

Оптимизация инверторного источника знакопеременного тока повышенной частоты

по критерию КПД

Транзисторные инверторы широко применяются при построении вторичных источников электропитания различного назначения, в том числе и в качестве источников сварочного тока. Одним из главных показателей таких устройств является их КПД. В данной статье на примере транзисторного сварочного источника с ШИМ-регулированием тока решается задача определения зоны оптимального КПД с учетом двух факторов режима работы: рабочей частоты и скважности импульсов тока.

Владимир Бардин
Антон Пивкин

В инверторных источниках знакопеременного тока с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ-регулированием) выходного тока одним из главных показателей, кроме выходной мощности, является коэффициент полезного действия (КПД). КПД определяется потерями в элементах силовой части электрической схемы преобразователя, которые связаны со спектральным составом тока, зависящим, в свою очередь, от факторов режима работы.

Известно, что наименьшие потери в полупроводниковых коммутирующих элементах достигаются при их работе в ключевом режиме, когда форма импульсов тока близка к прямоугольной. Однако при ШИМ-регулировании изменяется скважность импульсов тока, и поэтому такой режим приводит к формированию широкого спектра гармоник тока, что влияет на величину потерь в силовых элементах инвертора: транзисторном модуле и силовом трансформаторе.

Если подходить к проблеме с позиции энергосбережения, то желательно определить, какой

режим работы преобразователя позволяет обеспечить максимальный КПД. При решении данной задачи в качестве объекта исследования был выбран сварочный инвертор знакопеременного тока частоты ультразвукового диапазона [1, 2]. Электрическая схема его силовой части приведена на рис. 1.

В качестве факторов, влияющих на потери в аппарате и КПД, приняты:

- рабочая частота (25–75 кГц);
- скважность импульсов тока (2–20).

В качестве дополнительного фактора задана длительность фронтов отпирающих импульсов (1–10 мкс). Активными элементами преобразователя являются силовые IGBT-транзисторы.

Исследования проводились на виртуальной модели инверторного сварочного аппарата (ИСА) в программной среде MATLAB SymPowerSystem. Виртуальная модель в данной программной среде приведена на рис. 2.

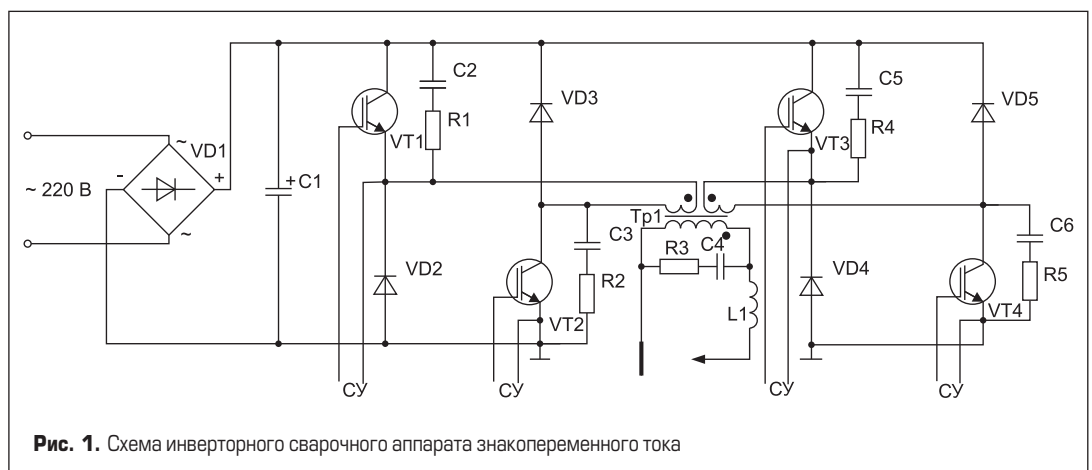


Рис. 1. Схема инверторного сварочного аппарата знакопеременного тока

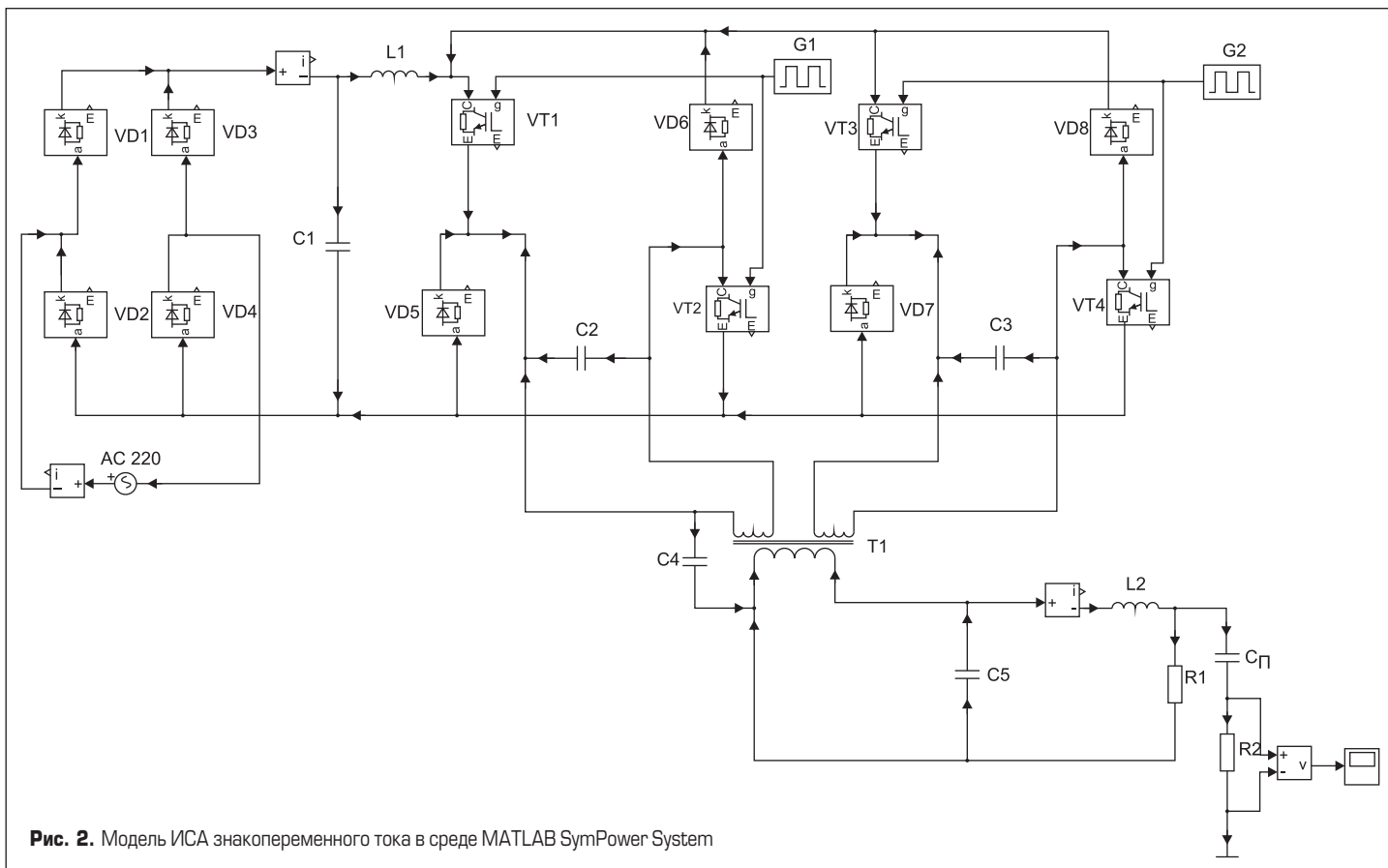


Рис. 2. Модель ИСА знакопеременного тока в среде MATLAB SymPower System

При построении модели были учтены величины основных параметров входящих в модель элементов:

- внутреннее сопротивление источника питания — 0,1 Ом;
- сопротивление VT1–VT4 во включенном состоянии — 61 мОм;
- индуктивность VT1–VT4 во включенном состоянии — 12 нГн;
- падение напряжения на VT1–VT4 в прямом направлении — 1 В;
- время спада тока VT1–VT4 до уровня 0,1 от тока в момент выключения — 1 мкс;
- сопротивление демпфирующей цепи VT1–VT4 — 22 Ом;
- емкость демпфирующей цепи VT1–VT4 — 3300 пФ;
- номинальная полная мощность трансформатора T1 — 3 кВА;
- номинальная частота трансформатора T1 — 25 кГц;
- сопротивление цепи намагничивания T1 — 4,8 кОм;
- индуктивность цепи намагничивания T1 — 0,01 Гн;
- действующее значение напряжения первичной обмотки T1 — 310 В;
- активное сопротивление первичной обмотки T1 — 0,019 Ом;
- действующее значение напряжения вторичной обмотки T1 — 40 В;
- активное сопротивление вторичной обмотки T1 — 0,001 Ом;
- индуктивность выводов входных конденсаторов, распределенная индуктивность силовых шин и силовых проводников L1 — 0,1 мкГн.

Результаты исследования ширины спектра и КПД аппарата при различных количественных значениях воздействующих факторов приведены на рис. 3–9.

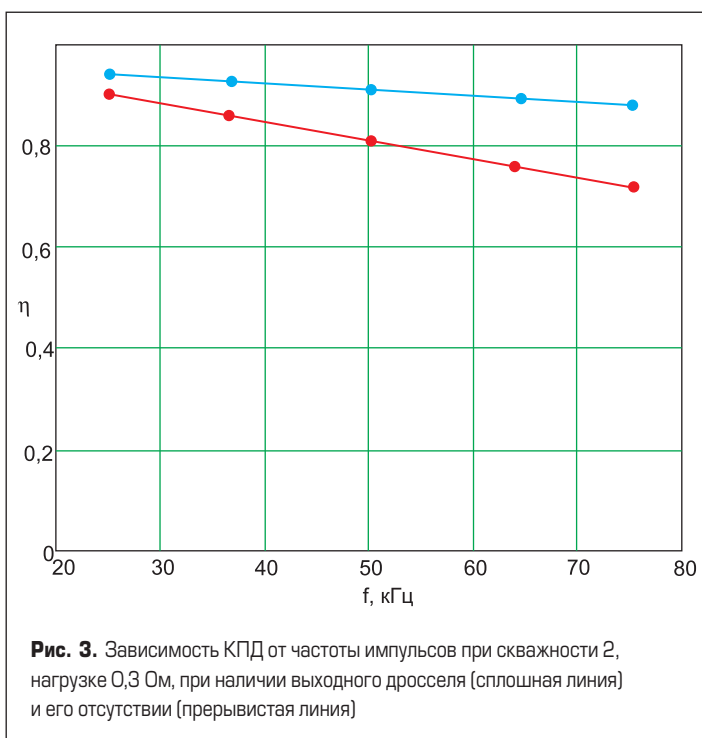


Рис. 3. Зависимость КПД от частоты импульсов при скважности 2, нагрузке 0,3 Ом, при наличии выходного дросселя (сплошная линия) и его отсутствии (прерывистая линия)

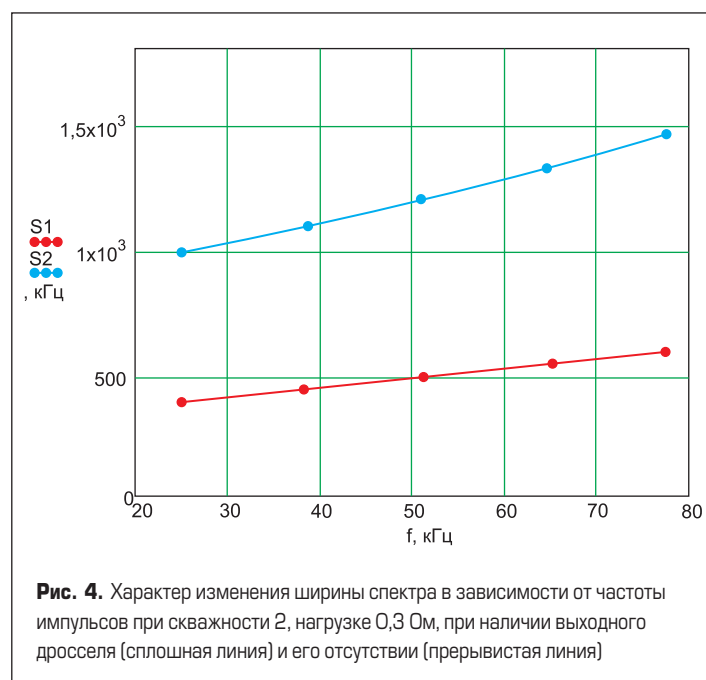


Рис. 4. Характер изменения ширины спектра в зависимости от частоты импульсов при скважности 2, нагрузке 0,3 Ом, при наличии выходного дросселя (сплошная линия) и его отсутствии (прерывистая линия)

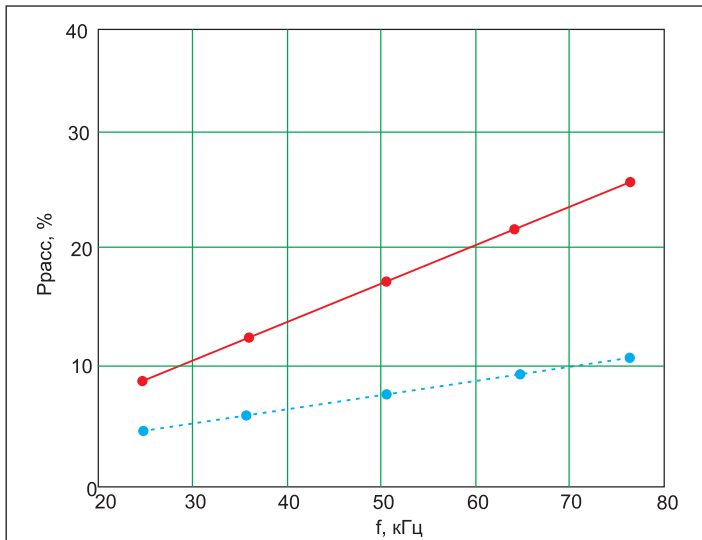


Рис. 5. Зависимость мощности, рассеиваемой на транзисторах, от частоты при фиксированной скважности, равной 2, при наличии выходного дросселя (сплошная линия) и его отсутствии (прерывистая линия)

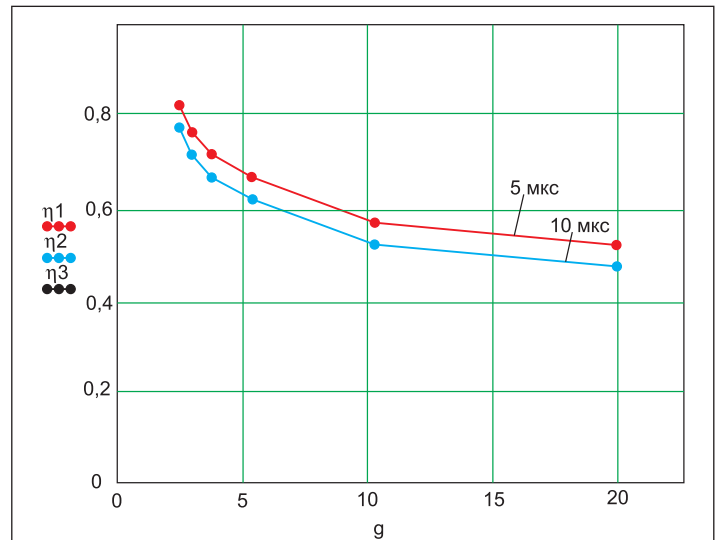


Рис. 8. Зависимость КПД ИСА переменного тока от скважности импульсов при частоте 25 кГц и нагрузке 0,3 Ом при различной длительности фронтов импульсов управления

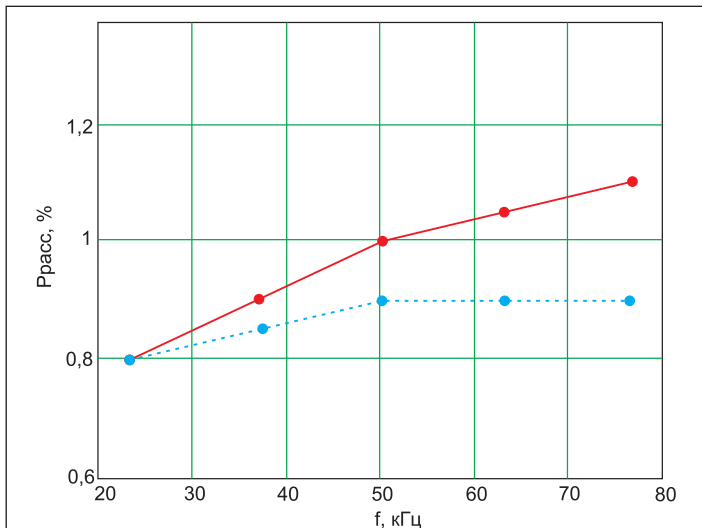


Рис. 6. Зависимость мощности, рассеиваемой на трансформаторе, от частоты при фиксированной скважности, равной 2, при наличии выходного дросселя (сплошная линия) и его отсутствии (прерывистая линия)

Если исходить из необходимости обеспечения максимального КПД в многофакторном пространстве влияющих факторов (в данном случае их два: рабочая частота и скважность), то критерием оптимальности может служить минимум потерь в элементах инвертора, в частности, в транзисторном модуле и силовом трансформаторе. Очевидно, существует некоторая зона рабочих частот и параметров импульсов, где общие потери в трансформаторе и транзисторах будут минимальны, и соответственно, КПД — максимальным. Общие потери в трансформаторе и транзисторах с учетом спектрального состава тока инвертора, который, в свою очередь, связан с рабочей частотой и скважностью импульсов тока, были оценены с помощью программы MATLAB SymPowerSystem. Результаты расчета приведены на рис. 10.

Наложение двух зон с минимальными потерями позволяет получить зону оптимальных КПД с учетом всех влияющих факторов. Как видно на рис. 10, она находится в диапазоне рабочих частот 25–35 кГц при скважности 2–4.

Выводы

- КПД инверторного источника знакопеременного тока, работающего на активное сопротивление (сварочную дугу), зависит, в основном,

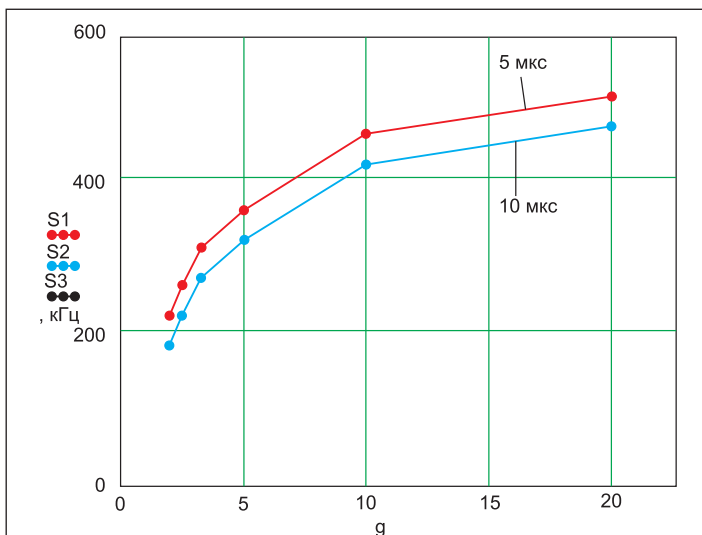


Рис. 7. Характер изменения ширины спектра импульсов тока в зависимости от скважности g при различной длительности фронтов импульсов управления

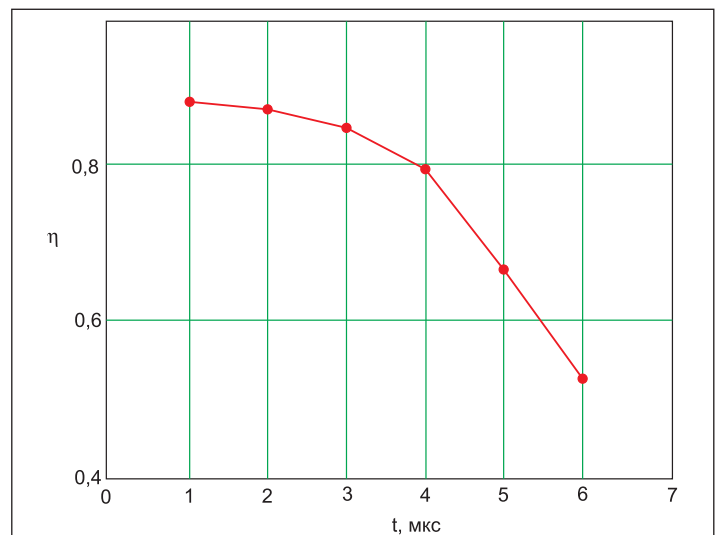


Рис. 9. Зависимость КПД ИСА переменного тока при частоте 25 кГц, скважности 2 и нагрузке 0,3 Ом при различной длительности фронтов импульсов управления

от потерь в транзисторах и силовом трансформаторе. А они, в свою очередь, зависят от рабочей частоты инвертора, скважности импульсов тока и некоторых других факторов — наличия или отсутствия выходного дросселя, крутизны фронта импульсов управления транзисторами.

- С учетом всех этих факторов, оптимальной зоной работы инверторных источников знакопеременного тока на IGBT следует считать рабочую частоту 25–35 кГц при скважности 2–4.
- Ширина спектра тока преобразователя и его КПД зависят от крутизны фронтов импульсов управления IGBT. На рабочей частоте 25–35 кГц и скважности 2–4 для обеспечения высокого КПД преобразователя длительность фронтов отпирающих импульсов не должна превышать 1–3 мкс.
- Наличие выходного дросселя с индуктивностью около 10 мкГн на рабочей частоте преобразователя 25 кГц мало влияет на величину КПД, но существенно сокращает ширину спектра тока.

Литература

1. Пат. № 2412031 (РФ) МПК 8 В23 К9/09. Устройство для электродуговой сварки / В. М. Бардин, Д. А. Борисов // Публ. 20.02.2011.
2. Бардин В. М., Борисов Д. А. Сварочный аппарат переменного тока высокой частоты // Сварочное производство. 2011. № 5.

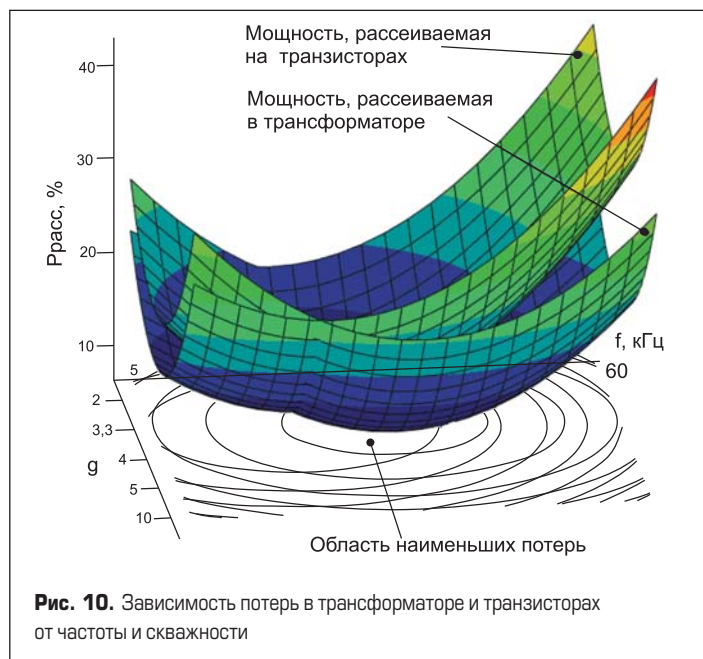


Рис. 10. Зависимость потерь в трансформаторе и транзисторах от частоты и скважности