

# РАБОТА УНИФИЦИРОВАННЫХ МОДУЛЕЙ ПИТАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

**Игорь Твердов**, научный консультант ООО «Александр Электрик источники электропитания»  
**Юрий Мамонтов**, генеральный директор ЗАО «Инженерный Центр ВНИИСТ-Поиск»  
**Александр Симонов**, ведущий конструктор ЗАО «Инженерный Центр ВНИИСТ-Поиск»

**В статье анализируются особенности работы универсальных модулей питания на динамическую нагрузку. Рассматривается принцип работы преобразователя частоты, используемого в генераторе устройства контроля положения и состояния изоляции подземных трубопроводов.**

Модули питания открывают новые возможности в построении электротехнических устройств. На модулях надежно и эффективно работают мощные выпрямители, многоканальные блоки питания, источники бесперебойного питания постоянного тока и др. В этих применениях модули работают в статических режимах, когда сброс и наброс нагрузки происходит эпизодически. Но уже предпринимаются попытки применения универсальных модулей для создания инверторов с синусоидальным выходным напряжением, а, кроме того, широкое распространение получают преобразователи частоты. В таких аппаратах модули питания работают в режимах, когда сброс и наброс нагрузки от холостого хода до номинальной мощности происходит с частотой от сотен герц до единиц килогерц.

Для генерирования высокочастотных токов в диапазоне мощности от сотен ватт до единиц киловатт наиболее эффективны и преимущественно используются преобразователи частоты с явно выраженным звеном постоянного тока, в основе которых лежат мостовые схемы инвертирования. В такой преобразователь частоты входят два основных звена: сетевой выпрямитель и высокочастотный инвертор (см. рис. 1). Современный сетевой выпрямитель просто и надежно строится на основе модулей питания AC/DC. Отечественные и зарубежные модули этого класса имеют высокую надежность и КПД, малые габариты и массу, допускают параллельное и последовательное соединение по выходу. В состав модульного выпрямителя обычно входят несколько модулей мощностью 0,5...2 кВт и блок включения коррекции и контроля [1].

Постоянное напряжение с выхода выпрямителя поступает на высокочастотный инвертор. Инверторы мощностью от сотен Вт до единиц кВт строятся, как правило, по мостовой схеме

на полевых транзисторах. Цифровая схема управления инвертора генерирует прямоугольные импульсы на частоте преобразования. Для исключения сквозных токов в транзисторах мостового инвертора между прямоугольными импульсами управления вводится пауза. При этом ток на входе инвертора изменяется от номинального значения в течение импульса до нуля в паузе. Так как этот ток является током нагрузки модулей питания, последние работают в динамическом режиме, когда с удвоенной частотой инвертирования происходит изменение нагрузки от холостого хода до номинальной мощности.

Динамические режимы работы модулей AC/DC изучены недостаточно полно. Поэтому представляется интересным выполнить анализ совместной работы модуля и мостового инвертора. Для большинства отечественных и зарубежных унифицированных модулей нестабильность выходного напряжения составляет  $\pm 3\%$  для основного канала,  $\pm 13\%$  для дополнительного и нормируется только для изменения тока нагрузки от  $0,1I_{ном}$  до  $I_{ном}$ . Во время паузы, когда ток нагрузки равен нулю, напряжение на выходе модуля превышает эти значения.

Экспериментальные исследования работы модулей (в частности, модуля МАА 600 – 2С2424 производства ООО «Александр Электрик источники электропитания», имеющего два выхода – охваченный и неохваченный ООС) в диапазоне нагрузок от 0 до  $0,1I_{ном}$  показали, что по первому каналу, охваченному отрицательной обратной связью, превышение достигает 10% от номинального значения, а по второму каналу – 20% (см. рис. 2).

На временных диаграммах (см. рис. 3), которые для наглядности выполнены при длительности импульса  $\tau_{и}$ , соизмеримой с длитель-

ностью паузы  $\tau_{п}$ , приведены значения: напряжения на выходе инвертора  $u_{вых}$  с амплитудой  $U_{ном}$  (см. рис. 3а); тока на входе инвертора  $i_1$  с амплитудой  $I_{ном}$  (см. рис. 3б), а также напряжения на выходе первого и второго каналов модуля  $u_{вых I}$ ,  $u_{вых II}$  (см. рис. 3в, г). Как видно из диаграмм, во время паузы на выход

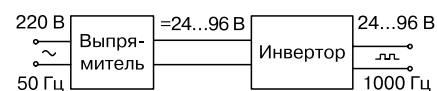


Рис. 1. Типичная блок-схема мощного генератора

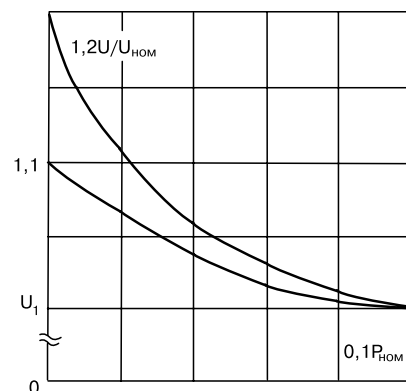


Рис. 2. Изменение выходного напряжения при малых (менее 0,1 от номинала) нагрузках

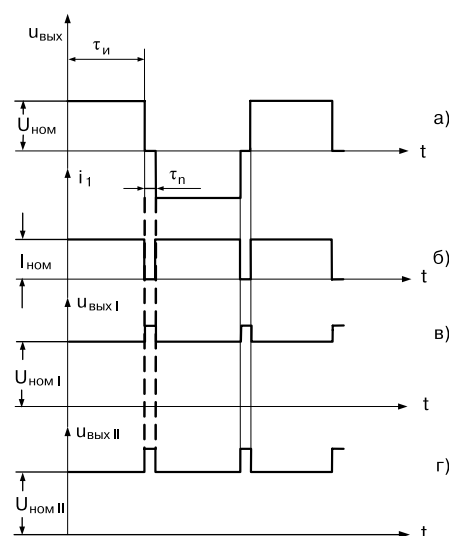


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений и токов в инверторе

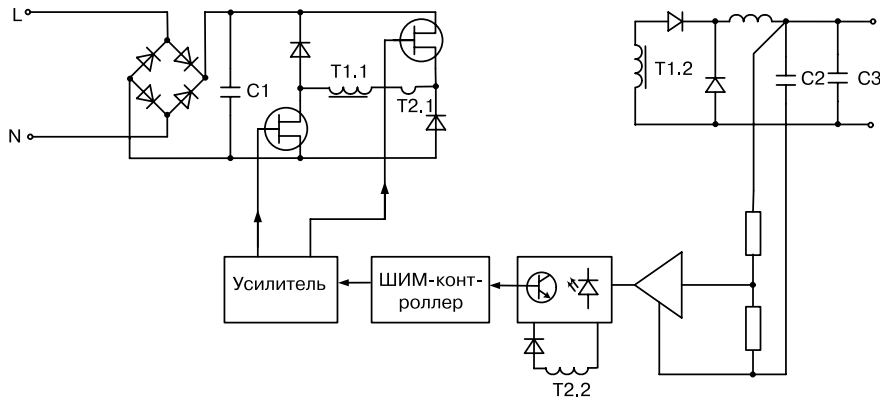


Рис. 4. Структурная схема модуля преобразователя напряжения

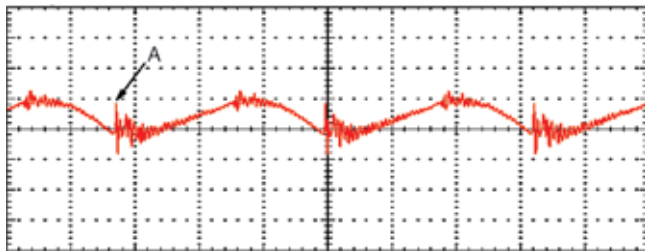


Рис. 5. Осциллограммы выходного напряжения преобразователя

ты переключения транзисторов и диодов преобразователя (импульс А на рисунке 5) и разогреваются коммутационными импульсами. При динамической нагрузке во время паузы танталовые конденсаторы дополнительно заряжаются и разряжаются импульсами тока с крутыми фронтами и с амплитудой номинального тока нагрузки, что приводит к увеличению в них потерь, еще большему разогреву и выходу из строя. Совершенно очевидно, что для совместной работы модуля питания и мостового инвертора необходимо буферное устройство. Проще всего для этой цели использовать дроссель. Если учесть, что для мостовых инверторов на полевых транзисторах необходима пауза небольшой длительности, можно считать изменение тока через дроссель линейным и интерпретировать известную формулу  $u_L = L di/dt$ , как  $U_L = L \Delta I / \Delta t$ , где  $U_L$  — напряжение, приложенное к дросселю;  $\Delta I$  — допустимое изменение тока;  $\Delta t$  — длительность паузы для исключения сквозных токов;  $L$  — индуктивность дросселя. После установки дросселя необходимо зашунтировать вход инвертора емкостью, чтобы избежать увеличения напряжения на транзисторах в момент возврата реактивной энергии при активно-индуктивной нагрузке.

Результаты анализа были использованы при проектировании генератора устройства контроля положения и состояния изоляции подземных трубопроводов. Для локализации повреждений изоляции трубопроводов в генераторе используется ток частотой 1000 Гц. Генератор работает на нагрузку более 2 Ом и обеспечивает создание тока в трубопроводе по цепи земля–труба амплитудой до 12 А. Так как длина обследуемого участка трубопровода меняется, а состав грунта может быть самым разнообразным, выходное напряжение генератора приходится менять в широких (4:1) пределах. Испытания опытного образца показали, что первоначально выбранные выходные напряжения генератора с диапазоном 16... 64 В оказались недостаточными по величине и были скорректированы до значений 24...96 В. В результате необходимая выходная мощность генератора достигла  $P_{\text{нм}} = U_{\text{нм}} I_{\text{нм}} = 96 \text{ В} \cdot 12 \text{ А} = 1152 \text{ Вт}$ .

Полная структурная схема генератора приведена на рисунке 6. Напряжение 220 В, 50 Гц от автономного источника поступает на входы

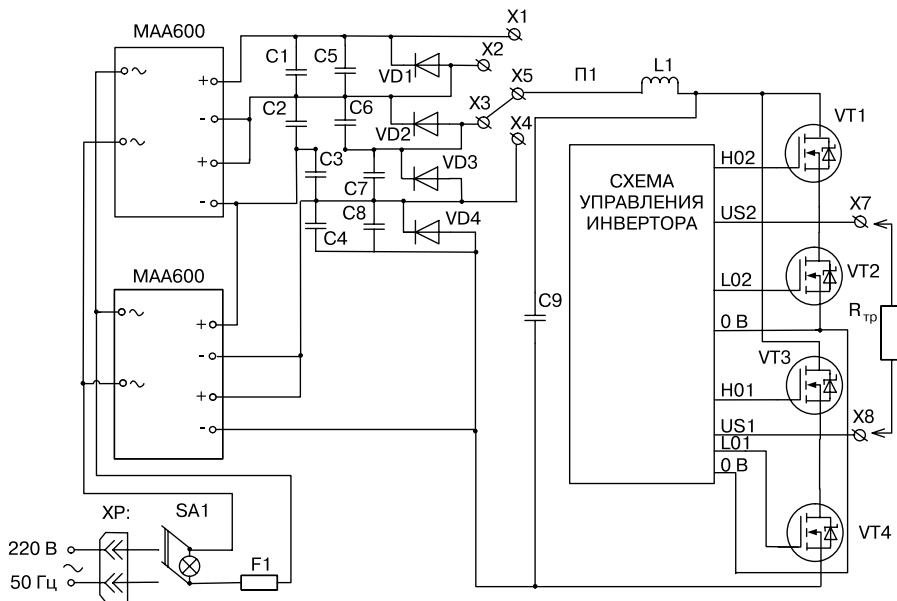


Рис. 6. Полная структурная схема генератора с промежуточным LC-фильтром

первого канала воздействует импульс с амплитудой  $0,1 U_{\text{ном}}$  длительностью  $\tau_n$  (см. рис. 3в), а на выход второго канала — с амплитудой  $0,2 U_{\text{ном}}$  (см. рис. 3г). Эти импульсы с крутыми фронтами, длительность которых не превышает 200 нс, и с удвоенной частотой инвертирования поступают на конденсаторы выходных фильтров модулей. На рисунке 4 приведена структурная схема модуля AC/DC на основе полумостового преобразователя с ШИМ-стабилизацией входного напряжения, который наиболее часто применяется для мощных

нагрузок. Емкостной фильтр модуля представляет параллельное соединение нескольких танталовых C2 и алюминиевых C3 конденсаторов. Емкость конденсаторов обычно выбирается исходя из того, чтобы амплитуда пульсаций не превышала 2%. Алюминиевые «медленные» конденсаторы сглаживают пульсации, связанные с ШИМ-стабилизацией (см. рис. 5) напряжения. Танталовые «быстрые» конденсаторы (емкости которых обычно на порядок меньше емкости алюминиевых) обеспечивают сглаживание пульсации в момен-

двух двухканальных модулей МАА 600 — 2С2424 с общей выходной мощностью 1200 Вт [2]. Четыре выхода модулей соединены последовательно. Чтобы исключить переплюсовку напряжения при пуске, выходные цепи модулей зашунтированы диодами VD1—VD4. Величина напряжения, поступающего на мостовой инвертор на полевых транзисторах VT1—VT4, регулируется с помощью переключателя П1. Между этим переключателем и мостовым инвертором установлен дроссель L1 с индуктивностью около 200 мкГн. Сквозные токи моста, выполненного на полевых транзисторах, исключаются за счет паузы длительностью 1,4 мкс, которая формируется цифровой схемой управления. При максимальном напряжении на мосту  $U_m = 96$  В, изменение тока в момент паузы  $\Delta I = U_m \tau_n / L = 96 \times 1,4 / 200 = 0,672$  А. Чтобы полно-

стью разгрузить от динамической нагрузки фильтрующие конденсаторы модулей, на каждом выходе модуля дополнительно установлены танталовые (С1—С4) и электролитические (С5—С8) конденсаторы. Конденсатор С9, шунтирующий вход мостового инвертора, исключает перенапряжение на транзисторах при активно-индуктивной нагрузке.

Применение универсальных модулей питания позволило создать простой, надежный, малогабаритный преобразователь частоты для устройства контроля изоляции трубопроводов. После испытания на трассе опытного образца начато серийное производство устройства.

Предлагаемые принципы могут быть использованы и при проектировании других аппаратов на модулях, работающих на динамическую нагрузку.

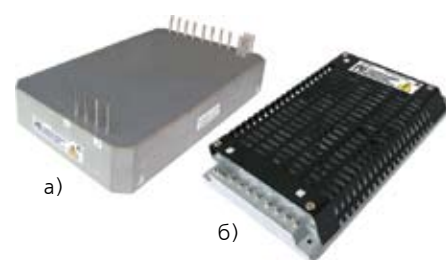


Рис. 7. Модули МАА: а) в цельнометаллическом корпусе; б) в сборном корпусе с кожухом-крышкой

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Плоткин И. Мощные модульные выпрямители с процентным резервированием // Производство источников электропитания промышленного и специального назначения. — М, 2006.
2. Затулов С. Модули питания AC/DC и DC/DC мощностью от 20 до 1200 Вт // Производство источников электропитания промышленного и специального назначения. — М, 2006.