

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРОЧНОГО ИНВЕРТОРА

Бардин В.М., Земсков А.В.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск,  
Институт физики и химии, кафедра радиотехники  
Тел. +7(917)6990808 E-mail: [lordio@rambler.ru](mailto:lordio@rambler.ru)

**Аннотация.** Динамика переходных процессов в сварочном инверторе в настоящее время остается недостаточно исследованной. В статье приводятся результаты компьютерного моделирования процессов в сварочном инверторе при изменении нагрузки (сопротивление электрической дуги). Показано, что замкнутая система управления аппаратом может существенно сократить время переходных процессов и улучшить качество стабилизации сварочного тока.

**Ключевые слова:** сварочный инвертор, переходный процесс, стабилизация тока, моделирование

**Annotation.** Now dynamics of transients in the welding inverter is still insufficiently investigated. In the article you can find results of computer modelling of processes in the welding inverter at loading change (resistance of an electric arc). The research showed, that the closed control system of the device can essentially reduce time of transients and improve quality of stabilisation welding current.

**Keywords:** welding inverter, transient, stabilisation current, modeling.

Сварочные инверторы на силовых IGBT транзисторах в настоящее время производят десятки зарубежных и отечественных фирм. Имея явное преимущество по массе, габаритам, сервисным функциям по сравнению с традиционными трансформаторно-дроссельными аппаратами, ИСА широко используются как в бытовых, так и в производственных условиях.

Аппараты хорошо проработаны в инженерно-конструкторском плане, однако целый ряд вопросов связанных с динамикой их работы пока исследовано слабо, что не позволяет полностью использовать потенциальные возможности ИСА. Один из таких вопросов связан с оптимизацией систем управления ИСА по критериям динамики переходных процессов на этапах смены режимов сварочного цикла и точности поддержания сварочного тока.

Под режимами сварочного цикла будем понимать режим холостого хода (XX) и режим дуговой сварки.

В процессе сварки могут иметь место три переходных процесса: XX – возбуждение дуги, изменение сопротивления дуги на этапе сварки, обрыв дуги – XX.

С точки зрения обеспечения высокого качества сварочного процесса желательно обеспечить минимальное время переходных процессов при смене участков и высокую точность поддержания величины сварочного тока на этапе существования дуги.

За объект при изучении динамики переходных процессов была выбрана наиболее распространенная схема ИСА – одноконтурный прямоходовой преобразователь, электрическая схема силовой части которого приведена на рис.1.

В качестве инструмента для исследования переходных процессов использовалось компьютерное моделирование.

В настоящее время существует целый набор программ для моделирования работы электронных схем. Наиболее популярными являются пакеты Pspice, MicroCAP, Matlab, PSim и ряд других. Для решения поставленных нами задач от среды моделирования требуется обеспечение следующих функциональных возможностей:

- наличие библиотеки моделей всех элементов, применяемых в принципиальной электрической схеме ИСА;
- возможность введения собственных моделей элементов, отсутствующих в библиотеке среды моделирования. При этом часть виртуальных моделей функциональных блоков, входящих в общую модель, могут не иметь физической реализации (в нашем случае это электрическая схема сварочной дуги);

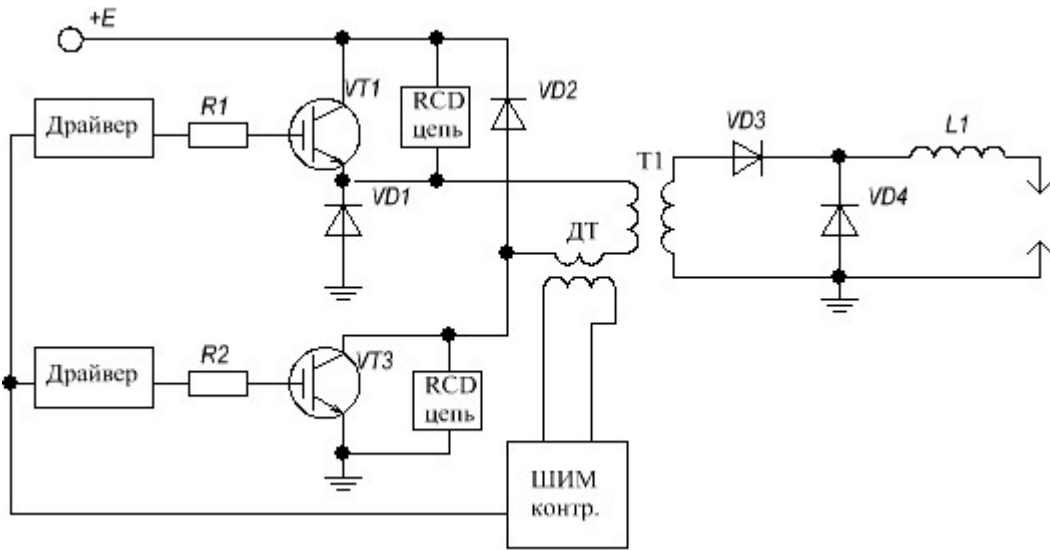


Рис.1. Электрическая схема силовой части ИСА

- возможность проведения анализа переходных процессов, который позволяет получить значения токов, напряжений, мощностей в различные моменты времени и визуальное отображение этих процессов;
- возможность проведения виртуальных экспериментов при различных значениях параметров схемы;
- возможность учитывать характерную особенность схемы силовой электроники, которая проявляется в том, что в схемах могут протекать низкочастотные и высокочастотные процессы. Например, в преобразователях с ключевым режимом работы на фронтах импульсов тока и напряжения могут появляться кратковременные затухающие колебательные процессы («дребезг»). Эти процессы должны учитываться при определении шага численного интегрирования высокочастотных процессов и времени анализа для низкочастотных процессов. Кроме того, при моделировании надо синхронизировать во времени период коммутации транзисторов и моменты возбуждения и обрыва сварочной дуги.

В данном случае был выбран пакет MicroCAP поскольку кроме прочих возможностей он адаптирован для решения задач параметрической оптимизации. На рис.2. приведена компьютерная модель ИСА с замкнутой системой регулирования по току.

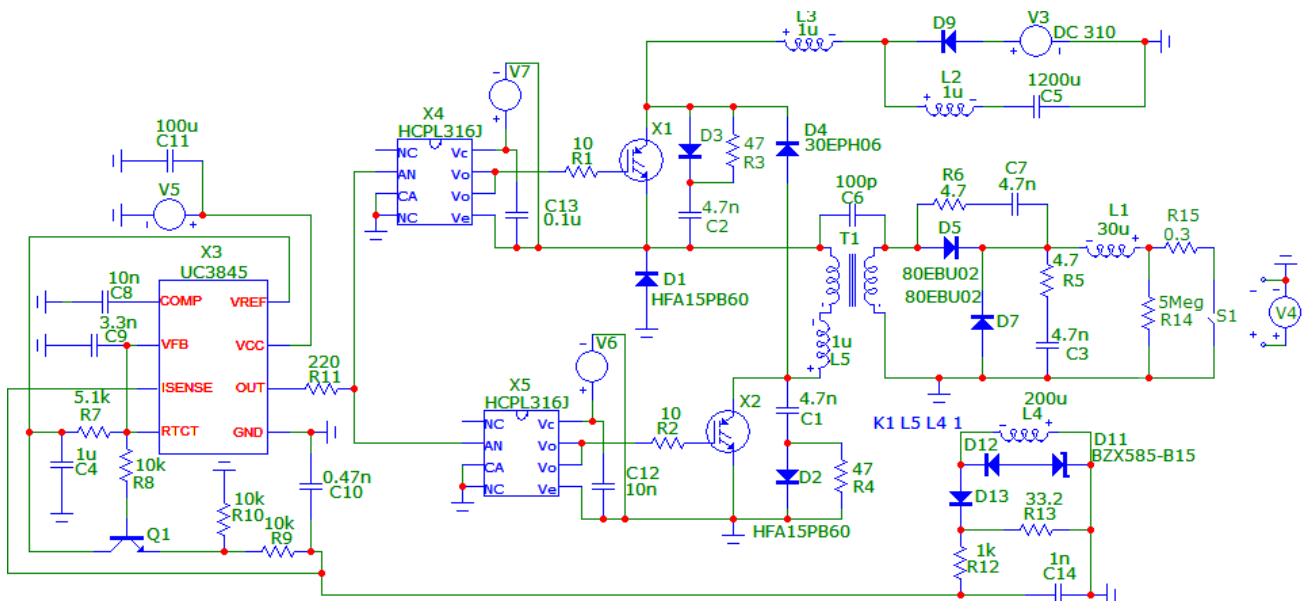


Рис.2. Компьютерная модель ИСА с замкнутой системой регулирования по току

Источником сигнала в системе регулирования является трансформатор тока (L4, L5) в первичной цепи инвертора. В зависимости от величины сигнала датчика изменяется ширина импульсов на выходе ШИМ-контроллера X3, которые через драйверы X4 и X5 поступают на затворы транзисторов инвертора. В результате изменяется величина тока через первичную обмотку трансформатора T1.

Реальный трансформатор всегда имеет индуктивность рассеивания (задана в модели T1) и межобмоточную емкость (C6), L2 и L3 распределенная паразитная индуктивность проводов. На динамические свойства ИСА они существенного влияния не оказывают.

Модель нагрузки задана резистивной. При подключении высокоомного резистора (5МОм) имитируется режим XX, при включении низкоомного резистора (0,3Ом) – режим горения дуги.

Система управления, состоящая из цепочки: датчик тока – ШИМ контроллер – драйвер – IGBT транзистор, не может мгновенно отреагировать на то или иное воздействие, поскольку каждое звено характеризуется определенной постоянной времени, т.е. временной задержкой сигнала.

По результатам анализа технических описаний элементов цепочки были получены следующие данные по временным задержкам. (см. Табл.1.)

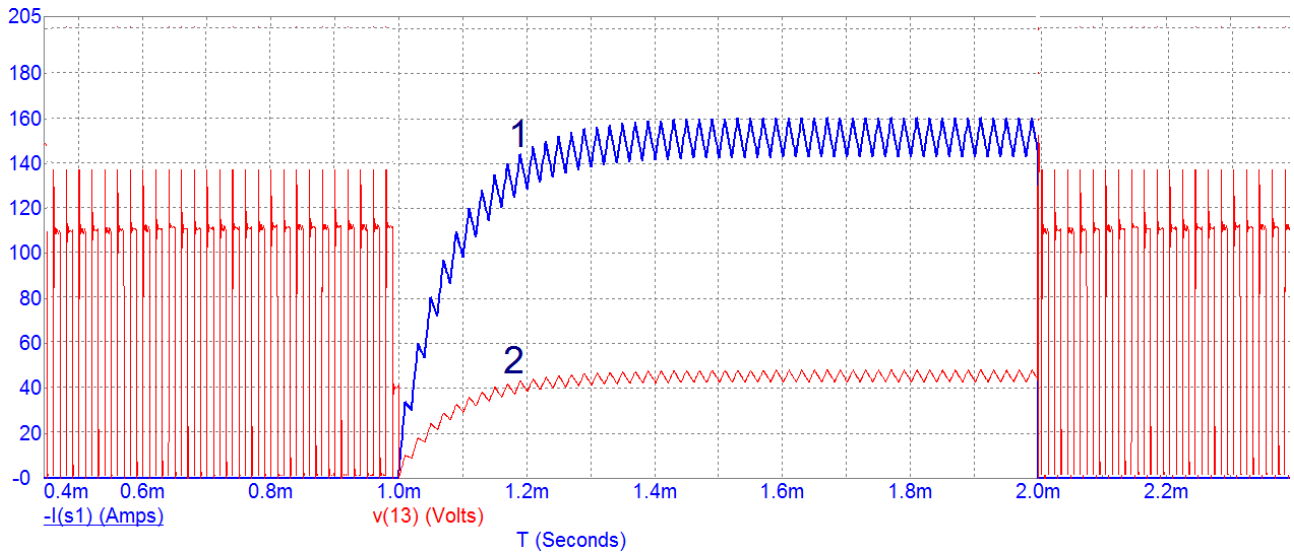
Таблица 1.

Наименование	Задержка
Датчик тока	5,5 мкс
ШИМ-контроллер (UC3844)	0,15 – 0,3 мкс
Драйвер (HCPL316J)	0,4 мкс
IGBT-транзистор (IRG4PC50UD)	40 – 50 нс

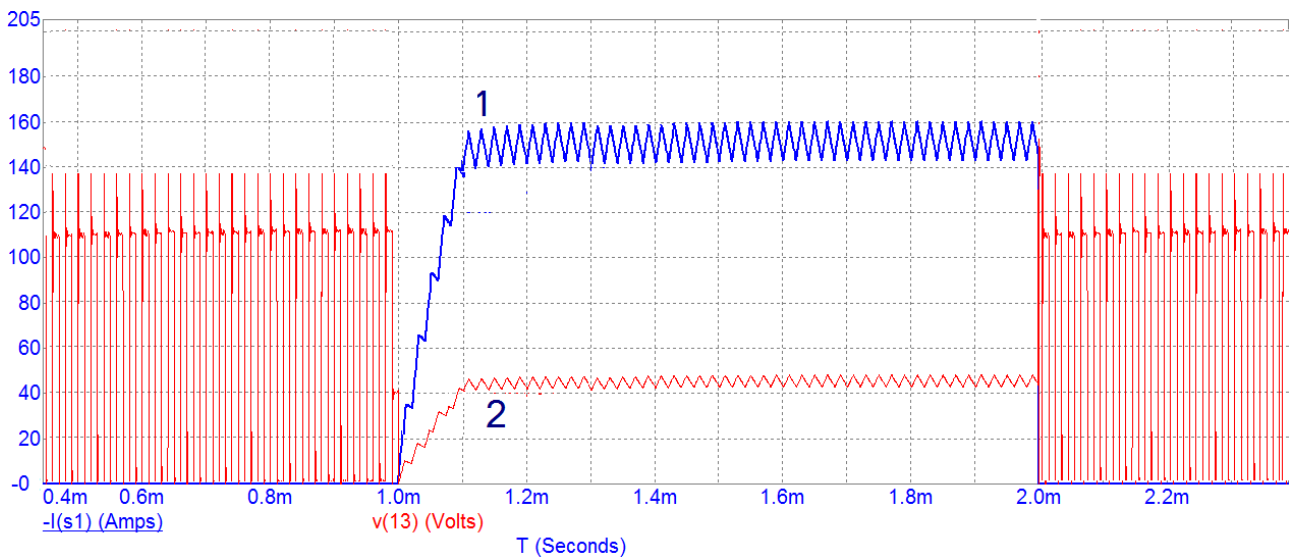
Суммарное время задержки от поступления сигнала на датчик до изменения напряжения, приложенного к выводам коллектор-эмиттер, составляет примерно 6,1 мкс. Рабочая частота сигнала управления равна 50 кГц. Следовательно, длительность импульса составляет 10 мкс.

Сравнивая эти величины можно прийти к выводу, что данная система не может оказывать влияние на переходные процессы, присутствующие на фронтах и срезах импульсов возникающих на транзисторах из-за наличия паразитных емкостей и индуктивностей. Однако она может воздействовать на динамические процессы, длительность которых сопоставима с несколькими периодами управляющих импульсов. За счет регулирования ширины импульсов можно уменьшить время динамических процессов и быстрее добиться стабилизации тока.

Для анализа характера переходных процессов при переходе с одного участка сварочного цикла на другой и оценки эффективности работы системы регулирования необходимо сравнить процессы при отсутствии и наличии САУ. На рис.3, приведены результаты моделирования на участке изменения режима с XX в режим горения дуги.



а)

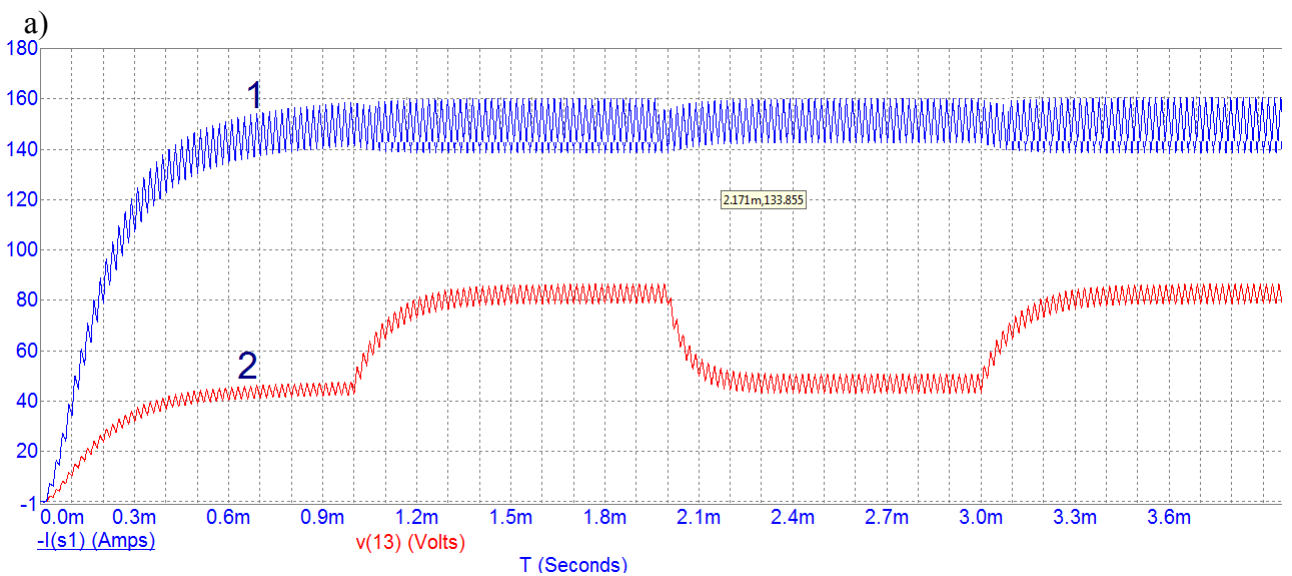
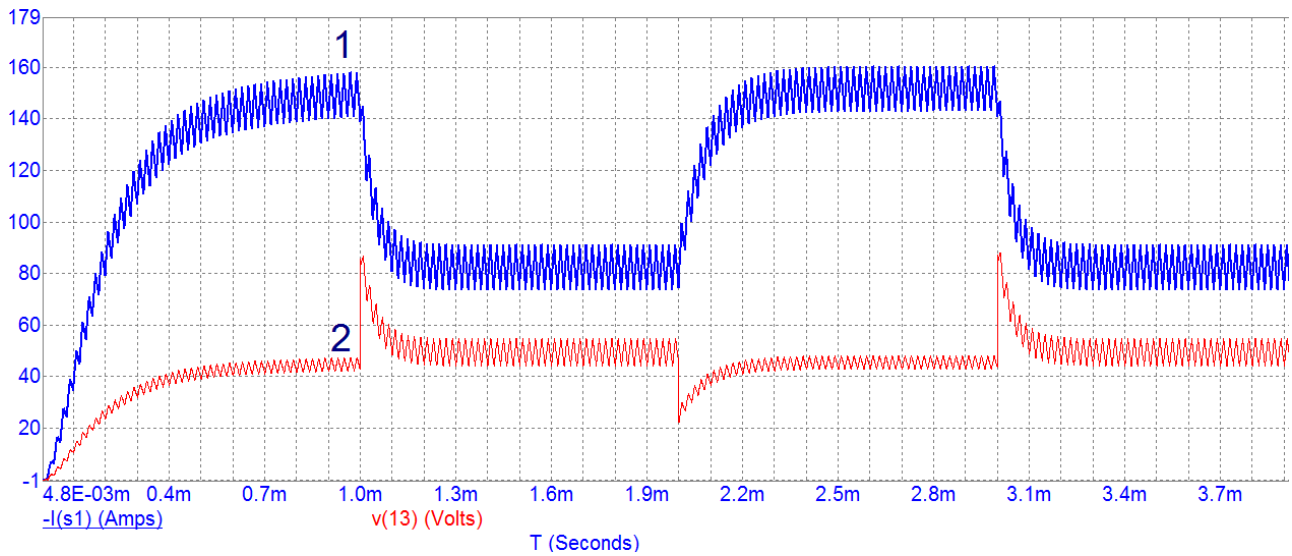


б)

Рис.3. Стабилизация тока при переходе из режима XX в режим горения дуги без обратной связи (рис. а) и с обратной связью (рис. б) (1 – график тока, 2 – график напряжения)

При разомкнутой цепи регулирования длительность импульсов управления является фиксированной и изменяться не может. Из сравнения полученных диаграмм следует, что при разомкнутой системе регулирования длительность переходного процесса составляет около 300 мкс, а при замкнутой – в три раза меньше.

Поскольку в процессе сварки длина дуги и ее сопротивление могут изменяться в некоторых пределах, представляет интерес выяснить характер изменения величины сварочного тока. На рис.4, приведены соответствующие диаграммы.



б)

Рис.4. Стабилизация тока при изменении нагрузки (с 0,3 Ом до 0,6 Ом) без обратной связи (рис. а) и с обратной связью (рис. б) (1 – график тока, 2 – график напряжения)

Из диаграмм следует, что при наличии замкнутой САУ при изменении сопротивления нагрузки колебания сварочного тока незначительны. Скорость динамического процесса также увеличивается, и время стабилизации соответствует 5 – 6 периодам импульсов управления.

## 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.



**Земсков Антон Владимирович** студент V курса кафедры радиотехники Мордовского государственного университета.

Область научных интересов силовая преобразовательная техника.