

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Милых В.И., д.т.н., проф., Майстренко А.М.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", кафедра "Электрические машины"

тел. (057) 707-65-14; e-mail: mvikpi@kpi.kharkov.ua; сайт: <http://users/kpi.kharkov.ua/kem/>

Розглядаються сучасні програмні і апаратні засоби віртуальної реальності, які дозволяють створювати системи для навчання та дослідження об'єктів і процесів реального світу, у тому числі й таких, які неможливо створити в реальних умовах. На цій основі подаються принципи розробки математичних і графічних моделей трансформаторів і електричних машин для віртуальної лабораторії.

Рассматриваются современные программные и аппаратные средства виртуальной реальности, которые позволяют создавать системы для исследования процессов реального мира, создавать системы обучения, которые в большинстве случаев невозможно создать в реальных условиях. На этой основе представляются принципы разработки математических и графических моделей трансформаторов и электрических машин для виртуальной лаборатории.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс развития информационных технологий в конце 90-х годов 20-го столетия вывел на передний план новую специфическую форму представления, восприятия и передачи информации, сутью которой является использование технологий *виртуальной реальности* (VR) [1, 2]. И вот уже информационное пространство наиболее развитых систем современного общества существенно отличается от того, которое окружало человека 70-80-х годов, и, главным образом, тем, что в жизнь людей входит VR, которую можно воспринимать еще и как одну из высших ступеней развития компьютерных технологий.

Уровень и распространенность компьютерной техники и информационных технологий таковы, что использование технологий VR стало не только возможным, но и во многом незаменимым [1-4]. VR породила новое направление техносферы – дистанционное управление сложными и, иногда, опасными процессами. Внедряются новые методы оперирования технологическими объектами, основанные на представлении сопутствующих процессов посредством компьютерной графики, что существенно упрощает работу с ними обслуживающего персонала.



Рис. 1. Рабочее место современного инженера-конструктора, использующего методы VR

В медицине технологии VR впервые позволили провести сложную операцию хирургу, который находился за тысячи километров от операционной. Инженеры могут с помощью методов VR проникать в недоступные части конструкций, снабженных датчиками и представленные графическими аналогами. Например, VR использовалась для реконструкции самолета F-18. При помощи специальных очков оператор мог попасть в виртуальный мир и непосредственно перемещать нужные детали, контролировать правильность их соединения друг с другом. Это сэкономило время и деньги, которые бы потребовались на постройку настоящих моделей.

Работа инженера-конструктора (рис. 1), использующего методы VR, превращается из монотонного труда чертёжника и расчётчика в творческий процесс, позволяющий не только существенно повысить производительность труда, но и избежать множества проблем конструирования и оформления его результатов.

В виртуальных учебных лабораториях могут быть реализованы и исследованы как общедоступные, так и такие объекты и процессы, которые невозможно воспроизвести в реальности по условиям безопасности либо из-за чрезмерной стоимости. Причем все это может быть, в отличие от реальных объектов, тиражировано в неограниченном количестве копий, единственным условием использования которых является наличие компьютера достаточного уровня: на предприятии, в учебной аудитории, дома – где угодно.

Одни из первых технологий VR были применены НАСА США для тренировки пилотов космических челноков и военных самолетов, при отработке приемов посадки, дозаправки в воздухе и т.п. VR является освоенной в подготовке иных военных и гражданских специалистов: танкистов, ракетчиков, водителей автотранспорта и т.д. Кроме значительной экономичности, в таком обучении важным является ещё то, что ошибки персонала не приводят к неблагоприятным и, тем более, катастрофическим последствиям. Поэтому при изучении и исследовании виртуально реализованных объектов оказывается необязательным постоянное присутствие наставника-преподавателя - это

особенно важно в условиях отведения все большей роли самостоятельной составляющей учебного процесса, а также при дистанционном обучении.

Таким образом, ВР сегодня – это уже не абстрактное понятие, но альтернативная форма оперирования с различными объектами и информацией [1-4]. Современные программные и аппаратные средства ВР позволяют создавать системы для исследования процессов реального мира, а также системы обучения.

Наряду с другими сферами, эффективным представляется использование ВР в области электротехники и, в частности, в отрасли электромашиностроения. Применение методов программирования ВР позволяет создавать и использовать виртуальные лабораторные стенды, как для подготовки инженеров электромашиностроительных специальностей, так и для научных исследований. И если подготовка современного инженера ориентирована на использование уже освоенных информационных технологий, то подготовка инженеров будущего должна основываться еще и на технологиях ВР.

Исходя из очевидных тенденций, можно считать, что разработка виртуальной электромашинной лаборатории, включающей в себя виртуальные стенды различных электрических машин и трансформаторов, представляет собой передовое направление в области образования, подготавливающее соответствующее преобразование производственных технологий и научных исследований. Это направление для Украины начало свои развитие и реализацию в НТУ "ХПИ", что отражено в [5-8].

В связи со значительными перспективами и интересом к системам ВР, вообще, а также уникальностью начатых разработок виртуальной электромашинной лаборатории, в частности, **целью данной публикации является** представление существующих аппаратно-технических средств ВР и общих программно-технологических принципов создания виртуальных лабораторий (ВЛ), с демонстрацией первых этапов наших разработок в этом направлении.

ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАШИННОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

По сути ВЛ – это компьютерная программа, с которой пользователь-оператор взаимодействует посредством предусмотренных органов управления. Саму ВЛ он наблюдает на экране компьютерного монитора или на большом экране мультимедийного проектора. Поэтому для первого знакомства с нашей электромашинной ВЛ представим именно эту - внешнюю её сторону, с которой и имеет дело оператор.

На рис. 2-4 приведены графические копии экрана, сделанные при работе в среде ВЛ, каждая из которых оформлена в интерьере определенной комнаты. Видя рисунки впервые, их можно принять за фотографии реальных помещений с реальными объектами. Именно такого эффекта и добиваются программисты, которые создают трёхмерные объекты виртуально мира – их фотографической адекватности или фотографического качества. Добавим, что в отличие от представленных рисунков, мир ВЛ является полноцветным.

По ВЛ можно перемещаться с помощью зарезервированных клавиш на клавиатуре, курсора на экране компьютера и "мыши". К органам управления относится также подчиненная "мыши" рука оператора, отображаемая на экране и перемещаемая им по ВЛ. В целом система управления проста и общедоступна: как показала практика, с нею легко справляется пятилетний ребенок после 2-4 сеансов обучения.



Рис. 2. Виртуальная лаборатория с однофазным трансформатором [6, 8]



Рис. 3. Виртуальная лаборатория с двигателем постоянного тока [5, 7]

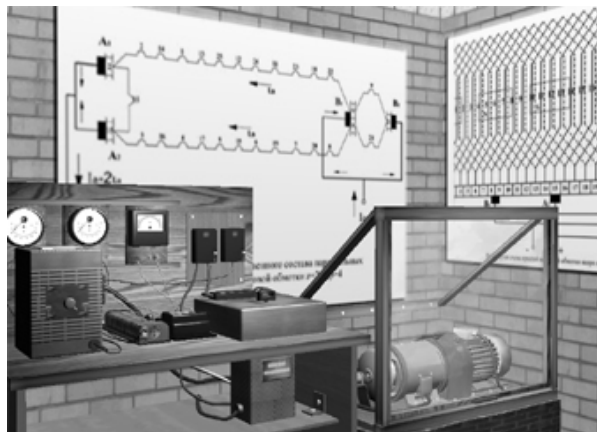


Рис. 4. Виртуальный стенд с системой асинхронный двигатель – генератор постоянного тока

Фактически наблюдатель может расположиться в любой точке трехмерного мира ВЛ и, соответственно, на экране будет отображаться именно тот вид, который открывался бы взору, направленному из этой точки в конкретную сторону. Поэтому предметы, оборудование и всякие аксессуары можно рассматривать с любой стороны, на желаемом удалении и в соответствующем масштабе. Например, на рис.5 и 6 даны локальные виды на испытательные стенды ВЛ, представленных на рис. 2 и 3. Естественно, что разных ракурсов столько же, сколько их было бы у реального фотографа или просто наблюдателя в реальной лаборатории: вплоть до разных видов из окон комнаты.

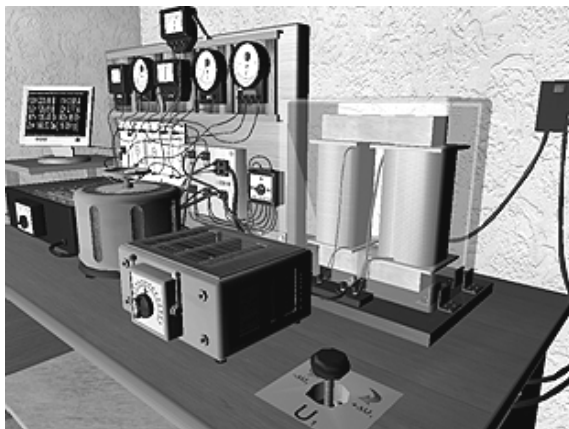


Рис. 5. Виртуальный стенд с трансформатором

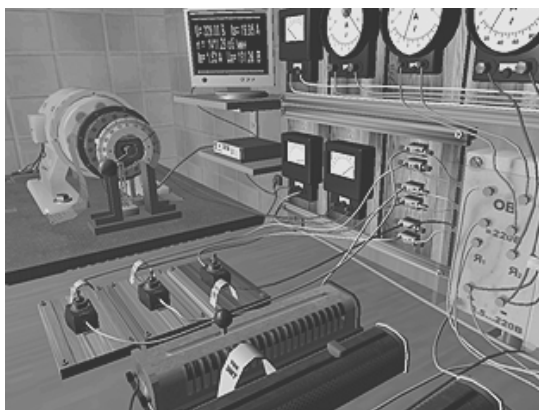


Рис. 6. Виртуальный стенд с двигателем постоянного тока

Посредством органов управления в ВЛ можно включать и выключать аппаратуру, регулировать напряжение, изменять положение ползунков регуляторов и реостатов, открывать и закрывать дверцы шкафов управления и крышки на элементах электрооборудования, выполнять соединение клемм и другие действия - вплоть до перемещения предметов. В ВЛ можно переходить от общего освещения помещения к локальному от местных светильников.

В ВЛ предусмотрено все для полного объема "экспериментальных" исследований различных параметров и характеристик электротехнических устройств в разнообразных режимах (регулируемых, рабочих, внешних и прочих характеристик, опытов холостого хода и короткого замыкания и др.). Измерения токов, напряжений, мощности, фазовых сдви-

гов, частоты вращения и т.д. проводятся стрелочными приборами и дублируются на экране монитора цифрового мультиметра. В ВЛ есть графическая доска, на которой можно при необходимости нарисовать поясняющие функциональные зависимости.

Состояние испытываемых объектов (трансформаторов, электрических машин и т.д.) и соответствующие показания измерительных приборов непрерывно воспроизводятся определенной частью программы, реализующей "подложенную" под конкретный стенд математическую модель. При этом, естественно, обрабатываются устанавливаемые на данный момент напряжения, сопротивления различных регуляторов, уровень нагрузки. Для генераторов и трансформаторов нагрузочными устройствами являются реостаты, дроссели, конденсаторы с регулируемыми активными и реактивными сопротивлениями, для двигателей – регулируемый электромагнитный тормоз с измерителем момента вращения; возможна и взаимная нагрузка генераторов и двигателей.

В ВЛ предусмотрены различные сопровождающие аудио и видео эффекты: щелчки при срабатывании аппаратуры, специфический гул работающих трансформаторов и вращающихся электрических машин, шум шагов оператора); есть реакция на перегрузки оборудования, аварийные ситуации и нарушения техники безопасности: дымление при перегреве, искрение и круговой огонь на коллекторе, крик и ослепление при ударах током, срабатывание защитных устройств и отключение электропитания. Встраиваются в ВЛ и средства развлечения: при работе можно включить находящийся в ней плеер и прослушивать выбранные мелодии, можно полюбоваться рыбками, плавающими в аквариуме, видом за окном и т.д.

Для представленной электромашинной ВЛ достаточно общедоступного набора оборудования: компьютер с монитором, клавиатура, "мышь". Однако возможности ВЛ значительно расширяются при наличии уже созданных (но, к сожалению, еще не столь доступных) специальных аппаратных средств, ряд из которых представляется далее.

СОВРЕМЕННЫЕ АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В общем понимании, ВР – модельная трехмерная (3D) окружающая среда, создаваемая компьютерными средствами и реалистично реагирующая на взаимодействие с пользователями [9]. Для отображения ВР используются экраны мониторов (*фронтальная ВР*), которые также могут проецироваться на большие киноэкраны. Возможно проецирование изображения и на стереоскопические линзы, вмонтированные в специальные шлемы (рис. 7 [10]) (*погружающая ВР*).

При использовании фронтальной ВР оператор смотрит только на экран монитора и перемещаться по виртуальному миру, используя клавиатуру, мышь или другой манипулятор. Одним из средств, упрощающих взаимодействие с виртуальным пространством, является панорамирование посредством системы *трекинга* (рис. 8 [11]), которая позволяет изменять изображение при изменении положения головы. На обычном дисплее она работает так: например, оператор враща-

ет голову на левую сторону и скашивает глаза вправо на дисплей, на котором изображение прокручивается тоже в левую сторону. Система настраивается так, чтобы небольшому углу поворота головы отвечал большой угол прокручивания.



Рис. 7. Шлем виртуальной реальности



Рис. 8. Система трекинга, отслеживая изменения положения головы, меняет графическую картину

В погружающей VR, при использовании специального шлема с двумя миниатюрными стереоскопическими экранами, смена изображений на них при движении головой происходит с помощью системы трекинга так, что создается впечатление действительного перемещения по виртуальному миру. Оператор вращает голову на естественный угол или немного меньше, продолжая смотреть перед собой. Очки показывают большой экран, как в кино, только стереоскопический. Экран, прикрепленный к голове, вращается вместе с ней и служит окном в виртуальный мир. В шлем VR встраивается система градиентного стереоскопического озвучивания, а экраны создают стереоскопическую картину VR. Еще одним вариантом "перемещения" является система *eye-tracking*, которая изменяет графическую картину на микродисплеях в зависимости от положения зрачков [10].

Описать ощущение от использования шлема виртуальной реальности очень сложно. Тот, кто впервые сталкивается с этой технологией, получает богатый букет положительных эмоций и ощущение глубокого погружения в VR. После этого все трехмерные при-

ложения на обычном мониторе вряд ли можно воспринимать с прежним удовольствием.

"Натуральность" или реализм виртуального пространства создается не только с помощью шлема VR, но и с помощью других устройств альтернативного представления информации. К таким устройствам относятся информационные и манипуляционные перчатки VR (рис. 9), виброжилеты (рис. 10 [11]), органолептические и термопластические перчатки (рис. 11 [11]), генераторы запахов (рис. 12).

К наибольшим достижениям на данном этапе можно отнести сенсорные костюмы VR с перцептивной обратной связью, реализованной на основе "искусственная мышца" из материала с эффектом памяти формы, разработкой которых занимаются Айовский, Массачусетский, Стэндфордский [12] технологические университеты США, японские исследовательские институты. Разработкой прототипов "искусственных мышц" на основе материалов с эффектом памяти формы занимаются также Санкт-Петербургский и Новгородский государственные университеты.



Рис. 9. Манипулятор-перчатка с силовой обратной связью



Рис. 10. Виброжилет, передающий мощные низкочастотные колебания непосредственно на тело человека через колебания воздуха – звуковые низкочастотные мощные колебания

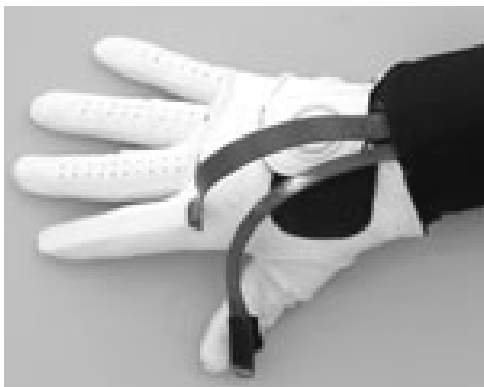


Рис. 11. Сенсорная перчатка, позволяющая ощущать объём поверхностей и их температуру



Рис. 12. Генератор запахов: с помощью синтеза фенольных соединений позволяет воссоздавать 10000 ароматических оттенков (исходными фенол-содержащими веществами являются эфирные масла)

В комплексе все описанные аппаратные и программные средства VR позволяют погрузить пользователя в виртуальное пространство лаборатории настолько полноценно и глубоко, что можно говорить о лучшем, по сравнению с проведением реального эксперимента, образовательном эффекте и значительно большем диапазоне возможных действий. Хотя, конечно, следует знать, что пользователи VR могут страдать от, так называемой, "компьютерной болезни", возникающей из-за некоторой дезориентации человека после работы с VR.

ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Описанные аппаратные средства VR позволяют естественно, т.е. "натурально" передавать ощущения при взаимодействии человека с VR. Но основу VR составляет программная часть. Программирование VR существенно отличается от программирования других информационных систем, т.е. требует обширных знаний не только в области моделируемого явления или процесса, но и во множестве сопутствующих областях знаний, на первых взгляд совсем не связанных. Необ-

ходимо обладать знаниями в области психологии, психодинамики, медицины, эргономики, программирования графики и аппаратных периферийных компьютерных средств, педагогики, теории взаимодействия системы "человек-машина", философии. Этот список можно дополнять до тех пор, пока не будет перечислено большинство знаний, накопленных человечеством. Это нелегко оспорить, если задуматься над самим термином "виртуальная реальность". VR представляет собой альтернативную форму реальности, т.е. по сути - альтернативное измерение. В объёмах одной журнальной статьи не объять всего многообразия форм VR и не описать возможных путей её развития. Можно лишь с уверенностью сказать, что VR – это уже не абстрактное понятие, а вполне осязаемая реальность. Поэтому остановим наше рассмотрение на вопросах программирования виртуальных лабораторий для проведения физических экспериментов - основы естественного познания.

Создание ВЛ сводится к следующим этапам:

- 1) разработка концепции лаборатории;
- 2) разработка трёхмерной модели изучаемого объекта или объектов, задействованных в моделировании процесса;
- 3) текстурирование модели;
- 4) программирование пользовательских и сервисных интерфейсов;
- 5) программирование эмуляционных и предметных математических моделей;
- 6) интегрирование графической, интерактивной и математических моделей;
- 7) программирование интерфейсов периферийных устройств;
- 8) тестирование;
- 9) методологизация.

Рассмотрим эту структуру подробнее.

На этапе разработки концепции ВЛ проводится планирование процесса производства, выбор оптимальных графических и математических моделей, выясняются цели проведения эксперимента, оцениваются аппаратные возможности, проводятся подготовительные эксперименты (с программными и аппаратными средствами VR, по возможности - реальные эксперименты). Первый этап является основным, т.к. именно на нём проводится составление общей схемы будущей разработки.

Разработка трёхмерной модели проводится в специальных пакетах трехмерного моделирования (*3D MAX, Maya, AutoCad, Cult3D, Inventor* и т.д.). Эти пакеты позволяют импортировать сеточные модели (пример одной дан на рис. 13) в свой собственный формат. Мировое сообщество разработчиков трехмерной графики создало обширные хранилища готовых трехмерных моделей, которые находятся в свободном доступе в сети Internet. Существуют также множество фирм, специализирующихся на разработке трехмерных моделей на заказ и тематических. На рис. 14 и рис. 15 показаны фрагменты двух виртуальных стендов в процессе их "сборки" - компоновки из трехмерных графических объектов, которые могут быть, в принципе, использованы и в других ВЛ.

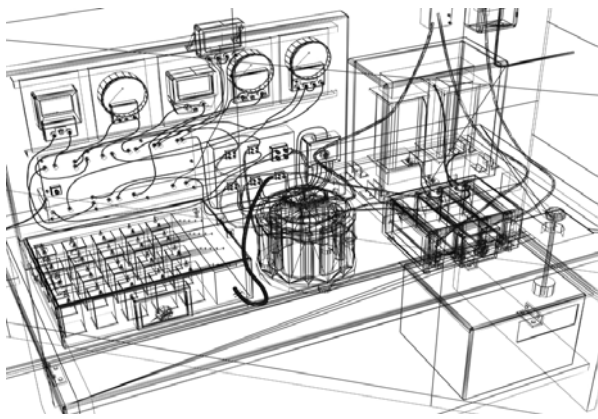


Рис. 13. Сеточная модель виртуального лабораторного стенда для исследования трансформатора



Рис. 14. Виртуальный стенд с двигателем постоянного тока в процессе "сборки"



Рис. 15. Виртуальный стенд с асинхронным двигателем и преобразователем частоты в процессе "сборки"

Текстурирование сеточной модели – это процесс наложения растровых изображений на наружную поверхность трехмерных объектов, ограниченную сеточным каркасом. На этом этапе также проводится оптимизация графической модели. Оптимизация графической модели направлена на разгрузку процессора от необходимости лишних расчетов сеток моделей. Каждая трехмерная графическая модель представляет собой сетку, которая образовывается треугольниками. Каждый такой треугольник называется полигоном. Чем меньше полигонов необходимо процессору проектировать на двухмерную плоскости экрана, тем больше скорость работы всей виртуальной модели.

Наибольший прирост скорости дает, т.е. наиболее приоритетным средством оптимизации является замена компонентов трехмерных моделей текстурами.

Простой пример такой замены - это модель полотна сетки-рабицы. Такую сетку в системах трехмерного моделирования можно сделать двумя способами. Первый способ: нанести монотонную текстуру металла на плоскость, а потом, применяя логическое вычитание объектов с помощью цилиндров, сделать в сетке много отверстий, которые позволят сделать плоскость похожей на сетку. На рис. 16 приведен снимок экрана на этапе подготовки модели сетки по первому способу. Тут видны сотни цилиндров, логическим вычитанием которых будет получена поверхность будущей модели сетки. Боковая наружная поверхность каждого цилиндра должна состоять, как минимум, из 16 полигонов. При логическом вычитании образованное отверстие будет описано также 16 полигонами. Такое большое число полигонов не оправдано и его надо уменьшать. Это можно сделать следующим способом.

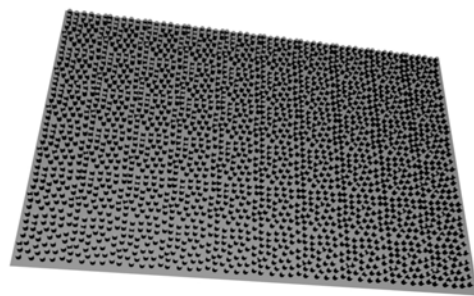


Рис. 16. Подготовительный этап для создания модели металлической сетки: все цилиндры путем логического вычитания образуют отверстия

В пакете редактирования растровой графики (например, *Adobe Photoshop*) вырезать из текстуры металла круглые отверстия и сохранить полученную текстуру в формате *.tga (текстура со слоем прозрачности). Пример такой текстуры приведен на рис. 17.

После наложения текстуры с α -каналом на поверхность плоскости будущей модели сетки, при визуализации, на местах отверстий текстуры (области α -канала) будут прозрачные области, что будет с высокой степенью реалистичности воссоздавать вид металлической сетки. Расчёт текстур с α -каналом тоже ресурсоёмкая для процессора задача, но в этом случае часть расчётов передается процессору видеокарты, да и в целом расчёт текстур требует меньше процессорного времени, чем расчёт сеточных моделей.

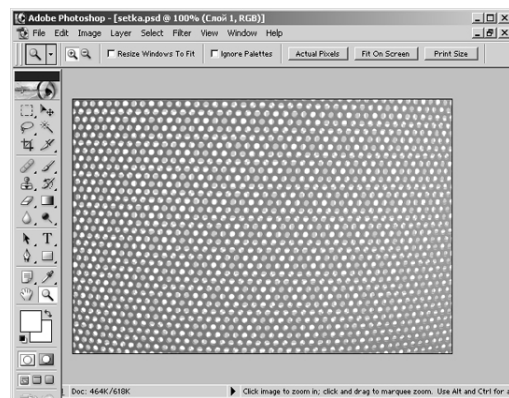


Рис. 17. Подготовительный этап для создания текстуры металлической сетки с каналом прозрачности

Сервисные функции - это такие, которые создаются для моделирования виртуального пространства и физических свойств его объектов, осуществления вспомогательных операций синхронного взаимодействия графической и математической моделей, взаимодействия с файловой и операционной системами пользователя, организации сетевого режима (соединение, передача и обработка информации, полученной с указанного порта), передачи управляющих влияний на триггерные функции и промежуточные функции математической модели, вывода на экран монитора, виртуальный экран мультиметра и на приборы, управления поведением объектов при влиянии на них со стороны пользователя и т.д. и т.п.

Интерактивные функции отвечают за контроль виртуального пространства на предмет взаимодействия с ним пользователя. Как только пользователь меняет какой-нибудь параметр графической модели, интерактивные функции должны четко и однозначно отреагировать на эти действия. Они должны охарактеризовать и классифицировать действия пользователя и подать необходимые руководящие сигналы к сервисным функциям, которые в свою очередь изменят состояние математической модели, и начнется процесс расчета. После этого те же самые сервисные функции будут изменять состояние всей виртуальной модели в зависимости от результатов математического моделирования.

Интерактивные функции также во многих случаях могут включать в себе сервисные функции. Такой подход оправдан, если интерактивная функция не передает никаких управляющих сигналов математическим моделям, а просто изменяет какой-нибудь параметр системы. Например, в интерактивной функции, которая отвечает за открывание дверцы шкафа, где хранятся сменные приборы и т.п., сервисная функция может быть встроенной, так как данное действие никаким образом не влияет на функционирование модели в целом.

Понятно, что интерактивных функций очень много, даже в не очень сложной ВЛ. Поэтому интеграция сервисных функций в интерактивные функции очень важный элемент общей оптимизации ВЛ.

После того, как графическая модель, все сервисные функции, триггерные функции, передаточные функции, функции графического вывода и математическая модель будут готовы, необходимо интегрировать все эти модули в ВЛ таким образом, чтобы они работали в синхронном по времени режиме. Надо подобрать такой режим для всех модулей, которые должны реализовываться в масштабе реального времени таким образом, чтобы между выполнением каждого из них не было временных задержек, которые бы не давали возможности выполняться другим модулям. Так, например, если оператор изменяет положение регулятора магазина сопротивлений, математическая модель должна реагировать так, чтобы не было задержки между соседними итерациями геометрического смещения регулятора и выводом на виртуальный экран мультиметра значений параметров математической модели. В противном случае, если такая задержка существует, при смещении регулятора математиче-

ская модель не успевает рассчитать состояние модели и при следующем смещении состояние модели будет уже неверное, что приведет к эффекту расхождения (расходящиеся колебания стрелки). Подобный эффект наблюдается в системах с положительной обратной связью. Для предотвращения таких расхождений применяются, так называемые, "сдерживающие" алгоритмы, которые не разрешают изменять состояние виртуальной модели до тех пор, пока не будет рассчитана математическая модель. Т.е. пользователь не сможет изменить смещения регулятора до тех пор, пока приборы не отобразят рассчитанные параметры математической модели.

Особенно важной синхронизация становится в случае функционирования ВЛ в сетевом "мультиспользовательском" режиме (это такой режим, когда в виртуальном пространстве лаборатории присутствуют сразу несколько пользователей, которые одновременно могут проводить лабораторные эксперименты на одном и том же стенде, при этом наблюдая друг друга, как графические трехмерные модели людей или символические модели, например, ромбик и т.п. с подписью имени пользователя). Если кто-то из пользователей изменил положение какого-то регулятора на его локальной машине, то для него математическая модель рассчитала состояние виртуальной модели практически мгновенно, но для других участников (пользователей) виртуального лабораторного эксперимента математическая модель сможет провести расчеты лишь после того, как по каналам передачи данных к их копиям приложения ВЛ дойдет необходимая информация от пользователя, который изменил состояние модели. В этом случае начинают работать "сдерживающие" алгоритмы, которые создают запрет на взаимодействие с графической трехмерной моделью в неустойчивом состоянии. Чем больше пропускная способность сети и производительность сервера приложений, тем меньше задержки, которые вызваны "сдерживающими" алгоритмами.

Математическими моделями объектов ВЛ, как это и общепринято, являются системы уравнений, адекватно описывающие состояния этих объектов с учетом изменяющихся внешних воздействий. Для трансформаторов и электрических машин математические модели составлены на основе их классических теорий и схем замещения, а также проектных параметров и зависимостей [14, 15], что показано, например, в [7, 8]. Посредством этих моделей определяется динамически изменяющееся множество стационарных электромагнитных состояний трансформаторов и электрических машин. В меру возможности математические модели уточняются для улучшения реалистичности поведения объектов. В дальнейшем предполагается совершенствование математических моделей на основе определения электромагнитных параметров устройств посредством численных расчетов электромагнитных полей [15] и введения полученных таким способом функциональных зависимостей. Переходные процессы на данном этапе создания ВЛ не воспроизводятся ввиду скоротечности их временных интервалов в масштабе реального времени ВЛ. Хотя, в принципе, нет проблем с их воспроизведением в

виде графических снимков - осциллограмм.

Математические и графические модели с передачными, сервисными и промежуточными функциями должны разрабатываться по возможности однотипными, чтобы их можно было использовать для дальнейших разработок. В связи с тем, что ВЛ в большинстве своем являются уникальными, разработка программных классов и объектов очень осложнена. Невозможно разработать программный класс для управления регуляторами, так как невозможно ввести больший уровень абстракции между регуляторами, чем тот, что они являются регуляторами. Их конструкции настолько сильно изменяются от одной ВЛ к другой, что применение программного кода, созданного для одной, как правило, не подходит полностью для другой. В таком случае альтернативой разработки программных классов со следующим клонированием их объектов есть разработка единой схемы, согласно которой возможно последующее использование кода. Так для интегрирования математической и графической моделей используются сервисные и триггерные функции, которые трансформируют данные геометрических изменений графической модели в вариационные диапазоны абстрактных коэффициентов. Эти коэффициенты могут изменяться от модели к модели, но схема их функционирования и применения остается неизменной.

Программирование интерфейсов периферийных устройств – сложная задача. Но она нередко решается с помощью использования уже разработанных драйверов устройств или программных интерфейсов. Так для нормального функционирования стереоскопического шлема VR необходимы специальные стереодрайвера, но их можно "скачать" с сайта производителя видеоадаптера. Использование стереодрайверов существенно повышает позитивный эффект от применения шлема виртуальной реальности (рис. 7). В общем, разработка программных интерфейсов для графических аппаратных средств VR – первоочередная задача современного уровня развития VR.

Тестирование и методизация – это процессы разработки, не имеющие конкретного времени окончания и могут продолжаться всё время.

В заключение отметим, что технологии VR являются, несомненно, одним из наиболее актуальных и перспективных направлений мирового развития и использования компьютерных технологий, которые уже занимают и будут завоевывать все новые позиции в сферах обучения, научных исследований, дистанционного управления технологическими процессами и в других приложениях. И одной из сфер, что показали первые этапы наших разработок, будет, безусловно, как электротехника - в целом, так и электрические машины и трансформаторы – в частности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Durlach, N. I. and A.S. Mavor (Eds). 1995. Virtual Reality Scientific and Technological Challenges. National Academy Press: Washington, DC.- P.1-40.
- [2] Burdea, G. and P. Coiffet. 1994. Virtual Reality Technology. John Wiley and Sons: New York, NY.- 15 p.
- [3] Стародубцев В.А., Федоров А.Ф. Инновационная роль виртуальных лабораторных работ и компьютерных практикумов //Всероссийская конф. 'ЕОИС-2003' (<http://conf.sssu.ru/phorums/read.php?f=25&i=50&t=1>).
- [4] Программа заседания круглого стола "Информационные средства обучения для повышения качества инженерного образования" http://conferens.sumdu.edu.ua/dl2004/ru/program/seminar/2004_03_17/.
- [5] Милых В.И., Майстренко А.М. Концепция электромашиной виртуальной лаборатории и первые этапы ее воплощения // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Електромашинобудування та електрообладнання".- Київ: "Техніка", 2006.- Вип.66.- С.217-218.
- [6] Милых В.И., Майстренко А.М. Разработка виртуального лабораторного стенда для исследования однофазного трансформатора / Вісник кафедри "Електротехніка". Тематичний випуск.– Донецьк: ДонНТУ, 2006.– С. 68-69.
- [7] Милых В.И., Майстренко А.М. Виртуальный стенд для исследования двигателя постоянного тока // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: наукові праці КДПУ.– Кременчук: КДПУ, 2006.- Вип.3\2006 (38). Частина 1.– С.149-151.
- [8] Милых В.И., Майстренко А.М. Графо-математическая модель однофазного трансформатора и её программно-виртуальная реализация // Вестник НТУ "ХПИ". Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов.- Харьков: НТУ "ХПИ". - 2006. - №35.- С. 79-86.
- [9] <http://dlc.miem.edu.ru/newsite.nsf/docs/CSD309>.
- [10] <http://www.emagin.com> - официальный сайт разработчика шлема виртуальной реальности.
- [11] <http://www.vrealities.com/>
- [12] <http://www.stanford.edu/group/vhil/projects.html> - сайт Стэнфордского технологического университета.
- [13] Вольдек А.И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978.- 832 с.
- [14] Копылов И.П., Горяинов Ф.А., Клоков Б.К. и др. Проектирование электрических машин. / Под ред. И.П.Копылова - М.: Энергия, 1980.- 496 с.
- [15] Милых В.И., Полякова Н.В. Определение электромагнитных параметров электрических машин на основе численных расчетов магнитных полей // Електротехніка і електромеханіка.-2006.-№2.-С.40-46.

Поступила 15.01.2007