**Схемотехника источника бесперебойного питания APC SmartUPS 1000**

Особенностями модели SU1000, как, впрочем, и всего семейства Smart являются:

- повышенная надежностью за счет хорошо продуманной схемотехники и высококачественного практического исполнения;

- наличие «интеллекта», что позволяет осуществлять мониторинг состояния источника, мониторинг входной и выходной питающей сети, а также позволяет управлять источниками (в том числе и удаленно), обеспечивая их включение и выключение в заданные моменты времени;

-формирование на выходе «правильного» синусоидального напряжения во время работы от аккумуляторов;

- использование интерактивной топологии, предполагающей наличие режимов повышения (***BOOST***) и понижения (***TRIM***) входного сетевого напряжения. Это позволяет повысить ресурс батарей за счет более редкого перехода на питание от аккумуляторов.

Модель, которую мы будем сегодня рассматривать, относится к третьему поколению (3G) источников бесперебойного питания компании APC. Функциональная схема источников бесперебойного питания **APC SU1000** (шасси 640-0733D) представлена на рис.1

**Микропроцессор**

В качестве управляющего микропроцессора, используется 8-разрядный микроконтроллер семейства***Intel I87C52.***

Особенностями микроконтроллеров***I87C52*** являются:

*- наличие встроенного высокопроизводительного электрически перепрограммируемого ПЗУ (EPROM) емкостью 8К;*

*- наличие 32 встроенных программируемых портов ввода/вывода;*

*- наличие трех 16-разрядных счетчиков и таймеров;*

*- наличие встроенной оперативной памяти (RAM) емкостью 256 байт;*

*- наличие четырехуровневой системы прерываний с 6 входными линиями прерываний;*

*- наличие программируемого последовательного интерфейса;*

*- возможность работы как с логикой TTL, так и с логикой CMOS.*

Основной функцией микропроцессора в UPS можно считать выполнение управляющей микропрограммы, хранящейся во внутреннем ПЗУ. И в соответствии с этой программой микроконтроллер обеспечивает:

*- контроль параметров входного сетевого напряжения;*

*- контроль параметров выходного напряжения;*

*- определение аварийных режимов работы;*

*- контроль состояния аккумуляторных батарей;*

*- формирование сигналов для управления реле;*

*- формирование сигналов для управления инвертором;*

*- доступ к внешней памяти EEPROM;*

*- обслуживание устройства, подключенного к разъему SNMP;*

*- обслуживание интерфейса для связи с ПК.*

Частота внутреннего генератора микропроцессора задается кварцевым резонатором XT1 с опорной частотой генерации *16МГц.* В качестве питающего напряжения микроконтроллера используется *+5В*. Запуск микропроцессора осуществляется сигналом **RESET.** Установка этого сигнала в высокий уровень на время двух тактов задающего генератора, обеспечивает сброс микропроцессора.

Формирование сигнала **RESET**осуществляется схемой, выполненной на дискретных элементах (**Q51, Q52, Q53**и**IC11**). Эта схема обеспечивает контроль величины двух напряжений: *+12В* и *+5В*. Если эти напряжения ниже номинальных значений, то схема сброса запрещает работу микропроцессора.

Микропроцессор*I87C52* имеет только цифровые порты ввода/вывода, поэтому все его выходные управляющие сигналы и входные сигналы контроля датчиков, являются дискретными, т.е. имеют только два состояния: высокий уровень и низкий уровень.

Назначение контактов микропроцессора *I87C52* описывается в*табл.1*.

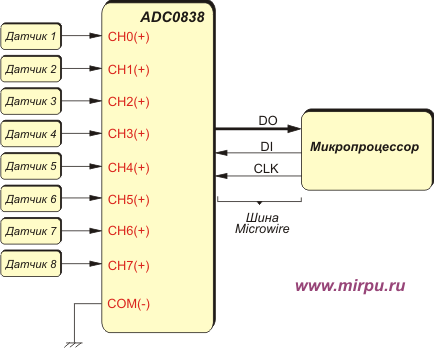
***Таблица 1. Описание контактов процессора I87C52 в составе APC Smart-UPS 1000***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Сигнал** | **Описание** |
| 1 | **P1.0 (D0)** | 8-разрядный многоцелевой порт, использующийся в качестве шины выходных данных, передаваемых в параллельном виде на цифро-аналоговый преобразователь (IC15). Эти данные используются для формирования на выходе ЦАП опорной синусоиды. На всех  этих контактах должны присутствовать импульсы (или пачки импульсов), период повторения которых равен или кратен частоте 50/60 Гц. Амплитуда импульсов равна примерно 5В. Правильность формирования импульсов проще всего оценить по наличию, практически, идеального синусоидального напряжения частотой 50/60 Гц на конт.2 микросхемы IC15.  Наличие этого синусоидального напряжения, фактически, означает, что управляющая микропрограмма микропроцессора работает абсолютно корректно, и что микропроцессор, в целом, исправен. |
| 2 | **P1.1 (D1)** |
| 3 | **P1.2 (D2)** |
| 4 | **P1.3 (D3)** |
| 5 | **P1.4 (D4)** |
| 6 | **P1.5 (D5)** |
| 7 | **P1.6 (D6)** |
| 8 | **P1.7 (D7)** |
| 9 | **RESET** | Сигнал первоначального сброса. Сигнал активен высоким уровнем, т.е. при установке его в лог. "1" микропроцессор "сброшен". Нормальное состояние сигнала  - лог."0". В момент включения UPS, на этом контакте должен наблюдаться короткий положительный импульс. После прохождения импульса, сигнал устанавливается в низкий уровень, в котором и находится в течение всего времени работы UPS. |
| 10 | **P3.0**  **(DATA-IN)** | Контакт многоцелевого порта (вход). Используется для приема входного сигнала DATA-IN, который представляет собой данные от SNMP-адаптера, устанавливаемого в  разъем J14, или данные от интерфейсного разъема (J1). Передача данных осуществляется в последовательном виде. Так как SNMP-адаптер отсутствует, и UPS не подключен к ПК, то и сигналы на этом контакте неактивны. При включении, сигнал устанавливается в высокий уровень (+5В), после чего не изменяется. |
| 11 | **P3.1**  **(SD-OUT)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется в качестве выходного сигнала SD-OUT, который представляет собой данные, передаваемые в последовательном виде на SNMP-адаптер или на интерфейсный разъем J1. В момент включения UPS,  на контакте наблюдается импульсная последовательность, после окончания которой, сигнал устанавливается в высокий уровень (+5В), после чего не изменяется. |
| 12 | **P3.2**  **(PHAS-OUT)** | Контакт многоцелевого порта (вход). Используется для контроля фазы выходного напряжения. После включения UPS, на этом контакте должны установиться импульсы, повторяющиеся с периодом, соответствующем частоте 100/120 Гц. Эти импульсы формируются из синусоиды, генерируемой микросхемой ЦАП (IC15) на конт.2, и соответствуют каждому переходу синусоиды через уровень 0 Вольт. Отсутствие импульсов можно воспринимать, как неисправность внешних цепей контроля выходной фазы (при условии, что синусоида на выходе ЦАП создается). |
| 13 | **P3.3**  **(HF-OFF)** | Контакт многоцелевого порта (выход). На контакте формируется сигнал, позволяющий выключать UPS «программным» способом. Для выключения UPS на данном контакте должны сгенерироваться импульсы значительной длительности. Кроме того, контакт используется для формирования выходного сигнала выбора (Chip Select) микросхемы EEPROM (IC13). После включения UPS, импульсы на данном контакте следуют с периодичностью, соответствующей частоте 50/60 Гц. |
| 14 | **P3.4**  **(PHAS-REF)** | Контакт многоцелевого порта (вход). Используется для контроля фазы входного сетевого напряжения. После включения UPS в автономном режиме, на этом контакте должен установиться постоянный уровень лог. «1» (+5V), так как UPS не подключен к питающей сети, а, следовательно, отсутствует предмет измерения. Во время работы UPS от сети, на этом контакте появляется импульсное напряжение частотой, соответствующей 50 Гц. |
| 15 | **PЗ.5**  **(LO-BATT)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования сигнала LO-BATT, который своим активным уровнем (лог. «0») сообщает о разряде аккумуляторных батарей. Сигнал передается на разъем SNMP-адаптера (J14) и на интерфейсный разъем J1, где является частью простого интерфейсного соединения с ПК (Simple Signaling). В момент запускаUPS, сигнал устанавливается в высокий уровень (+5V). |
| 16 | **P3.6**  **(LIN-XFER)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования сигнала, управляющего входным размыкающим реле (RY5). В момент запуска UPS, сигнал устанавливается в высокий уровень (+5V). |
| 17 | **P3.7**  **(INV-EN)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования сигнала, разрешающего работу микросхемы драйвера силовых ключей инвертора (IC14). Сигнал активен низким уровнем. При запуске UPS в автономном режиме, инвертор работать не должен, и поэтомуS, сигнал устанавливается в высокий уровень (+5V). |
| 18 | **XTAL2** | Контакты для подключения внешнего частотозадающего резонатора. При включении UPS, на этих контактах должен наблюдаться сигнал синусоидальной формы с частотой примерно 16 МГц. Отсутствие синусоиды, в первую очередь, означает неисправность микроконтроллера, хотя нельзя исключать и дефект самого кварцевого резонатора (XT1). |
| 19 | **XTAL1** |
| 20 | **GND** | «Земля» |
| 21 | **P2.0**  **(+5V-SIG)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для управления светодиодом, расположенным на тыльной стороне UPS, имеющим зеленый цвет свечения и обозначаемым «SENSITIVITY». Так как при включении UPS, светодиод должен светиться, то сигнал на этом контакте устанавливается в высокий уровень, в котором и находится в течение всего времени работы UPS. |
| 22 | **P2.1**  **(ALL-EN)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования сигнала, разрешающего работу микросхемы IC17. Сигнал активен низким уровнем. В момент включения на контакте на короткий период времени устанавливается лог. «1», после чего сигнал сбрасывается в низкий уровень, в котором и находится в течение всего времени работы UPS, т.е. работа микросхемы IC17 разрешена и ее исправность можно оценить по наличию импульсов на конт.4 – конт.7. |
| 23 | **P2.2**  **(TRIM)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования сигнала управления реле режима TRIM (RY6). Сигнал активен низким уровнем. При включении UPS, на контакте должен установиться сигнал высокого уровня, но в первоначальный момент «проскакивает» короткий «отрицательный» импульс. |
| 24 | **P2.3**  **(BOOST)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования сигнала управления реле режима BOOST (RY3). Сигнал активен низким уровнем. При включении UPS, на контакте должен установиться сигнал низкого уровня, но в первоначальный момент «проскакивает» короткий «положительный» импульс. |
| 25 | **P2.4**  **(SHTDWN)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования сигнала управления входным реле отключения нагрузки – реле Shutdown (RY1). Сигнал активен высоким уровнем. При включении UPS, на контакте должен установиться сигнал высокого уровня. |
| 26 | **P2.5**  **(CS-ADC)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования выходного сигнала выбора (Chip Select) микросхемы аналого-цифрового преобразователя  - АЦП (ADC – IC10). После включения UPS, на этом контакте должны генерироваться регулярные короткие импульсы, которые активны низким уровнем. Частота импульсов является достаточно высокой. |
| 27 | **P2.6**  **(S-DATA)** | Контакт многоцелевого порта (вход/выход). Используется в качестве линии передачи данных  между микропроцессором, микросхемой АЦП и микросхемой EEPROM. Передача данных осуществляется в последовательном виде. Передача данных является двунаправленной. После включения UPS, на этом контакте должны генерироваться регулярные короткие импульсы, которые активны низким уровнем. Частота импульсов является достаточно высокой. |
| 28 | **P2.7**  **(S-CLK)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется в качестве сигнала синхронизации при передаче данных по линии S-DATA. После включения UPS, на этом контакте должны генерироваться регулярные короткие импульсы, которые активны высоким уровнем. Частота импульсов является достаточно высокой. |
| 29 | **PSEN** | Контакт не используется. |
| 30 | **ALE** | Контакт не используется. Является контактом для формирования сигнала стробирования адреса ALE. При включении UPS, на этом контакте формируются регулярные высокочастотные импульсы, которые легко диагностируются, хотя контакт никуда не подключен. Наличие импульсов говорит о выполнении микропроцессором своей внутренней микропрограммы. |
| 31 | **EA** | Контакт не используется (соединен с шиной питания +5V). |
| 32 | **P0.7**  **(LO-CHG)** | Контакт многоцелевого порта (выход). На контакте формируется сигнал низкого уровня заряда аккумуляторов. Этот сигнал подается на вход управляющей микросхемы зарядного устройства аккумуляторов (микросхема IC14) для изменения режима ее работы. |
| 33 | **P0.6**  **(HI-CHG)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для управления зарядным устройством, в качестве которого выступает инвертор. При включении UPS, сигнал устанавливается в низкий уровень. |
| 34 | **P0.5**  **(BEEP)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для управления динамиком – «пищалкой» (BEE-PER). Установка на этом контакте сигнала низкого уровня приводит к запрещению работы «пищалки». В момент запуска UPS, на контакте появляются высокочастотные импульсы малой амплитуды (около 0.9 В), что сопровождается звуковым сигналом. После этого, сигнал устанавливается в низкий уровень. Импульсы, наблюдаемые на контакте, формируются вне микроконтроллера, поэтому их отсутствие можно воспринимать как пробой на землю контакта 34, или как неисправность внешнего генератора этих импульсов (микросхема IC9 – конт. 2). |
| 35 | **P0.4**  **(RY-WELD)** | Контакт многоцелевого порта (вход). Используется для контроля состояния сигнала RY-WELD, с помощью которого проверяется работа входных реле (RY5 и RY4) и определяется их "залипание". Сигнал активен высоким уровнем. При включении UPS, сигнал на этом контакте должен установиться в низкий уровень. |
| 36 | **P0.3**  **(LED-STRB)** | Используется для формирования стробирующего сигнала, управляющего дешифраторами лицевой панели управления. При включении UPS, на контакте формируются короткие "отрицательные" импульсы низкой частоты. |
| 37 | **P0.2**  **(REM-FAN)** | Порт используется для формирования сигнала управления вентилятором. Однако в моделиSU1000 вентилятор не устанавливается, поэтому данный контакт не используется. |
| 38 | **P0.1**  **(DSP-CLK)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для формирования импульсов синхронизации при передаче данных (по линии DSP-DATA) на дешифраторы лицевой панели управления. При включении UPS, на контакте формируются короткие "отрицательные" импульсы низкой частоты. |
| 39 | **P0.0**  **(DSP-DATA)** | Контакт многоцелевого порта (выход). Используется для передачи данных  на дешифраторы лицевой панели управления. Этими данными описывается состояние светодиодов панели управления. Данные передаются в последовательном виде синхронно с сигналом DSP-CLK. Но так как при включении, UPS входит в ждущий режим, и светодиоды  панели управления не включаются, то сигнал на контакте устанавливается в неактивный высокий уровень, т.е. постоянно равен +5В. |
| 40 | **+5V** | Напряжение питания +5 V. |

**Аналого-цифровой преобразователь**

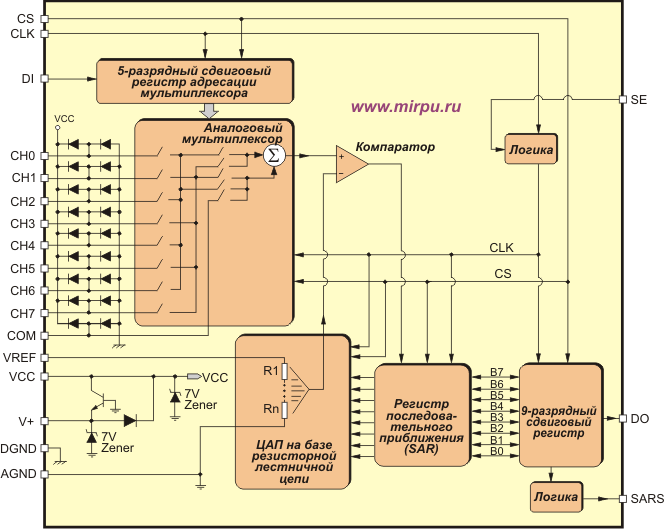
АЦП является основным элементом анализа параметров как входного, так и выходного напряжений UPS. К входам АЦП подключены все датчики UPS, формирующие аналоговые сигналы. В качестве АЦП используется микросхема***ADC0838*** (**IC10**), которая имеет 8 аналоговых входов **CH0...CH7**. То, какой из входных сигналов подлежит оцифровыванию, выбирается микропроцессором UPS. Номер считываемого канала передается на АЦП по последовательной шине*SPI* (*Microware*). В частности, номер канала передается по линии данных **DI,** а передача этих данных тактируется тактовым сигналом **CLK**. Кроме того, при обращениях к микросхеме АЦП, микропроцессором генерируется еще и сигнал выбора микросхемы (**CS**). Именно по сигналу **CS** определяется, что микропроцессор обращается к АЦП.

Входные датчики в данном UPS подключены по униполярной схеме, т.е. уровни всех аналоговых сигналов измеряются относительно одного общего контакта (**COM**), который соединен со схемной "землей" (*рис.2*).



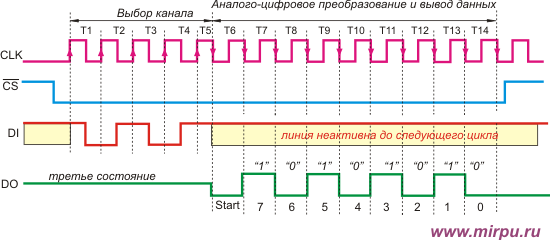
***Рис.2 Считывание сигналов от датчиков процессор осуществляет с помощью АЦП***

Оцифрованные данные из АЦП передаются на микропроцессор в последовательном виде по той же самой шине *SPI*, при этом цикл передачи данных инициируется микропроцессором. Передача данных из АЦП в микропроцессор осуществляется по сигнальной линии **DO**, при этом, естественно, данные тактируются импульсами на линии **CLK.** Внутренняя архитектура микросхемы АЦП ***ADC0838***представлена на *рис.3*. Это позволит лучше представлять особенности функционирования этого аналого-цифрового преобразователя.



***Рис.3 Архитектура микросхемы аналого-цифрового преобразователя ADC0838***

Для обмена данными между микропроцессором и ADC0838, используется последовательная шина, в которой входная (**DI**) и выходная линия данных (**DO**) совмещены, т.е. со стороны микропроцессора шина данных является двунаправленной. Это возможно потому, что прием и передача данных осуществляются в разные моменты времени. Вначале, на вход **DI**передается адрес того канала, информацию с которого необходимо преобразовать в цифровой код и обработать. Для этого на линии **CLK**генерируется пять тактовых импульсов, а сигнал **CS** на выходе микропроцессора устанавливается в низкий уровень. В течение этих пяти тактовых импульсов по линии DI передается стартовый бит, номер аналогового канала и тип входного сигнала (униполярный или дифференциальный). После окончания этих пяти тактов, начинается процесс передачи цифрового 8-разрядного кода оцифрованного аналогового сигнала. Для этого требуется девять тактовых импульсов. Самый первый из этих девяти тактов можно считать стартовым (**Start**), в течение которого осуществляется загрузка аналогового сигнала и подготовка АЦП к передаче данных. После того, как передача 8-разрядного кода завершится, сигнал **CS** устанавливается в высокий уровень, запрещая доступ к ADC0838. Таким образом, передача 8-разрядного кода одного аналогового сигнала занимает 14 тактов. Временная диаграмма сигналов АЦП при считывании показаний аналоговых датчиков приводится на*рис.4.*



***Рис.4  Временная диаграмма работы АЦП ADC0838***

Назначение контактов микросхемы ADC приводится в табл.2.

***Таблица 2. Назначение контактов микросхемы АЦП ADC8038 в составе APC Smart-UPS 1000***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Контакт** | **№** | **Наименование сигнала** | **Назначение** |
| CH0 | 1 | *24VFET* | Сигнал от кнопки включения UPS, размещенной на тыльной панели. Этот сигнал, фактически, снимается с "положительной" клеммы аккумуляторной батареи, поэтому его величина пропорциональна напряжению на аккумуляторе. По входному сигналу канала CH0 определяется исправность и уровень заряда аккумулятора. |
| CH1 | 2 | *IN-RECT* | Сигнал от датчика входного напряжения. Величина сигнала на этом контакте пропорциональна величине входного переменного напряжения. |
| CH2 | 3 | *XISTOR-I* | Сигнал от датчика тока транзисторов инвертора. Напряжение на этом контакте пропорционально величине тока, протекающего через силовые транзисторы инвертора. |
| CH3 | 4 | *OUT-RECT* | Сигнал от датчика выходного напряжения. Величина сигнала на этом контакте пропорциональна величине переменного выходного напряжения UPS. |
| CH4 | 5 | *OFF SENS* | Сигнал от кнопки выключения UPS. Нажатие на кнопку приводит к появлению на входном контакте CH4 сигнала низкого уровня. В данном случае контакт выполняет функцию определения состояния дискретного сигнала. |
| CH5 | 6 | *PWR-OUT* | Сигнал от датчика выходного тока. Величина этого сигнала пропорциональна величине тока, потребляемого нагрузкой UPS, т.е. пропорциональна мощности нагрузки. |
| CH6 | 7 | *RTH* | Сигнал от датчика температуры. Напряжение на этом контакте пропорционально величине температуры внутри UPS. При увеличении температуры напряжение на контакте возрастает. |
| CH7 | 8 | *CH-ERR* | Сигнал неисправности зарядного устройства UPS. |

**EEPROM**

Энергонезависимая память предназначена для сохранения настроек UPS и его калибровочных значений, например, такого параметра, как Run Time. Доступ к энергонезависимой памяти микропроцессор осуществляет по последовательной шине SPI, состоящей из трех сигнальных линий (DI, DO, SK). Кроме того, на вход микросхемы памяти приходит еще и сигнал выбора кристалла (CS)

**Цифро-аналоговый преобразователь**

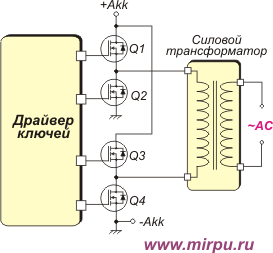
ЦАП предназначен для формирования синусоидального сигнала (на конт.2 – IOUT), который, в качестве опорного сигнала используется для создания псевдосинусоидального выходного напряжения ИБП при работе от аккумуляторов. Управление ключами инвертора осуществляется с применением модулирующего сигнала синусоидальной формы. Для получения выходной синусоиды, микросхема ЦАП питается двумя напряжениями: положительным +12В и отрицательным -8В. Форма синусоиды описывается цифровыми сигналами, передаваемыми в параллельном виде от микропроцессора. Эти данные формируются на выходных контактах 8-разрядного цифрового порта (P1.0 – P1.7) микропроцессора.

**Драйверы ключей**

Драйверы ключей, являются заказными микросхемами, выпускаемыми APC. Эти микросхемы формируют сигналы для управления силовыми транзисторами инвертора. Драйверы обеспечивают распределение управляющих сигналов между транзисторами «верхних ключей» и транзисторами «нижних ключей» с учетом входного модулирующего сигнала синусоидальной формы. Кроме того, микросхемы осуществляют контроль тока, протекающего через транзисторы инвертора, и обеспечивают ограничение и подстройку этого тока. Интересно отметить, что при формировании управляющих сигналов, драйверы контролируют величину и фазу выходного тока UPS, что позволяет обеспечивать фазовую подстройку управляющих сигналов, причем с учетом тока потребления нагрузки.

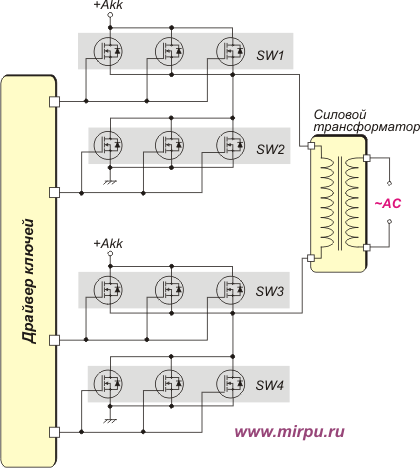
**Инвертор**

Инвертор является элементом, который обеспечивает преобразование постоянного тока от аккумуляторной батареи в переменной ток, выдаваемый в нагрузку. Инвертор строится по схеме мостового преобразователя (рис.5). Такая схема обладает наиболее высоким КПД, и позволяет создавать симметричный переменный ток в обмотке силового трансформатора. Инвертор представляет собой силовые ключи, переключающиеся в определенном порядке, что обеспечивает формирование на выходе UPS синусоидального напряжения.



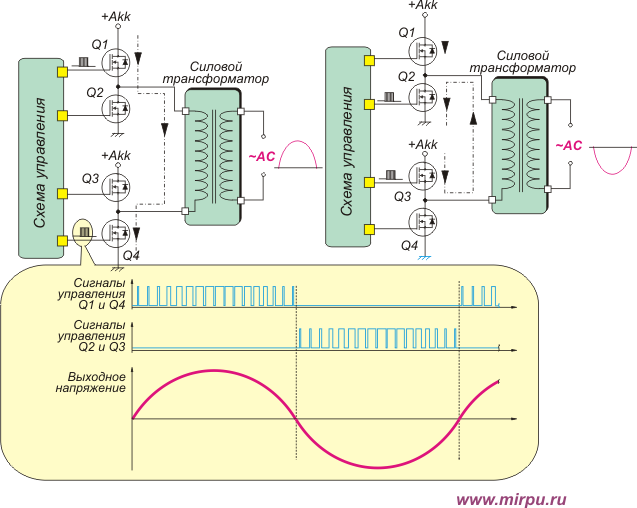
***Рис.5  Эквивалентная схема мостового преобразователя***

В качестве силовых ключей используются MOSFET-транзисторы, включаемые параллельно для увеличения мощности (*рис.6*). Управление транзисторами, т.е. формирование сигналов для их переключения, осуществляется драйверами ключей, которые рассматривались выше.



***Рис.6 Увеличение мощности инвертора осуществляется параллельным включением его силовых транзисторов***

Для получения синусоидального выходного тока, транзисторы инвертора переключаются с высокой частотой, а время открытого состояния транзисторов регулируется драйверами по определенному закону (синусоидальному закону с частотой сети), т.е. имеет место ШИМ-модуляция. Принцип формирования переменного выходного тока синусоидальной формы мостовым инвертором демонстрируется на *рис.7*.



***Рис.7  Формирование синусоидального (апроксимированного) переменного тока мостовым преобразователем***

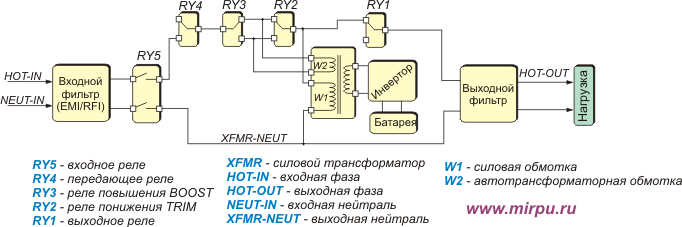
Интересной особенностью инверторов *ИБП SU1000* является то, что им выполняется также и функция зарядного устройства. В моменты времени, когда сетевое напряжение в норме, транзисторы инвертора переключаются по определенному алгоритму, обеспечивая выпрямление и регулировку тока, заряжающего аккумуляторы. Источником энергии для заряда аккумуляторов является обмотка силового трансформатора и ЭДС, наводимая в ней при протекании сетевого тока через высоковольтную обмотку трансформатора.

Таким образом, в *SmartUPS 1000* зарядное устройство, как отдельный функциональный модуль, отсутствует.

**Входные/выходные фильтры и силовая цепь**

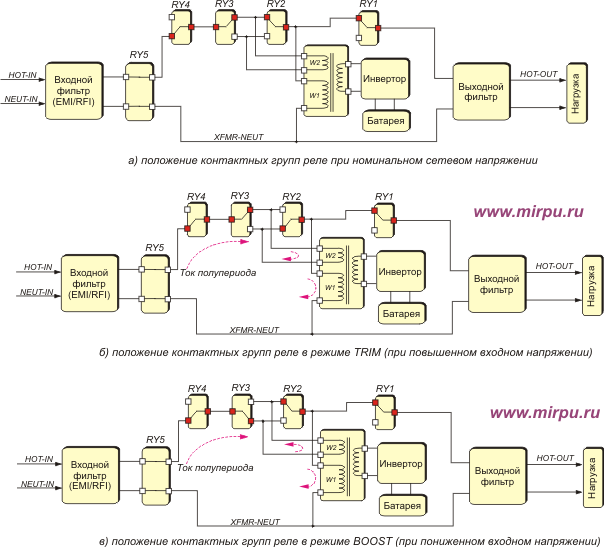
Входными фильтрами обеспечивается фильтрация сетевого напряжения от самых различных помех. В составе этих цепей важное положение занимают устройства защиты от значительных всплесков напряжения (супрессоры). Такая защита реализована за счет применения металло-оксидных варисторов (MOV). Такие варисторы ставятся как на входе UPS (для защиты его элементов от бросков напряжения), так и на выходе (для защиты нагрузки, подключенной к UPS). Кроме того, к элементам защиты необходимо отнести и автоматический токовый предохранитель, находящийся на тыльной стороне UPS и обеспечивающий защиту от короткого замыкания.

Силовая часть UPS состоит из нескольких реле и силового трансформатора. Конфигурация силовой части представлена на рис.8. Как мы уже упоминали, SmartUPS 1000 представляет собой интерактивные источник бесперебойного питания, который позволяет повышать или понижать входное сетевое напряжение, обеспечивая формирование номинального выходного напряжения, не переходя при этом на питание от аккумуляторов.



***Рис.8 Эквивалентная схема силовой части ИБП APC Smart-UPS 1000***

Интерактивная технология обеспечивается за счет наличия на силовом трансформаторе дополнительной автотрансформаторной обмотки. ЭДС, наводимая в этой обмотке, либо суммируется с сетевым напряжением, либо вычитается из него, в результате чего и происходит либо повышение, либо понижение выходного напряжения. Коммутация этой автотрансформаторной обмотки осуществляется с помощью двух реле: реле BOOST (RY3) и реле TRIM (RY2), при переключении которых изменяется направление тока в автотрансформаторной обмотке. Принцип создания синфазного или противофазного тока в автотрансформаторной обмотке демонстрируется на рис.9.



***Рис.9  Принципы повышения/понижения выходного напряжения ИБП***

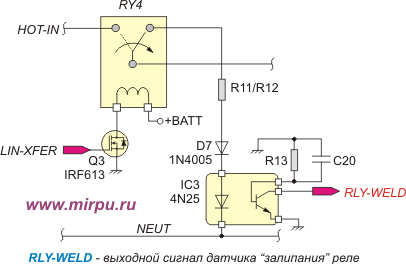
Кроме этих двух реле, имеются еще и другие реле:

*- выходное реле RY1, которое позволяет подключить/отключить нагрузку к UPS;*

*- входное реле RY5, которое обеспечивает полное отключение входной питающей сети, т.е. это реле позволяет отключать и фазу, и нейтраль;*

*- передающее реле RY4 (реле режима работы от батареи (On Battery)). Это реле, по сути, является дублирующим, размыкая одновременно с входным реле еще и фазовый провод.*

Входное и передающее реле управляются одним сигналом от микропроцессора и поэтому срабатывают одновременно. Отключение входной сети должно происходить в обязательном порядке при каждом переходе на работу от аккумуляторов. В противном случае, UPS будет пытаться поддерживать напряжение в питающей сети, что приведет к его мгновенной перегрузке и выходу из строя силовых ключей инвертора. Именно поэтому, в *SmartUPS 1000* введен специальный датчик – датчик «залипания» реле. Этот датчик позволяет избежать ситуации, при которой неисправность реле приведет к работе UPS на первичную сеть. Этим датчиком вырабатывается активный сигнал только при реальном переключении контактной группы передающего реле (*рис.10*). Если же после формирования микропроцессором сигнала на переключение входных реле (LIN-XFER), от датчика «залипания» не приходит сигнал подтверждения (**RLY-WELD**), то инвертор источника блокируется и исключается ситуация неправильной работы UPS.

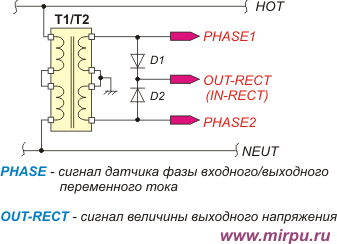


***Рис.10  Датчик "залипания" передающего реле***

**Датчики**

Датчики источника бесперебойного питания позволяют микропроцессору оценивать качество как входного, так и выходного переменного тока и величину напряжений, а также измерять температуру внутри корпуса UPS. С помощью датчиков измеряются такие параметры входной и выходной сети, как величина напряжения, величина потребляемого тока, фаза тока и величина реактивной составляющей выходного тока.

Датчики напряжения и фазы тока построены с применением понижающих трансформаторов, выполняющих функции гальванической развязки между силовой первичной частью и низковольтной вторичной частью UPS (*рис.11*).



***Рис.11 Принцип построения датчиков входного/выходного напряжения***

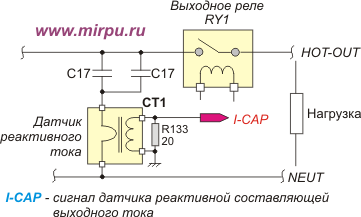
Использование разделительных трансформаторов в значительной мере повышает надежность источника бесперебойного питания. Для контроля параметров входного напряжения сети используется *трансформатор****Т1***, а для контроля параметров выходного напряжения – *трансформатор****Т2***.

Датчики напряжения обеспечивают выпрямление переменного тока, создаваемого на вторичной стороне трансформаторов, позволяя проводить измерение величины действующего напряжения. Это выпрямленное напряжение далее анализируется аналого-цифровым преобразователем. Величина входного напряжения определяется по величине сигнала **IN-RECT**, который получается путем выпрямления синусоидального пониженного напряжения диодами ***D18/D19***. Сигнал **IN-RECT** считывается микросхемой АЦП.

Сигнал фазы входного напряжения (**PHAS-REF**) снимается непосредственно с вторичной обмотки *трансформатора****T1***. Далее этот сигнал преобразуется в прямоугольные импульсы транзистором Q41, после чего импульсы подаются на вход**P3.4** микропроцессора.

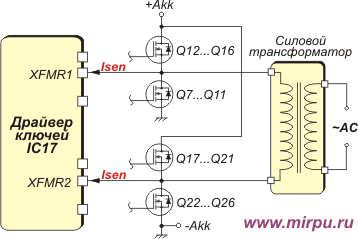
Датчик фазы выходного тока при работе от аккумуляторов представляет собой фазовый детектор, вычисляющий рассогласование между теоретической и реальной частотой и фазой выходного напряжения, т.е. фаза выходного тока измеряется с учетом фазы синусоидального опорного напряжения, генерируемого микросхемой ЦАП. Это позволяет микропроцессору скорректировать опорную синусоиду и подстроить частоту и фазу выходного тока. Другими словами, датчик фазы выходного тока и микропроцессор вместе образуют систему ФАПЧ, позволяющую формировать правильное выходное напряжение. Сигнал фазы выходного тока (**AC-OUT1**) снимается непосредственно с вторичной обмотки *трансформатора****Т2*** и через резистор ***R135*** подается на базу транзистора***Q54***. Сигнал фазы опорной синусоиды снимается с выхода операционного усилителя TL064 – IС8 (**конт.7**) и через резистор***R134*** подается на базу того же транзистора ***Q54***. Транзисторы ***Q54-Q56*** образуют собой схему фазового детектора. Полученный сигнал фазового рассогласования подается на вход микропроцессора (**конт.12 – P3.2**).

SmartUPS 1000 оборудован еще и датчиком реактивной составляющей выходного тока. Реактивная составляющая определяется путем измерения тока, протекающего через конденсатор **С17** (который является составным, т.е. в реальности состоит из нескольких конденсаторов). Этот конденсатор установлен параллельно выходу UPS (*рис.12*), и ток через него будет протекать только при подключении к UPS нагрузки с реактивным характером, которая, как известно, в одном полупериоде потребляет ток, а в следующем полупериоде возвращает его обратно в источник, т.е. в UPS. Реактивная составляющая нагрузки определяет сдвиг потребляемого тока относительно напряжения, но не влияет на форму потребляемого тока (синусоиду). Ток конденсатора **С17** протекает через первичную обмотку токового трансформатора **CT1**. Напряжение, снимаемое со вторичной обмотки **CT1,**пропорционально току заряда **С17** и подается на микросхему управления ключами инвертора. Таким образом, реактивная составляющая нагрузки изменяет режим работы инвертора.



***Рис.12  Датчик реактивной составляющей выходной мощности***

Еще одним датчиком является датчик тока силовых ключей инвертора, который позволяет защитить ключевые транзисторы инвертора от чрезмерно большого тока и ограничить его величину на безопасном уровне. Функцию защиты ключей выполняет микросхема драйвера **IC17**. А вот величина тока вычисляется путем измерения напряжения в средней точке транзисторной стойки (*рис.13*). Напряжение средней точки (сигналы XFMR1 и XFMR2) подается на вход микросхемы **IC17** (**конт.12** и **конт.13**)



***Рис.13 Датчик тока силовых ключей инвертора***

В качестве датчика температуры, измеряющего температуру внутри UPS, используется терморезистор**RTH1**.

**Источники питания**

Для функционирования всей электронной схемы UPS, необходимо наличие нескольких питающих напряжений, а именно:

*1) напряжения +5В (предназначено для питания микропроцессора, АЦП и всей логики ИБП);*

*2) напряжения +12В (предназначено для питания операционных усилителей, ЦАП, интерфейсных цепей и проч.);*

*3) напряжения +24В (предназначено для питания реле);*

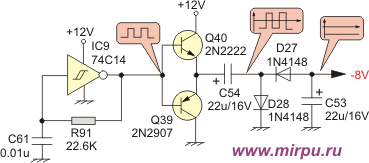
*4) напряжения -8В (необходимо для питания ЦАП, драйверов инвертора и интерфейсных цепей).*

Напряжение +24В формируется аккумуляторами, и из него получают все остальные положительные напряжения с помощью линейных интегральных стабилизаторов:

*- на +12В (IC4 – Low-Drop стабилизатор типа LM340T-12)*

*- на +5В (IC5 – классический стабилизатор LM7805).*

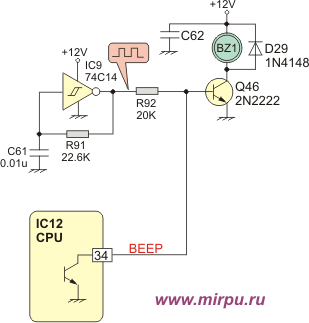
Наиболее интересным построением отличается источник напряжения -8В. Для формирования этого напряжения используется автогенератор, создающий импульсы, которые затем выпрямляются и сглаживаются (*рис.14*). Использование такого источника возможно потому, что нагрузка канала -8В является слаботочной.



***Рис.14  Принцип формирования отрицательного напряжения -8V***

**BEEPER**

В различных аварийных режимах UPS издает предупреждающие звуковые сигналы. Для формирования этих сигналов используется «пищалка» (по-английски, *Beeper*), обозначаемая на схеме **BZ1**. На «пищалку» подаются высокочастотные импульсы, формируемые автогенератором, используемым для формирования отрицательного напряжения -8В. Импульсы с выхода операционного усилителя автогенератора (**конт.2 – IC9**) через***R92*** подаются на базу транзистора **Q46**, который уже непосредственно создает импульсный ток через **BZ1**. Кроме того, база транзистора Q46 соединена портом **P0.5** (**конт.34**) микропроцессора. Этот выход микропроцессора является выходом с открытым коллектором (*рис.15*). Во время нормальной работы UPS этот порт открыт, т.е. на нем устанавливается «*лог. 0*» (импульсы автогенератора шунтируются на землю). В результате транзистор Q46 закрыт и «пищалка» не работает. При возникновении аварийной ситуации, порт P0.5 закрывается, т.е. переходит в состояние высокого импеданса. В результате, импульсы автогенератора подаются на базу транзистора **Q46,** и **BZ1** начинает издавать звуки.



***Рис.15  Принцип управления "пищалкой" ИБП APC Smart-UPS 1000***

**Интерфейсы**

Для связи с компьютером в SmartUPS 1000 используется интерфейс *DB-9*, который может работать как в режиме *Simple Signaling*, так и в режиме *Smart Signaling.* Для работы через интерфейс *DB-9*используется специальный соединительный кабель черного цвета (номер по фирменному каталогу *№940-0024С*), которым UPS подключается к последовательному порту RS-232 компьютера. Соединительный разъем на схеме обозначен **J1.**Назначение сигналов разъема представлено в *табл.3*.

***Таблица 3.Сигналы  интерфейсного разъема***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование** | **Описание** |
| **1** | ***Shutdown Input*** | Входной сигнал отключения UPS. Для выключения UPS, на этом контакте должен установиться TTL-сигнал высокого уровня (+5В) или сигнал высокого уровня интерфейса RS-232 (+12 В) на время не менее 4.5 секунд. UPS выключается  через 20 секунд после активизации сигнала. UPS реагирует на сигнал отключения только в том случае, если находится в режиме работы от аккумуляторов. Если UPS находится в интеллектуальном сигнальном режиме (smart signaling mode), то контакт используется для приема входных (управляющих) данных от ПК. Если UPS был выключен посредством данного сигнала, то включение UPS возможно только после того, как входное сетевое напряжение вновь станет номинальным. |
| **2** | ***Transfer To On Battery Signal Output*** | Выходной сигнал, показывающий, что UPS перешел на питание от аккумуляторных батарей. Когда UPS переходит на питание от батарей, этот сигнал изменяет свое состояние с низкого уровня интерфейса RS-232 (-12В) на высокий уровень интерфейса RS-232 (+12 В). Поэтому «нормальным» состоянием этого сигнала, т.е. когда входное сетевое напряжение находится на номинальном уровне, является состояние низкого  уровня (-12В). Если  используется интеллектуальный сигнальный режим (smart signaling mode), то данный контакт используется для передачи выходных данных от UPS на ПК. |
| **3** | ***Normally Open On Battery Signal*** | Выходной сигнал, показывающий, что UPS перешел на питание от аккумуляторных батарей. Основное отличие данного сигнала от сигнала на конт.2 заключается в том, что он является выходом с открытым коллектором, и поэтому может управлять цепями, работающими с сигналами уровней TTL. Сигнал **Normally Open On Battery** устанавливается в низкий уровень в момент перехода UPS на работу от аккумуляторных батарей. Так как это выход с открытым коллектором, то через внешние схемы к этому контакту  должно прикладываться  смещающее напряжение уровня TTL. Этот контакт позволяет напрямую управлять какой-либо нагрузкой, питающейся от напряжения величиной до 40 В, но величина тока нагрузки в этом случае не должна превышать значения 50 мА. Нагрузка, напрямую управляемая данным контактом не должна быть индуктивного типа. |
| **4** | ***Common*** | Общий (земля). |
| **5** | ***Normally Open Low Battery Signal*** | Выходной сигнал, показывающий, что аккумуляторные батареи разряжены. Контакт является выходом с открытым коллектором. Сигнал на контакте устанавливается в низкий уровень в том случае, если напряжение на батареях становится ниже соответствующего порога, т.е. когда батареи разряжены. Вывод совместим с сигналами уровней TTL. Кроме того, к контакту напрямую можно подключать нагрузку, питающуюся напряжением до +40В, при этом ток через контакт не должен превышать величины 50мА. Подключаемая нагрузка не должна быть индуктивного типа. |
| **6** | ***Normally Closed On Battery Signal*** | Выходной сигнал, показывающий, что UPS перешел на работу от аккумуляторных батарей. Контакт является выходом с открытым коллектором. Отличие данного сигнала от сигнала на конт.3 заключается в том, что внутренний транзистор, управляющий данным сигналом,  при переходе на питание от аккумулятора выключается, устанавливая сигнал на этом контакте в высокий уровень (в то время как транзистор, управляющий контактом 3, наоборот открывается, устанавливая свой выходной сигнал в низкий уровень). |
| **7** | ***Remote Turn On/Off*** | Входной сигнал удаленного включения и выключения UPS. UPS включается и питает подключенную к нему нагрузку при установке этого сигнала в высокий уровень интерфейса RS-232 (+12 В) на время, большее чем 1 секунда. Если же к данному контакту прикладывается потенциал земли (0В) на время большее, чем 1 секунда, UPS выключается. |
| **8** | ***Unregulated +24 Vdc*** | Нерегулируемое напряжение +24В постоянного тока. На этом контакте должно присутствовать напряжение не ниже +18В. Между источником тока напряжения +24В (+18В) и конт.8 должен последовательно включаться токоограничивающий резистор, который ограничивает ток конт.8 на уровне 40 мА (параллельно включенные R1и R2). |
| **9** | ***Common*** | Общий (земля). |

Управление интерфейсом осуществляется с помощью специализированной микросхемы**IC2**. Эта микросхема, в свою очередь, управляется микропроцессором по последовательному интерфейсу посредством передачи команд и считывания данных по линиям **SDO-ASIC** и**SDI-ASIC**. Однако эти сигналы к микропроцессору проходят через микросхему мультиплексора *74HCT257* (**IC22**), на микропроцессоре эти сигналы обозначены**DATA-IN** и **SD-OUT**.

Кроме того, SmartUPS 1000 оборудован еще и интерфейсом для подключения *SNMP устройств*, расширяющих функциональные возможности ИБП. В частности, при использовании SNMP-устройств, можно обеспечить подключение SmartUPS к локальной сети, а также оснастить его различными дополнительными датчиками (влажности, дыма, температуры и т.п.), позволяющими осуществлять мониторинг окружающей среды, что может оказаться очень полезным, например, при размещении ИБП в отдельной серверной комнате. Сигналы на SNMP-коннектор частично подаются от микропроцессора напрямую, а часть сигналов проходит через микросхему мультиплексора *74HCT257*(**IC22**).

Для обеспечения взаимодействия с пользователем, SmartUPS имеют достаточно информативную панель оператора, на которой отражается и величина нагрузки, и уровень заряда аккумуляторной батареи и текущий режим работы. Так как на панели оператора имеется достаточно много светодиодов, то управлением ими осуществляется с помощью двух микросхем типа *UCN5821* (**IC18** и **IC19**). Эти микросхемы представляют собой 8-разрядные преобразователи последовательного кода в параллельный с функцией защелкивания выходных данных. Информация о том, какие светодиоды панели управления должны светиться, передается с помощью сигналов **DSP-DATA**, **DSP-CLK** и **LED-STRB**. Эти данные формируются микропроцессором и передаются в последовательном виде по линии **DSP-DATA**. Передача 8-битного последовательного кода тактируется синхросигналами на линии **DSP-CLK.**Когда передача данных заканчивается, микропроцессор генерирует сигнал**LED-STRB**, по которому происходит защелкивание на выходах микросхемы UCN5821 параллельного кода, полученного из последовательного кода.

Кроме того, на управляющей панели имеется две кнопки ***ON*** (включение) и ***OFF*** (выключение).