**СТАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ**

**серии СПЧ (ТУ 27.11.50.120-021-59073129-2017)**

## 

## Введение

## Преобразователь частоты СПЧ является стабилизированным источником синусоидального напряжения с регулируемыми в широком диапазоне значениями уровня и частоты. СПЧ предназначен для использования в качестве источника переменного тока для испытаний одно- и трехфазных трансформаторов и реакторов.

Инвертор напряжения СПЧ выполнен на основе мощных быстродействующих IGBT-транзисторов, позволяющих осуществлять высокочастотное широтно-импульсное регулирование выходного напряжения. За счет этого удается получить набор системных свойств, который объединяет в себе лучшие черты электромашинных преобразователей, регулируемых трансформаторов и тиристорных преобразователей энергии, а также имеет некоторые уникальные свойства, отсутствующие у перечисленных устройств:

* высококачественное отслеживание синусоидального напряжения;
* глубокое регулирование выходного напряжения;
* регулирование частоты выходного напряжения в широком диапазоне;
* возможность работы на нагрузку как с опережающим, так и отстающим углом тока: от чисто индуктивной нагрузки до чисто емкостной;
* способность поддержания синусоидальной формы напряжения при работе на нелинейную нагрузку;
* обеспечение симметрии напряжений при работе на несимметричную нагрузку;
* высокие динамические характеристики, обеспечивающие не только строгое поддержание качества основной гармоники при возмущениях, но и быстрое подавление переходных составляющих, включая и переходные высокочастотные колебания;
* эффективное быстрое ограничение токов (напряжений) в аномальных и аварийных режимах;
* малое собственное потребление мощности (высокий коэффициент полезного действия).

Характеристики СПЧ удовлетворяют требованиям к стабилизированному источнику напряжения при проведении следующих видов испытаний трансформаторов:

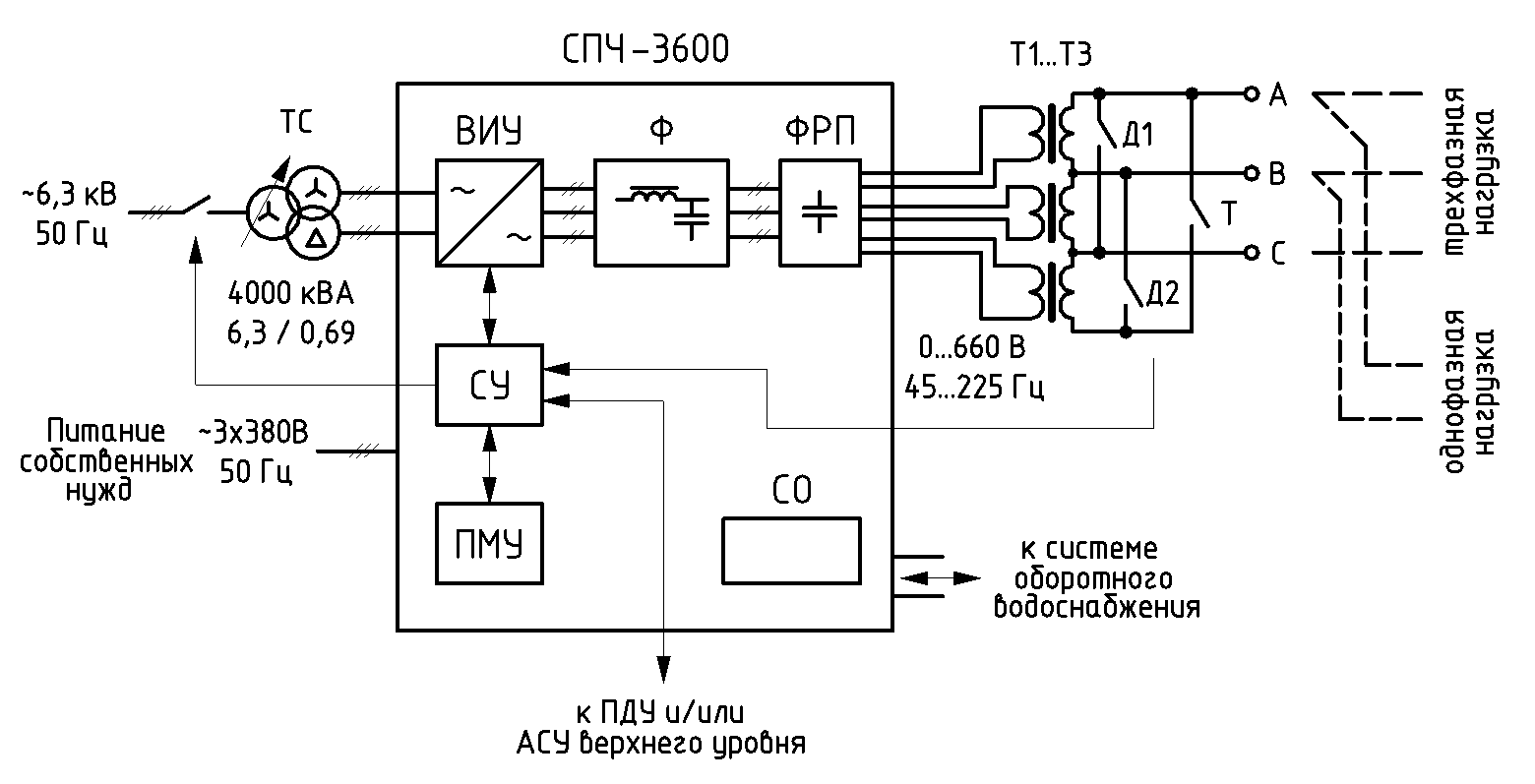
* измерение потерь и тока холостого хода (частота 50 или 60 Гц): здесь существенно используется свойство IGBT-преобразователя имитировать сеть бесконечно большой мощности за счет компенсации высших гармоники тока нелинейной нагрузки с сохранением синусоидальной формы напряжения (ток холостого хода трансформатора, как правило, сильно искажен);
* измерение потерь и напряжения короткого замыкания (частота 50 или 60 Гц): здесь существенно используется способность IGBT-преобразователя работать на индуктивную нагрузку (недокомпенсация) или емкостную (перекомпенсация) и эффективно подавлять при этом колебательные и апериодические переходные составляющие; СПЧ позволяет в широком диапазоне регулировать уровень выходного напряжения при стабильном значении частоты, заменяя либо двухмашинный электромеханический преобразователь 50/50 или 60 Гц, либо индукционный регулятор напряжения, либо регулируемый трансформатор (автотрансформатор); для расширения возможностей СПЧ по истпытаниям мощных трансформаторов и реакторов может быть использована компенсирующая конденсаторная батарея (в состав данного предложения не входит, может быть поставлена опционально по отдельному запросу);
* испытания электрической прочности изоляции напряжением промышленной частоты (частота 50 или 60 Гц)[[1]](#footnote-2): СПЧ позволяет автоматически исполнять график изменения выходного напряжения, обеспечивая необходимую скорость подъема/снижения напряжения, а также требуемую выдержку времени испытаний;
* испытания индуктированным напряжением повышенной частоты с возможностью измерения уровня частичных разрядов (частота от 100 до 200 Гц): СПЧ заменяет специальный двухмашинный электромеханический преобразователь с генератором повышенной частоты. Для снижения уровня помех от импульсных переключений в преобразователе, СПЧ оснащен специальным фильтром выходного напряжения, позволяющим проводить испытания с измерением уровня частичных разрядов при условии соблюдения требований по монтажу и заземлению оборудования;
* специальные виды испытаний на частоте от 45 до 200 Гц с трехфазной или однофазной нагрузкой (проверка коэффициента трансформации, испытания на нагрев и т.д.).

## Структура и принцип действия

В базовый состав СПЧ входят: выпрямительно-инверторное устройство ВИУ, фильтр выходного напряжения Ф, фильтр радиопомех ФРП, система управления СУ с панелью местного управления ПМУ. Инвертор ВИУ, построенный на основе мощных транзисторов (IGBT), формирует систему выходных напряжений путем высокочастотной следящей широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Передача сигналов управления из СУ в инвертор и сигналов диагностики инвертора в СУ осуществляется по оптоволоконным кабелям. Все преобразователи серии СПЧ имеют единую структуру с незначительными отличиями, зависящими от конкретной модификации. В общем случае в состав СПЧ входят:

* сетевой выпрямитель (AC/DC – конвертер);
* фильтр звена постоянного тока;
* выходной одно- или трёхфазный инвертор (DC/AC – конвертер);
* выходной синус-фильтр;
* фильтр радиопомех;
* система управления СПЧ.

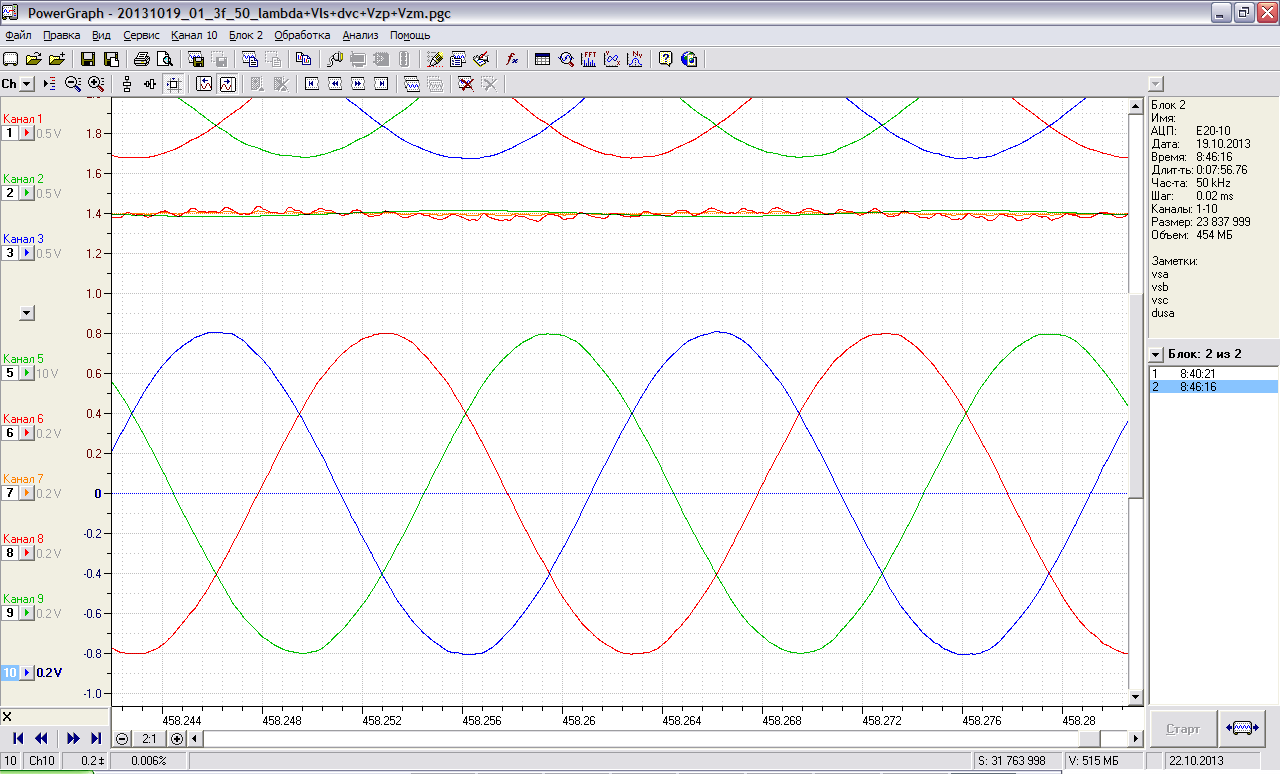
Топология преобразователя (на примере СПЧ-3600) представлена на рисунке 1.



СПЧ – статический преобразователь частоты; ВИУ – выпрямительно-инверторное устройство; СУ – система управления; ПМУ – панель местного управления; Ф – фильтр выходного напряжения; ФРП – фильтр радиопомех; ТC – согласующий трансформатор сетевой; Т1…Т3 – согласующий трансформатор выходной; ПДУ – панель дистанционного управления, АСУ – система управления верхнего уровня.

Рисунок – Структурная схема СПЧ мощностью 1000-3600 кВА

Фильтр переменного напряжения (Ф) обеспечивает сглаживание пульсаций ШИМ-переключений транзисторов, обеспечивая высокое качество формы выходного напряжения.



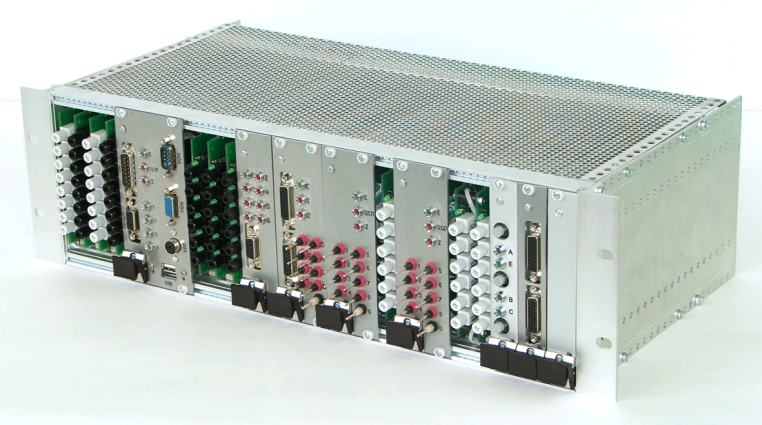
Форма напряжения на выходе СПЧ в трехфазном режиме нагрузки

Фильтр радиопомех (ФРП) предназначен для дополнительного снижения уровня помех от импульсных переключений инвертора (необходимо обеспечение правильного соединения цепей заземления оборудования СПЧ).

Для улучшения электромагнитной совместимости нагрузка подключается к СПЧ через отдельный промежуточный трансформатор (трансформаторы), размещающиеся в непосредственной близости к шкафу ввода/вывода СПЧ. Характеристики трансформатора согласовываются с поставщиком СПЧ. В базовый комплект поставки СПЧ согласующие трансформаторы не входят.

Управление СПЧ осуществляется системой управления, регулирования, защит и автоматики типа *unicon* (ООО «НПП ЛМ Инвертор»). Система *unicon* представляет собой масштабируемый комплекс блоков и ячеек управления, построенный на основе современных быстродействующих сигнальных процессоров (TexasInstruments), быстродействующих микросхем программируемой логики (Altera) и оптоволоконной пересылки сигналов управления и измеренных величин (Avago).

Основным элементом системы *unicon* является микропроцессорный блок управления, представляющий собой блочную универсальную конструкцию (БУК). В состав блока управления входит объединяющая кросс-плата, в которую вставляются ячейки управления.



Пример исполнения блока управления системы *unicon*.

Основные вычислительные задачи по формированию заданий, обработке сигналов обратных связей, многоконтурному регулированию, формированию импульсов управления в системе unicon выполняет одна или несколько ячеек цифрового сигнального процессора.

В ячейке контроля и защит суммируются все сигналы защит и блокировок с запоминанием хронологии событий при защитном отключении.

В блоке управления предусмотрены средства ведения протоколов работы ПЧ, регистрации осциллограмм нормальных и аварийных процессов, сохранения их во встроенной энергонезависимой памяти (имеется встроенный промышленный компьютер) с возможностью последующего доступа к ней оперативного персонала.

Предусмотрена возможность автоматического исполнения графика изменения уровня выходного напряжения, заданного пользователем.

В процессе работы обеспечивается непрерывная связь с системой АСУ ТП верхнего уровня (центром управления) по одному из доступных интерфейсов: оптоволокно, RS‑485, CAN, Ethernet (требуемый тип интерфейса уточняется при заказе). При необходимости каналы связи дублируются для повышения надежности. Выбор конкретного тип интерфейса для реализации и протокол обмена данными согласовывается дополнительно.

Ячейки ввода-вывода позволяют осуществлять двухстороннюю передачу дискретных (релейных) и аналоговых (4…20 мА или 0…10 В) сигналов.

Наличие в составе системы *unicon* GPRS-модема позволяет в автоматическом режиме передавать данные о режимах работы или диагностическую информацию на сервер в сети Internet с доступом к ним в любое время с любого компьютера, подключенного к сети. Таким образом, обеспечивается возможность оперативного дистанционного сервисного обслуживания оборудования предприятием-изготовителем на основании полученных на сервер данных.

Вместе с блоком управления в состав СУ *unicon* входят следующие блоки и ячейки:

* датчики токов и напряжений с оптоволоконной развязкой;
* блок питания с передачей энергии на высокой частоте;
* драйверы IGBT-транзисторов с оптоволоконной развязкой;
* панель местного управления.

На панели местного управления СПЧ предусмотрены ЖК-дисплей для отображения графического интерфейса пользователя, а также набор кнопок и переключателей, необходимых для эксплуатации преобразователя.

«НПП ЛМ Инвертор» имеет опыт применения системы управления *unicon* в преобразователях различного назначения, в том числе в преобразователях для испытаний трансформаторов, внедренных на ряде предприятий (см. референс-лист в приложении).

Опционально возможно изготовление и поставка пульта (или встраиваемой панели) дистанционного управления (ПДУ) для управления параметрами работы СПЧ при проведении испытаний трансформаторов, позволяющий выполнять следующие функции:

* включение/отключение, контроль функционирования СПЧ;
* регулирование выходного напряжения и выходной частоты СПЧ;
* контроль параметров СПЧ;
* переключение режима однофазной / трехфазной нагрузки (опционально);
* контроль времени проведения испытаний (таймер);
* и т.д.

## **Технические характеристики СПЧ**

## Электрические характеристики СПЧ приведены в таблице 1

Таблица 1 – Электрические характеристики СПЧ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Параметр | Значение |
|  | Входное питающее напряжение 2 | 0,38кВ; 0,69кВ; 3,15кВ,  6,3кВ; 10,5кВ 1 |
|  | Частота питающего напряжения | 50 Гц 1 |
|  | Номинальная мощность 2 3 | 10 ÷ 10000 кВт |
|  | Ном. вых. напряжение (однофазное, система из трех однофазных напряжений или трехфазное линейное) 2 | 0,36кВ; 0,66кВ; 3,0кВ;  6,0кВ; 10,0кВ |
|  | Перегрузочная способность по току (кратковременно) | 5 % |
|  | Форма выходного напряжения | синусоидальная |
|  | Частота выходного напряжения | 5 … 400 Гц |
|  | Устойчивость к короткому замыканию | Да |
|  | Климатическое исполнение (по ГОСТ 15150) | УХЛ4 |
|  | Тип охлаждения | Жидкостное, принудительное воздушное 4 |
| 1 – качество напряжения по ГОСТ32144-2013  2 – значение номинальных значений напряжения, частоты, мощности СПЧ выбирается в соответствии с ГОСТ 6827-76  3 – обеспечивается при номинальном выходном напряжении, а в трехфазном режиме и при симметричной трехфазной нагрузке; при снижении напряжения или нарушении симметрии нагрузки мощность определяется уровнем токоограничения с учетом перегрузочной способности.  4 – определяется модификацией СПЧ, согласованной с Заказчиком | | |

## Показатели качества выходного напряжения СПЧ соответствуют указанным в таблице 2 при постоянстве заданного режима испытаний и качестве питающего напряжения согласно ГОСТ 32144-2013.

Таблица 2 – Основные показатели качества выходного напряжения СПЧ

| Наименование параметра | Значение параметра |
| --- | --- |
| 1. Точность поддержания заданного значения напряжения, не хуже | ± 0,5 % (ГОСТ 3484.1-88 п. 6.1.1.) |
| 2. Отклонение каждого линейного напряжения от среднего арифметического, не более | 3 % (ГОСТ 3484.1-88 п. 6.1.2.) |
| 3. Отклонение коэффициента формы (отношения действующего напряжения к среднему) от 1,11, не более | 2 % (ГОСТ 3484.1-88 п. 6.1.4.) |
| 4. Отношение амплитудного значения напряжения к действующему | √2 ± 0,07 (ГОСТ 1516.2 97 п. 7.2.2.) |
| 5. Отклонение частоты выходного напряжения, не более | ± 0,4 % |
| 6. Суммарный коэффициент гармонических составляющих выходного напряжения, не более | 5 % |

## СПЧ функционирует в ручном или автоматическом режиме управления

## В СПЧ должны быть реализованы местный и дистанционный режимы управления. На пультах местного и дистанционного управления должен быть по возможности размещён полный комплект средств управления, индикации и диагностики, необходимый для эксплуатации СПЧ.

## Управление силовыми ключами (тиристорами, транзисторами), обмен диагностической информацией осуществляется по оптоволоконным кабелям.

## СПЧ оснащен комплектом защит, предотвращающих повреждение составных частей и распространение аварийных процессов:

* защитой при отключении (просадке) сети силового напряжения и питания собственных нужд;
* защитой от перегрева;
* защитой от перегрузки по выходному току;
* защитами от бросков тока и напряжения, вызванных неправильным подключением или повреждением испытуемого оборудования;

Предотвращение развития аварийных процессов происходит за счет применения электронной защиты, отключающей инвертор (основная защита), а также защиты входным автоматическим выключателем.

В СПЧ предусмотрена возможность мгновенного отключения по внешнему сигналу от пульта станции в случае возникновения нештатной ситуации.

СПЧ оснащен системой диагностики и контроля состояния силовой схемы и системы управления, выполняющей следующие основные функции:

* контроль питания собственных нужд;
* аварийное отключение СПЧ при наличии отказов в системе управления и силовой схеме;
* фиксация основных параметров СПЧ и выдача диагностических сообщений при аварийном отключении.

После защитного отключения на экране ЖКИ ПМУ / ПДУ должны отображаться наименование защиты и/или соответствующий ей код ошибки для дальнейшей диагностики.

## **Требования по устойчивости к внешним воздействиям**

### СПЧ должен нормально функционировать и сохранять свои параметры в процессе и по­сле воздействия:

* верхнего значения температуры окружающей среды 308 К (35°С);
* нижнего значения температуры окружающей среды 274 К (1°С);
* относительной влажности воздуха при температуре 298 К (25°С) не более 80%.

### Окружающая среда - химически не активная, не взрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных газов и паров, разрушающих металлы и изоляцию, снижающих электрическую прочность изоляции СПЧ до недопустимых пределов.

### СПЧ должен нормально функционировать после пребывания в нерабочем состоянии при:

* температуре от 223 до 323 К (от минус 50 до плюс 50°С) при транспортировании и хранении;
* относительной влажности воздуха более 80 % при температуре 298 К (25°С)

## **Конструкция**

## Конструктивно СПЧ‑1000 выполняется в виде шкафов с двухсторонним обслуживанием.

## Диапазон рабочих температур СПЧ: от +1°С до +35°С. Относительная влажность – не более 80 % (при температуре +20°С). Температура окружающего воздуха при нерабочем состоянии СПЧ должна быть не ниже +40°С и не более +50°С.

## Вид климатического исполнения – УХЛ, категория 4 по ГОСТ 15543.1‑89.

## Степень защиты: IP20.

## Окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящих или химически активных газов в концентрациях, разрушающих изоляцию и металл, содержание токопроводящей пыли не более 0,7 мг/м3;

## Охлаждение силовых шкафов – воздушное, принудительное (встроенными вентиляторами). Необходимо обеспечение вентиляции объема помещения размещения СПЧ с учетом его тепловыделения от потерь.

## Конструкция СПЧ предусматривает его перевозку при эксплуатации автомобильным транспортом.

1. Испытательный высоковольтный трансформатор в комплект поставки СПЧ не входит [↑](#footnote-ref-2)