

# Переходные процессы в сварочных инверторах

Дмитрий Борисов, Вадим Бардин (Мордовия)

В статье приведена структурная схема электросварочного аппарата инверторного типа, рассмотрены особенности работы сварочных инверторов, связанные с возникновением в схеме переходных процессов, и представлены результаты исследования переходных процессов в компьютерной модели схемы инвертора типа «косой полумост», построенной в программной среде PSIM.

В настоящее время на рынке сварочной электротехники широко представлены сварочные инверторы постоянного тока. Типовая структурная схема такого аппарата приведена на рисунке 1. Выпрямленное напряжение питающей сети (1) с помощью полупроводникового инвертора (2) и трансформатора (3) преобразуется в импульсы, следующие с частотой несколько десятков килогерц. Энергия этих импульсов преобразуется в постоянный ток сварочной дуги выходным выпрямителем (4). Ток можно регулировать изменением длительности импульсов (ШИМ) при помощи модуля управления (5). Система управления, опрашивая датчики тока (6) и напряжения (8), позволяет задавать и стабилизировать сварочный ток, поддерживать оптимальный режим сварки, изменять наклон нагрузочной характеристики аппарата, осуществлять аварийные отключения. Дроссель (7) обеспечивает дополнительную стабилизацию процесса горения дуги.

Особенностью работы сварочных инверторов является динамический характер нагрузки. В моменты возбуждения и прерывания сварочной дуги и в процессе её горения нагрузка инвер-

торного модуля изменяется, что приводит к возникновению различных переходных процессов. Кроме того, при включении и выключении транзисторных ключей инвертора происходят кратковременные переходные процессы в виде затухающих высокочастотных колебаний на фронтах импульсов. Основной причиной возникновения колебаний является наличие паразитных емкостей и индуктивности рассеивания трансформатора инвертора.

Амплитуда напряжения на транзисторах в моменты возникновения переходных процессов может быть весьма значительной и даже превышать номинальное напряжение питания, которое при работе аппарата от сети 50 Гц/220 В составляет около 300 В. Во избежание пробоя транзисторов инвертора их предельное напряжение должно быть не менее 500...600 В. Кроме того, следует учитывать, что при работе инвертора транзисторы сильно нагреваются, что снижает запирающее напряжение и может стать причиной пробоя переходов.

Как показал анализ схемотехнических решений сварочных инверторов, наиболее распространёнными вари-

антами являются однотактный прямоходовой полумост (в отечественной терминологии «косой полумост») и мостовая схема [1, 2]. В качестве силовых ключей используются быстродействующие МОП-транзисторы либо IGBT. Режим «жёсткой» коммутации приводит к целому ряду проблем, связанных с характером переходных процессов при переключении транзисторов, возникновением и обрывом дуги, коротким замыканием, «залипанием» сварочного электрода и др. Изучение этих переходных процессов необходимо для обеспечения надёжной работы сварочного аппарата.

Поскольку исследование переходных процессов на реальных физических образцах аппаратов затруднительно из-за сложности оперативного изменения параметров высокочастотного сварочного трансформатора инвертора, характера сварочной дуги, формы сигналов управления и т.п., для предварительного анализа целесообразно использовать различные компьютерные модели, одна из которых представлена в данной статье.

В качестве объекта исследования была выбрана схема типа «косой полумост», а в качестве инструмента – специализированная программа PSIM [3]. На рисунке 2 представлена исследуемая виртуальная схема сварочного аппарата. Инвертор выполнен на транзисторах VT1, VT2, диодах VD1, VD2 и трансформаторе T1. Частота коммутации транзисторов составляет 50 кГц. Сигналы системы управления, подаваемые на затворы транзисторов, имитируются генератором прямоугольных импульсов VSQ1.

Компьютерная модель разработана с учётом паразитных параметров элементов схемы, оказывающих влияние на переходные процессы в инверторе: индуктивности рассеивания трансформатора и межобмоточных ёмкостей. Индуктивности рассеивания первичной и вторичной обмоток трансформатора приняты равными  $L_{\text{расс1}} = 15 \text{ мкГн}$  и  $L_{\text{расс2}} = 3 \text{ мкГн}$ . Межобмоточную паразитную ёмкость трансформатора и

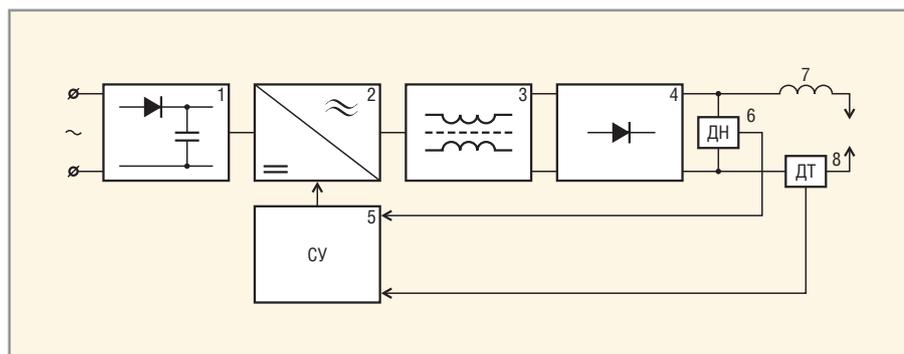


Рис. 1. Структура электросварочного аппарата инверторного типа

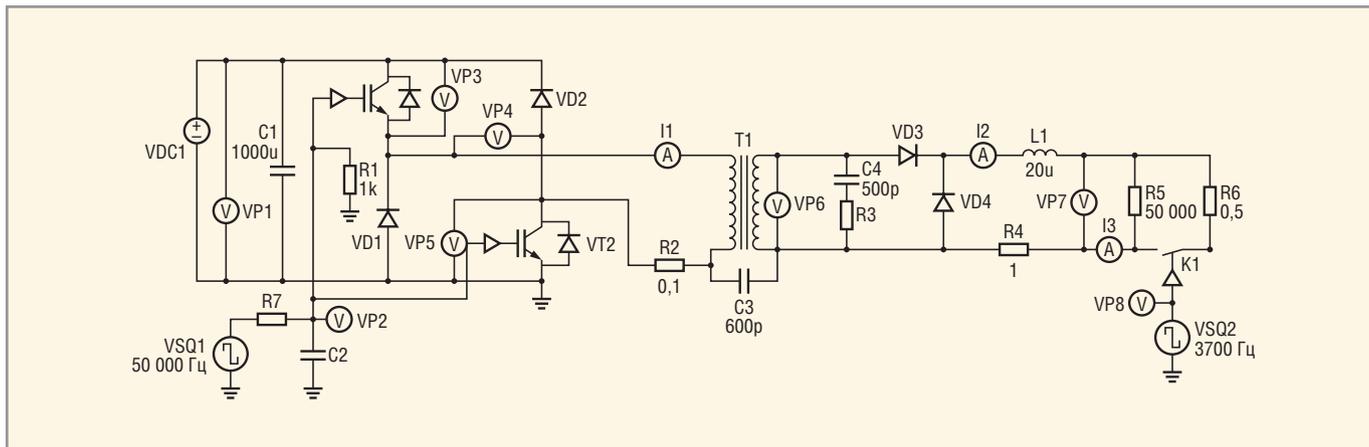


Рис. 2. Компьютерная модель однофазного инвертора в программе PSIM

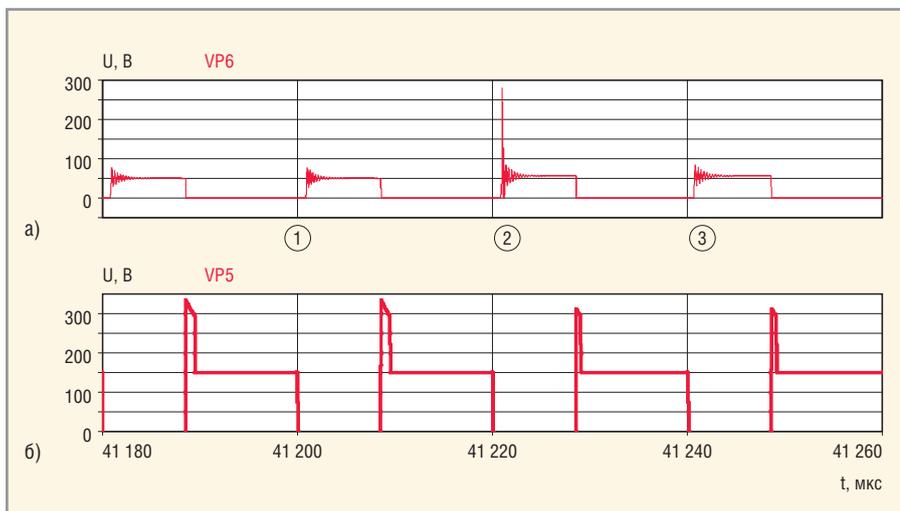


Рис. 3. Диаграмма напряжений на вторичной обмотке трансформатора (а) и транзисторе (б)

ёмкость вторичной обмотки имитируют конденсаторы C3 и C4 соответственно.

Для моделирования электрических процессов в моменты возникновения и обрыва дуги во вторичную цепь подключены два нагрузочных резистора: высокоомный R5 и – через управляемый ключ K1 – низкоомный R6. В моменты времени, когда вторичная обмотка трансформатора T1 нагружена только на резистор R5, моделируется работа инвертора на холостом ходу. При замыкании ключа K1 имитируется короткое замыкание, т.е. возбуждение дуги. Частота коммутации ключа K1 выбрана на порядок меньшей рабочей частоты инвертора.

В модели предусмотрена возможность изменения длительности фронтов отпирающих импульсов путём изменения параметров цепи R7C7. Полученные в результате моделирования диаграммы напряжений и токов в контрольных точках схемы приведены на рисунке 3. Участок 1 соответствует режиму горения дуги, участок 2 – её

обрыву, участок 3 – режиму холостого хода.

Амплитуда перенапряжений на транзисторах в моменты их коммутации может составлять более 350 В. Перенапряжения можно снизить путём «затягивания» переднего фронта отпирающих импульсов (см. рис. 4). Однако при этом в транзисторах будет возрастать мощность коммутационных потерь, поэтому такое «затягивание» не должно превышать 2...3 мкс.

### Выводы

Компьютерное моделирование схем сварочных инверторов позволяет определить характер переходных процессов при любых режимах работы аппарата и оценить влияние параметров конструктивных элементов. Выявлено, что из-за наличия индуктивности рассеивания трансформатора и наличия у него паразитных емкостей, при коммутации транзисторов в схеме возникают переходные процессы, имеющие характер затухающих колебаний. В момент обрыва дуги резко возрастает амплитуда перенапряже-

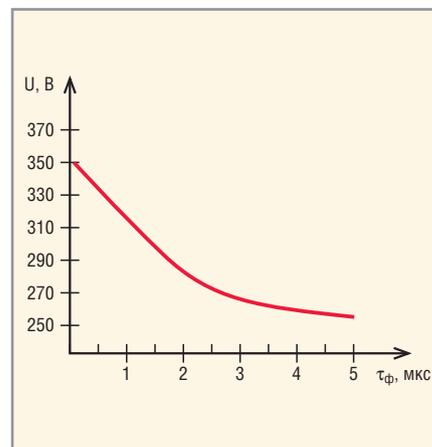


Рис. 4. Зависимость амплитуды перенапряжения на транзисторе от длительности фронта импульсов управления

ний на транзисторах, и в моменты выключения транзисторов она может превышать напряжение источника питания. Амплитуду перенапряжений можно снизить путём «затягивания» переднего фронта отпирающих импульсов. Однако из-за роста коммутационных потерь это «затягивание» не рекомендуется увеличивать свыше 2...3 мкс.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Эраносян С.А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. Энергоатомиздат, 1991.
2. Петров С. Схемотехника промышленных сварочных инверторов. Современная электроника. 2007. № 8. С. 42–46.
3. Колтаков А. PSIM – программа анализа силовых преобразовательных устройств и систем. Электронные компоненты. 2003. № 6. С. 77–82.
4. Патент RU 2253551 С1. Способ дуговой электросварки и устройство для дуговой электросварки.
5. Патент RU 2311996 С1. Способ дуговой сварки и устройство для его осуществления.

