

## РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ В ПРОГРАММЕ LTSPICEIV

*М.А. Крампит, ассистент, Е.А. Зернин, к.т.н., доцент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: [krampitm@tpu.ru](mailto:krampitm@tpu.ru)*

В среде разработчиков и исследователей в различных направлениях науки и техники широко применяются средства моделирования, способные отражать и логику с ошибками и представлять аналоговые и цифровые устройства, а также участвовать в безошибочном проектировании крупных и сложных систем. Широко внедряются эффективные методы автоматизированного моделирования [1].

Программы-имитаторы стали незаменимым инструментом в работе профессиональных электронщиков. В настоящее время существует целый ряд моделирующих программ, и практически все они созданы на основе SPICE, которая была разработана специалистами университета Беркли [2].

SPICE является программой для схемотехнического моделирования с ориентацией на интегральные схемы, впервые выпущенный из университета Калифорнии в Беркли в начале 1970-х годов. До существования SPICE инженеры разработали схемы вручную, возможно, с помощью логарифмической линейки и калькулятора. Прототип был построен с оригинальным дизайном, а его производительность оценивается целей дизайнера.

Разработка многих из схем сегодня было бы невозможно без помощи SPICE. Часто аналоговые схемы содержат сотни или тысячи устройств. Проектирование и анализ включают поиск решений уравнений. Эти уравнения могут быть простые алгебраические формулы или привлекать нелинейных дифференциальных уравнений. Прототипы еще построены, чтобы измерить производительность, но, учитывая затраты работает в сотни тысяч долларов, исполнение должно быть во многом превосходит через компьютерного моделирования до изготовления прототипа начинается [3].

Схемотехническое моделирование разбивается на этапы, выполнение которых направлено на решение сформулированной задачи [4].

Рассмотрим содержание этапов подробнее.

**1. Разбиение электрической схемы на функциональные узлы.** Проектирование схем, как правило, ведется по функционально-узловому принципу, поэтому и схемотехническое моделирование логично построить таким же образом. При этом электрическая схема каждого функционального узла дополняется источниками входных сигналов и сопротивлением нагрузки. Здесь необходимо помнить, что такой подход к моделированию автоматически приводит к принятию допущения об однонаправленности распространения электрических сигналов в схеме [4].

В практическом смысле это означает, что функциональные узлы схемы не влияют на работу друг друга.

**2. Подготовка исходных данных для расчета.** Подготовка исходных данных для расчета производится в соответствии с документацией на систему схемотехнического моделирования.

Как правило, исходные данные для расчета делятся на два раздела:

- описательная информация об элементах и их межсоединениях в электрической схеме;
- задание на расчет, включающее вид расчета и описывающее его параметры.

К основным видам расчета относятся:

-расчет в статическом режиме (DC), т.е. определение напряжений, токов, мощностей в момент, когда все переходные процессы в системе установились;

-расчет переходных процессов (Transient), т.е. определение напряжений, токов, мощностей как функций времени в диапазоне от  $t=0$  до  $t=T_{\text{кон}}$ ;

-расчет частотных (AC), т.е. определение АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ в диапазоне от  $f=\text{нач}$  до  $f=\text{кон}$ .

При этом схема моделируется в режиме малого сигнала [4].

Большую роль при выполнении этого этапа играет правильная постановка задачи расчета, которая отражает компромисс между желанием разработчика и возможностями системы схемотехнического моделирования.

**3. Расчет электрических характеристик функционального узла.** Этот этап полностью выполняется ЭВМ, контролируется оператором.

В основе выполнения этого этапа лежит математическая топологическая модель электрической схемы, сформированная на основе моделей элементов и схемы их соединения. На основе топо-

логической модели узла строится его аналитическая модель, которая представляет собой систему уравнений. Существует два основных метода перехода от топологической модели схемы к ее аналитической модели – это метод переменных состояния и метод узловых потенциалов. Основные достоинства и недостатки этих методов подробно рассмотрены в литературе. Мы же лишь констатируем, что в большинстве используемых на сегодняшний день подсистемах схемотехнического моделирования, в том числе в системе Spice, применяется метод узловых потенциалов и его модификации [4].

В процессе выполнения этого этапа возможно получение сообщений об ошибках, которые делятся на две большие группы: синтаксические ошибки и логические ошибки.

К синтаксическим относятся ошибки, появившиеся из-за нарушения правил языка описания схемы или задания на расчет. К логическим – относятся ошибки, появившиеся из-за нарушения логики описания электрической схемы, например неправильная нумерация узлов электрической схемы.

В результате выполнения этого этапа пользователь получает расчетные значения характеристик в виде таблиц и графиков.

#### 4. Анализ полученных результатов расчета электрических характеристик.

Анализ полученных результатов расчета проводится по двум позициям:

1. Качественная оценка адекватности математической модели схемы проектируемой схеме.
2. Количественная оценка полученных результатов расчета и соответствие их требованиям технического задания.

В результате анализа по первой позиции разработчик должен выяснить, правильно ли математическая модель схемы отражает его представления о проектируемой схеме. И если неправильно, то разобраться, почему это произошло. Основные причины неправильного поведения математической модели, расположенные по убыванию частоты их появления, следующие:

- наличие логических ошибок в описании моделируемой схемы;
- неправильное применение моделей компонентов электрической схемы;
- математическое обеспечение системы не пригодно для моделирования рассматриваемой схемы.

В результате анализа по второй позиции, необходимо полученные выходные характеристики проверить на соответствие требованиям, регламентированным в техническом задании на проектируемую схему и в технических условиях на применяемую элементную базу. В случае неудовлетворения хотя бы одного из этих требований, необходимо скорректировать электрическую схему (изменить значения параметров ее элементов или сделать структурные изменения схемы) и провести повторное моделирование [4].

Конструирование, изготовление и наладка источников питания имеет свои специфические особенности. Например, авария источника и выход из строя его элементов происходит за тысячные доли секунды, что практически не дает шанса рассмотреть ее причины и последовательность.

В этом случае многих проблем можно избежать, если предварительно смоделировать работу схемы источника. Моделирование позволяет:

- проверять работу элементов источника питания в критических режимах;
- производить замеры, которые обычно проблематичны или даже невозможны на реальном устройстве;

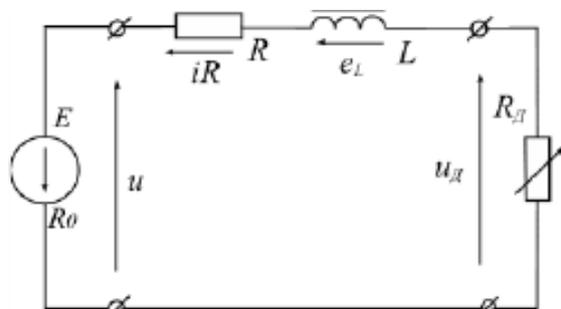


Рис. 1. Схема замещения энергетической системы «источник питания – дуга».  $R_0$  - внутреннее сопротивление генератора;  $R$  - резистивное сопротивление сварочного контура, включающее и сопротивление вылета электрода;  $L$  - индуктивность сварочного контура [7]

-уточнять и оптимизировать результаты предварительных расчетов, а порой экспериментально подбирать параметры элементов и режимы работы схемы [5].

Но при моделировании схем сварочных источников питания возникает ряд задач. Первая задача – моделирование поведения дуги. Для решения этой задачи используют схемы замещения дуги.

Сделано предположение, что сварка производится плавящимся электродом, что дуга горит стационарной замыканий дугового промежутка каплей не происходит. На рис. 1 приведена электрическая схема замещения энергетической системы «источник питания – дуга». Источник питания не имеет корректи-

рующих обратных связей. Дуга замещена нелинейным резистивным сопротивлением  $R_d$ [6].

Усложненная схема, это добавление к сопротивлению катушки индуктивности, которая вносит инерционные свойства (рис. 2).

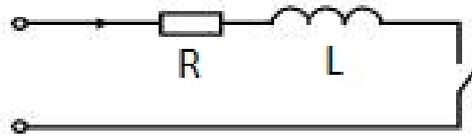


Рис. 2. Схема замещения дуги сопротивлением и катушкой индуктивности

Также, есть схема замещения дуги по способу С.И. Тельного, при котором дуга представляется в виде противоэдс, не оказывающим воздействия на общую цепь (рис.3).

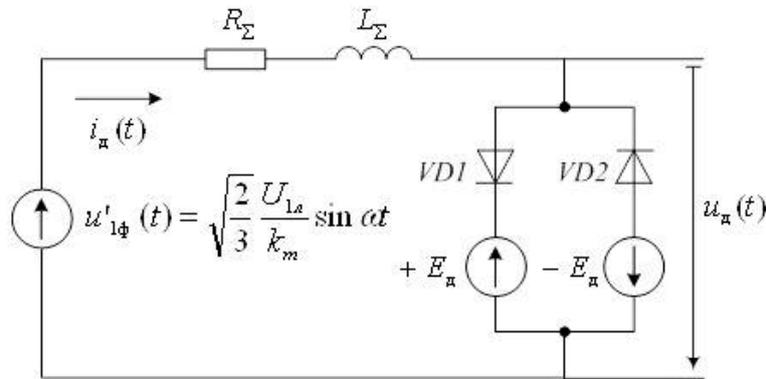


Рис. 3. Схема замещения дуги по способу С.И. Тельного

Вторая задача – это нелинейность поведения различных компонентов схемы, к примеру нелинейность поведения в работе трансформатора (рис.4 а). Но программа LTSpice позволяет задать нелинейную индуктивность и более реалистично смоделировать поведение источника питания (рис.4 б).

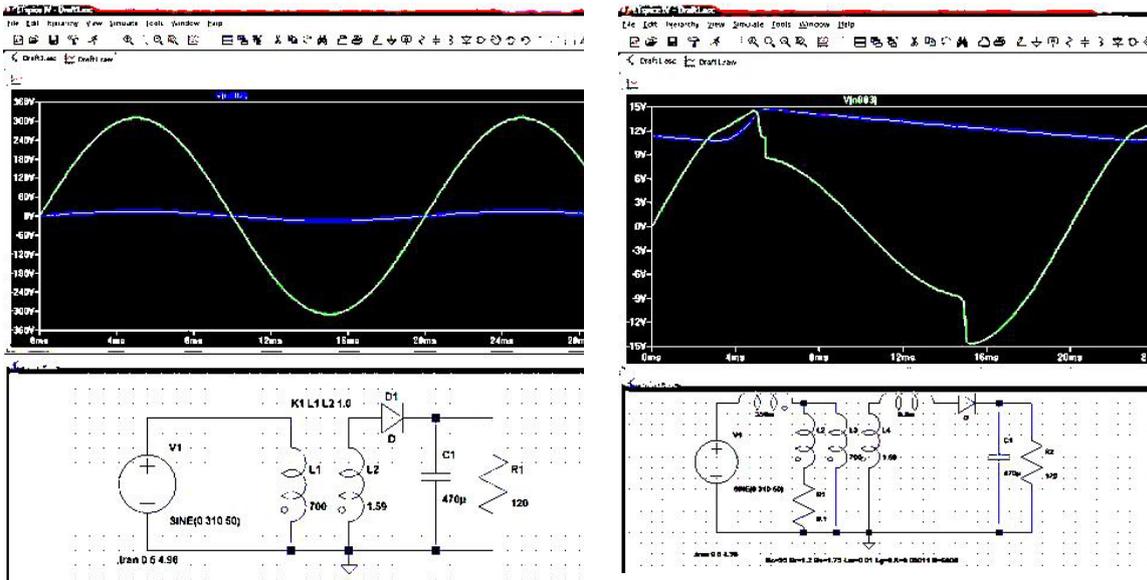


Рис. 4. Моделирование маломощного источника постоянного тока с линейным (а) и нелинейным трансформатором (б)

Программы схемотехнического моделирования могут использоваться при расчете источников питания для импульсно дуговой сварки, которые все больше находят применения в производстве

сварных конструкций. Импульсно-дуговая сварка позволяет управлять переносом электродного металла во всех пространственных положениях [8], сваривать толстолистовые конструкции в узкую разделку [9,10]. При этом возрастают механические свойства сварных соединений при эксплуатации их при низких температурах при неизменном качестве [11].

При проектировании источников питания для импульсно-дуговой сварки имеется ряд особенностей. Источники питания для импульсно-дуговой сварки должны обеспечивать как стабильность самого процесса сварки [12], так формирование шва требуемых параметров [13].

В программе LTSpiceIV была построена схема устройства для импульсно-дуговой сварки на базе модулятора, использующего вылет электродной проволоки для обеспечения тока паузы [14]. Были рассчитаны необходимые компоненты для обеспечения требуемой формы и длительности импульса (рис.5).

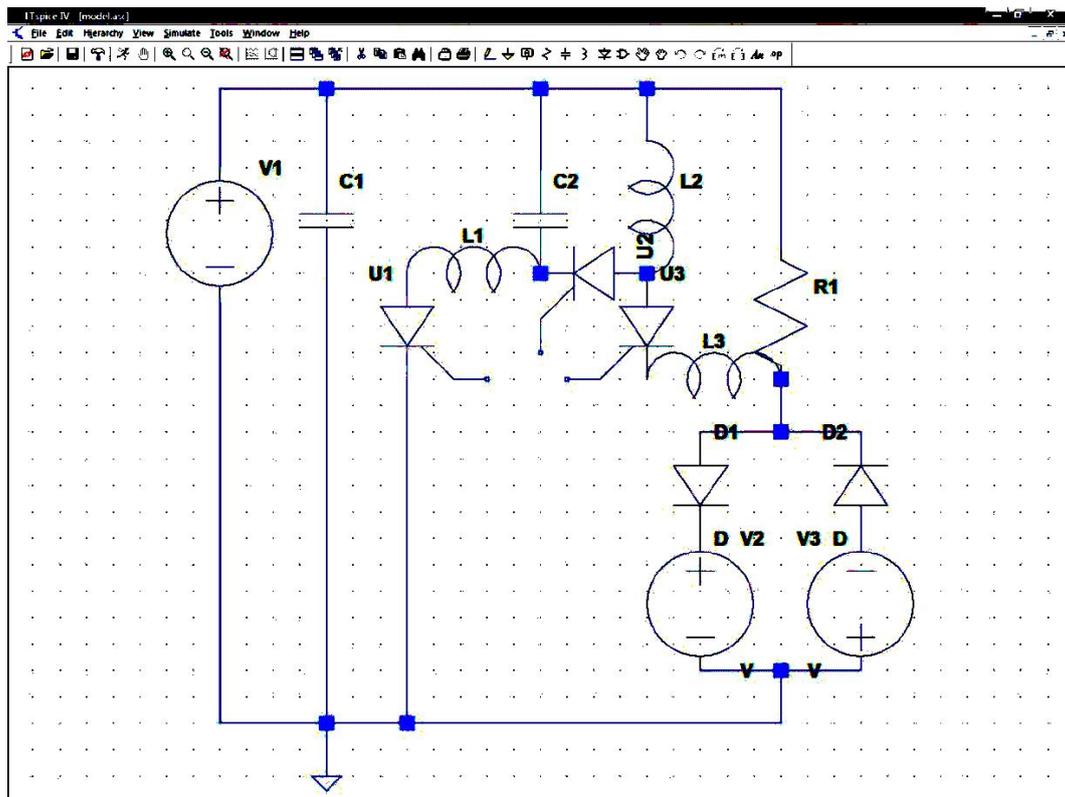


Рис. 5. Схема устройства на базе модулятора, использующая вылет электродной проволоки для обеспечения тока паузы

В дальнейшем сам процесс был смоделирован в программе MathCAD, определены рациональные режимы и рассчитана энергоэффективность предложенного устройства [15]. Устройство было создано и апробировано в лаборатории ЮТИ ТПУ [16].

Применение программ, симулирующих работу электронных схем, позволяет без больших материальных и временных затрат моделировать источники питания и другие устройства для сварки, обеспечивающие необходимые параметры процесса.

Литература.

1. Никонова Г.В. Основные аспекты моделирования при изучении базовых разделов электроники // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 1 – стр. 148-149 URL: [www.rae.ru/meo/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=4577](http://www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=4577) (дата обращения: 22.09.2014)
2. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 336 с.
3. <http://pro-spo.ru/system/3077--spice>

4. Тумковский С.Р. Сервер Spice – первое знакомство: Учебное пособие – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2001. – 42 с.
5. Володин В.Я. Создаем современные сварочные аппараты – М.: ДМК Пресс, 2011 – 352 с.
6. Богатырев, Н.И. Параметры и характеристики электрических машин переменного тока: моногр. // Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, П.П. Екименко: - Краснодар– 2011 - 256 с.: ил.].
7. Богатырев Н.И., Креймер А.С., Баракин Н.С. Асинхронные генераторы для питания сварочной дуги // Научный журнал КубГАУ - №73(09) – 2011 -с. 1-28
8. A.G. Krampit, A.F.Knyaz'kov, N.Yu.Krampit. Controlling the droplet transfer process in CO<sub>2</sub> welding with a long arc // Welding International –2008 - №22 - p.534-536
9. A.G. Krampit. Welding with double modulation of the main welding parameters // Welding International. – 2012. – №26. – 867-869.
10. A.G. Krampit, A.F.Knyaz'kov, N.Yu.Krampit, S.A.Knyaz'kov. Improving the process of narrow-gap pulsed –arc CO<sub>2</sub>// Welding International – 2004 - №18 – p.486-488
11. A.G. Krampit, N. Yu. Krampit. Mechanical properties of welded joints in welding with continuous and pulsed arcs // Welding International - Volume 25, Issue 8 - August 2011 – p.626-628
12. Крампит А.Г., Крампит Н.Ю. Стабилизация процесса сварки в щелевую разделку с импульсным питанием дуги. // Сварка и диагностика, 2012, №5, с.23-26.
13. Крампит А. Г. , Крампит Н. Ю. Влияние параметров импульсов сварочного тока на формирование сварного шва // Сварка и диагностика. - 2013 - №. 2. - С. 11-13.
14. Крампит А. Г. , Зернин Е. А. , Крампит М. А. Разработка устройства и исследование процесса импульсно-дуговой сварки с нагревом электрода в паузе [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2014 - №. 3. - С. 1. - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13398>
15. A.G. Krampit, M.A. Krampit. Determination of a Wire Heat Temperature under a Pulse-Arc Welding Condition by means of a Calculation and Graphic Method // Applied Mechanics and Materials – 2014 - 682 - p.392 – 396
16. Крампит Н. Ю. , Крампит М. А. Импульсно-дуговая сварка с подогревом вылета электрода в паузе // Сварочное производство. - 2014 - №. 3. - С. 8-10

### 3D ПРИНТЕРЫ В МЕТАЛЛУРГИИ

*Е.В. Бабакова, аспирант, Е.А. Ибрагимов, ст. преподаватель,*

*А.А. Сапрыкин, к.т.н., И.В. Дрелих, студент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: egor83@list.ru*

3D-принтер - устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. 3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта. Технологии, применяемые для создания слоев:

- Лазерная:
  1. *Лазерная стереолитография* — ультрафиолетовый лазер постепенно, пиксель за пикселем, засвечивает жидкий фотополимер, либо фотополимер засвечивается ультрафиолетовой лампой через фотошаблон, меняющийся с новым слоем. При этом жидкий полимер затвердевает и превращается в достаточно прочный пластик.
  2. *Лазерное сплавление* — при этом лазер сплавляет порошок из металла или пластика, слой за слоем, в контур будущей детали.
  3. *Ламинирование* — деталь создаётся из большого количества слоёв рабочего материала, которые постепенно накладываются друг на друга и склеиваются, при этом лазер вырезает в каждом контуре сечения будущей детали.
- Струйная:
  1. *Склеивание или спекание порошкообразного материала* — похоже на лазерное спекание, только порошковая основа (подчас на основе измельченной бумаги или целлюлозы)