

# Моделирование переходных процессов в сварочном инверторе переменного тока высокой частоты

Вадим Бардин, Дмитрий Борисов (Саранск)

В статье изложены результаты компьютерного моделирования электрических процессов в силовой части инверторного сварочного аппарата переменного тока высокой частоты, приведены электрическая схема и компьютерная модель сварочного инвертора.

Появление мощных IGBT-транзисторов, предназначенных для работы в ключевых схемах, привело к их широкому использованию в различных преобразователях электрической энергии,

в том числе в сварочных инверторах. Отличаясь схемотехническими решениями, все сварочные аппараты инверторного типа имеют одну особенность: они предназначены для осуществле-

ния электродуговой сварки на постоянном токе.

В то же время анализ физических процессов, происходящих в сварочной дуге и сварочной ванне, даёт основания предполагать, что сварка на переменном токе высокой частоты может обеспечить более высокое качество сварного соединения по сравнению со сваркой на переменном токе промышленной частоты. Однако такое предположение требует экспериментального подтверждения. Для этого необходимо создать сварочный аппарат переменного тока частоты килогерцового диапазона и исследовать особенности его работы. Учитывая сложность задачи, целесообразно предварительные исследования выполнить на виртуальной (компьютерной) модели аппарата, а затем проверить её адекватность на физической модели. Такой подход даёт возможность оптимизировать схемотехническое и конструктивное решение сварочного аппарата.

В настоящее время на рынке программных средств, предназначенных

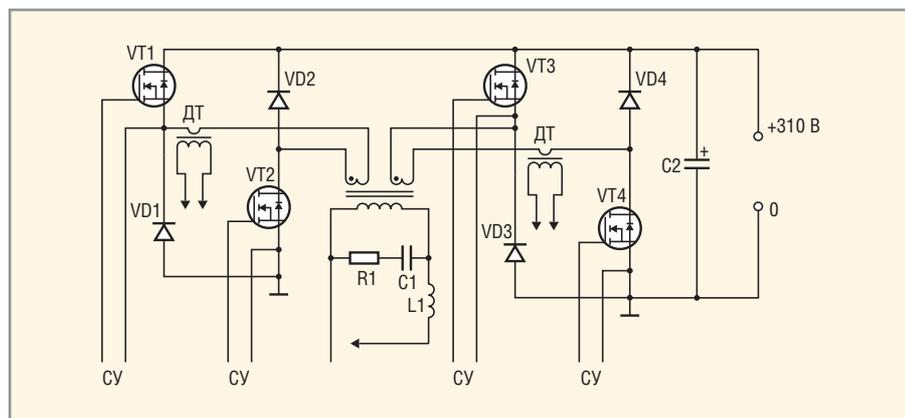


Рис. 1. Электрическая схема сварочного инвертора переменного тока высокой частоты

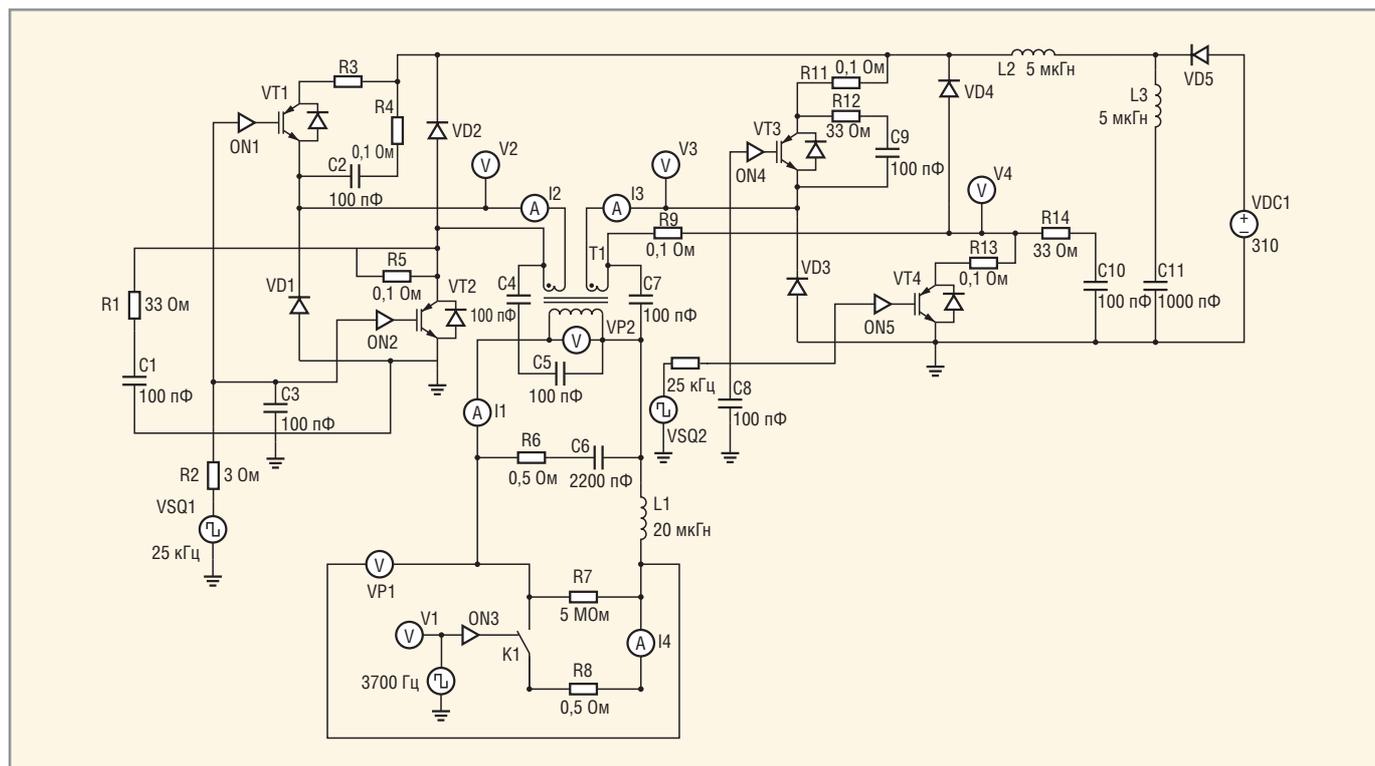


Рис. 2. Компьютерная модель сварочного инвертора переменного тока

для проектирования электронных цепей и устройств, можно насчитать более десятка специализированных пакетов. Наиболее распространёнными являются Pspice, MicroCAP, OrCAD, Matlab, Workbench, Multisim, PSIM и Simulink. Учитывая отзывы специалистов по проектированию силовых преобразователей электрической энергии, в качестве базовой среды моделирования был выбран специализированный пакет программ для моделирования схем силовой электроники PSIM.

На рисунке 1 приведена электрическая схема сварочного инвертора, а на рисунке 2 – её компьютерная модель. Левое, по схеме, плечо инвертора выполнено на транзисторах VT1, VT2, диодах VD1, VD2, правое – на транзисторах VT3, VT4, диодах VD3, VD4. IGBT-транзисторы каждого плеча преобразователя работают на частоте 25 кГц. Сигналы системы управления, подаваемые на затворы транзисторов, имитируются генераторами прямоугольных импульсов VSQ1, VSQ2. Выходы двух однотактных модулей инвертора подключены соответственно к двум первичным обмоткам трёхобмоточного силового трансформатора T1.

Для учёта паразитных параметров трансформатора в его модель введены межобмоточные ёмкости C4 и C7 и ёмкость вторичной обмотки C5. Сопротивления транзисторов в режиме насыщения имитируются резисторами R3, R5, R12 и R13. Индуктивности кабелей заданы значениями L1 и L2. Для моделирования электрических процессов в моменты возникновения и обрыва дуги, она имитируется двумя нагрузочными резисторами: высокоомным R7 и – через управляемый ключ K1 – низкоомным R8. В моменты времени, когда вторичная обмотка трансформатора T1 нагружена только на резистор R7, моделируется работа инвертора на холостом ходу.

При замыкании ключа K1 имитируется короткое замыкание, т.е. поджиг дуги. Частота коммутации ключа K1 выбрана на порядок меньшей рабочей частоты инвертора T1. Для облегчения возбуждения дуги параллельно вторичной обмотке трансформатора T1 включена цепочка R6C6, образующая с индуктивностью выходной обмотки трансформатора параллельный колебательный контур.

Целью моделирования являлся предварительный анализ характера пере-

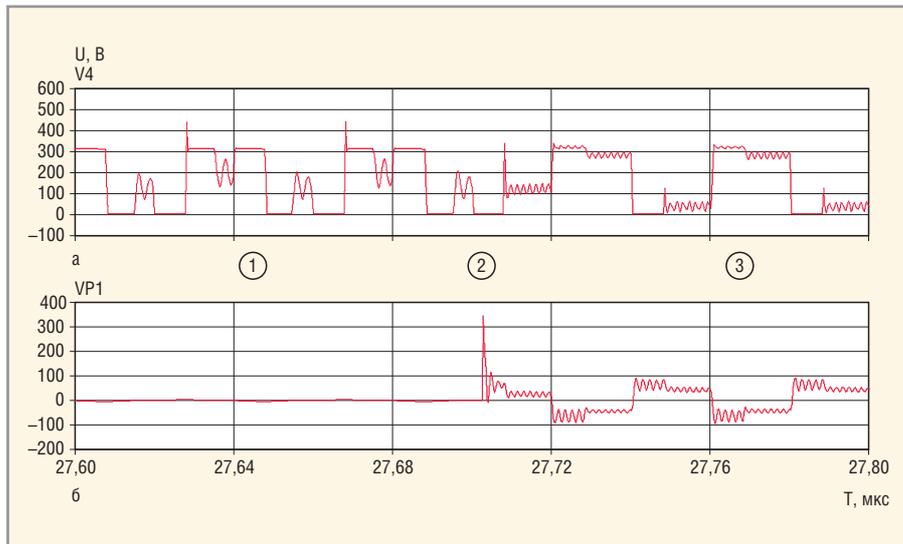


Рис. 3. Диаграммы напряжений, полученные на компьютерной модели сварочного инвертора переменного тока

а – форма напряжения на транзисторе, б – форма напряжения на вторичной обмотке трансформатора в режиме горения дуги (1), в момент обрыва дуги (2) и на холостом ходу (3)

ходных процессов для выявления наиболее значимых факторов, в частности:

- возможности резонансного возбуждения дуги;
- влияния на характер переходных процессов паразитных параметров трансформатора;
- наличия, характера и величины перенапряжений на транзисторах инвертора при их коммутации и обрыве дуги.

Полученные в результате компьютерного моделирования временные диаграммы процессов в контрольных точках схемы приведены на рисунке 3.

На основании результатов моделирования можно сделать следующие выводы:

- наличие резонансной цепи на выходе инвертора (L1C6R6) позволяет возбуждать электрическую дугу при пониженном рабочем напряжении на выходной обмотке трансформатора;
- из-за индуктивности рассеивания и ёмкости трансформатора в моменты коммутации транзисторов в схеме возникают переходные процессы, имеющие характер затухающих колебаний;
- величина перенапряжения на транзисторах в моменты их выключения может кратковременно превышать напряжение источника питания. Амплитуду этих перенапряжений можно снизить путём «затягивания» переднего фронта отпирающих импульсов. Однако из-за роста коммутационных потерь это затягивание

нецелесообразно увеличивать более 2...3 мкс;

- в момент обрыва дуги резко возрастает амплитуда перенапряжений.

Компьютерное моделирование схем сварочных инверторов позволяет не только определить характер переходных процессов при любых режимах работы аппарата, но и оценить влияние на эти процессы параметров конструктивных элементов. Так, для снижения уровня импульсных перенапряжений на транзисторах следует при конструировании трансформатора инвертора стремиться к минимизации его межобмоточных ёмкостей и индуктивности рассеивания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Эраносян С.А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. Энергоатомиздат, 1991.
2. Горский А.Н., Русин Ю.Н., Иванов Н.Р., Сергеев Л.А. Расчёт электромагнитных элементов источников вторичного питания. Радио и связь, 1988.
3. Теоретические основы электротехники. Том 2: Нелинейные цепи и основы теории электромагнитного поля. Под ред. П.А. Ионкина. Высшая школа, 1976.
4. Колтаков А. PSIM – программа анализа силовых преобразовательных устройств и систем. Электронные компоненты. 2003. № 6. С. 77–78.
5. Петров С. Схемотехника промышленных сварочных инверторов. Современная электроника. 2007. № 8. С. 42–47.
6. Петров С. «Косой» мост в картинках. <http://www.samopal.su/node/15>, 2008. ©