

УДК 621.314.5

UDC 621.314.5

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**МОДУЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ С
КОНФИГУРИРУЕМОЙ СТРУКТУРОЙ****MODULAR POWER SUPPLY WITH CONFIG-
URABLE STRUCTURE**Каталупов Олег Игоревич
аспирант*Инженерно-технологическая академия ЮФУ, Рос-
сия*
katoleg2008@yandex.ruKatalupov Oleg Igorevich
postgraduate*Engineering and Technology Academy SFEDU, Russia*
katoleg2008@yandex.ru

В данной статье рассмотрены проблемы, связанные с электропитанием современных электронных устройств. Предложена новая концепция источника питания, позволяющая решить указанные проблемы. Кроме этого в статье рассмотрены недостатки существующих решений в области электропитания, а также способы их устранения путем создания нового источника питания, построенного по принципам, отличным от представленных на современном рынке. В работе развита теория создания универсального модульного источника питания, обладающего рядом преимуществ с одновременным устранением недостатков, присущих существующим решениям. Произведено создание оптимальной структурной схемы такого источника. Разработанный источник позволяет в полной мере выполнить требования в области электропитания, предъявляемые к нему устройствами современной электроники, и имеет потенциал для дальнейшего развития

In this article, we consider problems of power supply of modern electronic devices. The author proposes a new concept of source of power, which resolves this problem. In addition, this article describes limitations of existing deservations in the area of power supply. In the article, we suggest ways of resolving this limitation by creating a new source of power based on principles, which are different from the existing way. In this article, we develop a theory of creating a universal modular source of power, which would have some advantages. This article considers an optimal structural scheme of that source. We have developed a source of power which meets the requirements of power supply of modern electronic devices and has a potential supply for the next development

Ключевые слова: ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ, ПРЕ-
ОБРАЗОВАТЕЛЬ, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, АЦПKeywords: POWER SUPPLY, INVERTER, MICRO-
CONTROLLER, ADC**Doi: 10.21515/1990-4665-131-099**

В связи с развитием современной техники предъявляются все более серьезные требования к качеству электропитания. Именно поэтому на рынке представлено большое количество разнообразных источников питания (ИП) [1]. Однако, они имеют фиксированные характеристики, что влечет за собой необходимость подстраиваться под существующие решения при проектировании того или иного оборудования. При этом необходимость в изменении параметров ИП, например, максимальной мощности, требует полной замены существующего источника, либо включения в ту же линию питания дополнительного, независимого ИП, для чего существующие решения [2, 3] мало предназначены и при таком включении важно выполнить

ряд требований производителя. В противном случае для нестандартных технических решений потребуется разработка источника по индивидуальному заказу, что повлечет за собой задержку запуска оборудования, а также его удорожание. На сегодняшний день на рынке представлены источники питания таких производителей, как TracoPower, MeanWell, Vicor. Однако в направлении решения указанной проблемы работает лишь компания Vicor [4]. При этом на данный момент их решения имеют существенные ограничения по функционалу и мощности. Следовательно, необходимо разработать новый источник питания с возможностью гибкой достаточно простой настройки выходных параметров. Сама настройка должна проводиться без использования специализированного оборудования.

1. Разработка концепции источника питания. Как известно, источники питания делятся на два основных класса: трансформаторные, построенные на основе трансформатора с рабочей частотой 50 Гц, и импульсные [5], в основе которых лежит трансформатор, рассчитанный на частоты в десятки килогерц. Первый класс является самым простым в построении, однако обладает наихудшими соотношениями габариты-мощность. Поэтому в предлагаемой работе будет рассмотрен лишь второй класс. К тому же в импульсном источнике питания (ИИП) возможно осуществить регулировку параметров с наименьшей потерей КПД.

Как было сказано выше, необходимо разработать достаточно универсальный источник питания для максимально легкого и быстрого создания систем электропитания с учетом требований конкретного устройства. Для этого ИИП должен удовлетворять следующим требованиям:

- КПД не менее 85%;
- регулировка напряжения на выходе;
- регулировка уровня токовой защиты;
- возможность работы в режиме стабилизации как тока, так и напряжения;

- возможность снижения уровня собственного шума в выходных линиях для питания потребителей с жесткими требованиями по помехозащищенности линий питающего напряжения;

- возможность изменения выходной мощности;

- конструкция ИП должна быть максимально универсальной для получения различных по величине выходных параметров без переделки модулей питания.

Наибольшую сложность для реализации представляет изменение выходной мощности, в то время как выполнить остальные достаточно легко. Для реализации отмеченного требования существует несколько методов:

- изменение рабочей частоты ИИП. Известно, что подъем частоты ведет за собой некоторое увеличение максимальной мощности, отдаваемой трансформатором. Но пределы изменения настолько малы, что применение метода на практике не имеет смысла;
- создание универсальной печатной платы для установки силовой части под конкретные требования. Достаточно действенный метод, но для каждой задачи он требует сборки и настройки отдельного устройства с существенным увеличением как габаритных размеров печатной платы, так и сложности её трассировки;
- параллельное включение нескольких модулей питания (МП) для обеспечения требуемых значений выходной мощности. Наиболее универсальный метод, не требующий создания большого количества уникальных модулей, поскольку требуемая конфигурация строится из существующих ИП.

Как видно из вышесказанного, лучшим является метод модульного построения ИП, пример которого показан на рисунке 1.

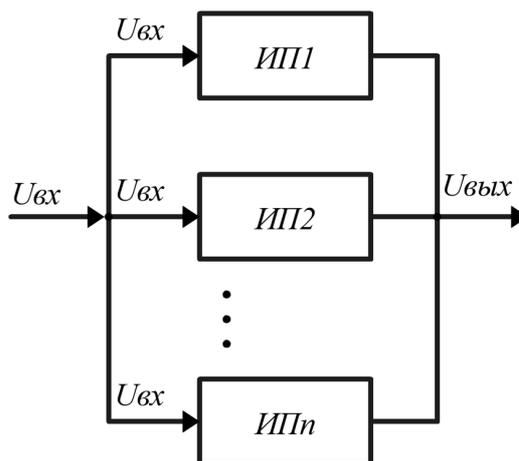


Рисунок 1 – Структурная схема модульного включения источников питания

На первый взгляд, достаточно разработать модули на несколько мощностей, например, 100 Вт, 200 Вт, 500Вт, 1 КВт, затем соединить модули с одинаковыми характеристиками параллельно и получить необходимую суммарную мощность. Однако, в связи с тем, что изготовить модули с абсолютно одинаковыми параметрами невозможно, нагрузка будет распределяться между ними неравномерно. Особая опасность появляется в том случае, когда потребление мощности происходит импульсами, т.к. при запаздывании включения одного из модулей, нагрузка ляжет на те, что включились ранее. В лучшем случае это приведет к срабатыванию защиты от перегрузки, в худшем – к выходу модулей из строя. Кроме этого, наибольшая эффективность работы может быть достигнута только при наличии возможности синхронизировать все блоки между собой. Следовательно, требуется некая система управления для синхронизации всех МП в системе электропитания, а также равномерного распределения нагрузки между ними. Кроме этого, каждый модуль должен иметь возможность автономной работы с возможностью настройки параметров.

Исходя из вышеперечисленного составим структурную схему конфигурируемого источника питания, изображенную на рисунке 2.

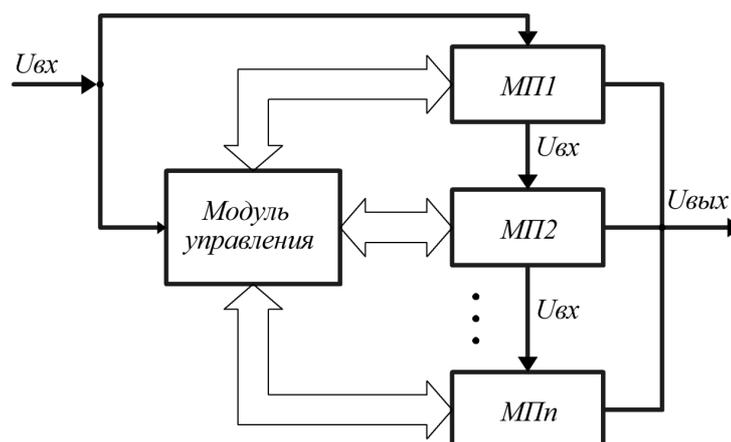


Рисунок 2 – Структурная схема конфигурируемого (модульного) источника питания

Из схемы видно, что помимо параллельного включения модулей питания для работы системы применен общий модуль управления (МУ), который объединяет все МП и осуществляет их синхронизацию. При этом нагрузка на модули должна распределяться таким образом, чтобы в каждый момент времени в работе участвовали все модули питания. Если же потребление таково, что нагрузить минимальным током все МП не представляется возможным, в работу должно включаться их максимальное для данных условий количество. Это необходимо для сокращения времени отклика системы, если потребитель производит отбор мощности в импульсном режиме. В противном случае, даже при наличии МУ, в начальный момент времени после резкого возрастания потребления под нагрузкой окажется тот модуль (либо модули), который работал в данный момент. А уже после этого в работу включатся остальные модули. Это может привести как к повышенной пульсации напряжения на выходе системы в целом, так и отключению части модулей питания из-за перегрузки.

2. Разработка аппаратной части модуля питания. Технические требования к указанной разработке с учетом сказанного выше заключаются в следующем:

- регулировка напряжения на выходе модуля (режим стабилизации напряжения);
- регулировка тока на выходе модуля (режим стабилизации тока);
- переключение между режимами стабилизации напряжения и тока;
- удаленное управление включением модуля (высокоомный вход с открытым коллектором);
- возможность работы как от внутреннего, так и от внешнего тактового сигнала;
- наличие высокоскоростного интерфейса передачи данных для связи с модулем управления;
- возможность как ручного изменения параметров, так и при помощи команд управляющего модуля;
- наличие защиты от перегрузки, перенапряжения и перегрева.
- высокая скорость отработки изменения нагрузки и токовой защиты;
- низкий уровень пульсаций питающего напряжения на выходе модуля питания;
- наилучшее соотношение габаритов/мощности/стоимости;
- желательна работа в максимально широком диапазоне температур.

Структурная схема модуля в соответствии с перечисленными выше требованиями представлена на рисунке 3.

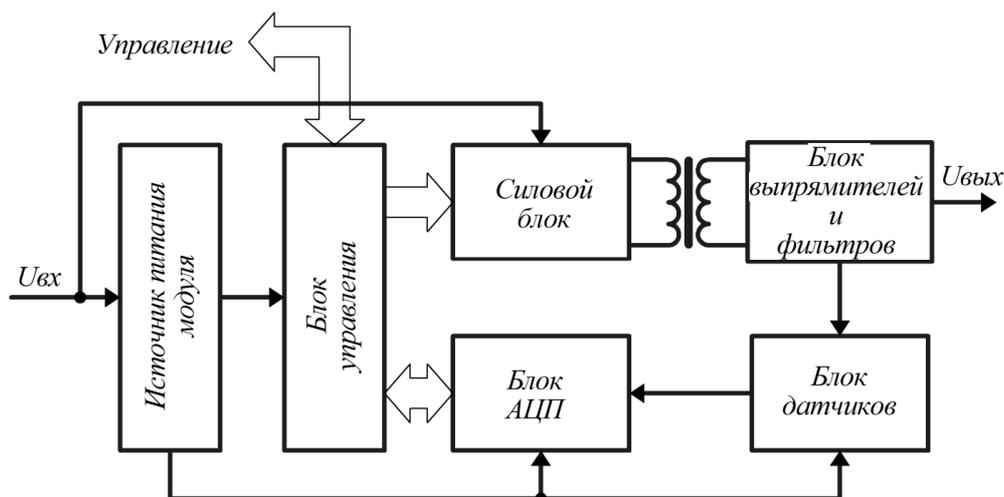


Рисунок 3 – Структурная схема модуля питания

Блок управления МП должен обеспечивать управление всеми функциями модуля, а также поддерживать сопряжение с центральным модулем управления (рис. 2). Построение такого блока возможно двумя способами. Первый – применить готовый ШИМ контроллер [6], например, TL494 [7] для управления силовой частью модуля, а для контроля его работы и связи с МУ использовать микроконтроллер (МК). Второй – заложить функционал ШИМ контроллера в программу МК. Поскольку функции, выполняемые ШИМ контроллером, относительно простые, выгодно всё управление модулем осуществлять только при помощи микроконтроллера. Это позволит получить более компактную печатную плату, а также производить тонкую настройку работы МП. Основные требования, предъявляемые к МК:

- стабильная работа при наличии импульсных и электромагнитных помех;
- высокое быстродействие, в том числе проведение операций умножения и деления как целочисленных значений, так и чисел с плавающей точкой не более чем за 10 тактов;
- наличие как минимум двух высокоскоростных интерфейсов обмена данными, например, SPI;

- наличие не менее одного интерфейса UART;
- наличие необходимого количества портов ввода/вывода.

Источник питания модуля должен представлять собой компактный блок питания (БП) невысокой мощности для обеспечения низковольтной части схемы МП питающими напряжениями 3,3 В и 5 В. Предлагаемый БП может быть собран либо на микросхеме серии TOP Switch [8], либо на step-down преобразователях [9] типа MC34063 [10], в зависимости от величины входного напряжения, на которое рассчитан конкретный модуль питания. Главное требование к источнику питания модуля – стабильность напряжения на его выходе в сочетании с невысоким уровнем шумов и высокой надежностью.

Силовой блок состоит из мощных ключевых элементов (транзисторы типа MOSFET) с управляющими драйверами для согласования с блоком управления. Параметры транзисторов подбираются исходя из требований к конкретному модулю питания. Кроме этого может варьироваться их количество для достижения требуемой мощности.

Блок выпрямителей и фильтрации представляет собой схему выпрямления, построенную на высокоскоростных диодах в совокупности с RC, либо LC фильтрами для сглаживания пульсаций и шумов на выходе модуля питания. Фильтр рассчитывается таким образом, чтобы иметь максимальное подавление помех на рабочей частоте модуля питания, создаваемых работой силовой части преобразователя, в сочетании с малым запаздыванием.

Блок датчиков представляет собой датчик тока и датчик напряжения. В качестве датчика тока возможно применение современных датчиков, основанных на эффекте Холла, например, фирмы Allegro MicroSystems [10]. Основные требования к датчикам – максимальная линейность зависимости выходной величины от измеряемой.

Блок АЦП состоит из микросхемы аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) и источника опорного напряжения (ИОН). Т.к. стабилизация выходного напряжения или тока будет осуществляться, основываясь на показаниях АЦП, то необходимо обеспечить достаточную точность измерения этих величин. Так, АЦП с разрешением в 8 бит при полном отклонении шкалы датчика тока/напряжения в 5В обеспечит точность:

$$\frac{5\text{В}}{2^8} = 0.01953125\text{В}$$

При условии того, что датчики обеспечивают близкую точность выходных показаний, а также применении соответствующих алгоритмов усреднения, можно получить пульсации на выходе МП в пределах 0,03-0,04В.

Не меньшую точность поддержания выходного напряжения должен обеспечивать и ИОН. Главное условие его работы – низкий температурный дрейф напряжения. В противном случае, даже самые лучшие алгоритмы в совокупности с высокоточными АЦП не обеспечат приемлемой точности измерений. А при правильном подборе элементов и схемотехнического решения для измерительной части, вполне возможно получение величины пульсаций на выходе на уровне 0,05-0,08 В даже в условиях помех. Что вполне достаточно для большинства потребителей.

Если же устройство, для которого будет применяться разрабатываемый МП, предъявляет повышенные требования к уровню пульсаций и помех по линии питания, то возможно применение схемы, сочетающей в себе импульсный источник питания (см. рис. 3), с линейным стабилизатором. Структурная схема такого МП представлена на рисунке 4.

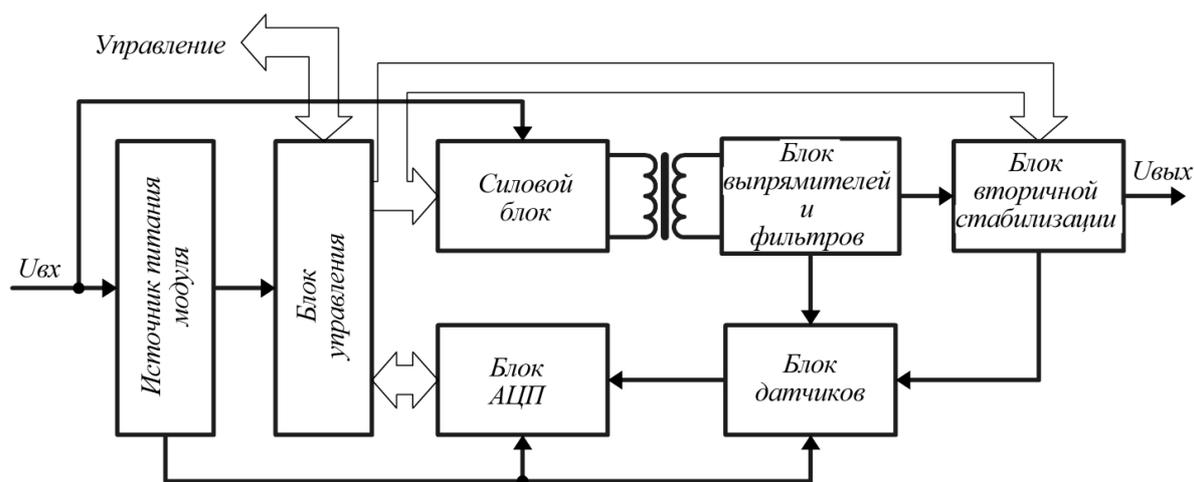


Рисунок 4 – Структурная схема МП с пониженным уровнем шумов

Как видно из схемы, в устройство добавился еще один блок – Блок вторичной стабилизации. Он представляет собой регулируемый линейный стабилизатор с малым переходным падением напряжения, не более 0,5-0,8В. Низкое переходное падение напряжения позволяет получить малое тепловыделение, что отражается на размерах и КПД МП. Для работы данного типа модуля питания необходимо осуществлять управление основным преобразователем таким образом, чтобы напряжение на его выходе, а, соответственно, и на входе блока вторичной стабилизации было близко к значению, рассчитываемому по формуле:

$$U_{\text{инп}} = U_{\text{вых}} + U_{\text{пад}}$$

где $U_{\text{вых}}$ – напряжение на выходе МП, $U_{\text{пад}}$ – падение напряжения на линейном стабилизаторе, $U_{\text{инп}}$ – напряжение на выходе блока выпрямителей и фильтров.

При превышении напряжением на входе вторичного стабилизатора расчетного значения будет происходить повышенное тепловыделение на силовом элементе стабилизатора. В случае же падения напряжения ниже расчетного, выходное напряжение вторичного стабилизатора будет нестабильным. Поэтому необходимо осуществлять стабилизацию для обоих блоков.

Выводы. Из представленного материала видно, что задача создания универсального модульного источника питания технически реализуема. К тому же, на современном рынке предложенное решение будет востребовано. Следовательно, необходимо детально проработать принципиальные схемы каждого модуля, провести расчеты и моделирование. Но уже на данном этапе работы понятно, что современная элементная база позволяет в полной мере реализовать устройство, полностью удовлетворяющее сформулированной в начале статьи задаче, на решение которой будут направлены дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов И. П. Источники питания/ И. П. Ефимов – У.: УГТУ, 2001. – 135с., ил.
2. Traco Power, производитель источников питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tracopower.com/products/browse-by-category/>
3. Mean Well, производитель источников питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.meanwell.com/py/productSeries.aspx#>
4. Vicor, производитель источников питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vicorpower.com/#>
5. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование/ М. Браун; пер. с англ. – К.: “МК-Пресс”, 2007. – 288с., ил.
6. Мек Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению/ Р. Мек; пер. с англ. – М.: Издательский дом “Додэка-XX1”, 2008. – 272с. ил.
7. ШИМ контроллер с двумя усилителями ошибки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl494.pdf>
8. TOP Switch контроллеры для блоков питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ac-dc.power.com/products/topswitch-family/>
9. Step-down преобразователи, расчет и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf>
10. Контроллер step-преобразователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF>
11. Датчики тока на основе эффекта Холла, сайт производителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs.aspx>
12. Высокопроизводительные ARM микроконтроллеры семейства STM32, сайт производителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html?querycriteria=productId=SC1169>
13. Высокопроизводительный Ethernet контроллер, сайт производителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/W5300.pdf>

14. Микросхемы гальванической развязки для цифровых линий, сайт производителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.silabs.com/products/isolation/digital-isolators>

References

1. Efimov I. P. Istochniki pitaniya/ I. P. Efimov – U.: UGTU, 2001. – 135s., il.
2. Traco Power, proizvitel' istochnikov pitaniya [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.tracopower.com/products/browse-by-category/>
3. Mean Well, proizvitel' istochnikov pitaniya [Jelektronnyj re-surs]. – Rezhim dostupa: <http://www.meanwell.com/py/productSeries.aspx#>
4. Vicor, proizvitel' istochnikov pitaniya [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.vicorpower.com/#>
5. Braun M. Istochniki pitaniya. Raschet i konstruirovaniye/ M. Braun; per. s angl. – K.: “MK-Press”, 2007. – 288s., il.
6. Mek R. Impul'snye istochniki pitaniya. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya i rukovodstvo po prakticheskomu primeneniju/ R. Mek; per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom “Dodjeka-XX1”, 2008. – 272s. il.
7. ShIM kontroller s dvumja usiliteljami oshibki [Jelektronnyj re-surs]. – Rezhim dostupa: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl494.pdf>
8. TOP Switch kontrollery dlja blokov pitaniya [Jelektronnyj re-surs]. – Rezhim dostupa: <https://ac-dc.power.com/products/topswitch-family/>
9. Step-down preobrazovateli, raschet i primenenie [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf>
10. Kontroller step-preobrazovatelja [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF>
11. Datchiki toka na osnove jeffekta Holla, sajт proizvitelja [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs.aspx>
12. Vysokoproizvitel'nye ARM mikrokontrollery semej-stva STM32, sajт proizvitelja [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html?querycriteria=productId=SC1169>
13. Vysokoproizvitel'nyj Ethernet kontroller, sajт proizvitelja [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/W5300.pdf>
14. Mikroshemy gal'vanicheskoy razvjazki dlja cifrovyh linij, sajт proizvitelja [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.silabs.com/products/isolation/digital-isolators>