

Прецизионный стабилизатор напряжения

с двойным преобразованием энергии

Рассматривается новая модель прецизионного стабилизатора напряжения переменного тока с двойным преобразованием энергии (СДП).

Валерий Климов, к.т.н.

klimov@ruselt.ru

Юрий Карпиленко

karpilenko@ruselt.ru

Светлана Климова

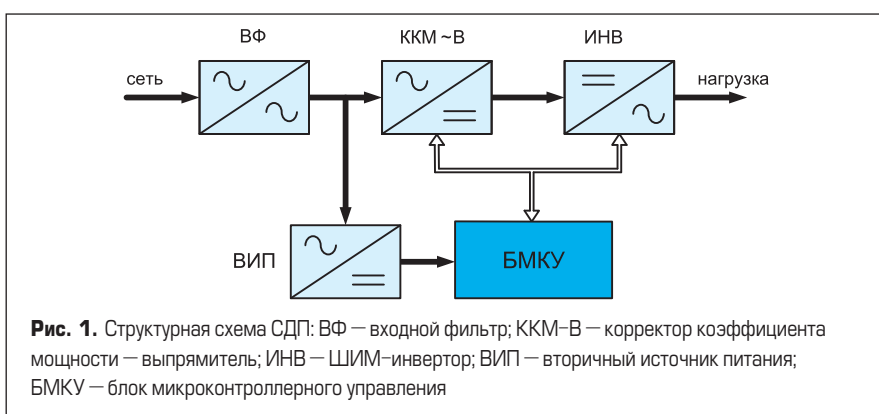
Валерий Смирнов, к.т.н.

Однофазный стабилизатор напряжения переменного тока 220 В, 50 Гц предназначен для поддержания стабильного напряжения питания нагрузок бытового и промышленного назначения при отклонениях сетевого напряжения по амплитуде и частоте в определенном диапазоне. Группой «РУСЭЛТ» разработана новая модель однофазного стабилизатора напряжения мощностью 1–3 кВ·А на основе двойного преобразования энергии, обеспечивающего высокую точность стабилизации и низкий коэффициент искажения синусоидальности выходного напряжения.

Отличительные особенности стабилизатора

Стабилизатор отличается от существующих типов стабилизаторов (ступенчатых корректоров напряжения, электромеханических и др.) следующими характеристиками:

- высокое значение коэффициента стабилизации;
- непрерывность регулирования с малым временем реакции;
- широкий диапазон допустимого изменения сетевого напряжения;
- высокое качество выходного напряжения при значительных искажениях входного напряжения, при линейной и нелинейной нагрузках;
- эффективная фильтрация высокочастотных сетевых помех и выбросов напряжения;



- отсутствие эмиссии высокочастотных гармоник тока в сеть при работе на нелинейную нагрузку.

Структура и принцип работы стабилизатора

Принцип действия стабилизатора основан на использовании двойного преобразования энергии аналогично источникам бесперебойного питания в сетевом режиме [1]. Структура стабилизатора содержит следующие блоки: входной фильтр (ВФ), корректор коэффициента мощности — выпрямитель (ККМ-В), ШИМ-инвертор (ИНВ), вторичный источник питания (ВИП) и блок микроконтроллерного управления (БМКУ) (рис. 1).

Назначения блоков СДП:

- Входной сетевой фильтр (ВФ) обеспечивает подавление выбросов напряжения при переходных процессах в сети и осуществляет фильтрацию высокочастотных помех.
- Выпрямитель и корректор коэффициента мощности (ККМ-В) обеспечивают преобразование напряжения сети переменного тока в стабилизированное напряжение постоянного тока, обеспечивая при этом практически синусоидальную форму тока, потребляемого из сети, совпадающую по фазе с входным напряжением. Это позволяет обеспечить величину входного коэффициента мощности стабилизатора близкой к единице.
- ШИМ-инвертор (ИНВ) преобразует напряжение постоянного тока в синусоидальное напряжение с частотой 50 Гц. Силовые транзисторы инвертора коммутируются с частотой 19,2 кГц, обеспечивая высокую надежность и точность формирования выходного напряжения.
- Вторичный источник питания (ВИП) обеспечивает напряжениями постоянного тока узлы и блоки СДП.
- Блок микроконтроллерного управления (БМКУ) обеспечивает необходимый алгоритм работы силовых блоков СДП, тестирование и мониторинг состояния сети и нагрузки. По функциональному назначению состав БМКУ разбит на следующие узлы:
 - центральный микроконтроллер (МК);
 - узел формирования ШИМ-сигналов для управления силовыми транзисторами инвертора;

Конструктивное исполнение стабилизатора

Стабилизаторы СДП выполняются в трех модификациях: мини-тауэр, 19-дюймовые для размещения в телекоммуникационной стойке или шкафу, настенные. На рис. 4 приведен внешний вид стабилизатора телекоммуникационного исполнения, представляющий собой прямоугольный металлический корпус высотой 2U (88 мм) со съемной верхней крышкой и дополнительными уголками для крепления к профилю стойки. Охлаждение силовых блоков стабилизатора принудительное, с помощью вентиляторов, работающих в двухскоростном режиме.



Рис. 4. Внешний вид СДП

На передней панели блока расположен светодиодный дисплей, отражающий режимы работы и состояние стабилизатора. При сетевом напряжении в пределах допустимого отклонения светятся два светодиода зеленого цвета, указывающие на наличие входного напряжения, работу инвертора и наличие выходного напряжения. Четыре светодиода зеленого цвета индикаторной линейки указывают приблизительное значение нагрузки СДП с шагом в 25%. Светодиод желтого цвета отражает режим перегрузки СДП, а светодиод красного цвета указывает на наличие аварийной ситуации.

Статические характеристики стабилизатора

- Статическая точность составляет $\pm 1\%$. Широтно-импульсная модуляция сигналов управления транзисторами инвертора осуществляется по синусоидальному закону и в сочетании с быстродействующей системой управления инвертором обеспечивает высокую точность поддержания выходного напряжения.
- Диапазон входного напряжения, допустимый для работы стабилизатора, зависит от величины нагрузки и составляет:
 - 160–290 В при нагрузке >75% (до 100%);
 - 130–290 В при нагрузке >50% (до 75%);
 - 110–290 В при нагрузке <50%.
 Гистерезис по автоматическому включению стабилизатора при восстановлении входного напряжения составляет 10 В.
- Допустимое отклонение частоты входного напряжения составляет 45–55 Гц при обеспечении точности поддержания частоты выходного напряжения 50 Гц $\pm 0,5\%$.
- Входной коэффициент мощности составляет 0,98, что обеспечивается с помощью ККМ формой входного тока, близкой к синусоидальной и совпадающей по фазе с входным напряжением.

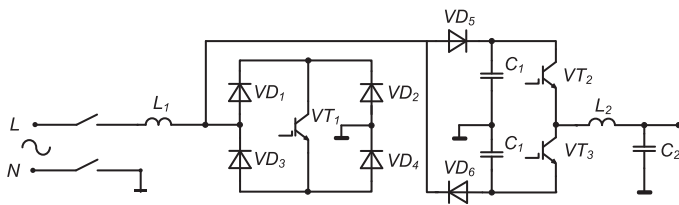


Рис. 2. Функциональная схема силовой цепи СДП

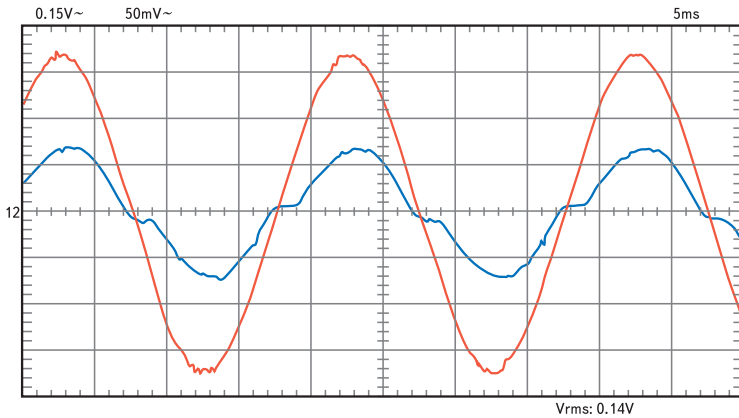


Рис. 3. Осциллограммы входного напряжения и тока СДП

- узел согласования входных, выходных сигналов и сигналов индикации;
- узел формирования сигналов по интерфейсу RS232;
- вспомогательный источник питания цепей БМКУ.

В качестве МК использован микроконтроллер типа MC68HC908MR32 (Motorola), на вход которого поступают аналоговые и цифровые сигналы измерения электрических параметров системы и состояния узлов СДП.

МК обеспечивает:

- обработку аналоговой и цифровой информации о состоянии силовых блоков и режимах их работы;
- формирование сигналов управления силовыми блоками;
- формирование сигналов информации о состоянии системы на плату дисплея и RS-порт.

На рис. 2 представлена функциональная схема силовой цепи стабилизатора.

Высокочастотный ККМ выполнен по схеме повышающего преобразователя (бустера) с диодным мостовым ключом и дифференциальным выходом. Силовой дроссель L_1 включен во входную цепь переменного тока [3].

Силовой транзистор ККМ VT_1 управляется сигналом с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Формирование ШИМ-сигнала с частотой 30 кГц осуществляет специализированная микросхема ККМ-контроллера типа UC3854. На входы ККМ-контроллера поступают сигналы, пропорциональные входному напряжению ($U_{вх}$), входному току ($I_{вх}$), напряжению на выходе ККМ ($U_{вых}$). Кроме этих сигналов, на микросхему ККМ-контроллера поступает сигнал управления (вкл/выкл) ККМ от центрального микроконтроллера БМКУ. Контроллер ККМ вырабатывает ШИМ-сигналы с различной скважностью

на каждом полупериоде сетевого напряжения, что позволяет формировать входной ток необходимой формы и стабилизировать выходное напряжение.

За счет изменения соотношения времени открытого состояния транзистора VT_1 , когда в дросселе L_1 запасается электромагнитная энергия, и времени закрытого состояния транзистора, когда накопленная энергия через диоды VD_5, VD_6 (рис. 2) отдается в накопительные конденсаторы C_1 , ККМ обеспечивает форму входного тока, близкую к синусоидальной и совпадающую по фазе с входным напряжением (рис. 3). Сигнал ШИМ с контроллера поступает на затвор IGBT-транзистора VT_1 через узел сопряжения (оптопару типа TLP250), обеспечивающий необходимое усиление сигнала и гальваническую развязку цепи управления и силовой цепи транзистора. На накопительных конденсаторах шины постоянного тока C_1 формируется высоковольтное стабилизированное постоянное напряжение для питания инвертора $U_n = 760$ В (± 380 В). Величина емкости накопительных конденсаторов C_1 выбирается из расчета 470 мкФ на каждый 1 кВ·А выходной мощности инвертора для обеспечения достаточной энергии питания инвертора при скачках нагрузки и провалах сетевого напряжения.

Блок инвертора выполняется по полумостовой бестрансформаторной схеме на IGBT-транзисторах VT_2, VT_3 (рис. 2). Силовые транзисторы управляются высокочастотными (19,2 кГц) ШИМ-сигналами с блока управления через оптопары (TLP250), которые изолируют силовые цепи от цепей управления. Синусоидальное выходное напряжение формируется из высокочастотных ШИМ-импульсов с помощью выходного фильтра L_2, C_2 [4].

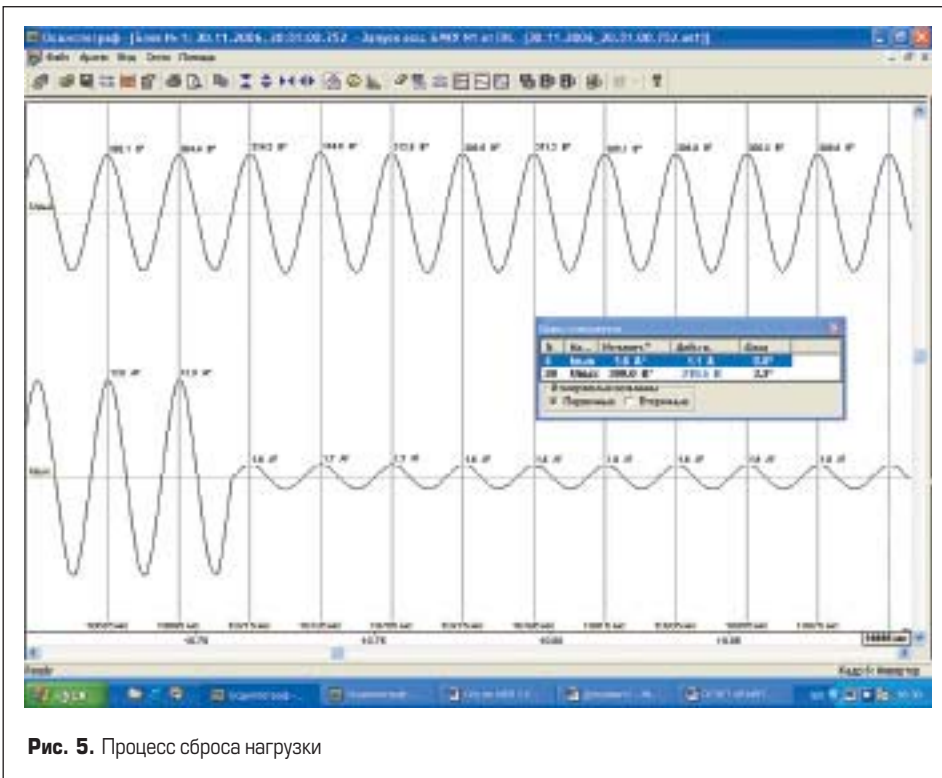


Рис. 5. Процесс сброса нагрузки

- Выходной коэффициент мощности составляет 0,7, что соответствует номинальной активной мощности на выходе стабилизатора: 700 Вт — для СДП 1 кВ·А; 1400 Вт — для СДП 2 кВ·А; 2100 Вт — для СДП 3 кВ·А.
- Коэффициент искажения синусоидальности выходного напряжения: при линейной нагрузке — не более 3%; при нелинейной нагрузке — не более 5%.

При существенно несинусоидальной форме входного напряжения, соответствующей коэффициенту искажения синусоидальности 36–41% (прямоугольное напряжение со значительным коэффициентом третьей гармоники), выходное напряжение СДП имеет синусоидальную форму $K_{и\ вых} = 1-2\%$. Это обстоятельство особо важно при питании СДП от дизель-генераторной установки (ДГУ) малой мощности, когда напряжение ДГУ имеет значительные искажения от синусоидальной формы.

- Допустимый коэффициент амплитуды тока нагрузки (крест-фактор) достигает значения

3/1, что обеспечивает возможность использования СДП при существенно нелинейных нагрузках.

- Эффективность стабилизатора: КПД при 100% нагрузке составляет не менее 90%; потери на холостом ходу составляют 30 Вт для СДП 1 кВ·А и 45 Вт для СДП 2, 3 кВ·А.

Динамические характеристики стабилизатора

При исследовании поведения стабилизатора при скачках входного напряжения было отмечено, что СДП обеспечивает практически мгновенную реакцию на возмущения, и стабильность выходного напряжения остается в пределах статической точности $\pm 1\%$ [2].

При скачке линейной нагрузки до 100% выходное напряжение снижается на 3,5% от величины установившегося значения и затем восстанавливается до исходного уровня за 60 мс. При скачкообразном сбросе 100% линейной нагрузки зарегистрировано увеличение выход-

ного напряжения на 4% и возврат к установившемуся значению в течение 100 мс (рис. 5).

Перегрузочная способность и электронная защита

Современные инверторы на IGBT-транзисторах с ШИМ-регулированием обладают достаточно высокими перегрузочными характеристиками и значениями токов короткого замыкания ($I_{кз}$), достигающими 200% номинального выходного тока. При перегрузках, не превышающих 105% номинальной мощности, СДП может длительное время работать в инверторном режиме. Вопрос ограничения тока инвертора в режиме перегрузки является важным обстоятельством для понимания перегрузочных свойств СДП. При росте тока нагрузки свыше номинального значения инвертор переходит в режим генератора тока, ограничивая максимальное значение тока на определенной величине $I_{огр}$. Чтобы искажение синусоидальности выходного напряжения не превышало 5%, необходимо устанавливать порог ограничения максимального (амплитудного) значения выходного тока в 1,5 раза больше амплитудной величины номинального тока инвертора при линейной нагрузке. На рис. 6 приведена осциллограмма тока короткого замыкания на выходе стабилизатора. Электронная защита по отключению инвертора при коротком замыкании срабатывает через 0,12 с.

Термозащита силовых транзисторов реализуется с помощью сигнала с релейного датчика температуры (+80 °С). Указанный сигнал поступает на центральный микроконтроллер (МК) блока управления. МК подсчитывает время, в течение которого транзисторы не выйдут из строя из-за перегрева, после чего выдает сигнал на отключение инвертора. Затем МК просчитывает время охлаждения транзисторов, чтобы не допустить включения инвертора сразу после окончания первой перегрузки. Если нагрузка продолжает оставаться в пределах 110–120% от номинальной, то по окончании просчета заданного времени охлаждения МК выдает сигнал на повторное включение инвертора и т. д. При больших значениях перегрузки МК через 0,2 с выдает сигнал отключения нагрузки, повторное включение инвертора будет возможно лишь после снятия перегрузки.

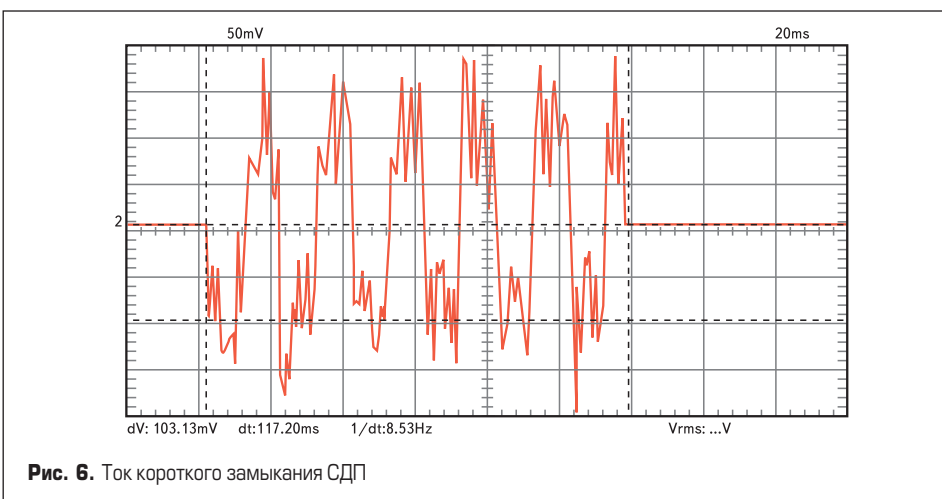


Рис. 6. Ток короткого замыкания СДП

Литература

1. Климов В. Современные источники бесперебойного питания: классификация и структуры однофазных ИДП. Часть 1 // Электронные компоненты. 2008. №6.
2. Климов В. Характеристики современных ИБП с двойным преобразованием. Часть 4 // Электронные компоненты. 2008. №10.
3. Климов В., Климова С., Карпиленко Ю. Корректоры коэффициента мощности однофазных источников бесперебойного питания // Силовая Электроника. 2009. №3.
4. Климов В. Частотно-энергетические параметры ШИМ-инверторов систем бесперебойного питания // Силовая Электроника. 2009. №4.