиностроении. – К.: УМК ВО, 1989. – 164 с.
2. Дьяконов В.П. MatLab 6/6.1/6.5 + Simulink 4.5. Полное руководство пользователя. – М.: Салон-Пресс, 2002. – 768 с.
3. Мартынов Н.Н. Введение в MatLab 6. М.: Кудиц-Образ, 2002. – 352 с.

4. *Лунтовський А.О., Мельник І.В.* Комп'ютерні мережі та телекомунікації: Навчальний посібник для дистанційного навчання. – К.: Університет «Україна», 2007. – 257 с.
5. *Ноутон П., Шилдт Г.* Java 2 в подлиннике. – ВНУ-СПб. 2007 г.
6. *Котеров Д., Костарев А.* РНР 5 в подлиннике. – ВНУ-СПб., 2006. – 1120 с.
7. *Бакор А., Бхаттачарья Д., Бхаттачарья С.* Apache Tomcat для профессионалов. – М.: Кудиц-Образ, 2005.
8. *Денбновецкий С.В., Мельник В.И., Мельник И.В., Тугай Б.А.* Газоразрядные электронные пушки и их применение в промышленности. – Электроника и связь, тематический выпуск «Проблемы электроники», часть 2, 2005. – С. 84-87.
9. *Новиков А.А.* Источники электронов высоковольтного тлеющего разряда с анодной плазмой. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 96 с.
10. *Мельник І.В.* Система науково-технічних розрахунків MatLab та її використання для розв'язання задач із електроніки: навчальний посібник. Т. 2. Основи програмування та розв'язання прикладних задач. – К.: Університет «Україна», 2009. – 327 с.
11. *Мельник І.В.* Аппроксимация вольт-амперных характеристик технологических источников электронов высоковольтного тлеющего разряда с использованием средств системы MatLab // Вестник Херсонского государственного технического университета. Вып. 2 (35). – Херсон, 2009. – С. 299-305.
12. *Мельник И.В.* Система входных геометрических параметров физико-топологической модели электродных систем высоковольтного тлеющего разряда и особенности ее программной реализации. – Электроника и связь, тематический выпуск «Проблемы электроники», часть 2, 2006. – С. 120-127.
13. *Мельник И.В.* Инженерные допуски на конструктивные параметры технологических источников электронов высоковольтного тлеющего разряда. – Электроника и связь, тематический выпуск «Проблемы электроники», часть 1, 2007. – С. 66-70.
14. <http://msp.sourceforge.net/>