

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Бардин В.М., Пивкин А.В.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск,  
Институт физики и химии, кафедра радиотехники

E-mail: [antonyxy@gmail.com](mailto:antonyxy@gmail.com)

**Аннотация.** Проектирование различных электросварочных устройств, в том числе на основе полупроводниковых приборов, может быть ускорено путем построения и исследования виртуальных (компьютерных) моделей, позволяющих в соответствующей программной среде анализировать происходящие в схеме сварочного устройства процессы и проводить инженерные расчеты. Поскольку нагрузкой сварочного аппарата является электрическая дуга, в расчетную модель аппарата должна быть введена соответствующая электрическая модель дуги. Использование компьютерных моделей позволяет изучать процессы обрыва электрической дуги в сварочных аппаратах для обеспечения безотказной работы последних.

**Ключевые слова:** инверторный сварочный аппарат, компьютерное моделирование, электрическая дуга

Развитие и усложнение схем устройств силовой преобразовательной техники приводит к усложнению методик их проектирования. Поэтому решение задач все больше перемещается в область компьютерного моделирования и проектирования. Переход от низкочастотных тиристоров к быстродействующим IGBT и MOSFET транзисторам и широтноимпульсному способу регулирования выходного тока и напряжения существенно усложняет характер переходных процессов в схемах преобразователей и приводит к ряду нежелательных явлений, в частности, к появления на транзисторах значительных по величине импульсных перенапряжений. Если нагрузка преобразовательного устройства носит статический или слабодинамический характер, то величина таких перенапряжений относительно невелика и обычно не представляет опасности для транзисторов. Но если нагрузка носит ярко выраженный нестационарный характер и характеризуется быстрыми изменениями, то это может представлять для транзисторов серьезную опасность. Примером такой нагрузки является сварочная дуга.

В области сварочного приборостроения четко прослеживается тенденция перехода от громоздких аппаратов постоянного и переменного тока к малогабаритным и эффективным транзисторным инверторным сварочным аппаратам (ИСА). Абсолютное большинство ИСА представленных в настоящее время на рынке, предназначены для сварки только постоянным током. Предпринимаются попытки создания таких аппаратов и для сварки на переменном токе частоты килогерцового диапазона. В том и в другом случае нагрузкой ИСА является электрическая сварочная дуга. Совершенствование схемотехнических и конструктивных решений ИСА предполагает хорошее понимание происходящих в них процессов на различных участках сварочного цикла: холостой ход, режим сварки обрыв дуги. Экспериментальное изучение этих особенностей в принципе возможно, но малопродуктивно по причине трудоемкости испытаний на физических образцах аппаратов. Больше возможностей в этом отношении дает метод компьютерного моделирования. В настоящее время существует достаточно много пакетов прикладных программ для моделирования процессов в электрических схемах, в том числе и в схемах силовых полупроводниковых преобразователей. Предполагается, что для построения компьютерных моделей аппаратов имеется необходимая библиотека всех входящих в схему элементов. Если модель какого-либо элемента в стандартном наборе отсутствует, ее требуется создать. Компьютерное моделирование процессов в преобразовательных устройствах требует обязательного учета характера и особенностей нагрузки. В сварочных преобразователях такой нагрузкой является электрическая дуга. В работе [1] элек-

трическая модель дуги представлена в виде двух переключаемых резисторов: высокоомного - для режима холостого хода и низкоомного - для режима горячей дуги (рис. 1.).

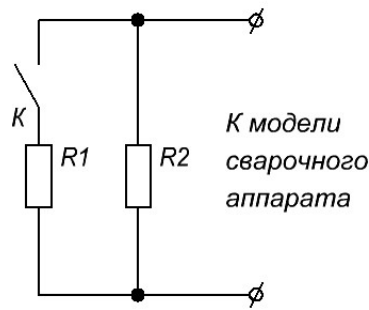


Рис. 1. Модель сварочной дуги в виде двух переключаемых резисторов

Однако такая модель не совсем корректна, поскольку дуга возбуждается и гаснет (обрывается) не мгновенно, а в течении некоторого времени, определяемого процессами ионизации и деионизации межэлектродного промежутка. По разным источникам [2,3] это время составляет 1-10 мкс. Наибольший интерес для разработчиков ИСА представляет процесс обрыва дуги, т.к. прерывание больших токов с учетом имеющихся в схемах различных реактивностей приводит к появлению на элементах схемы значительных импульсных перенапряжений, часто имеющих колебательный характер. С целью учета влияния дуги на этапе обрыва на характер переходных процессов были рассмотрены три варианта модели дуги: ранее упомянутая резистивная модель, модель с экспоненциальным характером снижения тока и модель с экспоненциально-колебательным характером. Схемы последних двух моделей приведены на рис. 2 и на рис. 3 соответственно.

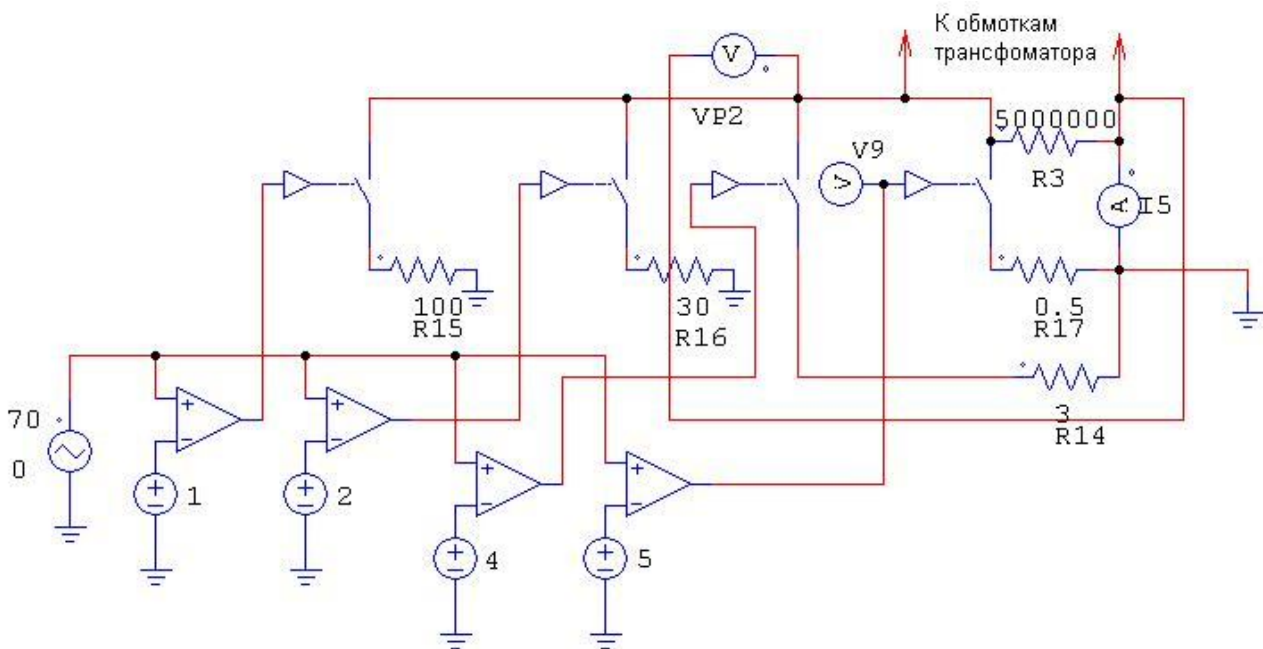


Рис. 2. Электрическая модель дуги с экспоненциальным характером снижения тока

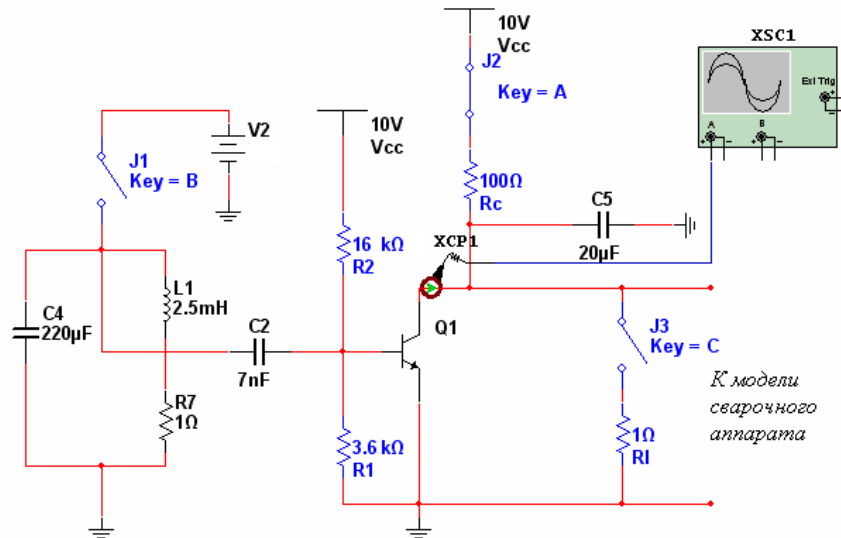


Рис. 3. Электрическая модель дуги с экспоненциально-колебательным характером снижения тока

В схеме на рис. 2 осуществляется ступенчатое переключение нагрузочных резисторов (имитирующих увеличение сопротивления разрядного промежутка при обрыве дуги) путем соответствующих команд на входах операционных усилителей. Схемы на рис. 1 и рис. 2 являются слишком грубым допущением, не отражающих всех особенностей реальных процессов. Известно, что процесс уменьшения тока дуги при ее обрыве происходит по сложному экспоненциально – колебательному закону [4].

Математическое выражение для процесса обрыва дуги ( в соответствии [4] ), можно представить в следующем виде:

$$F(t) = (A_1 + A_2 e^{-\frac{t}{T}} \cos(\omega t)) e^{-\frac{t}{T}} \quad (1)$$

Где первый множитель характеризует колебательно-затухающий процесс, а второй отвечает за общее затухание по экспоненциальному закону. В схеме на рис. 3 колебательно-экспоненциальный характер имитируется RC-цепью и колебательным контуром (L1, C4, R7).

На рис. 4, 5, 6 представлены три диаграммы изменения тока дуги на этапе обрыва, полученные на компьютерной модели.

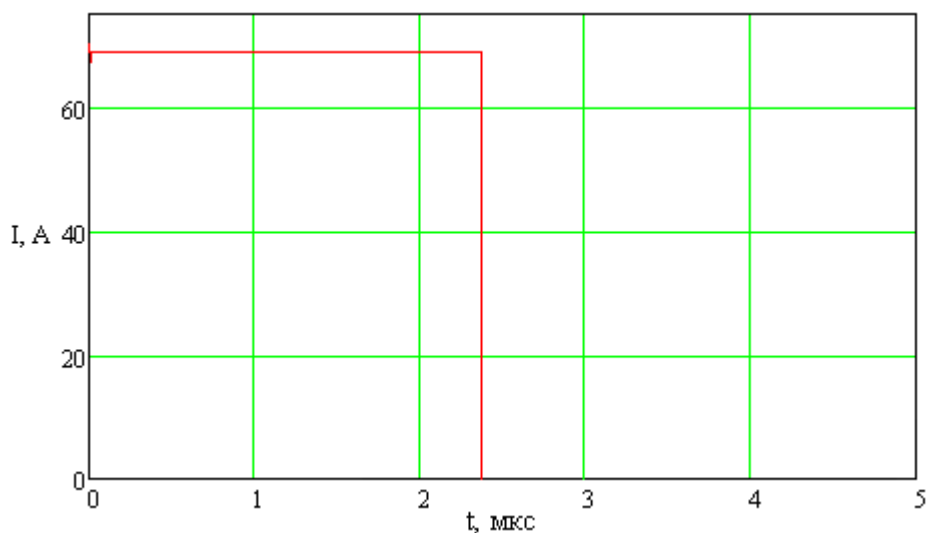


Рис. 4. Временная диаграмма тока на этапе обрыва сварочной дуги соответствующая двух резистивной модели

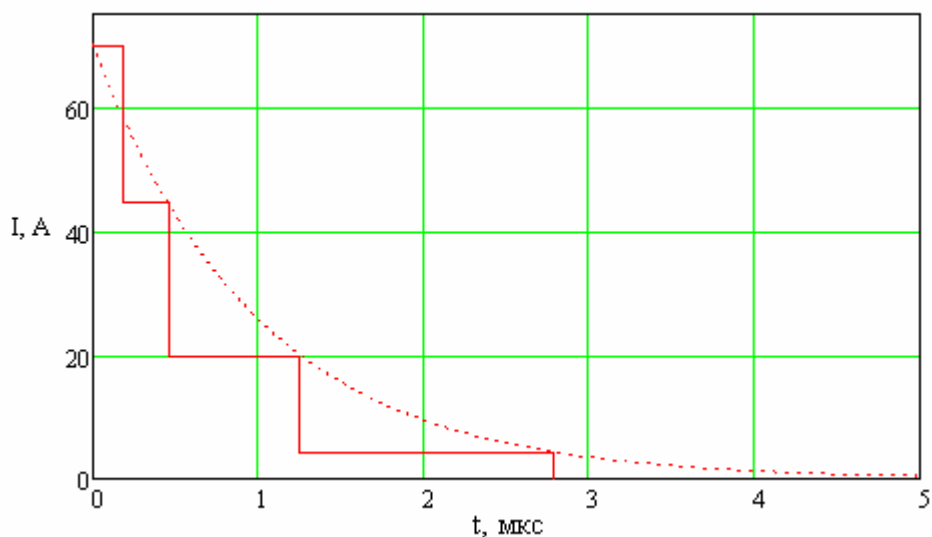


Рис. 5. Временная диаграмма тока на этапе обрыва сварочной дуги соответствующая модели с экспоненциальным характером снижения тока

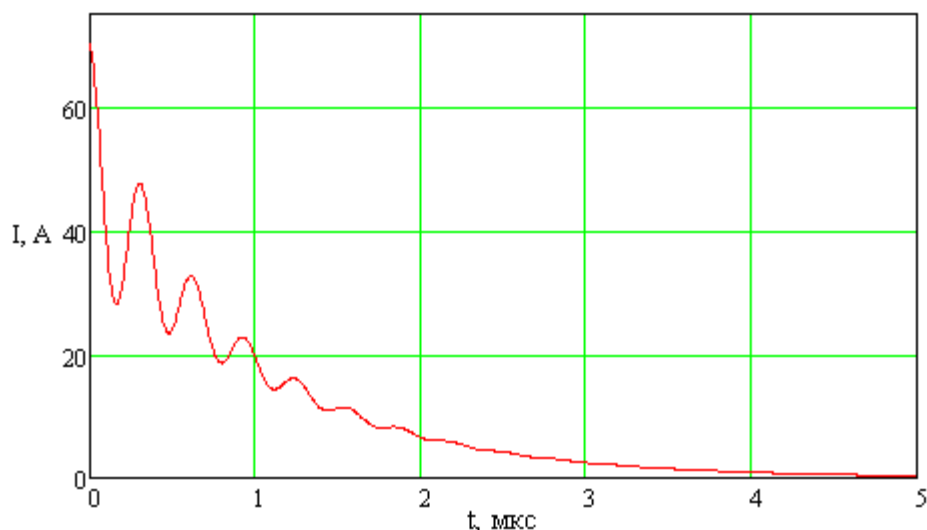


Рис. 6. Временная диаграмма тока на этапе обрыва сварочной дуги соответствующая модели с экспоненциально-колебательным характером снижения тока

Использование компьютерных моделей позволяет изучать процессы обрыва электрической дуги в сварочных аппаратах для обеспечения безотказной работы последних.

#### Литература.

1. Бардин В. М., Борисов Д. А. Переходные процессы в сварочных инверторах. Современная электроника, № 2, 2010. стр.52-53.
2. Лесков, Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков. – М: Машиностроение, 1970.
3. Десятков, Г.А. Теория цилиндрического дугового разряда / Г.А. Десятков, Е.С., Энгельшт. – Фрунзе, изд-во «Илим», 1985.
4. Теолейр С. Технология отключения в сетях среднего напряжения (СН). Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 14. стр. 11.

## Сведения об авторах



**Бардин Вадим Михайлович** к. т. н., профессор кафедры радиотехники Мордовского государственного университета. Автор более 150 печатных работ и 15 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Сфера научных интересов силовая и полупроводниковая электроника.



**Пивкин Антон Викторович** студент V курса кафедры радиотехники Мордовского государственного университета. Автор 5 публикаций.

Область научных интересов силовая преобразовательная техника.