

# Зарядное устройство

## ZU v1.5

- Цифровое зарядное устройство на процессоре ATmega32
- Два независимых канала с тепловыми датчиками, управляемых одним процессором.
- Память на 20 аккумуляторов
- Память на 16 химических типов аккумуляторов. Тонкая настройка особенностей химических типов (более 40 параметров)
- Зарядка, разрядка, до 3 циклов тренировки
- Максимальная мощность разряда 50 Ватт (радиатора) + мощность нагрузки, но не более 5А и не более 25 Вольт.
- Максимальная мощность заряда 125 Ватт, но не более 5А
- Максимальное напряжение заряда 25 Вольт
- Вентилятор охлаждения силовых схем с датчиком температуры.
- Защита от переплюсовки, от превышения тока, от превышения напряжения по входу и выходу.
- ЖКИ 4 строки на 20 символов
- Клавиатура - 4 кнопки (да, нет, вверх, вниз)
- Обновление прошивки с помощью встроенного программатора PonyProg, который работает только через родной COM (переходники USB to COM и нечестно сделанные COM-порты на некоторых ноутбуках не допускаются).
- Слежение за процессом зарядки на компьютере через COM-порт (ПО с открытым кодом прилагается). Отражение всех параметров зарядки в графиках и текстовых файлах данных.
- Открытый код микропрограммы на WinAVR (все исходники с подробными комментариями прилагаются)
- Возможность подключения самостоятельно разработанных силовых схем.
- Возможность оверклокинга (увеличения мощности заряда/разряда)

## Вступление.

Прошу считать данный проект подарком для начинающих программистов и моделистов «на все руки». Если аккуратно все делать, то и начинающий сможет получить результат и полезный опыт. В этой статье вы также найдете выжимки из различной литературы относительно зарядных устройств и всего, что с ними связано.

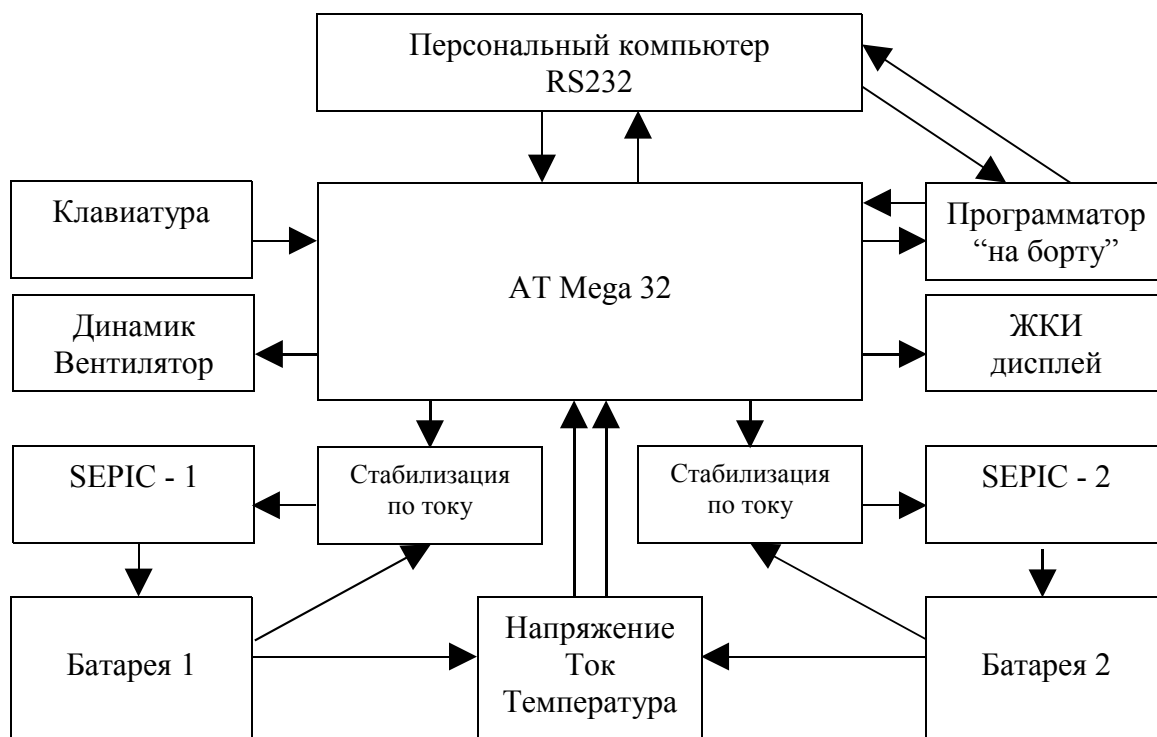
Устройство состоит из цифровой схемы, осуществляющей управление двумя силовыми. Минимальная конфигурация ЗУ – одна цифровая и одна силовая. Силовая схема может быть включена в любой из разъемов 1-го или 2-го канала. В качестве силовой представлена схема SEPIC – преобразователь из 12в в диапазон от 0в-25в.

Все заинтересованные могут экспериментировать с силовыми схемами, выбирая их по своему усмотрению, если при этом будут соблюдены требования «стандартного разъема». Программа, заложенная в цифровой схеме, будет также успешно функционировать и на других силовых.

В статье описан процесс установки WinAvt. Знающие программирование на языке Си смогут вносить изменения в код микропрограммы, изменять прошивку и заливать ее в микропроцессор.

Правильно собранная по номиналам схема не требует наладки железа, только программная подстройка коэффициентов напряжения и тока с компьютера.

Вся дополнительная информация вынесена в приложения, чтобы не пугать новичков. Захотели углубиться – открыли и прочитали. Основная линия ведет начинающих к быстрому результату.



## С чего начать?

Первое что вам нужно сделать это сесть и подумать: А надо оно вам? Зачем вам зарядное устройство? Может лучше купить? По времени точно быстрее. По деньгам тоже меньше получится в итоге. Ответ на этот вопрос знаете только Вы!

Второе. Нужно прочитать статью. Получив, таким образом, новую информацию, опять переоцените ситуацию. Сил и времени хватит ли?

Если решились, значит вперед без сомнений!

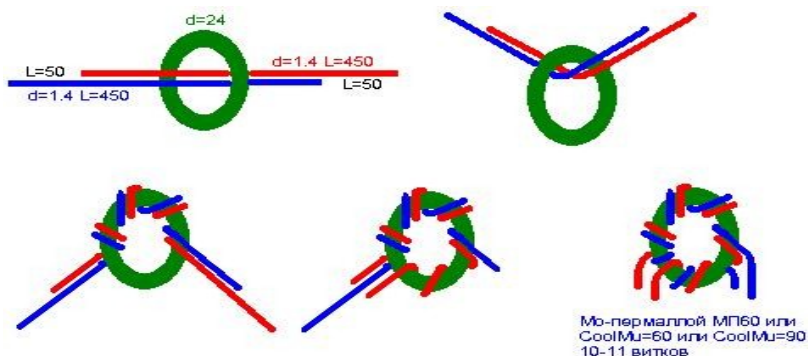
Итак, вам нужно раздобыть где-нибудь платы. Можно в складчину заказать платы у какого-нибудь изготовителя. Изготовителю надо отдать файлы: bp15d.pcb – цифровая схема, bp15fs.pcb – силовая SEPIC. Каждая плата будет стоить в районе \$4 (за 4 недели) или \$8 (за 1 неделю), но изготовитель запросит у вас еще по \$50 за подготовку файлов для станка одного вида платы. Кстати при повторном изготовлении \$50 платить не надо.

Другой вариант платы можно изготовить самостоятельно с помощью пленки фоторезиста или лазерно-утюжной технологии. В этом случае придется помучиться с самой технологией, с совмещением отверстий, со сверлением отверстий и решением вопроса их металлизации. Если у вас нет опыта и чрезвычайной аккуратности, в этом направлении вас ждет разочарование.

Далее закупаем все необходимые детали в соответствии со списком «BOM» (см. Приложение №11). Там же даны рекомендации по замене на аналоги. Паяем цифровую схему. СМД компоненты легко паяются с использованием специального пинцета. Стараемся не ошибаться и проверять все компоненты перед впаиванием (хотя бы транзисторы).



Отдельно скажем, как мотается дроссель. Если это мо-пермаллой, то обе половинки склеить на момент. Взять два куса 1.4 мм провода длиной 45 см, сложить их вместе со сдвигом 5см. Засунуть в дырку кольца до середины и мотать сначала одну половину, потом вторую. С каждой из сторон последние два витка мотаются одним проводом и встречно соединяются. Примотании внутренние витки ложатся вместе без зазора, внешние пары проводов отстоят друг от друга на 3 мм. Для лучшего прижимания меди к кольцу, надо перед просовыванием в дырку просто обогнуть провод вокруг кольца, не просовывая, а потом отвести весь виток назад (он немного разогнется по всему радиусу кольца) и потом суем в дырку и натягиваем - огибаем, не просовывая следующий виток, с запасом выщеливая 3 мм на внешнем радиусе и плотно прижимая на внутреннем. Первые витки будут неудобно оттопыриваться, потом все будет хорошо. Нужно приноровиться и проявить смекалку. Всего получается на кольце 24 мм 11 витков. При пайке на плату под дроссель лучше приклеить кусок картона 10x10 мм. Не беспокойтесь о закоротке провода и сердечника (у сердечника очень высокое сопротивление), а беспокойтесь о закоротке проводов. Ни каких изоляторов и покрытий не нужно для лучшего теплоотвода.



### **Первое включение цифровой платы.**

Аккуратно промываем все спиртом, чтобы не залить разъемы, и проверяем залипы. Потом тестером измеряем сопротивление между «землей» и «5в» и «12в». Должно быть больше нуля.

Цепляем клавиатуру 4 кнопки: общий контакт разъема X7 на каждую кнопку, вторые контакты кнопок на соответствующий контакт разъема.

ЖКИ подсоединяем к разъему XL1:A. Скорее всего, нумерация ног на разъеме и на ЖКИ совпадет (проверьте по описанию на ЖКИ). Подсветку ЖКИ на HL1:B (15 и 16 нога того же разъема). Если подсветка не засветилась при первом включении, просто поменяйте местами проводки идущие к подсветке. Разные производители по-разному разводят анод и катод подсветки.

Задумывалось, что цифровая схема питается через стандартный разъем силовой. Но разъем имеет ненадежные контакты, поэтому не забудьте в конце соединить цифровую и силовую отдельными проводами: 12в цифровой с 12в силовой после предохранителя и соединить землю цифровой к земле силовой на конденсаторе C20. Пока для запуска отдельно цифровой подайте питание «12в» на большое отверстие около DA1, «земля» на переходное отверстие в углу платы.

Если все ОК, то дыма не будет, а на экране ЖКИ будет черная полоса во всю первую строку (или 2 полосы, или не будет полос – это тоже нормально). Если полосы нет, попробуйте поменять местами R3 и R4 – это контрастность ЖКИ. Если контрастность вас не устраивает, попробуйте вместо одного из них поставить перемычку, а второе не впаивать или наоборот.

Теперь необходимо запрограммировать процессор (см. Приложение №4).

Если программирование прошло успешно, на ЖКИ высветится приветствие и в вашу честь заиграет музыка.

Если у вас нет ЖКИ и/или нет клавиатуры, вы можете управлять ЗУ через COM-порт. Для этого запустите программу «zu.exe», соедините ваш компьютер и ЗУ (разъем X1) стандартным шнуром COM-COM (папа-мама) и подайте питание на ЗУ. Затем откройте из программы нужный COM-порт. На второй закладке управляем ЗУ в «ручном» режиме.

### **Первое включение силовой платы.**

Если у вас с цифровой все прошло на ура, то и с силовой будет также. Если на цифровой плате были ошибки, проверьте по аналогии ошибки на силовой плате. Далее все как с цифровой: промывка, залипы, сопротивление питания. Для улучшения характеристик силовой можно на дорожки напаять медный провод  $d = 0.5-1.5$  мм, а можно и не паять, а просто залить оловом.

Землю цифровой соедините дополнительным проводом с землей силовой около C20, а +12в цифровой дополнительным проводом соедините с входом силовой после предохранителя. Т.к. на цифровой находятся вентилятор и ЖКИ (которые кушают немало), а "стандартный разъем" невысокого качества, то это повлияет на точность измерений. Соедините цифровую и силовую через стандартный разъем и подайте питание на силовую. Я, например, подавал питание с компьютерного БП (АТХ из последних). У них 12в очень мощные. У БП есть защита по току, это очень удобно: если что не так, просто выключается и все. При первом включении силовой мощные ключи и диод можно не впаивать, чтобы убедиться, что на затворах присутствует запирающий потенциал и проверить работу ФНЧ (см. Инструкцию по эксплуатации). Если все ОК, впаиваем ключи, в разъем X2 (LOAD) впаиваем нагрузочное сопротивление или перемычку или лампочку или модуль Пельтье. Подсоединяем вместо заряжаемого аккумулятора последовательно 2 лампочки на 12в 50 Ватт и настраиваем ЗУ с помощью последней закладки программы zu.exe (нажмите кнопку «Помощь»).

Т.к. это не коробочный вариант с гарантиями от производителя, придется все проверять на своих аккумуляторах. Берем ЗУ, аккумулятор, который не жалко, амперметр и вольтметр (один последовательно, один параллельно аккумулятору) и запускаем зарядку, а сами неотрывно смотрим за совпадением показаний на ЗУ и приборах. При возникновении любых подозрений на нестабильность, все анализируем и проверяем.

Если вы решили самостоятельно разобраться, прочитайте краткое описание каждой платы, там дается разъяснение по каждому элементу схемы. Проверяйте сигналы на ногах процессора, на стандартном разъеме. Помните, вся информация у вас уже есть, надо просто подумать и не спешить. Не рассматривайте трудности как непреодолимые и неприятные, а смотрите на них как на возможность проявить смекалку или возможность решить интересный ребус. Все равно, когда-нибудь все получится.

Если у вас ничего не получается, ждем вас на форуме. Узнав правильный ответ, вы посмеетесь над его простотой или узнаете что-то новое.

Если вы решили добавить типов аккумуляторов или исправить их, прочитайте про химию Приложение №8 №9 и описание настроек ЗУ Приложение №14.

Если вы знаете язык Си, то у вас есть возможность изменять программу и экспериментировать с прошивкой процессора (см. Приложение №10).

Если вы решили повысить мощность ЗУ или увеличить диапазон напряжений, вам надо прочитать всю статью.

## Краткое описание цифровой схемы.

Задача цифровой схемы обеспечить программирование процессора, поддерживать разговор (интерфейс) с пользователем через клавиатуру и большим компьютером через RS232, отображать всю необходимую информацию на ЖКИ, подавать звуковые сигналы, управлять вентилятором охлаждения схем, оцифровывать различные аналоговые сигналы, поступающие с силовой, выдавать соответствующие сигналы управления на силовую схему для обеспечения заряда, разряда аккумуляторов.

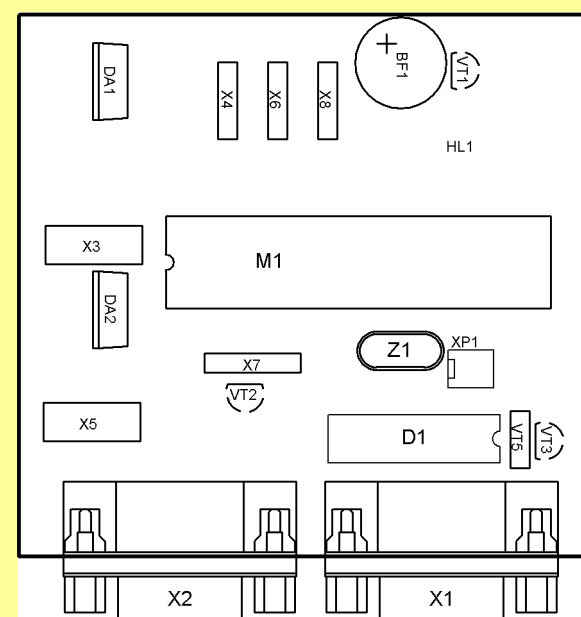
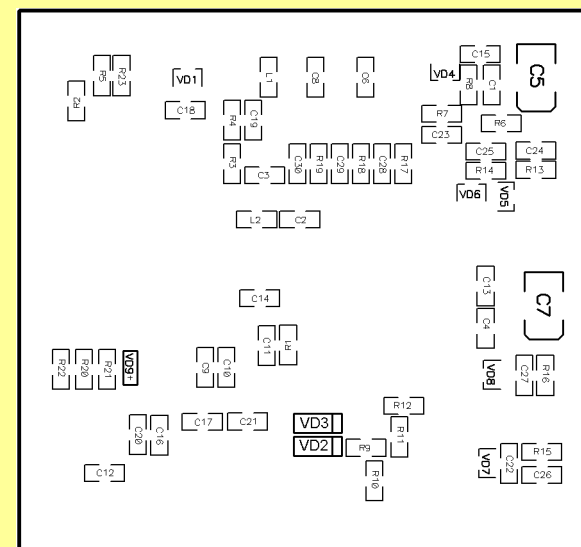
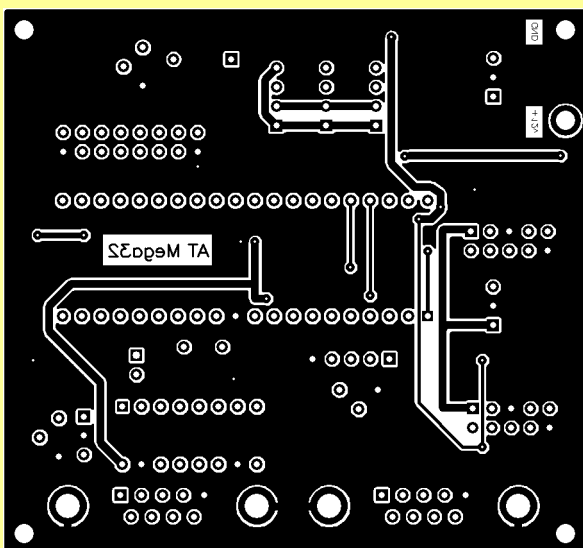
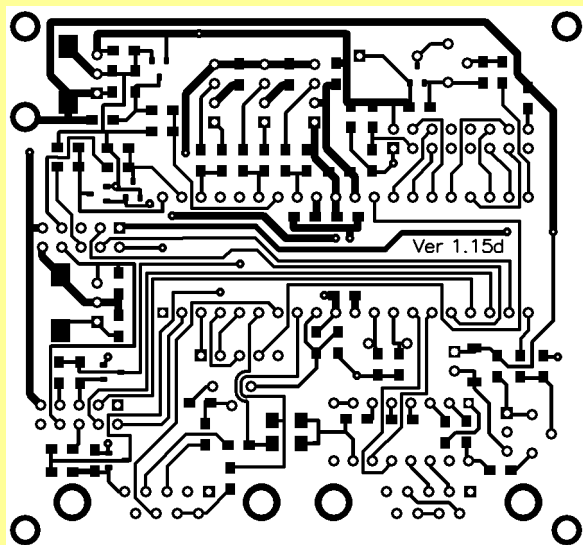
Цифровая схема состоит из следующих элементов, выделенных на принципиальной схеме в отдельные фрагменты:

1. **Микропроцессор AT Mega32 и элементы обвязки.** C9, C10, Z1 – стандартная схема подключения внешнего кварцевого резонатора. R1, C11 – задержка запуска процессора, пока напряжение не достигнет нужного уровня при включении.
2. **Питание измерительных цепей.** L1, L2, C3, C6, C8, C2 – элементы обеспечивающие большую помехозащищенность измерительной земли и питания.
3. **Стабилизатор 7805** обеспечивает +5в для питания процессора AT Mega32 и для микросхемы согласования напряжений COM-порта MAX232. C1, C5, C12, C14, C15, C18 фильтруют наводки на шине питания. Они распределены по всей плате и должны быть расположены в непосредственной близости от потребителей.
4. **Стабилизатор 7809** обеспечивает +9в для питания операционных усилителей LM324 на силовых платах. C4, C7, C13 – фильтруют наводки на шине 9в.
5. **Подключение вентилятора** для охлаждения силовых плат. R20, R21, R22, VT3, VT5 – усилитель сигнала с процессора для подачи питания на вентилятор. VD9 – защита от индуктивных бросков напряжения от мотора вентилятора.
6. **Подключение ЖКИ** 4 строки по 20 символов. R2 – обеспечивает нужный ток для питания подсветки ЖКИ (HL1:B). R3, R4 – задают угол поляризации жидких кристаллов ЖКИ или контрастность. HL1:A – разъем для подключения ЖКИ. Распайка разъема, скорее всего, совпадет с распайкой самого ЖКИ.
7. **Подключение динамика.** R5, R23, VT1 – усилитель сигнала с процессора на динамик. VD1 – защищает схему от индуктивности динамика.
8. **Подключение 3-х датчиков температуры LM35.** Термодатчики подключены к разъемам X4, X6, X8 – они питаются от земли и 5в. 2-я нога на разъеме - это сигнал датчика. Он в диапазоне от 0 до 5в, в зависимости от температуры. Этот сигнал пропускается через RC цепочку (R17C28, R18C29, R19C30) и отправляется на АЦП процессора (T0, T1, TC).
9. **Подключение клавиатуры.** X7 разъем подключения клавиатуры. 5 нога разъема общая для всех 4-х кнопок, остальные контакты разъема идут к соответствующим контактам кнопок.
10. **Подключение силовых плат** и схемы согласования измерительных сигналов. С силовых плат приходят измерительные сигналы тока (I\_IN) и напряжения (V\_IN), они проходят через RC фильтр (R13C24, R14C25, R15C26, R16C27) и защитный спаренный диод (VD5, VD6, VD7, VD8). Потом они идут на АЦП процессора (I0, V0, I1, V1). Отдельная схема R6, R7, R8, C23, VD4 делит напряжение питания 12в до уровня <5в, фильтрует, защищает и тоже на АЦП процессора (V12).

11. **Подключение MAX232 к COM-порту компьютера** для управления зарядным устройством с персонального компьютера и получения данных о ходе выполнения зарядки/разрядки. MAX232 и 5 конденсаторов (C16, C17, C20, C21, C22) обеспечивают согласование сигналов TXD, RXD между 5-ти вольтовым процессором и 12-ти вольтовым стандартом RS232. Подключение через MAX232 работает стабильно для всех COM-портов и эмуляций через USB.
12. **Программатор PonyProg** для первичного программирования процессора и обновления прошивки в случае необходимости. VT2, R11, R12 обеспечивают перевод RESET в активное состояние 0в - сброса и перехода в режим программирования. Сигнал MISO идет от процессора (0-5в) к компьютеру (0-12в) напрямую. Сигналы MOSI и SCK идут от компьютера (12в) к процессору (5в) и поэтому их приходится подрезать связкой сопротивление стабилитрон (R9VD2, R10VD3). Программатор показал себя нестабильно на нечестно сделанных COM-портах. Программатор не терпит никаких эмуляций и задержек. К сожалению это так.

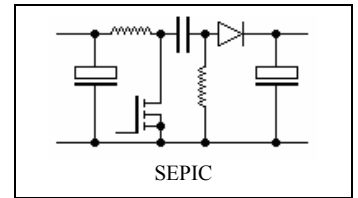






## Силовая схема SEPIC

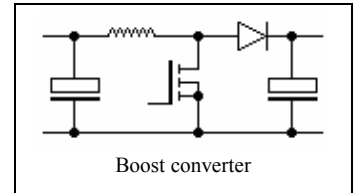
SEPIC (single-ended primary inductance converter, преобразователь с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью)



Для строгого объяснения SEPIC рекомендую прочитать [1] или первоисточник [2].

Вот простые рассуждения, которые помогут понять принцип работы SEPIC на уровне любителя:

1. SEPIC – это модернизированный повышающий преобразователь (Boost converter) в котором роль разделителя между входным и выходным напряжением играет конденсатор, а не диод. Благодаря этому, на выходе мы можем иметь напряжение как больше, так и меньше входного.



2. В нашем случае (12в => 0-25в) слева от конденсатора токи в несколько раз больше чем справа. Если справа 5 Ампер значит слева >15 Ампер.
3. Дроссели L1 и L2 работают синхронно (одновременно заряжаются и одновременно разряжаются), поэтому их можно намотать на одном сердечнике. Когда ключ открыт, L1 и L2 заряжаются.

4. Дроссели работают в однополярном режиме (намагнитили, размагнитились, намагнитили той же полярностью, размагнитились и т.д.), поэтому, при использовании замкнутого сердечника, необходимо сделать щель для уменьшения остаточной намагнитченности. В Ш-образных сердечниках щель лучше делать в среднем отделе. Можно применять материалы с распределенным зазором. Порошковое железо (желтые или зеленые кольца из компьютерного БП). Их лучше применять до 50 кГц. Это не наш случай, у нас 250 кГц. Пермаллой МП-60 и CoolMu (мю=60) нам подходят идеально. МП-140 тоже подходят, но хуже.



5. При малой нагрузке на SEPIC КПД - низкое из-за диода и не только, он постоянно открывается и закрывается. Существуют режимы, когда диод постоянно открыт, тогда КПД максимален и достигает 95%.
6. Дроссели лучше мотать только в один слой вдоль всего сердечника толстым проводом 1.32-1.40 мм или скруткой из 3х жил 0.8 мм как это сделано в современных компьютерных БП. Скруткой мотать очень не удобно. У меня так и не получилось сделать это аккуратно.
7. Средний конденсатор надо брать с минимальным импедансом (например SMD), так чтобы его емкость более чем в 20 раз превышала колебания заряда в периоде, т.е. 10-20 мкФ. Вся мощность SEPIC прокачивается переменным током именно через этот конденсатор, несмотря на то, что он очень маленький (Y5V, 10мкф 50в).
8. Быстродействие ключа и диода очень сильно влияют на КПД. Фронты на ключ должны быть максимально вертикальные, диод должен быстро переключаться, т.к. у нас будет частота 250 кГц.

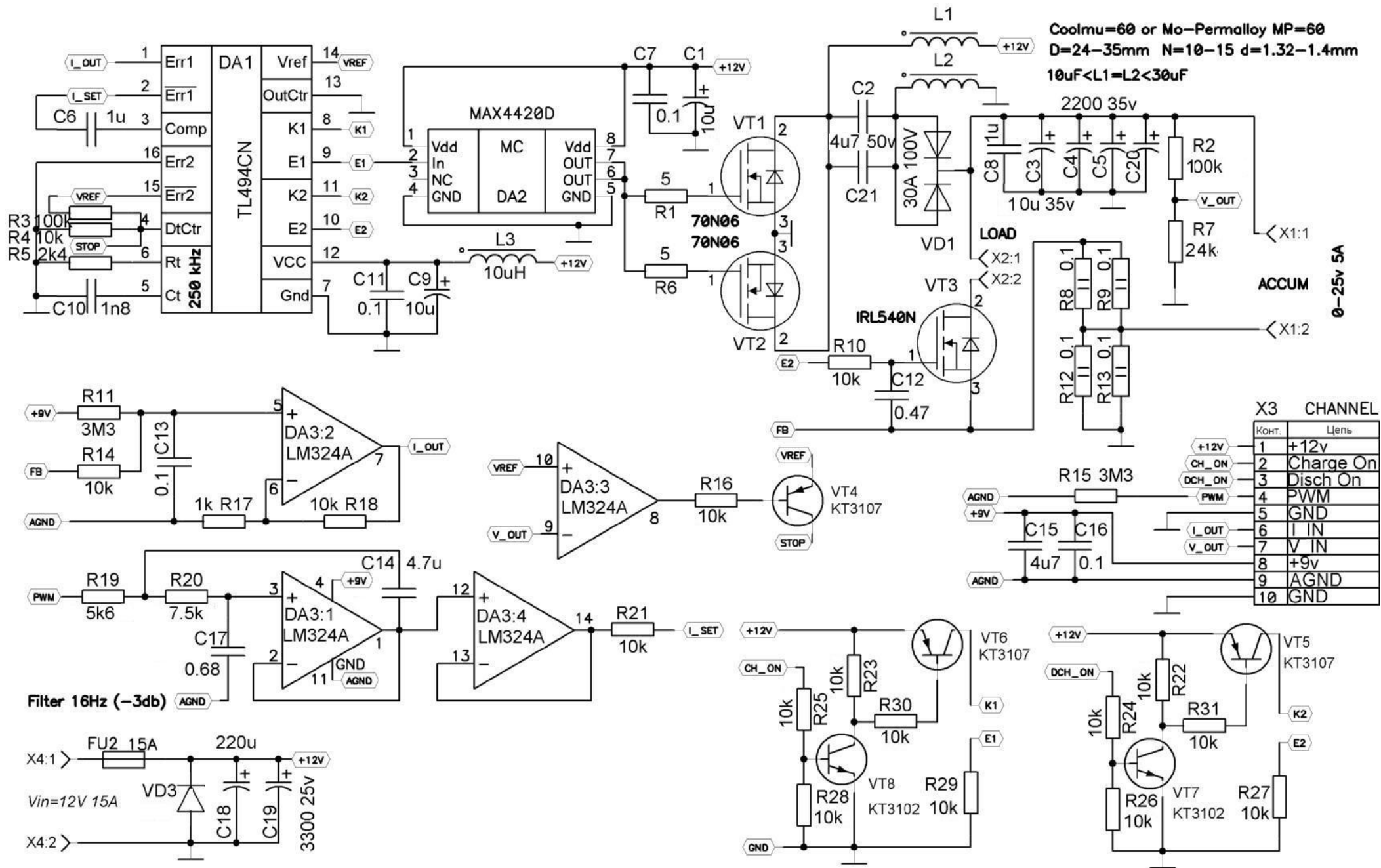
9. Входной конденсатор низкоимпедансный электролит большой емкости и танталовый в параллель к нему для возможности использования импульсных блоков питания. Конденсатор должен быть максимально прижат к плате, т.к. ножки даже миллиметровой длины сильно ухудшают его импеданс.
10. Выходной конденсатор низкоимпедансный электролит большой емкости (и не один) и танталовый в параллель к нему для более точного измерения напряжения зарядки и улучшения работы цепи обратной связи стабилизации по току.

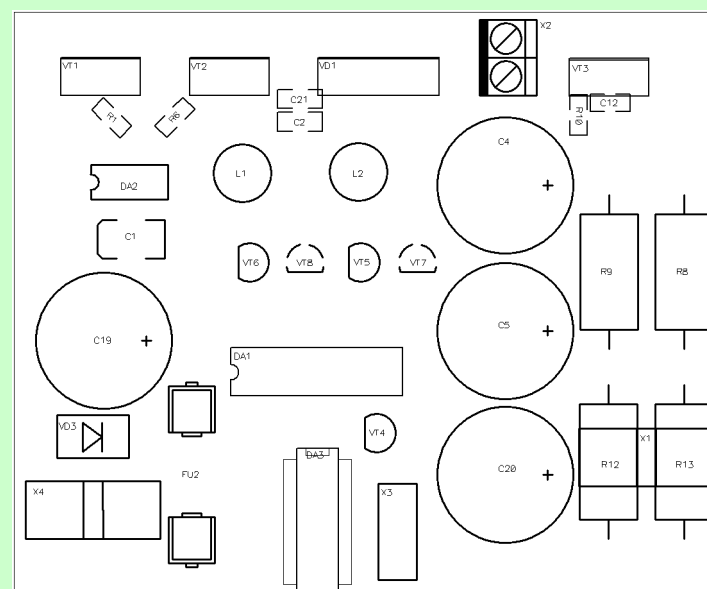
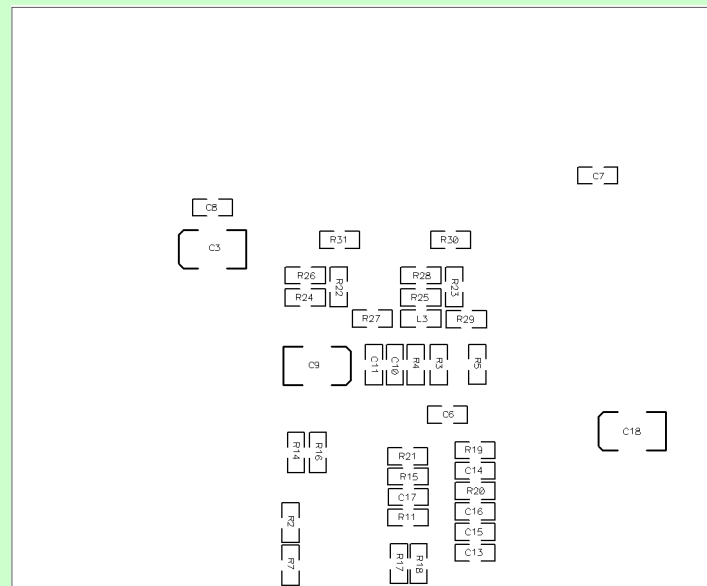
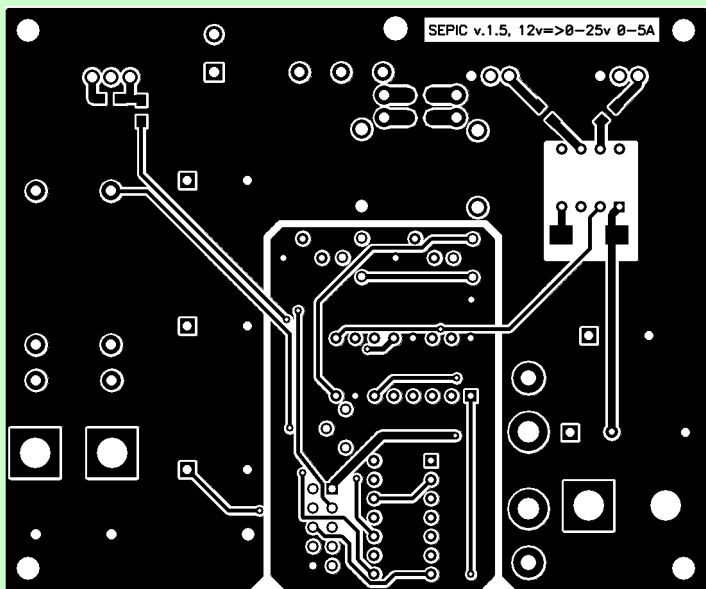
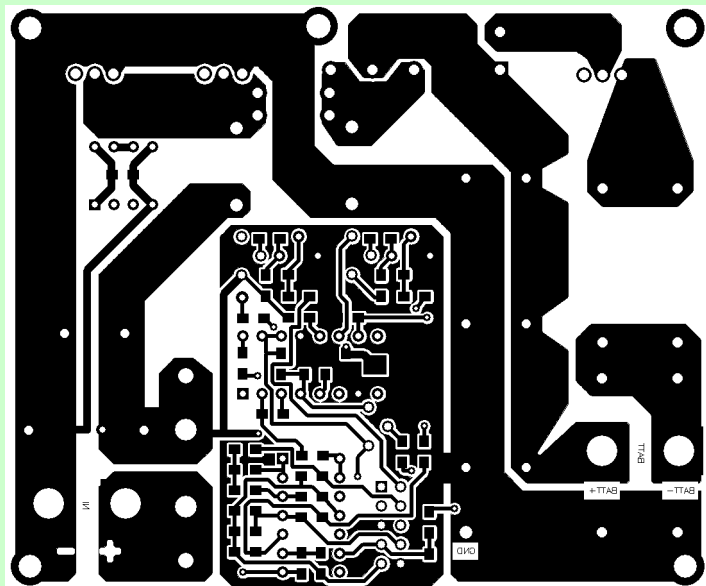
#### **Силовая SEPIC состоит из следующих элементов:**

1. **Стандартный разъем.** R15 – подтягивает опорный сигнал на землю, на случай, если пользователь забыл прицепить силовую к цифровой. C15, C16 – буфера питания.
2. **ФНЧ 2-го порядка** (Sallen Key см. [8]). Фильтр низких частот собран на операционном усилителе DA3:1. Для качественной работы фильтра необходимо, чтобы номиналы обвязки (R19, R20, C17, C14) были соблюдены с 1% точностью, но если вы поставите 5%, то тоже работать будет. R19 в идеале должен быть 5.9k, но такого номинала нет, его можно спаять домиком из 2-х СМД, если очень хочется или поставить 5.6k+5%, подобрав его из ряда имеющихся. После фильтра стоит усилитель DA3:4 и сопротивление R21 для уменьшения влияния C6 из обвязки TL494 на работу фильтра. LM324 или ее аналог, который вы впаяли в схему, работает не на всем диапазоне напряжений (не Rail-To-Rail – от 0в до 9в), поэтому на выходе ФНЧ мы будем иметь сигнал примерно от 0.2в до 5в.
3. **Измеритель тока – шунт и усилитель.** R8R9 R12R13 – это хитрый шунт. Все сопротивления задвоены, чтобы уменьшить сопротивление шунта и в тоже время номинал 0.1 Ом легко найти среди отечественных. Такая конструкция шунта необходима, чтобы и при токе разрядки и при токе зарядки, которые текут в разных направлениях, на линии обратной связи FB было положительное по отношению к земле падение напряжения. В микросхеме TL494 происходит сравнение опорного сигнала (ATMega32=>ШИМ=>ФНЧ=>I\_SET - 2 нога), который находится в диапазоне 0.2в до 5в и сигнала (ШУНТ=>FB=>УСИЛИТЕЛЬ 1:10=>I\_OUT – 1 нога), который после подтяжки R11R14 стал 0.03в, а после усиления 0.3в-5в. Т.о. опорное напряжение, задающее ток, меньше Обратной Связи, а значит, при подаче разрешения на ключ, ТЛ будет спать и не начнет работу с генерации с максимального скачка. Об этом надо помнить при написании микропрограммы, что при включении разрешения на силовые ключи начальное опорное, должно быть меньше ОС (FB).
4. **TL494, ее обвязка** и схемы разрешения зарядки/разрядки. C11, C9, L3 обеспечивают питание TL494. R5, C10 задают частоту ШИМ TL494 250 кГц (для Texas Instruments  $F=1.0/(R5*C10)$ , для Моторолы  $F=1.1/(R5*C10)$ ). R3, R4 задают максимальную скважность (не более 50%), т.е. максимальную мощность SEPIC. DA3:3, R16, VT4 – схема сравнения напряжения на аккумуляторе (поделенного до 5в) и эталонных 5в. Если напряжение на аккумуляторе превысило 25в, то генерация на TL494 блокируется. Это нужно на случай отсоединения аккумулятора в момент зарядки, т.к. Стабилизация тока резко поднимет напряжение без нагрузки. R23, R25, R28, R29, VT6, VT8 в зависимости от CH\_ON (зарядка) разрешает подачу сигнала с

TL494 на драйвер и далее на силовые ключи. R22, R24, R26, R27, VT5, VT7 в зависимости от DCH\_ON (разрядка) пропускает сигнал от TL494 на разрядный ключ. CH\_ON и DCH\_ON нельзя одновременно включать из управляющей микропрограммы.

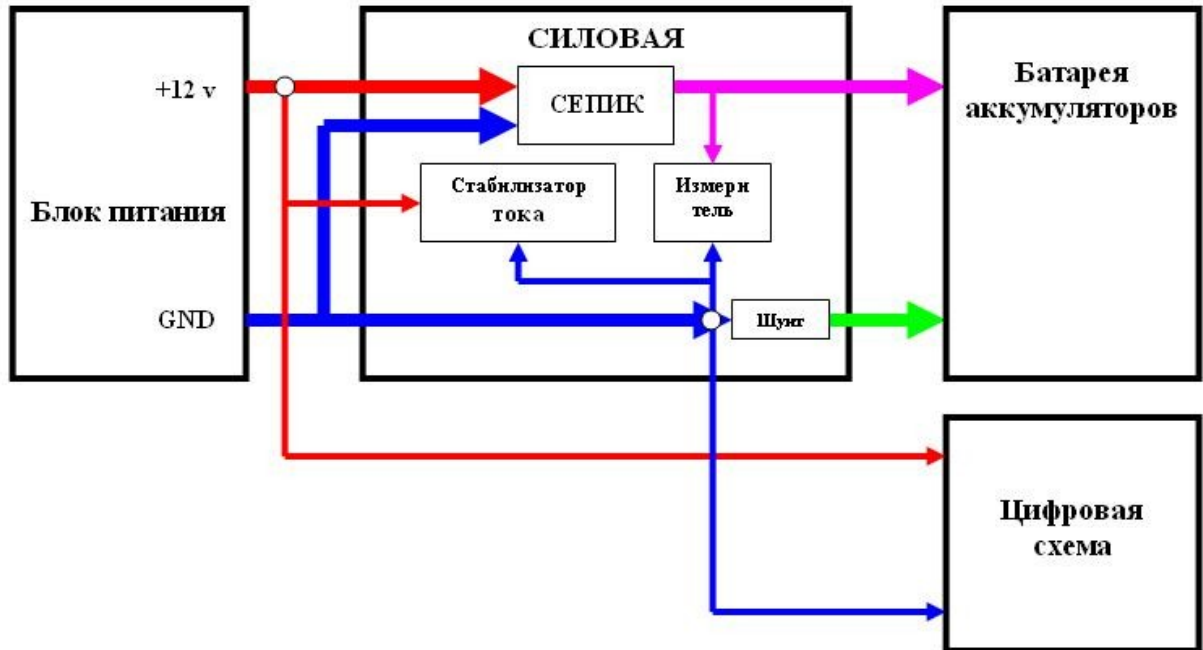
5. **Непосредственно SEPIC.** Для увеличения КПД, немного доработаем SEPIC. Вместо одного ключа поставим два VT1, VT2 и управлять ими будем драйвером MAX4420 или TC4420, который может выдать ток до 6А – по 3А на каждый ключ. Сопротивления R1, R6 ограничивают ток, чтобы затворы не прогорели. Все эти амперы нам нужны для скорости зарядки и разрядки емкости затворов ключей. C1, C7 обеспечивают питание драйвера. L1, L2, C2, VD1, C8, C3, C4, C5 – обычные составляющие SEPIC.
6. **Измеритель напряжения - делитель.** R2, R7 делят напряжение 0в - 25в до уровня 4.9в, чтобы его можно было измерить на АЦП процессора.
7. **Схема разрядки.** VT3 разряжает аккумулятор на себя или на нагрузку. Он используется в линейном режиме. TL494 подбирает скважность. R10, C12 фильтруют ее и дают такой сигнал на затвор, чтобы ток через полупроводниковый транзистор был равен заданному. Чтобы уменьшить тепловую нагрузку на транзистор, в разъем X2 неплохо бы впаять какую-нибудь другую нагрузку: ТЭН, лампочку, сопротивление на радиаторе, элемент Пельтье.
8. **Защита от превышения и переплюсовки** на входе. Стабилитрон на входе защищает от переплюсовки подключения и превышения напряжения. Его мощности должно хватить, чтобы спалить предохранитель. Но к сожалению таких стабилитронов не найти. Можно поставить просто диод.





## Правильное подключение питания к силовой и цифровой

Подключение цифровой части к силовой - нетривиальный процесс. Для обеспечения наименьших помех при измерении напряжения, особенно в режимах с большими токами, необходимо подключить силовую как показано на рисунке. В данном случае от перемены мест слагаемых сумма изменяется. Несмотря на то, что по гальванике это одно и то же, по помехам это две большие разницы.



**Земля цифровой схемы, земля стабилизатора тока на силовой должны быть присоединены к силовой земле перед шунтом (на конденсаторе C20). Обратите внимание на этот факт владельцы предыдущих версий.**

SEPIC потребляет до 20А. Обеспечить нужную толщину проводов на монтажной плате очень тяжело, поэтому земля будет сильно зашумлена на входе силовой. Если туда прицепить землю цифровой, т.е. АЦП процессора будет мерить напряжение на выходе относительно земли входа. Это приведет к систематическим ошибкам до нескольких вольт, а нам нужна точность 0.01в. Никакое усреднение здесь не поможет. Правильное подключение земли даст точность до 0.05в в динамике.

Философский вопрос: Нужна ли такая точность в динамике при больших токах? Точность измерения напряжения нужна в заключительной фазе зарядки, когда токи малые, поэтому точность там получается высокая. Кроме того, многие зарядки измеряют напряжение в статике, да еще, после небольшого разряда. Наш ответ: Лишняя точность не мешает!

## **Микропрограмма.**

Была попытка написать программу как можно проще и понятнее, чтобы начинающий программист мог быстро вникнуть в суть, но из-за размеров текста и количества файлов кажется, что получилось сложно. Ниже описываю структуру программы. Программа написана на бесплатно распространяемой среде программирования WinAvr (см. Приложение №10).

Наиболее полно о логике программы можно узнать из самой программы. Я использовал одни и те же обозначения в микро, макро и в принципиальных схемах, а также не жалел комментариев.

1. Главная программа, главный файл: «main.cpp» все остальные файлы это вставки (#include ...) в этот файл.
2. После компиляции «main.cpp» получается 2 файла: «main.hex» и «main.eep» - это прошивки для FLASH и EEPROM процессора ATmega32, но не забудьте о битах конфигурации FUSES. Их надо прошить в первую очередь с помощью программы PonyProg (см. Приложение №4 и №5).
3. «ZU.pnproj» - это файл проекта. В нем описаны все файлы для отражения их в оболочке редактора «с:\winavr\pn\pn.exe». Кстати, если вы активно будете работать с прошивкой, вы можете прямо из редактора ее скомпилировать и залить в ЗУ (см. Приложение №10).

При написании программы для нашего ЗУ, мы будем использовать прерывания.

Микропроцессор обычно выполняет все команды по очереди. Прерывания – это механизм псевдо распараллеливания вычислений - процессор прерывает нормальный ход последовательного выполнения программы «все по порядку», запоминает свое состояние и начинает выполнять подпрограмму обработки прерывания. После ее выполнения, процессор вспоминает свое состояние до прерывания и продолжает выполнять основную программу. Когда я говорю о прерываниях, я имею в виду какое-то важное событие, которое произошло с процессором. Например: счетчик досчитал до максимума или АЦП завершило преобразование или завершился процесс передачи по последовательной шине. В нашем процессоре AT Mega32 около 15 видов прерываний. Мы будем использовать лишь пять из них.

Основной процесс производит движение по главному меню и устанавливает различные переменные, которые являются параметрами для работы алгоритма заряда и разряда. Огромное разветвленное меню пытаемся составить, чтобы пользователь без инструкции мог догадаться, что ему надо делать и не смог допустить критических ошибок.

Образ меню хранится во FLASH и состоит из строк, которые в свою очередь, состоят из названия строки, глубины этой строки в меню и идентификатора строки, по которому определяется подпрограмма обработки этой строки.

Процесс заряда и разряда контролируется основной программой, потребляющей почти все ресурсы процессора. Эта программа в зависимости от времени и других параметров определяет, какой поставить ток зарядки или разрядки в нужном канале.

В прерывании будут происходить процессы, которые требуют цикличности, периодичности и ожиданий наступления:



- Вывод видеопамати на ЖКИ. (Прерывание «таймер 0 переполнился»)
- Отработка нажатий на клавиатуре. (Прерывание «таймер 0 переполнился»)
- Музыкальное сопровождение. (Прерывание «таймер 0 переполнился»)
- Счетчик времени и часы (Прерывание «таймер 0 переполнился»)
- Запуск АЦП. (Постоянно и непрерывно 125 кГц)
- Измерение I, V, T. (Прерывание «измерение АЦП завершено»)
- Считывание и отправка данных между буфером памяти и СОМ-портом. (Прерывание «UART данные получены», Прерывание «UART данные переданы»)

При использовании процессора работающего на частоте 16 МГц и ЖКИ работающего на частоте 1 МГц, очень часто требуется ожидать, пока ЖКИ отработает посланные ему команды. В данной ситуации использовать задержки неэффективно - если процессор выполняет цикл ожидания, контроль процесса заряда/разряда в эти моменты отсутствует и все остальные задачи останавливаются. Использование прерываний позволяет сократить время процессорного простоя или «бестолковой загруженности» и равномерно перераспределить ЖКИ затраты на все время работы.

В ОЗУ (оперативной памяти процессора) мы организуем «видео буфер», в который в любой момент времени производится запись текста сообщений, без ожиданий, без боязни, что что-то не будет дорисовано, не забывая просигнализировать о том, что произошли изменения видео памяти. Теневой процесс, при наличии сигнала изменений, на своей скорости производит вывод на ЖКИ. При этом процессорные затраты не превышают 1% времени с дискретизацией 7812,5 Гц при непрерывной прорисовке ЖКИ.

Но это еще не все. Чтобы стандартизировать вывод сообщений на экран, мы применим шаблоны. Не просто в тексте программы мы вырисовываем каждый раз один и тот же вид экрана, например ход зарядки аккумулятора, а создаем байтовый шаблон с указанием где отображаются слова из массива фраз и где отображаются и в каком формате отображать пронумерованные переменные. Т.о. чтобы прорисовать целый экран, мы, всего лишь, даем видео подпрограмме номер шаблона и говорим: рисуй. Такая организация дает нам возможность, переписав шаблонную часть, быстро переориентироваться на другой язык или на другой ЖКИ.

Все измерения (I1, V1, T1, I2, V2, T2, V12, Tc) производятся по 32 раза для каждой величины, а потом усредняются. У АТМega32 один канал измерений, но к нему коммутируются 8 ног процессора. Коммутируются – это значит по очереди. Запуск измерений автоматический 125 кГц. Причем само измерение производится за 14 тактов на заданной частоте. Это значит, что за ~1/35 секунды на частоте 125 кГц можно измерить 8 величин по 32 раза каждую за 14 тактов каждое измерение.

Измерение происходит одновременно (реальная параллельность) с выполнением основной и теневой программы, а вот фиксация измеренного - в прерывании. Нам нужно только дать команду на запуск АЦП, процессор сообщит об окончании вызовом прерывания, а мы сохраним полученные результаты в глобальные переменные.

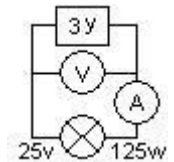
Т.к. мы усредняем каждую величину по 32 измерениям, лучше, если помехи будут «белые» (тогда усреднение даст увеличение точности), а не «цветные» (в этом случае мы получаем систематическую ошибку).



## Макропрограмма (ZU.EXE)

Программа интуитивно ясна, но все же заслуживает некоторых комментариев:

1. ЗУ COM-порт прошит на скорость 38400, поэтому соединение на других скоростях не работает. Если вы хотите другую скорость, сделайте исправления в «init.cpp», перекомпилируйте программу и перейдите процессор. Итак, первое, что надо сделать, открыть COM-порт, к которому присоединено ЗУ. Обмен данными может успешно происходить и через переходник USB to COM. И, все же, надежнее программа работает с родным COM-портом на компьютере.
2. Второе, что надо сделать, это на закладке «Прошивка» прочитать EEPROM из ЗУ. После этого заполнятся все параметры на всех закладках, т.е. «ZU.EXE» будет знать о текущих настройках ЗУ и сможет адекватно управлять им.
3. Если у вас нету ЖКИ и клавиатуры в ЗУ, то вы можете управлять им из закладки «Ручное управление».
4. Если вы еще не настроили силовую, надо зайти на закладку «Настройки». В качестве нагрузки лучше взять последовательно две одинаковые лампочки по 12 вольт 50 ватт. Для всех режимов каждого канала ввести более 10 ненулевых точек, охватывающих весь диапазон токов и напряжений и произвести расчет коэффициентов параболы методом наименьших квадратов и вписать их в ЗУ, затем перезапустить ЗУ. Необходимо также оценить точность работы вашего ЗУ и постараться разобраться с вопросом как ее увеличить. Как правило точность начинает уплывать при напряжениях более 12в. **После прошивки всех настроек, ЗУ надо перезапустить, чтобы настройки вступили в силу.**
5. Если вы решили записать в ЗУ данные о своих аккумуляторах, это можно сделать на закладке «Аккумуляторы»
6. Если вы решили исправить алгоритм зарядки химических типов аккумуляторов, заходим на закладку «Типы аккумуляторов».
7. Теперь переходим к стадии тестирования зарядки и разрядки аккумуляторов на закладке «Канал 1» или «Канал 2». В процессе работы канала происходит запись измеренных значений в файл ddmmyuhns.gra. Если вам не понравятся графики в программе, вы можете эти файлы открыть в Excel и нарисовать свои. Если кликнуть мышкой на графике, то он разворачивается на весь экран, а если выделить область, то она увеличивается на всю область графика.



### **Текущее состояние проекта – незавершенка**

Проект выполнен на 95%. В целом все работает, за исключением некоторых экзотических режимов. КПД от 70 до 92%. Весь спектр мощностей охвачен.

В настоящий момент идет борьба за точность измерения напряжения. Следующее что будет сделано – это улучшение микропрограммы до выполнения всех нереализованных характеристик по типам аккумуляторов.

Некоторые режимы десульфатации до конца не изучены и не тестированы. Кроме того режимы тренировки не протестированы.

## Литература<sup>1</sup>

1. Дмитрий Иоффе. «Разработка импульсного преобразователя напряжения с топологией SEPIC».
2. MAXIM/Dallas Semiconductor Application note 1051 SEPIC Equations and Component Ratings.
3. [http://st.ess.ru/publications/4\\_2001/kotomin/kotomin.htm](http://st.ess.ru/publications/4_2001/kotomin/kotomin.htm) Зарядные устройства для химических источников тока. Проблемы и пути решения. Котомин В.Э.
4. «Аккумуляторы». Издательство Изумруд. Д.А. Хрусталева. Москва 2003.
5. ЖК индикаторы и их применение на основе контроллера HD44780
6. В инете ищите слова: Алексей Кузнецов «Трансформаторы и дроссели для импульсных источников питания» или просто «расчет трансформаторов».
7. Буржуйский сайт: [http://schmidt-walter.fbe.fh-darmstadt.de/smpps\\_e/smpps\\_e.html](http://schmidt-walter.fbe.fh-darmstadt.de/smpps_e/smpps_e.html). Если ссылка не работает, ищите: Design of Switch Mode Power Supplies.
8. <http://www.microchip.com> Программа FilterLab v2.0. Программа распространяется бесплатно.
9. Даташит на микросхему ATmega32 на английском языке. На [www.atmel.com](http://www.atmel.com)
10. Texas Instruments TL494 <http://bp.xsp.ru/tl494/tl494.pdf>
11. Статья из Инета: Работа с коммуникационными портами (COM и LPT) в программах для Win32
12. ЖК индикаторы и их применение на основе контроллера HD44780.

---

<sup>1</sup> Все указанные источники можно найти в Интернете по ключевым словам.

## Инструкция по эксплуатации зарядного устройства ZU v1.5

Данный проект воплощался с надеждой улучшить мир. Авторы сделали все возможное для соответствия зарядного устройства требуемым параметрам заряда и разряда различных типов аккумуляторов. Но авторам свойственно ошибаться. И если вы согласны взять на себя все риски, связанные с возможным присутствием ошибок, то вы можете бесплатно воспользоваться этой разработкой в личных и коммерческих целях без уведомления авторов и упоминания их имен, адресов и телефонов. За это, мы обязуемся в случае обнаружения ошибок, постараться их устранить в кратчайшие сроки, но не позднее конца света.

**Внимание! Нарушение инструкции по эксплуатации может повлечь за собой воспламенение зарядного устройства, заряжаемых аккумуляторов и предметов роскоши, находящихся поблизости со всеми вытекающими (поджигающими) последствиями.**

**Внимание! Категорически разрешается заряжать аккумуляторы только в специально отведенных местах, оборудованных противопожарной системой на основе порошкового или углекислотного огнетушителя, обязательно в присутствии ответственного сотрудника, изучившего и понявшего данную статью, а также всю литературу по химии и электричеству и при этом находящегося в здравом уме и твердой памяти.**

**Внимание! Вы работаете с прибором высокой мощности. Всегда разрешается нажимать на кнопку «НЕТ». Кнопки «Вверх» и «Вниз» тоже можно нажимать почти без последствий. При нажатии кнопки «ОК» будьте уверены в том, что вы осознаете последствия и принимаете на себя ответственность за них.**

**Внимание! Не отсоединяйте заряжаемый аккумулятор от ЗУ, когда идет зарядка. В процессе зарядки обязательно используйте термодатчики.**

Управление ЗУ осуществляется из меню на ЖКИ экране или из программы «zu.exe» в ручном режиме через RS232.

<b>I. Канал 1</b>	Запуск первого канала. Выбор аккумулятора, выбор скорости (медленно, нормально, быстро), выбор действия (зарядка, тренировка 1-3 цикла, зарядка для хранения)
<b>II. Канал 2</b>	Запуск второго канала. Выбор аккумулятора, выбор скорости (медленно, нормально, быстро), выбор действия (зарядка, тренировка 1-3 цикла, зарядка для хранения)
<b>III. Аккумуляторы</b>	Изменение параметров аккумуляторов в ЕЕПРОМ (название, химический тип, количество банок, емкость ...)
<b>IV. Типы аккумуляторов</b>	Изменение параметров химических типов аккумуляторов в ЕЕПРОМ (название, флаги алгоритмов, минимальные и максимальные параметры токов и напряжений ...)
<b>V. Настройки</b>	Заголовок
<b>1. Громкость</b>	Громкость (вкл./выкл.)
<b>2. Звуки</b>	Выбор звуков
<b>а) Звук старт</b>	Выбор мелодии при старте
<b>б) Звук конец</b>	Выбор мелодии при окончании зарядки
<b>в) Звук клик</b>	Выбор мелодии при перегреве
<b>г) Звук перегрев</b>	Выбор мелодии при нажатии кнопки
<b>д) Звук ошибка</b>	Выбор мелодии при ошибке
<b>3. Настр. схемы</b>	Заголовок
<b>а) I1 заряд</b>	Включается режим зарядки без контроля нагрузки (в нагрузку можно прицепить лампочку). Регулируем ШИМ и смотрим значения тока и напряжения первого канала.

<b>б) I1 разряд</b>	Включается режим разрядки без контроля нагрузки (в нагрузку можно прицепить гальванически развязанный источник питания). Регулируем ШИМ и смотрим значения тока и напряжения первого канала.
<b>в) V1 заряд</b>	Включается режим зарядки без контроля нагрузки (в нагрузку можно прицепить лампочку). Регулируем ШИМ и смотрим значение напряжения первого канала.
<b>г) I2 заряд</b>	См. <b>а) I1 заряд</b>
<b>д) I2 разряд</b>	См. <b>б) I1 разряд</b>
<b>е) V2 заряд</b>	См. <b>в) V1 заряд</b>
<b>ж) V12</b>	Просматриваем напряжение на источнике.
<b>з) ШИМ 1</b>	Регулировка опорного напряжения 1 канала без подачи сигнала на силовые ключи. Для просмотра качества ФНЧ первого канала на 2 ноге ТЛ494.
<b>и) ШИМ 2</b>	Регулировка опорного напряжения 2 канала без подачи сигнала на силовые ключи. Для просмотра качества ФНЧ второго канала на 2 ноге ТЛ494.
<b>к) T1</b>	Просмотр датчика температуры 1 канала. При нажатии ОК переход в режим включения, отключения датчика. Второе ОК запоминает настройку в EEPROM.
<b>л) T2</b>	Просмотр датчика температуры 2 канала. При нажатии ОК переход в режим включения, отключения датчика. Второе ОК запоминает настройку в EEPROM.
<b>м) T3</b>	Просмотр датчика температуры ЗУ. При нажатии ОК переход в режим включения, отключения датчика. При нажатии ОК переход в режим настройки температуры включения вентилятора. При нажатии ОК переход в режим настройки температуры отключения вентилятора. При нажатии ОК переход в режим настройки температуры аварийного отключения всех каналов из-за перегрева радиатора силовых ключей одного из каналов. Последнее ОК запоминает настройки в EEPROM.
<b>VI. Инфо</b>	Заголовок
<b>1. Канал 1</b>	Информация о канале 1 (текущие параметры или итоги предыдущей зарядки)
<b>2. Канал 2</b>	Информация о канале 2 (текущие параметры или итоги предыдущей зарядки)
<b>3. ЗУ инфо</b>	Информация о зарядном устройстве (Дата прошивки, время во включенном состоянии)

### Словарь

ЗУ, ZU- Зарядное устройство. Здесь, ниже и выше по тексту краткое обозначение этого проекта.

Батарейка, Акк, Аккум - Батарея аккумуляторов, та самая которую будем заряжать.

Ключ, MOSFET, HEXFET -Он же полевой транзистор, который открывается и закрывается очень быстро. Бойтся людей в чистых свитерах, белорусских стульев на колесиках по ламинату, т.е. статики. Современная промышленность выпускает силовые ключи, которые можно использовать на частотах 0-300 кГц, но этого мало. Если повысить частоту, можно значительно уменьшить размеры преобразователей или увеличить КПД.

Заполнение- Отношение времени в открытом состоянии ключа ко всему периоду.

Скважность-  $(1 / \text{Заполнение})$  отношение периода к открытому состоянию.

ЦАП(DAC)- Цифро-аналоговый преобразователь. Например, из регистра процессора (одного байта) получаем аналоговое напряжение от 0 до 5 Вольт. В ATmega32 ЦАП нет. Приходится использовать ШИМ+ФНЧ.

АЦП(ADC)- Аналого-цифровой преобразователь. Из аналогового напряжения от 0 до 5 Вольт имеем двоичное число в регистре процессора. Главная проблема в том, что разрядности всегда мало (1024 уровня в ATmega32) и измеренное значение сильно зашумлено как всей схемой, так и самим измерителем (процессором). Но если измерить 32 раза и усреднить, то можно повысить точность.

ШИМ(PWM)- Широтно-импульсная модуляция. В процессоре есть зацикленный счетчик, который считает с частотой кратной тактовой (от 0 до 255 или от 0 до 65535), а также в процессоре есть некий регистр сравнения. Когда счетчик больше регистра на ноге процессора - 1, когда меньше - 0. Т.о. меняя регистр, мы меняем момент переключения, а значит и скважность сигнала. Имея ШИМ в микропроцессоре, можно с его помощью сделать ЦАП, просто добавив RC-цепочку или лучше ФНЧ второго порядка, как у нас в схеме.

ФНЧ- Фильтр низких частот. Низкие частоты пропускаем, все остальное вырезаем. Например: у соседей играет музыка, а у вас – бу, бу, бу. Стенка – фильтр низких частот. Фильтр низких частот нужен для сглаживания сигнала - устранения помех в измерительных цепях. Сглаживая ШИМ, мы получаем 65536 уровней от 0 до 5 вольт, которые будем использовать в качестве опорного напряжения. Выставляя определенный ШИМ, мы имеем строго заданное напряжение. Чем выше порядок и качество ФНЧ, тем лучше сглаживается напряжение. Чем больше разница между частотой ШИМ и частотой среза ФНЧ, тем стабильнее напряжение.



AVR, TI, AD, LT, LM, MAX, MC - Фирмы производители микросхем.

HARD- Железо. Оно твердое, его надо паять, развинчивать и свинчивать.

SOFT- Программа. Взял и изменил, перезалил, переписал, т.е. мягкая, гибкая.

COM, COM-порт, UART, USART, RS232 – в данной статье применяются в одном смысле – COM-порт (9 - штырьков).

Assembler- Самый производительный, самый примитивный и, в тоже время, самый сложный язык программирования для помешанных. Иногда его применяют нормальные люди в виде небольших вставок. Ассемблер или язык машинных кодов открывают нам глаза на факт, что все многообразие компьютерных программ, по сути, это перекладывание байтов из ячейки в ячейку или арифметические и логические операции с ячейками, т.е. мир это иллюзия – сон программиста.

C++ - Язык программирования для нормальных людей. Все остальные языки и он сам написаны на нем. Этот язык – изящный, изощренный, полный, в меру низкоуровневый и в меру высокоуровневый, язык для универсалов, для всемогущих людей.

Фузы, FUSES - биты конфигурации процессора, устанавливающие различные режимы работы процессора, в том числе, секретные режимы: защита от прочтения прошивки. Экспериментальным путем обнаружено, что иногда они находятся в стороне от основной памяти на кристалле, тогда с помощью фольги и ультрафиолета или перегрева их можно стереть, т.е. превратить в «1».

FLASH- Энергонезависимая (медленная на запись) память, но с ограниченным количеством перезаписи (например 1000 раз). Обычно там лежит микропрограмма в виде машинных кодов. Язык машинных кодов и Assembler это практически одно и тоже.

EEPROM, ПЗУ - Энергонезависимая (медленное чтение и еще более медленная запись) память до 100000 циклов перезаписи. Там хранятся настройки пользователя: любимые аккумуляторы, любимые алгоритмы зарядки.

RAM, SRAM, ОЗУ – Энергозависимая, быстрая память. При выключении ЗУ все пропадает. Хранит в себе переменные, массивы, стек.

Дельта пик, Negative Delta V, NDV, -dV – резкое, незначительное снижение напряжения на батарее в конце заряда (0.005-0.010в). Лучше проявляется при больших токах заряда. Бывает в батареях Ni-Ca и Ni-Mh. Существует ложный дельта пик, который происходит в первые 5-10 минут заряда сильно разряженной батареи.

SoC, SoH - State of Charge, State of Health, текущий заряд, текущее состояние батареи. Определяется например суммированием переданного заряда батарее или более сложными методами соотношения фаз напряжения температуры и их скоростей.

Trickle,

Струйная подзарядка – (0.1-0.03C) Применяется для дозаряда и уравнивания химических процессов в конце заряда. Также применяется для компенсации разряда при недлительном хранении.

## Требования «Стандартного разъема»

№ X3 или X5	Название	Направление	Описание
1	+12v	Силовая => Цифровая	В принципе, может быть от +11в до +14в. Оптимальное значение +13в.
2	Charge On	Цифровая => Силовая	Разрешение зарядки аккумулятора. Логический 0 (0в) – запрещено, Логическая 1 (5в) – разрешено.
3	Disch On	Цифровая => Силовая	Разрешение разрядки аккумулятора. Логический 0 (0в) – запрещено, Логическая 1 (5в) – разрешено.
4	PWM	Цифровая => Силовая	ШИМ сигнал с процессора для задания величины стабилизированного тока зарядки или разрядки в зависимости от сигналов «Charge On» и «Disch On». Частота 16МГц/65536=244 Гц или 16МГц/32768=488 Гц (в зависимости от прошивки). На силовой плате этот сигнал проходит через ФНЧ второго порядка 16 Гц и получается опорное напряжение, определяющее ток. В первом случае больше точность выставления, но и больше шума после фильтрации, во втором – меньше точность и меньше шума. Вместо этого сигнала можно подавать фиксированное напряжение от 0в до 5в. 0.1в соответствует 0А, 5в соответствует 5А. <b>Т.е цифровую часть можно выкинуть, и «в ручную» выставлять нужный ток не дребезжащим переменным резистором!!!</b>
5	GND	Силовая => Цифровая	Земля
6	I_IN	Силовая => Цифровая	Сигнал на АЦП процессора от 0в до 5в. 5в соответствует максимальному току. Коэффициенты преобразования задаются при настройке ЗУ в меню настроек.
7	V_IN	Силовая => Цифровая	Сигнал на АЦП процессора от 0в до 5в. 5в соответствует максимальному напряжению. Коэффициенты преобразования задаются при настройке ЗУ в меню настроек.
8	+9v	Цифровая => Силовая	Питание операционных усилителей
9	AGND	Цифровая => Силовая	Аналоговая или измерительная земля, питание операционных усилителей.
10	GND	Силовая => Цифровая	Земля

## Описание процессора AT Mega32

Нога	Порт	Напр.	Название	Описание
1	B0	OUT	C0 (Charge On)	Разрешение зарядки канал 1
2	B1	OUT	C1 (Charge On)	Разрешение зарядки канал 2
3	B2	IN	S0	Кнопка «ДА»
4	B3	OUT	S2	Кнопка «Вверх»
5	B4	IN	S1	Кнопка «НЕТ»
6	B5	IN	MOSI	Для программатора PonyProg
7	B6	OUT	MISO	Для программатора PonyProg
8	B7	IN	SCK	Для программатора PonyProg
9		IN	RESET	Для программатора PonyProg и не только.
10			VCC	Питание процессора
11			GND	Земля процессора
12			XTAL2	Внешняя тактовая частота
13			XTAL1	Внешняя тактовая частота
14	D0	IN	RXD	Чтение процессором из COM-порта
15	D1	OUT	TXD	Запись процессором в COM-порт
16	D2	OUT	D0 (Disch On)	Разрешение разрядки канал 1
17	D3	OUT	D1 (Disch On)	Разрешение разрядки канал 2
18	D4	OUT	PWM1	16-ти разрядный ШИМ, задающий опорный ток в канале 2
19	D5	OUT	PWM0	16-ти разрядный ШИМ, задающий опорный ток в канале 1
20	D6	OUT	COOL	Включение вентилятора охлаждения ЗУ
21	D7	OUT	BUZZ	Пьезо пищалка
22	C0	OUT/IN	DB4	Бит передачи и получения данных ЖКИ
23	C1	OUT/IN	DB5	Бит передачи и получения данных ЖКИ
24	C2	OUT/IN	DB6	Бит передачи и получения данных ЖКИ
25	C3	OUT/IN	DB7	Бит передачи и получения данных ЖКИ
26	C4	OUT	RS	Управление ЖКИ
27	C5	OUT	RW	Управление ЖКИ
28	C6	OUT	E	Управление ЖКИ
29	C7	OUT/IN	S3	Кнопка «Вниз»
30			AVCC	Питание АЦП процессора
31			AGND	Питание АЦП процессора
32			AREF	Опорное напряжение АЦП процессора
33	A7	IN	TC	Температура радиатора-вентилятора охлаждения ЗУ
34	A6	IN	V12	Напряжение первичного источника – машинного аккумулятора
35	A5	IN	T1	Температура терморезистора канал 2
36	A4	IN	V1	Напряжение заряжаемой/разряжаемой батарейки канал 2
37	A3	IN	FB1	Ток заряжаемой/разряжаемой батарейки канал 2
38	A2	IN	T0	Температура терморезистора канал 1
39	A1	IN	V0	Напряжение заряжаемой/разряжаемой батарейки канал 1
40	A0	IN	FB0	Ток заряжаемой/разряжаемой батарейки канал 1

## Программатор

**Внимание! Неправильное программирование фузов может повлечь за собой невозможность перепрограммирования процессора. Сначала прочитайте этот параграф, потом приступайте к выполнению.**

**Внимание! Встроенный программатор работает только через родной, честный COM-порт. Переходник USB-COM и некоторые «нечестные», неполные COM-порты на ноутбуках не допускаются к применению. Если программатор работает нестабильно, рекомендуется укоротить длину кабеля и увеличить переменную AVRByteWriteDelay=50 в файле PONYPROG2000.INI**

Для работы зарядного устройства необходимо запрограммировать микропроцессор ATmega32, т.е. записать в постоянную память процессора 3 вида данных:

1. Фузы – специальные, управляющие работой микропроцессора биты данных (приблизительно 3 байта).
2. Непосредственно микропрограмму во FLASH (ППЗУ) 32768 байт памяти.
3. Настройки зарядного устройства в EEPROM (ПЗУ) 1024 байт памяти.

Вы можете воспользоваться собственным программатором или программатором, разведенным на цифровой плате ЗУ (разъем X2). Рекомендации по первому случаю, вы найдете в описании вашего программатора. Вам только надо знать, что файлы с прошивками FLASH – «main.hex» и EEPROM - «main.eep» сделаны в формате INTEL STANDART или INTEL HEX, а биты конфигурации вы можете посмотреть ниже.

Рассмотрим второй случай. На цифровой плате ЗУ разведен программатор по схеме [PonyProg](#). Для программирования еще нужна программа, которую можно скачать из Интернет с сайта [PonyProg](#). Далее необходимо:

1. Установить [PonyProg](#) на своем компьютере.
2. Запустить.
3. Выбрать производителя – “AVR micro”
4. Выбрать микросхему ATmega32
5. Setup => Interface Setup => Выбрать номер COM-порта к которому у вас подсоединено ЗУ (больше ничего руками не трогать) => OK.
6. Setup => Calibration => OK.
7. Соединить компьютер и ЗУ обычным «один в один» проводом COM-папа – COM-мама.
8. Подать напряжение питания на цифровую плату.
9. Для проверки, что все хорошо, выполнить чтение микросхемы: Command => Read All.
10. Запрограммировать фузы: Command => Security and Configuration Bits

**Configuration and Security bits**

☐ 7   ☐ 6   ☐ BootLock12   ☐ BootLock11   ☐ BootLock02   ☐ BootLock01   ☐ Lock2   ☐ Lock1

☐ OCDEN   ☐ JTAGEN   ☐ SPIEN   ☒ CKOPT   ☐ EESAVE   ☐ BOOTSZ1   ☐ BOOTSZ0   ☐ BOOTRST

☒ BODLEVEL   ☒ BODEN   ☐ SUT1   ☐ SUT0   ☐ CKSEL3   ☐ CKSEL2   ☐ CKSEL1   ☐ CKSEL0

☒ Checked items means programmed (bit = 0)   ☐ UnChecked items means unprogrammed (bit = 1)

Refer to device datasheet, please

11. Все перепроверить потом Write.
12. Загрузить программу из файла: File => Open Program (FLASH) File => main.hex
13. Запрограммировать FLASH: Command => Write Program (FLASH)
14. Загрузить настройки из файла: File => Open Data (EEPROM) File => main.eep.
15. Запрограммировать EEPROM: Command => Write Data (EEPROM)

**Внимание! Если компьютер засыпает, просыпается, выключается или включается при соединении через COM-порт с программатором ЗУ, то на ЗУ происходит перезагрузка.**

## Рекомендуемое положение битов конфигурации (FUSES).

1 - не запрограммирован, галочка в PonyProg не стоит.

0 - запрограммирован, галочка в PonyProg установлена.

- CKSEL3=CKSEL2=CKSEL1=CKSEL0=1 - Частота определяется внешним кварцевым резонатором, а не внутренним.
- CKOPT=0 - рекомендуется для зашумленных приборов и для частот больше 8 МГц
- SUT0=SUT1=1 - 65мс медленный старт процессора
- BODEN=0 - разрешить реагирование на уровень напряжения. Для стабильного запуска и защиты от порчи EEPROM.
- BODLEVEL=0 - минимальный уровень напряжения 2.7в. Для стабильного запуска и защиты от порчи EEPROM.
- BOOTRST=1 - Стартовать из обычного вектора, а не из BOOT-загрузчика.
- BOOTSZ0=BOOTSZ1=1 - размер бутовой программы безразличен.
- EESAVE=1 - EEPROM не защищен
- SPIEN=1 - SPI не важно разрешен или нет
- OCDEN=1 - встроенный отладчик запрещен
- JTAGEN=1 - JTAG запрещен

**Configuration and Security bits**

☐ 7 ☐ 6 ☐ BootLock12 ☐ BootLock11 ☐ BootLock02 ☐ BootLock01 ☐ Lock2 ☐ Lock1

☐ OCDEN ☐ JTAGEN ☐ SPIEN ☒ CKOPT ☐ EESAVE ☐ BOOTSZ1 ☐ BOOTSZ0 ☐ BOOTRST

☒ BODLEVEL ☒ BODEN ☐ SUT1 ☐ SUT0 ☐ CKSEL3 ☐ CKSEL2 ☐ CKSEL1 ☐ CKSEL0

☒ Checked items means programmed (bit = 0) ☐ UnChecked items means unprogrammed (bit = 1)

Refer to device datasheet, please

### Что надо знать о преобразователях напряжения

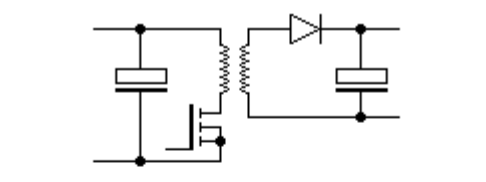
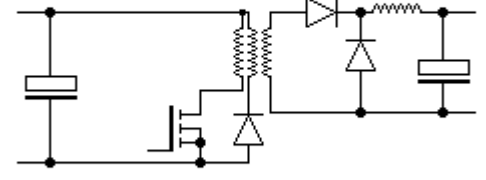
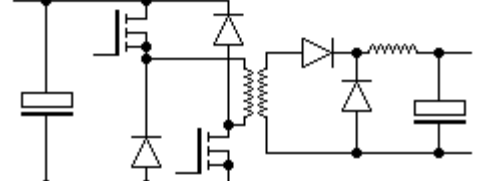
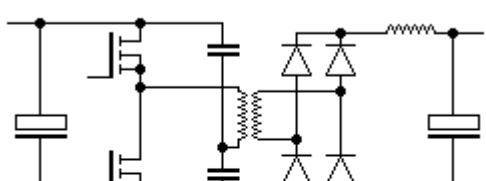
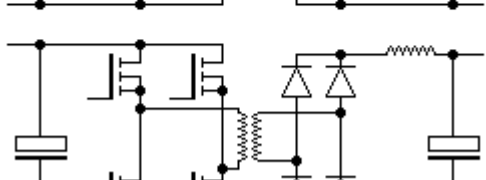
1. Трансформаторные (без промежуточного накопления энергии).
  - a. Прямоходовые.
  - b. Двухтактные (инверторы).
    - i. Регулируемые.
    - ii. Нерегулируемые.
2. Безтрансформаторные (с промежуточным накоплением энергии).
  - a. На конденсаторах.
    - i. Инвертирующие.
    - ii. Умножающие.
  - b. На катушках.
    - i. Понижающие.
    - ii. Повышающие.
    - iii. Составные.
      1. Инвертирующие (обратноходовые)
      2. Схемы Кука
      3. SEPIC



## Трансформаторные преобразователи

Принцип действия трансформаторных преобразователей интуитивно ясен. Исходные 12В мы раскачиваем на колебательном контуре или цифровым прерывателем высокой частоты и подаем на первичную обмотку. Во вторичной обмотке имеем большее количество витков, а соответственно, и напряжение, которое впоследствии выпрямляем. Регулируя частоту и заполнение импульсов в первичной обмотке, регулируем выпрямленное напряжение во вторичной. Если мы охватим все это хозяйство обратной связью, можем стабилизировать напряжение и ограничить ток, что равносильно защите от КэЗэ.

Т.к. у нас есть 12В, а нам надо 0в-26в придется рассмотреть различные схемы преобразователей напряжения.

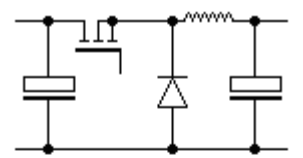
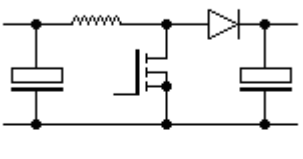
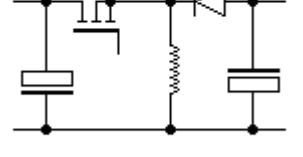
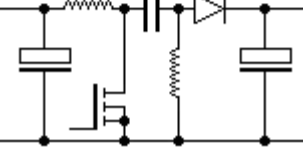
	Flyback converter – повышающий и понижающий с гальванической развязкой как и все трансформаторные. Можно сделать несколько независимых вторичных обмоток со стабилизацией по одной из них. Применяется до 250 Ватт.
	Single Transistor Forward converter – используется для получения постоянного напряжения до нескольких сотен Ватт мощности.
	<a href="#">Two-Transistor Forward converter</a> - используется для получения постоянного напряжения до 1 кВт.
	<a href="#">Half-Bridge Push-Pull Converter</a> – полумостовая схема. До нескольких кВт. Именно эта схема используется для компьютерного контроля питания утюга через Интернет в квартирах новых русских и продвинутых технократов.
	<a href="#">Full-Bridge Push-Pull converter</a> – мостовая схема много кВт. Можно делать сварку в танкомоделировании в масштабе 1:1.

Что здесь нам не должно понравиться? Потери в трансформаторе за счет перемагничивания сердечника это раз, сложность добывания нужного трансформатора это два, относительно сложная схема всего устройства это три. В схемах с двумя и более ключами их согласование это четыре. Низкий КПД при малых нагрузках это пять. Гальваническая развязка нам не нужна это шесть. Я не назвал всех остальных неприятностей, которые мы еще будем обсуждать.

## Безтрансформаторные преобразователи

Что такое безтрансформаторные преобразователи? Они основываются на принципе предварительного накопления энергии от первичного источника, а затем получения из этой энергии требуемого напряжения и тока. Сказано криво, но более-менее понятно. Поясняю. Например: разбиваем преобразование на два равных цикла по 0.5 секунды. В первом цикле высасываем из автомобильного аккумулятора мощность  $P=(10A*12V)/0.5сек.=240$  Вт. Во втором цикле всю эту мощу бросаем на сглаживающий конденсатор и/или дроссель. Но преобразователь питает нагрузку не пол секунды, а непрерывно (т.е. весь период), значит средняя мощность будет в два раза меньше  $P_{ср.}=(0+240)/2=3A*40V/1сек.$  При таких запросах стандартный Жигулевский аккумулятор 40 А/ч разряжается за 4 часа по расчетам, а реально гораздо быстрее (они не любят больших токов и 40 А/ч отдают только при медленном разряде).

Именно этот вид преобразователей наиболее часто используется. Вот они – труженики. Мобильники, радиотелефоны, плееры, фотоаппараты, компьютеры, почти все устройства, имеющие батарейки, используют эти преобразователи, а то и по несколько раз.

	<b>Buck converter - Понижающий преобразователь.</b> Выходное напряжение меньше входного. Когда ключ замкнут, энергия первичного источника передается на выход и одновременно накапливается в дросселе и конденсаторе. При размыкании ключа, дроссель и конденсатор питают нагрузку.
	<b>Boost converter – Повышающий преобразователь.</b> Выходное напряжение больше входного. Диод обеспечивает это условие, а без диода не работает. (Это, если кто захочет и повышать и понижать на этой схеме). Все что накоплено дросселем при замкнутом ключе выплескивается на выход при размыкании.
	<b>Buck-Bost converter – Понижающий и повышающий преобразователь, но и инвертирующий.</b> Все, что нужно, НО возникают трудности при попытке приделать к нему процессорное управление. Меняя скважность, меняете выходное напряжение как хотите.
	<b>SEPIC - Single-Ended Primary Inductance Converter</b> - несимметричный преобразователь первичной индуктивности (это не дословный перевод, а вообще не перевод) <b>Вот ОНО, то, что мы так долго искали.</b> Все может и неперевернутый, но за это мы заплатим еще одним дросселем и конденсатором.

Конденсаторные преобразователи, к сожалению пока не доступны. Нужны специальные конденсаторы – неполярные, на высокий ток, и большой емкости. Ну а если честно – мало таких мест в Интернет, где можно найти схему реально работающего конденсаторного преобразователя. И вот, что странно, именно конденсаторный преобразователь на микросхеме MAX232CPE будет использован для согласования напряжений СОМ-порта компьютера и нашего ЗУ.

Из всех, предложенных схем, лучшее на мой взгляд последний вариант – SEPIC, по-нашему несимметричный преобразователь первичной индуктивности. Это устройство является составным, т.е. состоящим из понижающего и повышающего преобразователя.

Есть и другие схемы понижающих и повышающих преобразователей. Да хотя бы объединение второй и первой схемы последовательно, но тогда будет проблема с синхронизацией управления ключами обеих половин и КПД не выше 90%. Почему-то другие схемы отсутствуют в классической литературе и не прижились в жизни.

## Потери и КПД

### Потери в сердечнике

Для минимизации излучения и концентрации всего магнитного поля внутри сердечника лучше использовать замкнутые сердечники. Но как показывает теория и практика, какой бы не был хороший материал магнитопровода, на больших частотах в нашей схеме магнитопровод перестает впитывать и отдавать энергию, а именно это свойство дросселей нам так нужно. Это происходит из-за того, что в нашей схеме полярность дросселя не меняется и магнитопровод намагничивается и при этом насыщается. В результате из всего объема магнитных свойств сердечника мы используем максимум 50% (у самых лучших ферромагнетиков остаточная намагниченность  $\frac{1}{2}$  от максимальной намагниченности). Чтобы уменьшить этот неприятный эффект, приходится в замкнутый сердечник вводить щель. Причем чем больше щель, тем меньше остаточная намагниченность – это хорошо и плохо. Введение щели аналогично уменьшению магнитной проницаемости сердечника. Незначительная щель уменьшает проницаемость на порядки. А значит надо мотать больше проводов для получения той же индукции. В трансформаторах, которые используют прямоходовую схему с **переменной** полярностью, проблемы с намагничиванием нет. При положительной полярности сердечник намагничивается, а при обратной, он размагничивается и намагничивается другой полярностью, естественно не за бесплатно, а за потери.

Щель в тороиде можно сделать алмазным диском или разбить тороид ножом и молотком. Затем щель надо отшлифовать и заполнить диэлектриком например текстолитом. В Ш-образном сердечнике стачивается и заполняется только центральная часть. Еще можно использовать материалы с распределенной щелью (порошковое железо, CoolMu, Мо-пермаллой). Как показала практика, последний материал нам лучше подходит при  $\mu_0=60$ .

Возвращаемся к потерям. Многие сердечники обладают сами по себе конечным сопротивлением, и, в связи с этим, возникающие в них вихревые токи нагревают сердечник.

Более детально изучить физику процесса можно в статье специалиста. В Интернет ищите слова: Алексей Кузнецов «Трансформаторы и дроссели для импульсных источников питания» или просто «расчет трансформаторов» [6].

### Потери в проводах

Провод, которым намотан дроссель, тоже имеет сопротивление, а значит, он греется, особенно, если ток большой. При повышении частоты до 100 000 Гц начинает проявляться скин-эффект. Наши медные провода тоже маленькие сердечники. И каждый провод наводит в соседних проводах магнитное поле, а то в свою очередь влияет на движущиеся электроны и вытесняет их ближе к поверхности проводника (Скин-эффект). От этого эффективное сечение уменьшается, а сопротивление увеличивается. Решить эту проблему можно заменив один толстый провод на много тонких. Например, при частоте 250 кГц рекомендуется мотать дроссель проводами не толще 0.4 мм в диаметре.

В указанной ниже таблице приведены расчетные значения величины добавочных потерь  $k_g$  для разных частот. Подбор нужного диаметра проводника надо проводить с условием  $k_g \leq 1.1$

Частота кГц	Значение $k_g$ для одножильного проводника диаметром мм						
	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
500	2.37	2.12	1.85	1.59	1.32	1.13	1.0
400	2.16	1.93	1.67	1.46	1.21	1.083	1.0
300	1.9	1.7	1.48	1.3	1.14	1.06	1.0
250	1.76	1.57	1.38	1.23	1.1	1.034	1.0

200	1.6	1.43	1.27	1.2	1.083	1.03	1.0
150	1.4	1.28	1.11	1.072	1.0	1.0	1.0
100	1.3	1.24	1.08	1.025	1.0	1.0	1.0
75	1.24	1.097	1.06	1.0	1.0	1.0	1.0
50	1.065	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1.014	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Опускаю рассуждения относительно еще одного вида потерь в дросселе, связанных с плотностью намотки или удаленностью проводов от магнитопровода, т.к. не смог найти информацию, но запомним, что мотать надо как можно плотнее, желательно в один слой как можно ближе к магнитопроводу и равномерно вдоль всей его длины.

### **Потери на ключе**

Чем чаще переключается наш ключ, тем дольше длятся участки, на которых ключ и не открыт и не закрыт, т.е. обладает не бесконечным сопротивлением. Именно в эти моменты наша драгоценная энергия нагревает ключ. Чем быстрее ключ, тем меньше наши потери. Для увеличения скорости переключения ключа нужно использовать специальную микросхему драйвер ключа. Для минимизации сопротивления соединим два ключа вместе параллельно. Как показала практика, скорость переключения ключа наиважнейшая характеристика для максимизации КПД. Для обозначения порядков скажем, что нас интересуют частоты 250 кГц. Для получения приемлемой скорости переключения требуется драйвер способный дать ток 3 и более Ампер, чтобы быстро зарядить и разрядить емкость затвора ключа.

### **Потери на выпрямительном диоде**

Поставим спаренный диод Шоттки. Конечно, можно было бы поставить вместо диода ключ, который имеет на порядок меньшее сопротивление в открытом состоянии, и открывать его, когда надо, но алгоритм управления ключом сильно усложнит схему, а дросселя не простят нам ошибок. Потому как, если дросселю некуда разряжаться, то он разрядится через ключ. Все равно ему, закрыт он или собирается открыться. И будет гиена огненная.

## Химия

Настало время обсудить алхимию процессов отдельно по каждому виду аккумуляторов. Эти знания были почерпнуты из статьи [3] и [4], а также из необъятного Интернет. За точность сведений отвечать не могу. Будем проверять на своих шишках. В статье [3] приведены данные по обычным аккумуляторам, модельные аккумуляторы допускают большие токи зарядки и разрядки.

Приведенные данные усредненные. В любом случае, ориентироваться надо на ту информацию, которая имеется на самом аккумуляторе или в сопроводительных документах при покупке одного.

Еще раз повторимся о режиме правильной эксплуатации аккумулятора:

- Не заряжать током выше определенного значения.
- Не разряжать током выше определенного значения.
- Не разряжать ниже определенного значения напряжения.
- Не заряжать выше определенного значения напряжения.
- Не делать с аккумулятором того, что может прийти в голову детям и душевно больным.

Так как все аккумуляторы это химические гальванические источники тока, то скорость их разряда и заряда, ограничены скоростью протекания химических реакций, которая напрямую связана физическим перемещением в электролите ионов и катионов и обеспечивается естественной конвекцией, диффузией и кулоновскими силами. При превышении скорости заряда и разряда увеличиваются побочные, вредные реакции, которые разрушают электролит, нарушают структуру катода и анода, изменяя их эффективную площадь, что приводит к уменьшению емкости или полному уничтожению аккумулятора. Отсюда первый вывод, что при низких температурах и заряжать и разряжать надо медленнее.

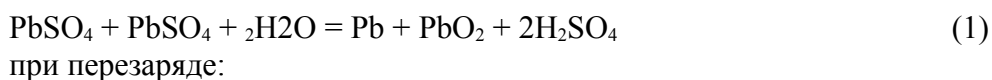
Все аккумуляторы можно заряжать по одной и той же схеме:  $0.1C$  (где  $C$  – номинальная емкость аккумулятора), время 12 – 16 часов. Но для литиевых аккумуляторов ни в коем случае нельзя превысить допустимое максимальное значение напряжения. Принцип тише едешь, дальше будешь, работает хорошо, но не всегда. При слишком медленной зарядке могут откладываться кристаллы на катоде, затрудняющие работу аккумулятора.

Даже там, где медленный способ и хорош, время от времени приходится идти на ускорение процесса. Зачем богатому человеку беречь машину, если до конца жизни он не успеет потратить все свои деньги? Это я об аккумуляторах. Редкий самолет долетает до 100 циклов перезарядки аккумулятора.

Для того чтобы работать «на грани», надо более точно знать кто такие аккумуляторы. Знать их слабости-уязвимости.

### Свинцово-кислотные аккумуляторы

Свинцово-кислотным аккумулятором называется гальванический элемент, в котором активным веществом положительного электрода служит двуокись свинца, а отрицательного – губчатый свинец. Рассмотрим химические реакции при заряде кислотного аккумулятора:





побочная реакция:



Из уравнения (1) видно, что при заряде на отрицательном электроде восстанавливается губчатый металлический свинец, а на положительном - двуокись свинца.

Свинцово-кислотные аккумуляторы бывают заливные и герметичные. Заливные более дешевые и допускают замену и долив электролита. В настоящее время наблюдается тенденция на снижение их применения, т.к. они пригодны лишь для стационарного использования и неприменимы в жилых и рабочих помещениях из-за выделения различных газов в процессе эксплуатации (см. уравнения (2) и (3)). Разумеется молекула серного ангидрида  $\text{SO}_3$  тяжелая и малоподвижная. Скорее всего, она прореагирует с водяным паром и вернется в раствор электролита, но при перезаряде (2), когда газообразование идет активно, вполне вероятен вынос ядовитого газа в окружающее пространство. Количества его малы, но в закрытом помещении... К тому же смесь газов получающихся в результате реакции (2) взрывоопасна. Однако, с точки зрения заряда, это самые неприхотливые аккумуляторы. Их можно заряжать токами до 0,25 С<sub>ном</sub>, а условием окончания заряда приблизительно можно считать достижение некоторого напряжения, например, для температуры 20°C это напряжение составит 2,43В - 2,53В. Кроме того, если даже этот порог превышен, то перезаряд приведет к "кипению" - электрохимическому разложению воды. При условии, что помещение хорошо проветривается, единственной проблемой станет восстановление нормального уровня электролита.

### **Свинцово-кислотные герметичные аккумуляторы**

SLA (Sealed Lead Acid batteries) – герметичные свинцово-кислотные батареи.

VRLA (Valve Regulated Lead Acid batteries) – батареи с регулируемым клапаном.

SLI (Start, Light, Ignition) – Пуск, освещение, зажигание.

Эти аккумуляторы отличаются от заливных в основном применением гелиевого электролита и герметичностью контейнера. Если не считать немного более высокой стоимости, герметичный кислотный аккумулятор лишен недостатков заливного, что значительно расширяет область его применения. С точки зрения заряда, это самый лучший в смысле простоты аккумулятор. Во-первых, о степени заряженности однозначно свидетельствует напряжение на аккумуляторе 2,43В - 2,53В для циклического режима заряда, а во-вторых, даже при превышении зарядного напряжения, не происходит выделения газов - рекомбинация в толще гелиевого слоя и на пробках клапанов, выполненных из каталитической резины. Однако, при значительных токах заряда, скорость выделения газов может превысить скорость рекомбинации, и сработает предохранительный клапан. Кислотные аккумуляторы можно заряжать в широком диапазоне температур -20 - +50°C. Максимальные зарядные токи - до 0,35 С<sub>ном</sub>.

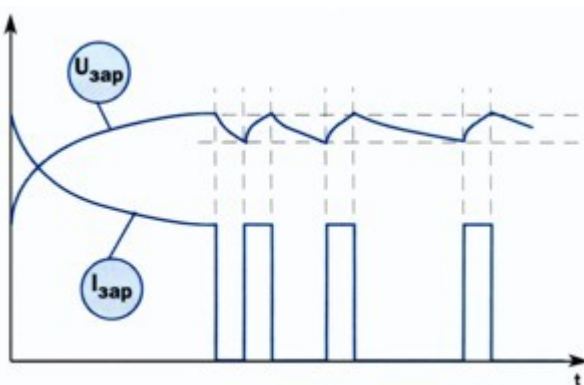
Можно применить одинаковую схему для зарядки свинцовых аккумуляторов.



Устройство управления ориентируется только на напряжение заряженных аккумуляторов. При достижении 2,43В -2,53В на элемент, ключ размыкается. Эффективность такого способа зарядки составляет 80-90% в зависимости от тока в конце зарядки. Чем меньше ток (медленнее идет заряд), тем до большей емкости можно зарядить. Ниже показан график заряда.



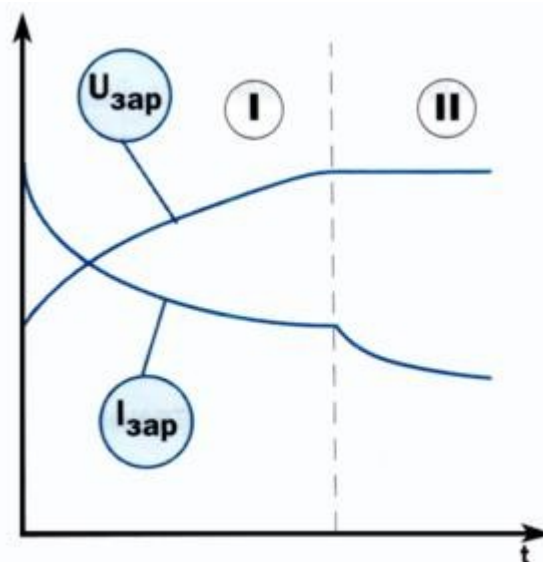
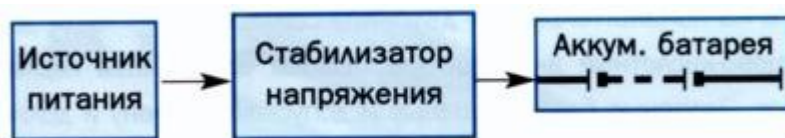
Сразу после отключения ЗУ заряд слегка уменьшается из-за происходящих в электролите процессов, уравнивающих прямую и обратную реакции и перераспределению веществ в электролите. Чтобы добыть заряд до 100% применяют следующую схему дозаряда малыми токами:



Лучшим, но более сложным является так называемое "быстрое" автоматическое зарядное устройство. Здесь от источника питания питаются стабилизаторы тока и напряжения. Стабилизатор тока выдает максимальный допустимый ток заряда, по мере роста напряжения на АБ уменьшает его, а при достижении порога, переводит АБ во вторую стадию - заряд постоянным напряжением  $U=(2,26в - 2,31в)$  на элемент от стабилизатора напряжения. Именно эта схема заряда рекомендуется всеми фирмами производителями с различными вариациями.



Оптимальным по сумме параметров, включая стоимость, является автоматическое зарядное устройство, указанное ниже. Здесь источник питания, как в зарядном устройстве на первой схеме, обеспечивает ограничение тока и питает стабилизатор напряжения, отрегулированный на напряжение  $U_z = (2,26\text{в} - 2,31\text{в})$  на элемент. До достижения указанного напряжения ток заряда будет определять источник питания, а при достижении на аккумуляторе напряжения  $U_z$  стабилизатор напряжения войдет в режим и будет ограничивать ток, поддерживая напряжение на АБ постоянным. Именно этот метод применяется для заряда батарей работающих в буферном режиме или находящихся в горячем резерве. Зависимости токов и напряжений от времени заряда:



Существует множество публикаций о заряде кислотных аккумуляторов асимметричным током - чередуя импульсы заряда и разряда. Якобы такой метод заряда повышает срок службы аккумуляторов, но у авторов нет единого мнения по поводу величины и формы этих импульсов. Если учесть, что кислотные аккумуляторы являются самыми дешевыми, то применение дорогих устройств, для сомнительного продления их срока службы, вряд ли целесообразно.

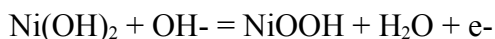
Кислотные аккумуляторы должны храниться в заряженном состоянии, иначе сульфатация. Все кислотные не любят глубоких разрядов, которые могут привести к потере емкости на 80%. Также кислотные не любят высоких температур. При температуре



42°C срок службы сокращается до 1 года. Емкость кислотных аккумуляторов определяют разрядом при малых токах например током 0.05C за 20 часов. Такой способ определения даст наиболее точное значение емкости.

### **Никель кадмиевые аккумуляторы Ni-Cd**

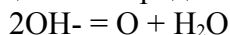
Никель-кадмиевые, герметичные аккумуляторы это щелочные аккумуляторы с оксидно-никелевым и кадмиевым электродами. Основная реакция, протекающая в процессе заряда на положительном электроде в никель-кадмиевом аккумуляторе, может быть записана следующим образом:



На отрицательном кадмиевом электроде при заряде протекает реакция:  
$$\text{Cd(OH)}_2 + 2\text{e}^- = \text{Cd} + 2\text{OH}^-$$

Общая реакция заряда выглядит так:  
$$2\text{Ni(OH)}_2 + \text{Cd(OH)}_2 = 2\text{NiOOH} + \text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O}$$

При перезаряде на положительном электроде возникает побочный процесс генерации кислорода:



Кислород через сепаратор достигает отрицательного электрода и окисляет кадмий:  
$$\text{O} + \text{Cd} + \text{H}_2\text{O} = \text{Cd(OH)}_2$$

Последние реакции образуют замкнутый цикл и обеспечивают газовый баланс в аккумуляторе. Однако давление в аккумуляторе зависит не столько от интенсивности протекающих процессов, сколько от соотношения скорости генерации и скорости транспорта кислорода. Кроме того, реакция окисления кадмия экзотермическая. При быстром заряде наблюдается значительное выделение тепла и разогрев корпуса аккумулятора.

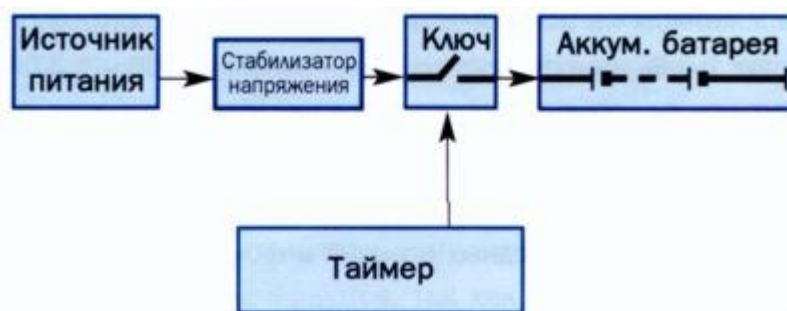
Проблема заряда никель-кадмиевых аккумуляторов по напряжению связана с очень малым градиентом напряжения при заряде малыми токами. Напряжение на заряженном на 20% никель-кадмиевом аккумуляторе составляет 1,4в, а на полностью заряженном - 1,46в - 1,47в при 20°C. Температурные флуктуации этой величины довольно серьезные, но, даже при достаточно стабильной температуре, значения уползают в процессе старения.

Экспериментальным путем было выяснено, что определенный вид Ni-Cd аккумуляторов допускают значительный перезаряд, до нескольких  $C_{\text{ном}}$ , при заряде малыми токами. Эта величина колеблется для разных производителей от 20 до 50 часов, без существенного ухудшения параметров при разовом перезаряде, и до нескольких месяцев без повреждения аккумулятора.

Для выбора типа зарядного устройства и метода заряда необходимо представлять, с аккумулятором какого типа вы имеете дело, даже если известно, что он никель-кадмиевый. Если такой информации нет, то универсальный (правильный) способ заряда - это разрядить аккумуляторы или батарею до напряжения 1в/элемент и заряжать 10 - 12 часов током 0,1  $C_{\text{ном}}$ .

Для современных цилиндрических никель-кадмиевых аккумуляторов допустимо проводить заряд токами до 0,2  $C_{\text{ном}}$  без предварительного разряда с ограничением по времени около 6 часов. Это обусловлено тем, что снижен эффект памяти, и допустим некоторый перезаряд при малых токах. Пример такого устройства приведен на схеме. Источник питания, который вместе со стабилизатором тока обеспечивает стабильный ток,

заряжает АБ через ключ. Таймер отсчитывает время заряда и, при достижении конца интервала, запирает ключ.

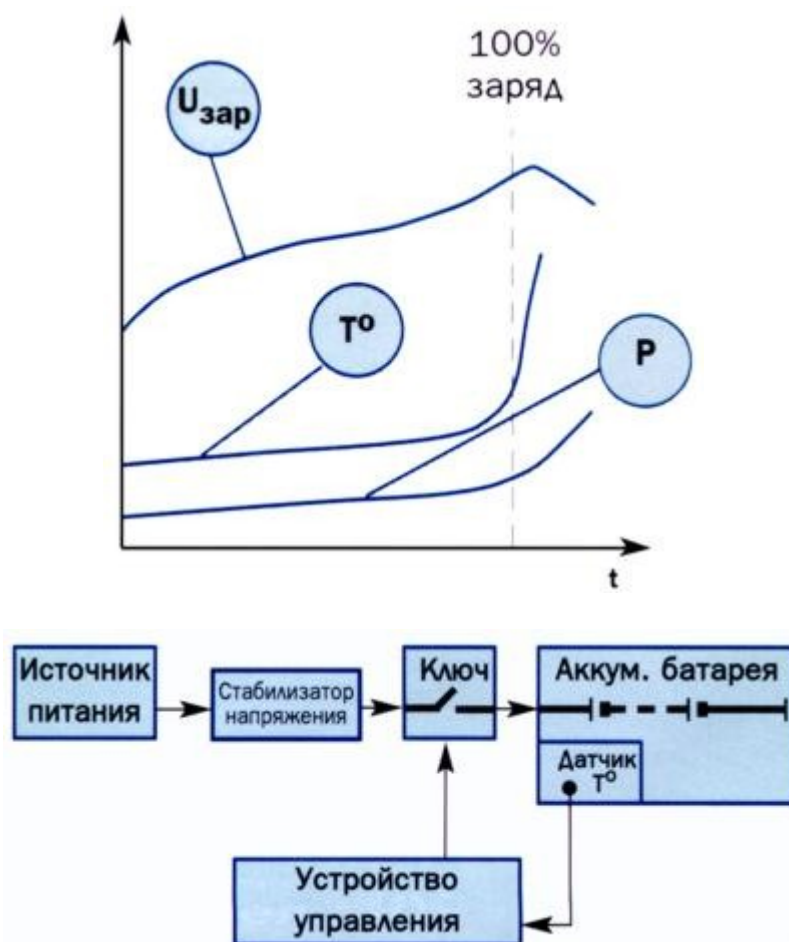


Аналогом этого метода является "кулонный" или "интегральный" метод, при котором используется счетчик ампер-часов (цифровой или аналоговый интегратор, который учитывает ток заряда по времени). Схема 5 показывает зарядное устройство, использующее этот метод. При прохождении тока через датчик тока, на его выходе формируется сигнал, увеличивающий значение на выходе интегратора. При достижении последним уровня порога компаратор запирает ключ и может выдать сигнал на индикатор. Здесь для обеспечения переданного аккумулятору заряда не требуется таймер и не нужен стабилизатор тока, однако это и является существенным недостатком ЗУ, построенного по такому принципу. При малых токах возрастает время заряда, а при больших возникает риск перезаряда при отсутствии предварительного заряда. При использовании стабилизатора тока проблема полностью снимается, но в этом случае применение интегратора по сравнению с таймером не оправдано ни с какой точки зрения. Интегратор сложнее, как следствие дороже и менее надежен, кроме того, точность интегратора намного ниже, чем таймера. Результатом в обоих случаях - ампер-часы или кулоны, переданные от источника питания аккумулятору. Более точного метода не существует, но пригоден он лишь для относительно малых токов заряда, при условии отсутствия перезаряда.



Одни из первых зарядных устройств для быстрого заряда использовали критерий превышения температуры 45 - 50°C для принятия решения о прекращении заряда. Это простой и дешевый способ имеет некоторые недостатки. Дело в том, что возможен недозаряд или перезаряд при слишком высокой или низкой температуре окружающей среды. Поэтому часто используется не сама величина температуры, а скорость ее роста, равная 0,5 - 1 град/мин как условие окончания заряда. Пример такого ЗУ приведен на схеме 6. Источник питания заряжает АБ через ключ, устройство управления через датчик температуры отслеживает температуру на АБ и при достижении ожидаемой величины или

скорости ее роста, выдает сигнал разомкнуть ключ и может включить какой-либо индикатор.



Еще одним параметром является спад напряжения в конце заряда (см. зарядные кривые). Он заметен только при больших токах, практически отсутствует при температуре выше  $35^{\circ}\text{C}$ , и слабо выражен в батареях с большим количеством элементов из-за того, что в результате некоторого разброса по емкости, когда напряжение одного элемента растет, другого может падать, искажая общую картину. Однако этот способ получил широкое распространение для заряда батарей с небольшим количеством элементов при нормальной температуре. Рекомендуемая величина для завершения заряда - снижение напряжения на 10 мВ/элемент. Преимуществом такого способа является возможность контроля напряжения на аккумуляторе или батарее по тем же проводам, по которым осуществляется заряд. Справедливости ради следует отметить, что почти все ЗУ использующие этот параметр одновременно контролируют и температуру батареи и снабжены защитным выключением по превышению времени заряда.

Задача контроля отрицательного спада напряжения - дело сложное и в основном выполняется специализированными микросхемами - контроллерами быстрого заряда. Кроме отрицательного спада напряжения микроконтроллеры могут отслеживать температуру или ее рост, максимальное напряжение и время заряда. Превышение одним из этих параметров установленного значения ведет к окончанию процесса заряда.

Таким образом, наилучшим способом заряда никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей является заряд по времени с предварительным разрядом. Вторым по сумме

параметров является заряд по температуре или скорости ее роста. Однако тренировочный разряд аккумуляторов, которые подвергались быстрому заряду все равно необходимо проводить через 5 - 10 циклов работы.

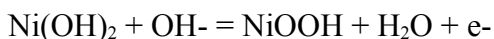
Никель-кадмиевые батареи теряют 10% своей емкости в течении первых 24 часов после заряда, затем снижение емкости около 10% в месяц. Типовое значение напряжения 1.25в в режиме холостого хода и 1.2в под напряжением. Этот тип аккумуляторов имеет самое низкое соотношение цена/срок службы. Они не боятся полного разряда и низких температур, любят быстрый заряд и медленный разряд и подзарядку импульсами тока, могут долго храниться.

Для никель-кадмиевых батарей крайне необходим полный периодический разряд: если его не делать, на пластинах элементов формируются крупные кристаллы, существенно снижающие их емкость (так называемый «эффект памяти»).

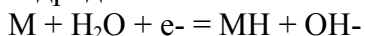
Самый главный недостаток – токсичность.

### **Никель металл - гидридные аккумуляторы Ni-Mh**

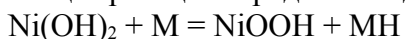
Никель - металлгидридные герметичные аккумуляторы - щелочные аккумуляторы, где вместо кадмиевого электрода применен электрод из сплава никеля с металлами редкоземельной группы, способных к абсорбции водорода. Положительный электрод, как и в никель-кадмиевом аккумуляторе оксидно-никелевый. Реакции, протекающие на нем можно записать следующим образом:



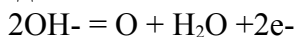
На отрицательном электроде металл реагирует с водородом воды и образует металлгидрид:



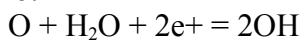
Общая реакция заряда выглядит так:



При перезаряде, как и в никель-кадмиевом аккумуляторе, на положительном электроде возникает побочный процесс генерации кислорода:



Кислород через сепаратор достигает отрицательного электрода и вступает в реакцию:



Последние реакции образуют замкнутый цикл и обеспечивают газовый баланс в аккумуляторе. Однако давление в аккумуляторе зависит не столько от интенсивности протекающих процессов, сколько от соотношения скорости генерации и скорости транспорта кислорода. Кроме того, при поглощении кислорода обеспечивается еще и дополнительное увеличение емкости металлгидридного электрода за счет образования группы OH. Однако разогрев металлгидридного аккумулятора при перезаряде все равно происходит.

Особенностями металлгидридного аккумулятора по сравнению с никель-кадмиевым являются в большей емкости (до 1,6 раза), менее выраженном спаде напряжения в конце заряда, ограничением температуры при заряде на уровне 40°C, отсутствии эффекта памяти и зависимость количества циклов от глубины разряда - металлгидридные аккумуляторы "не любят" полного разряда.

Последние две особенности делают заряд металлгидридного аккумулятора по времени с предварительным разрядом не только ненужным, но и вредным.

Практически все цилиндрические и призматические никель-металлгидридные аккумуляторы допустимо заряжать токами до  $0,2 C_{\text{ном}}$  без предварительного разряда с ограничением по времени около 6 часов. Это обусловлено тем, что эффект памяти отсутствует, а некоторый перезаряд при малых токах допустим. ЗУ, построенное по такому методу аналогично устройству для никель-кадмиевых аккумуляторов, приведенному на схеме. Параметры источника питания такие же - номинальные напряжения никель-металлгидридного и никель-кадмиевого аккумуляторов практически совпадают.

Менее выраженный спад напряжения в конце заряда делает контроль за зарядом по отрицательному спаду сложным и опасным для батареи. Разработка батарей более чем из 10 никель-металлгидридных аккумуляторов не рекомендуется в связи с опасностью перегрева при заряде одного из аккумуляторов, которая возрастает с увеличением разброса по емкости в результате длительного использования.

В свете вышесказанного, наилучшими способами заряда для никель-металлгидридных аккумуляторов являются: стандартный заряд по времени и быстрый заряд по температуре до значения  $40 - 60^{\circ}\text{C}$  или ее градиенту  $1 - 2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .

Различные фирмы-производители дают разные рекомендации по быстрому заряду своих аккумуляторов. Так, например:

- Panasonic (Япония): зарядные токи  $0,5 - 1 C_{\text{ном}}$ . Максимальная температура -  $55^{\circ}\text{C}$  для типоразмеров А и АА и  $60$  для L-A, таймер быстрого заряда - 90 мин для зарядного тока  $1 C_{\text{ном}}$  (довольно смело, но им виднее), Напряжение окончания заряда  $1,8 \text{ В/элемент}$ , отрицательный спад напряжения  $5 - 10$  милливольт/элемент.

- Gold Peak Group (Китай) рекомендует заряжать свои аккумуляторы разными методами, в зависимости от окружающей температуры:

- по температуре - при  $25 - 45^{\circ}\text{C}$ ;

- по градиенту температуры - при  $20 - 30^{\circ}\text{C}$ ;

- по отрицательному спаду напряжения - при  $0 - 30^{\circ}\text{C}$ .

Максимальное значение температуры аккумулятора при зарядном токе  $0,5 - 1 C_{\text{ном}}$  составляет  $55^{\circ}\text{C}$ , а при зарядном токе  $0,2 - 0,4 C_{\text{ном}}$  -  $50^{\circ}\text{C}$ , отрицательный спад напряжения  $10 - 15$  милливольт/элемент, таймер быстрого заряда - 120% емкости.

Т.к. дельтапик обычно достигается после того как аккумуляторы значительно нагрелись и сработала защита по нагреву, для достижения 100% зарядки, рекомендуется пользоваться охлаждающими устройствами во время заряда. И вообще, существует мнение, что перегрев аккумулятора снижает срок службы.

Во время зарядки аккумулятора, от состояния полностью разряженного может встретиться дополнительный, фальшивый пик в начале зарядки, который нужно игнорировать.

Существует метод, при котором замеры фактического напряжения аккумулятора производятся 1 раз в минуту. При этом перед замером производится небольшая разрядка аккумулятора в течение нескольких секунд.

Метал - гидридные аккумуляторы не любят импульсной нагрузки. Из-за этого снижается срок их службы.

Хранить аккумуляторы лучше заряженными на 40% в прохладном месте.

### **Литий ионные аккумуляторы Li-Ion**

Литий щелочной металл, почти самый левый в таблице напряжения металлов. Разлагается на воздухе, соединяется с кем попало, вытесняет все металлы из их солей. Хранится только в герметичных упаковках и в керосине, соответственно, срок годности с использованием или без него несколько лет. Это касается всех литиевых батарей.

Первые литиевые батареи были из лития. Из-за обычного для всех пользователей свойства нарушения режима эксплуатации, происходил быстрый износ и старение, которые в свою очередь, приводили к нарушению температурной стабильности. В результате, температура батареи достигала температуры плавления лития и происходила бурная реакция, получившая название «вентиляция с выбросом пламени».

В 1991 году было отозвано много батарей мобильных телефонов. При разговоре, когда потребляемый ток максимален, из телефона вырывалось пламя и приводило к ожогам пользователей. С тех времен от изготовления отрицательного электрода из лития отказались, но стали использовать ионы лития. Это несколько уменьшило плотность заряда, но в купе с новыми системами защиты, значительно повысило безопасность. И все же литий ионные батареи крепятся к телефону сзади за слоем текстолита и клавиатурой на слабенькой защелке.

При заряде литий ионных батарей протекают реакции:

- На положительных пластинах:  $\text{LiCoO}_2 \rightarrow \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^-$
- На отрицательных пластинах:  $\text{C} + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- \rightarrow \text{CLi}_x$

При разряде протекают обратные реакции.

С течением времени у батареи поднимается внутреннее сопротивление. Все аккумуляторы на основе лития подвержены быстрому старению. За год теряется 20% емкости, даже если аккумулятор не используется! За второй год 20% от оставшегося. Спрашивайте дату рождения при покупке. Производители в коммерческих целях эту информацию скрывают и кодируют ее в серийном номере батареи. Старение батарей можно замедлить на 40% хранением при 15°C, батареи должны быть заряжены на половину.

А при эксплуатации, повышение температуры до 60°C способствует лучшей токоотдаче, т.к. проводимость лития улучшается.

Напряжение при эксплуатации меняется от 4.2в до 3в (напряжение отсечки), что не очень то приемлемо для различного рода потребителей, требующих постоянного напряжения, но в некотором смысле удобно для оценки заряда батареи.

Раньше конструкция батареи основывалась на использовании графитовой системы, что ограничивало максимальное напряжение до 4.1в на элемент. Нарушение ограничения приводит к сокращению срока службы.

В настоящее время путем применения различных добавок, удалось повысить максимальное напряжение до 4.2 + 0.05в. Военные заряжают литий-ионные батареи по уставу до 3.9в для увеличения срока службы. При перезаряде литий-ионного аккумулятора до 4.3в, происходит отложение металлического лития, что приводит к нестабильности и уменьшению срока эксплуатации.

При низких температурах от 0-10°C максимальный ток заряда лучше уменьшить. При температурах ниже точки замерзания электролита лучше не заряжать иначе осаждение металлического лития.

Обычная схема зарядки литиевых батарей состоит из двух фаз:

1. От источника стабильного тока ( $I = 0.5C - 1.5C$ ) производится заряд от 1 до 3 часов (в зависимости от тока) достигаем заряда до 70-80% емкости. Это скорее всего произойдет при достижении напряжения  $0.9 \cdot V_{\text{ном}}$
2. От источника стабильного напряжения током, который получится, до полного исчезновения тока.

Скорость полного заряда практически не зависит от максимального тока, т.к. вторая стадия - самая длительная. Некоторые ЗУ заявляют время заряда 1 час, это значит, что второй стадии у них нет, т.е. ваша батарея будет заряжена на 70%.

При попадании электролита на кожу или в глаза сразу промыть большим количеством воды и к врачу на осмотр.

### **Литий полимерные аккумуляторы Li-Po**

Являются разновидностью литий ионных, и отличаются особым составом электролита гелеобразной консистенции, находящегося в полимерной губке. Благодаря этому форма аккумулятора может быть произвольная.

Напряжение такое же, как и у литий ионных. Срок службы также составляет 1000 циклов.

Все бытовые устройства с литием на борту, имеющие контакт с людьми, особенно с детьми, снабжены целым набором защитных устройств, встроенных в саму батарею. Это два ключа от перезаряда  $>4.3\text{В}$  и переразряда  $<2.5\text{В}$ , специальный выключатель на превышение давления (1034 кПа), и термopредохранитель на  $90^\circ\text{C}$ .

В модельном аккумуляторе ничего этого нет! Моделизм это вам не игрушки!

Аккумулятор литий полимерный можно быстро уничтожить если:

1. Разрядить ниже 2.5В. Если вы разрядили ниже 2.5, можно попытаться восстановить его малыми токами 0.02А до 2.8в и далее 0.05А до напряжения 3.2в, далее в обычный зарядник, но лучше от него далеко не отходить.
2. Перезарядить выше 4.2В.
3. Переохладить, что приведет к пункту 1.
4. Перегреть  $>90^\circ\text{C}$  до вздутия.
5. Нарушить герметичную упаковку.
6. Закоротить анод и катод небольшим направленным ударом. Или, например, в аккумуляторах, произведенных фирмой SONY для ноутбуков DELL, был допущен заводской брак – внутри герметичной упаковки обнаружены частицы металла. SONY сказала, что взорванные аккумуляторы эксплуатировались в неправильных нагрузочных условиях, но, все же, отозвала их для замены (только не в России). Эта статья пишется именно на таком ноутбуке. Теперь я боюсь его оставлять на зарядку, на ночь и когда никого нет дома.



При нарушении герметичности или закоротке анода и катода (например, от падения на твердый предмет) при зарядке может возникнуть большой красивый шар с выделением соответствующего количества тепловой энергии. Сколько выделится тепла, можно подсчитать из соображения, что вы заряжали его два-три часа несколькими амперами тока. Величина достаточная, чтобы поджечь автомашину или занавески или обои у вас дома. Заряжайте только в невозгораемом шкафу вдали от легко и трудно воспламеняемых предметов. Не оставляйте без присмотра и имейте при себе порошковый огнетушитель.

Алгоритм зарядки такой же, как и у литий ионных аккумуляторов. Строжайше запрещено превышать максимальное напряжение заряда.



## Химия очень коротко.

### Сводная таблица по аккумуляторам

Данные, указанные в этой таблице очень приблизительные и должны служить лишь для сравнения средних характеристик различных аккумуляторов.

Точные данные указаны на самом аккумуляторе или на сопровождающих документах. Если ни того не другого у вас нет, проверьте сайт производителя.

Параметры	SLA, VRLA, SLI	Ni-Ca	Ni-Mh	Li-Ion	Li-Po
Энергетическая плотность Вт*ч/кг	30-50	45-80	60-120	110-160	100-130
Число рабочих циклов до снижения емкости на 80%	200-300	1500	300-500	500-1000	300-500
Минимальное время заряда	8-16	1	2-4	2-4	2-4
Ток заряда, С-номинальная емкость	0,1-0,2С	0,1-3С	0,1-2,5С	0,1-0,4С	0,1-1С
Ток разряда Пиковый- Приемлемый-	5С 0.2С	20С 1С	20С 0.5С	>2С до 1С	>2С до 1С
Саморазряд за месяц %	5	20	30	10	10
Эффект памяти	Отсутствует	Сильный	Слабый	Отсутствует	Отсутствует
Напряжение одного элемента в батарее, В	2	1,25	1,25	3,6	3,6
Чего не любят	Полного разряда	Перегрева	Переразряда, перегрева	Всего	Всего
Алгоритм зарядки	1. I=0.1С, t=16 ч. 2. Vconst 3. In>0.1С, Icp=0.1С	1. I=0.2С, t=6 ч. 2. I=2С, Δпик	1. I=0.2С, t=6 ч. 2. I=2С, T<50°C 3. I=2С, dT/dt=1°C/мин.	1. I=Imax, U=Umax	1. I=Imax, U=Umax

Подведем итоги для базовых алгоритмов. Для упрощения будем считать, что заряд производится при 20 °С - 25 °С для одного элемента.

#### SLA (заливные)

- Нулевая фаза. Если аккумулятор полностью разряжен, значит емкость его пострадала и уменьшилась. Можно заряжать током 0.1С до 2в.
- Заряжаем постоянным током  $I_{\max}$  = (от 0.1С до 0.25С).
- Ставим таймер на выключение по времени  $t = (16ч * 0.1С) / I_{\max}$
- Каждые 10 мин снимаем зарядный ток и делаем небольшой разряд в течение 5 секунд тем же  $I_{\max}$ . Если напряжение достигло  $V_{\max}$  = (от 2.43в до 2.53в) прекращаем процесс зарядки.
- В режиме десульфатации заряжаем 1 сек., разряжаем 0.2 сек. (Не проверено!)

#### SLA (герметичные, гелиевые)

- Нулевая фаза. Если аккумулятор полностью разряжен, значит емкость его пострадала и уменьшилась. Можно заряжать током 0.1С до 2в.
- Первая фаза - Заряжаем постоянным током  $I_{\max}$  = (от 0.1С до 0.35С) или постоянным напряжением из расчета 2.45в на элемент.

3. Каждые 10 мин. снимаем зарядный ток и делаем небольшой разряд в течение 5 секунд тем же  $I_{\max}$ . Если напряжение достигло  $V_{\max}$  = (от 2.26в до 2.31в), то переходим ко второй фазе.
4. В режиме десульфатации заряжаем 1 сек., разряжаем 0.2 сек. (Не проверено!)
5. Ставим таймер на переход от первой ко второй фазе  $t = (16ч * 0.1C) / I_{\max}$ .
6. Вторая фаза стабилизация по напряжению (от 2.26в до 2.31в).
7. Ставим таймер на вторую фазу 1 час.

### Ni-Ca

1. Если глубоко разряжен, заряжаем 0.1C до 0.8В.
2. Кадмий с середины не заряжают. Первая фаза – разряжаем до 1В.
3. Заряжаем постоянным током  $I_{\max} = (0.1-0.2C \text{ нормально, } 0.3C \text{ быстрый, } 0.5-1C \text{ скоростной})$ .
4. Можно после каждого импульса зарядного тока делать небольшой импульс разряда для рекомбинации газов, декристаллизации и увеличения срока службы. Конкретные параметры???
5. Ставим таймер на прекращение заряда  $t = (12ч * 0.1C) / I_{\max}$ .
6. Ставим температурный триггер или на температуру 60°C или на ее рост  $dT/dt = 1 \text{ }^{\circ}C/\text{мин}$ . При превышении прекращаем зарядку. При превышении прекращаем зарядку до остывания. Если заряд не полностью принят, можно сделать паузу и продолжить меньшим током (Дифференциально-шаговый заряд). Величина тока зависит от SoC (State of Charge) степень заряда.
7. При достижении напряжения 1.4в активизируем триггер на напряжение. Если напряжение начало снижаться (~ 10 мВ), прекратить заряд. Ориентируемся на снижение на одной банке, т.к. элементы могут быть не согласованы.
8. Далее 1 час струйной подзарядки 0.05C. При длительном заряде приводит к кристаллизации.

### Ni-Mh

1. Если глубоко разряжен, заряжаем 0.1C до 0.8В. Если будем заряжать током 1C, то необходим период 10-20 минут иницирующего 0.2-0.3C заряда.
2. Заряжаем постоянным током  $I_{\max} = (0.1-0.2C \text{ нормально, } 0.3C \text{ быстрый, } 0.5-1C \text{ скоростной})$ . Предпочтительнее быстрый и скоростной заряд иначе трудно определить конец заряда.
3. Ставим таймер на прекращение заряда  $t = (12ч * 0.1C) / I_{\max}$ .
4. Ставим температурный триггер или на температуру 60°C или на ее рост  $dT/dt = 1-2 \text{ }^{\circ}C/\text{мин}$ . При превышении прекращаем зарядку до остывания. Если заряд не полностью принят, можно сделать паузу и продолжить меньшим током (Дифференциально-шаговый заряд). Величина тока зависит от SoC (State of Charge) степень заряда.
5. При достижении напряжения 1.4в ставим триггер на напряжение. Если напряжение снизилось на 10 мВ, прекратить заряд. Ориентируемся на снижение на одной банке, т.к. элементы могут быть не согласованы.
6. Для лучшего определения дельта-пика, измерение напряжения можно делать ежеминутно с небольшим предварительным разрядом. Дельта-пик заметнее при больших токах и при малом количестве элементов.
7. Далее 1 час струйной подзарядки 0.03C. При длительном заряде приводит к кристаллизации.

### **Li-Ion и Li-Po**

1. Перед первой фазой: Если напряжение на банке в диапазоне 2.4в - 3в, то нужно зарядить ее капельным зарядом (0,05 - 0,1 С) до 3 вольт, и только потом перейти к фазе 1. Если ниже 2.4в, то на ваш страх и риск можно попробовать 0.05С, не отходя от ЗУ.
2. Первая фаза - заряжаем постоянным током  $I_{\max}$  = (от 0.5С до 1.5С) до  $0.9 \cdot V_{\text{ном}}$ .
3. Вторая фаза - заряжаем стабилизированным напряжением  $V_{\text{ном}}$  до полного исчезновения тока.
4. Контроль над током и напряжением можно производить непрерывно и одновременно.
5. Ставим температурный триггер или на температуру 40 - 50°C или на ее рост  $dT/dt = 1^\circ\text{C}/\text{мин}$ . При превышении прекращаем зарядку.
6. Ставим таймер  $t = (1.5\text{ч} \cdot 1\text{C}) / I_{\max}$  на прекращение зарядки.

## Как работать с WinAvr?

[WinAvr](#) – одна из самых лучших программ для программирования процессоров Atmel. И вот мои доказательства на момент написания статьи:

1. Это бесплатный компилятор Си, Си++, распространяемый по лицензии GNU. И это наиглавнейший плюс, для программистов, желающих не нарушать лицензионное законодательство. «Embedded IAR C++ for AVR» стоит запредельно высоко для самодельщиков \$2000. Про остальные компиляторы точно не скажу \$150 - \$300, но проблема с ними не в цене, а в возможности их приобрести.
2. Скорость скомпилированной программы находится на уровне лучших компиляторов.
3. Размер скомпилированной программы вполне приемлемый.
4. Явных ошибок не обнаружено.
5. В программе имеется своя оболочка – текстовый редактор «Programmers Notepad 2» из которого можно компилировать и прошивать процессоры, например для программатора PonyProg.
6. Данная программа написана на WinAVR-20071221rc1. В более поздней версии оптимизация по размеру сделана значительно хуже.

Но есть также и минусы: оптимизация по размеру достаточно слабовата. Работа с отдельными битами упразднена с мотивировкой увеличения скорости, не совсем логичное использование глобальных переменных, затруднена работа с указателями на константы во FLASH памяти, библиотека функций не блещет разнообразием. И, все же, бесплатность и доступность перевешивает все эти недостатки.

Как установить:


1. Закачиваем установочный файл с сайта [WinAvr](#).
2. После установки запускаем «с:\winavr\pn\pn.exe» это редактор с возможностью компилирования и прошивки.
3. Редактор необходимо настроить на компилятор и утилиту прошивки AVRDUDE, добавив в него несколько команд:
  - **ОЧИСТКА:** Tools => Options => Ветка Tools => Выбрать в списке: C/C++ => ADD => Name=**CLEAR**; Command= C:\WinAVR\utils\bin\make.exe; Folder=%d; Parameters=clean
  - **КОМПИЛЯЦИЯ:** Tools => Options => Ветка Tools => Выбрать в списке: C/C++ => ADD => Name=**COMPILE**; Command= C:\WinAVR\utils\bin\make.exe; Folder=%d; Parameters=all
  - **ПРОГРАММИРОВАНИЕ:** Tools => Options => Ветка Tools => Выбрать в списке: C/C++ => ADD => Name=**BURN**; Command= C:\WinAVR\utils\bin\make.exe; Folder=%d; Parameters=program
4. В папке с исходниками ЗУ есть «Makefile». В любом проекте WinAvr должен быть такой файл. Обратите внимание на следующие параметры:
  - F\_CPU = 16000000 - тактовая частота
  - FORMAT = ihex - формат файла прошивки
  - TARGET = main - название файла прошивки

- OPT = s - оптимизация по всему
  - AVRDUDE\_PROGRAMMER = ponyser - подключен программатор PonyProg через COM-порт. Еще раз напоминаю используйте только честный COM с материнки и не используйте переходники USB to COM
  - AVRDUDE\_PORT = com1 - номер COM-порта
  - AVRDUDE\_WRITE\_FLASH = -U flash:w:\$(TARGET).hex
  - AVRDUDE\_WRITE\_EEPROM = -U eeprom:w:\$(TARGET).eep
5. Остальные настройки «Makefile» без особой надобности не трогайте!
  6. Для запуска редактирования проекта ЗУ необходимо запустить «с:\winavr\pn\pn.exe zu.pnproj».
  7. Для того чтобы скомпилировать проект необходимо сначала выполнить команду Tools => CLEAR затем Tools => COMPIL
  8. Чтобы прошить ЗУ новой скомпилированной прошивкой через программатор PonyProg, разведенный на цифровой схеме ЗУ, надо выполнить команду: Tools => BURN. К сожалению, мне не удалось прошить фузы (биты конфигурации процессора) из WinAvr, а без них работать не будет, поэтому сначала надо на программе от PonyProg прошить фузы, а потом уже шить программу на WinAvr.

## Приложение №11


### Список

Цифровая схема:

Обозначение	Тип	Кол-во	Корпус	Цена (руб.)	Комментарий
M1	ATMega32	1	DIP40	120-180	
HL1	DV204000 или MT-20S4...	1	ЖКИ 20x4	250-400	Любого производителя, русифицированный, с подсветкой или без нее на основе контроллера HD44780
D1	MAX232CPE или MAX232N	1	DIP16	40	Или любого другого производителя у них обычно в названии присутствует «232»
DA1	7805	1	TO-220	5	Или КРЕН 5А
DA2	7809	1	TO-220	5	Или КР142ЕН8А
VT5	KT814	1	KT27(TO126)	3	Или любой другой
VT1-VT3	KT3102	3	TO-92M	3	
VD1, VD4-VD8	BAT54S	6	SOT-23	5	Не обязательно впаивать. Защита ног процессора от <0v или >5v напряжения
VD2, VD3	4.7v	2	SOD80	5	СМД стабилитроны. 5.1в лучше НЕ ставить.
VD9	LL4148	1	LL103	5	Или KD522 – безногий
Z1	16 MHz	1	CRYSTAL	10	В маленьком корпусе.
BF1	3П-1	1		10	Пьезо пищалка. 5В без генератора.
L1, L2	10-15 uH	2	IND_CH_0805	5	Индуктивность СМД, можно не ставить, мощность минимальная.
C1-C4, C6, C8, C11-C30	0,1u	26	COND_CH_0805	0.2	
C9, C10	27p	2	COND CH 0805	0.2	Можно 22p
C5, C7	10u	2	COND TAN D	15	Можно 10u-100u 16в
	4.7k	5	RES_CH_0805	0.1	80 руб. за пакетик 27 номиналов по 20 шт.
R8	5.1k 1%	1	RES_CH_0805	0.1	Можно 5%, но возможно будет чуть более чувствительна к температуре.
R1, R4, R5, R7, R9 - R23	10k	6	RES_CH_0805	0.1	
R6	11k±1%	1	RES_CH_0805	0.1	Можно 5%, но возможно будет чуть более чувствительна к температуре.
R2, R3	100	2	RES CH 0805	0.1	
X2, X2	DB9RF	2	DB9RF	5	<b>ВНИМАНИЕ: COM-разъем МАМА (крепление на плату)</b>
X4, X6, X8	PLD4X1	3	PLD4X1	5	4-х штырьковая линейка
X7	PLD5X1	1	PLD5X1	5	5-ти штырьковая линейка
X3, X5	PLD5X2	2	PLD5X2	5	10-ти штырьковая сдвоенная линейка
XP1	WH-2	1	WH-2	5	2-х штырьковый полярный разъем для вентилятора
			Итого:	600-750	

Силовая SEPIC

Обозначение	Тип	Кол-во	Корпус	Цена (руб.)	Комментарий
DA1	TL494CN	1	DIP-16	10	
DA2	MAX4420D	1	DIP-8	50	Или TC4420 DIP
DA3	LM324A	1	DIP-14	5	
VT1, VT2	70N06	2	TO-220 1-G(затвор) 2-D(сток) 3-S(исток)	30	Или любой другой (N-канальный, >50в, напряжение переключения от 2в до 9в, емкость затвора минимальная, сопротивление в открытом состоянии минимальное)
VT3	IRL540N	1	TO-220	30	Или любой другой (N-канальный, >25в,

			1-G(затвор) 2-D(сток) 3-S(исток)		напряжение переключения от 2в до 9в, емкость затвора минимальная, сопротивление в открытом состоянии минимальное)
VT7, VT8	KT3102	2	TO-92M	3	
VT4, VT5, VT6	KT3107	3	TO-92M	3	
VD1	30A 50V	1	TO-247AD	40	30CPQ050. Желательно выбирать быстрые и с высоким КПД.
VD3	18v	1	DO-201	20	>5 ватт, можно стабилитрон, а можно просто диод, а можно не впаивать, тогда не будет защиты от переплюсовки и превышения.
L1, L2	МП-60 Мо-пермаллой	2	Две половинки тороида 27 x 15 x 6 или 24 x 13 x 4	70	Серо-коричневого цвета с синей полоской
	CoolMu 77351 ПЭВ2	1м	24 x 14 x 9 d=1.4	20	Черного цвета с белой надписью Можно взять из старого трансa или катушки зажигания
L3	10uH	1	IND CH 0805	5	Индуктивность СМД, мало мощная
C7, C11, C13, C16	0.1u	4	COND_CH_0805	0.2	
C12, C17	0.68u	2	COND CH 0805	0.2	
C10	1.8n	1	COND CH 0805	0.2	
C6, C8	1u	2	COND CH 0805	0.2	
C2, C14, C15, C21	4.7u 50v	4	COND_CH_1206	15	C2, C21 можно напаять сверху еще столько же (тип диэлектрика X7R, Y5V), они бывают с ножками или SMD (на старых матерях под процессором толстые кубики)
C19	3300u 25v	1	COND EL 18 8	30	Для компьютеров, low impedance, 105°C
C4, C5, C20	2200u 35v	3	COND_EL_18_8	40	Можно 1000 35в. Для компьютеров, обязательно low impedance!!!, 105°C
C1, C9	10u 25v	2	COND TAN D	10	Можно 10u-100u 16в
C18	220u 25v	1	COND TAN D	10	Можно 10u-100u 16в
C3	220u 35v	1	COND TAN D	10	Можно 10u-100u 35в
R17	1k	1	RES CH 0805	0.1	
R5	2.4k	1	RES CH 0805	0.1	
R11, R15	3.3M	2	RES CH 0805	0.1	
R1, R6	5 Ом	2	RES CH 0805	0.1	
R19	5.6k	1	RES_CH_0805	0.1	Лучше 5.9k. Можно 5%, но возможно будет чуть более чувствительна к температуре.
R20	7.5k±1%	1	RES_CH_0805	0.1	Можно 5%, но возможно будет чуть более чувствительна к температуре.
R4, R10, R14, R16, R18, R21- R31	10k	15	RES_CH_0805	0.1	
R7	24k	1	RES_CH_0805	0.1	Можно 5%, но возможно будет чуть более чувствительна к температуре.
R2, R3	100k	2	RES_CH_0805	0.1	Можно 5%, но возможно будет чуть более чувствительна к температуре.
R8, R9, R12, R13	0.1 Ом	4	RES2W	5	2-х ваттные шунты
FU2	15A	1		10	Держатель вставки плавкой из 2-х частей с двойными ножками вдоль вставки, крайняя нога 2мм, другая ближе к центру 3мм и вставка плавкая.
X3	PLD5X2	1	PLD5X2	5	10-ти штырьковая сдвоенная линейка
			Итого:	550	

### Как не надо заряжать...

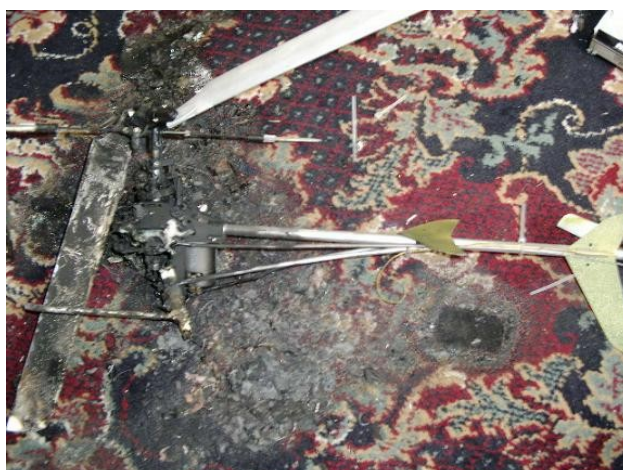
Материалы взяты с сайта <http://klaudius.free.fr/lipo.htm>. Это может случиться с каждым:



Следующий шаг такой (называется вентиляция с пламенем):



Или такой, если заряжать аккумуляторы в модели:





Или такой, если в машине будете заряжать:



А вот как заряжают продвинутые:



## Расчет параметров SEPIC по статье [2]

Макрос можно запустить из файла: SEPIC\_1051.doc, если в «Параметрах» закладка «Безопасность» разрешен запуск макросов с согласия пользователя. После изменения уровня безопасности файл нужно закрыть, открыть вновь и разрешить запуск макросов.

Текст программы можно посмотреть из меню WORD: Сервис => Макрос => Макросы => Изменить. В открывшемся окне Visual Basic слева в окне Project щелкнуть мышкой на User Form1, а потом, нажав на кнопки на форме, вы попадете непосредственно в текст программы.

В программе подробные комментарии. Результат работы программы это текстовый файл на диске c:\sepic.txt. И вот, что у нас получилось:

```
"Параметры SEPIC"
"Freq= 250000 Гц"

"Заданное входное напряжение"
"Vin_min= 11 Минимальное напряжение"
"Vin_typ= 12.5 Типичное напряжение"
"Vin_max= 14 Максимальное напряжение"

"Индексы min, typ, max здесь и далее обозначают для указанного типа входного напряжения"

"Заданные выходные параметры"
"Vout = 35"
"dVout = .01"
"Iout = 5"

"Проза жизни"
"RL1 = .01"
"RL2 = .01"
"Rsw = .044"
"Rcp = .01"
"Vd = .4 Падение напряжения на диоде"
"Gcp = .05 Величина колебаний напряжения на Cp должна быть мала по отношению к Vcp =1%-5%"

"Коэффициент умножения идеальный без учета паразитных сопротивлений"
"Ai_min = 3.22"
"Ai_typ = 2.83"
"Ai_max = 2.53"

"Коэффициент умножения реальный 20 итераций"
"Aa_min = 3.64"
"Aa_typ = 3.11"
"Aa_max = 2.73"

"[Альфа % от периода T]-ключ замкнут; [100-Альфа]-ключ разомкнут"
"Al_min = 78.43%"
"Al_typ = 75.68%"
"Al_max = 73.18%"

"Cp >= 28.5209 мкФ"
"Pcp = .91 Ватт рассеиваемая мощность на Cp"
"Psw = 18.55 Ватт рассеиваемая мощность на ключе без учета переключений"
"Pr11 = 3.31 Ватт рассеиваемая мощность на L1 из-за RL1"
"Pr12 = .25 Ватт рассеиваемая мощность на L2 из-за RL2"
"Pd1 = 2 Ватт рассеиваемая мощность на диоде"
"L1 > 6.01 мГн"
"L2 > 16.39 мГн"
"IL1sat>> 21.05 А ток насыщения индуктивности должен быть значительно больше"
"IL2sat>> 6.25 А ток насыщения индуктивности должен быть значительно больше"
"Cout > 5705 мкФ"
"Cin > 570 мкФ"

"КПД"
"KPD_min= 87%"
"KPD_typ= 90%"
"KPD_max= 92%"

"Vds= 41 В Максимальное напряжение на ключе с запасом 15%"
"Vr= 40 В Максимальное напряжение на диоде с запасом 15%"
```

### **Расчет геометрии дросселей**

Далее будем использовать статью [6] для расчета параметров дросселя. Начальные данные берем из предыдущего параграфа.

Основными критериями для расчета дросселя будут служить:

1. Ток насыщения индуктивности L1 должен быть больше 20 А
2. Ток насыщения индуктивности L2 должен быть больше 6 А
3. Сечения проводов L1 и L2 должны соответствовать токам, во избежание перегрева. Сечение можно уменьшить, но обеспечить хороший отток тепла.
4. Для уменьшения скин-эффекта нам рекомендуют применять толщину проводов 0.4 мм приемлемую для частоты 250-300 кГц, но как показала практика, можно использовать медный провод  $d=1.4$  мм или 3 жилы по 0.8 мм (лучше, но труднее мотать).

По теории, необходимо достаточно точно установить индуктивности у обмоток, контролируя индуктивность LC-метром, если преувеличить L не получим нужных токов, если слишком уменьшим, получим потери от перенасыщения и сузим диапазон регулирования ключом.

Мы будем использовать Мо-пермаллой МП-60. Пока не удалось найти закономерность или оптимальное соотношение L1 и L2 . Да и индуктивности в районе 10-20 мкГн вполне хорошо работают.

### **Про рассчитанные конденсаторы**

Для того чтобы наша схема работала, необходимо подобрать соответствующие конденсаторы с низким уровнем импеданса (индуктивности). Заряд должен иметь возможность легко и быстро приходить «в» и уходить «из» конденсатора, а если конденсатор это намотка фольги (считай катушка), то на высоких частотах индуктивная составляющая препятствует зарядке и разрядке конденсатора. В конденсаторе даже длинные ножки будут играть индуктивную роль, и мешать нам заряжать и разряжать обкладки.

При выборе конденсатора  $C_p$ , необходимо ориентироваться на керамические конденсаторы на большое напряжение. Идеально использовать ЧИП SMD конденсаторы, если вы найдете нужное напряжение 50в. (X7R, Y5V)

Выходной конденсатор тоже должен быть SMD. ЧИП танталовые конденсаторы подходят по характеристикам, но они дорогие. В нашем случае большие танталовые конденсаторы найти сложно. Т.к. 250 кГц это примерно 100 кГц, то будем использовать компьютерные электролиты с low ESR (с низким импедансом, т.е. индуктивностью).

Входной конденсатор, благодаря фильтрующим свойствам SEPIC, подбирают как 1/10 от выходного.

## Описание настроек аккумуляторов и их химических типов

Аккумуляторы определяются следующими параметрами:

№ байта	Единицы	Описание
0-9		Название из 10 букв батареи аккумуляторов
10		Код типа аккумулятора
11		Количество последовательных элементов в батарее аккумуляторов
12	Ач/10	Емкость последовательного элемента в батарее аккумуляторов (емкость батареи аккумуляторов)
13	кОм	Код унификатор для авто определения батареи (Не реализовано)
14		Количество циклов (Реальные параметры старения, для анализа и предупреждений о состоянии аккумулятора) (Не реализовано)
15	%	Прошлый полученный заряд (Реальные параметры старения, для анализа и предупреждений о состоянии аккумулятора) (Не реализовано)

Типы аккумуляторов:

№ байта	Единицы	Описание
0-9		Название типа (по химическому признаку)
10	F1	<p>Флаги алгоритма зарядки №1. (По умолчанию идет заряд постоянным током и проверяется время зарядки)</p> <p>7-бит - Разрешить нулевую (от полной разрядки) фазу заряда (не реализовано).</p> <p>6-бит - Разрешить капельный заряд.</p> <p>5-бит - Разрешить струйный заряд.</p> <p>4-бит - Реагировать на перегрев абсолютный.</p> <p>3-бит - Реагировать на скорость перегрева.</p> <p>2-бит - Разрешить декристаллизацию.</p> <p>1-бит - Остановка при <math>I=0</math>.</p> <p>0-бит - Остановка при превышении <math>V_{max}</math>.</p>
11	F2	<p>Флаги алгоритма зарядки 2. (По умолчанию идет заряд постоянным током и проверяется время зарядки)</p> <p>7-бит - Остановка при превышении <math>V_{st}</math> статического максимального напряжения.</p> <p>6-бит - Реагировать на дельтапик динамический.</p> <p>5-бит - Реагировать на дельтапик статический.</p> <p>4-бит - Медленное повышение тока в процессе зарядки от минимума к максимуму.</p> <p>3-бит - При превышении температуры сделать паузу 30 мин. и попробовать еще раз.</p> <p>2-бит - Динамический контроль <math>V &lt; V_{max}</math> за счет уменьшения тока.</p> <p>1-бит - Зарезервировано</p> <p>0-бит - Зарезервировано</p>
12	1/50 Вольт	V минимальное нулевой фазы (например для LiPo от 2.4 (до 3.0)), т.е. когда можно заряжать, но очень медленно.(не реализовано!!!)
13	1/50 Вольт	V минимальное первой фазы (например для LiPo 3в).
14	1/50 Вольт	V макс при динамическом измерении.
15	1/50 Вольт	V макс при статическом измерении.
16	мВ	dV капельного заряда.
17	мВ	-dV дельтапика.
18	%С	Ток медленно (зарядки и разрядки). Для декристаллизации ток разрядки
19	%С	Ток нормально (зарядки и разрядки). Для декристаллизации ток зарядки
20	%С	Ток быстро (зарядки и разрядки).
21	%С	Ток нулевой фазы.
22	%С	Ток капельной и струйной зарядки.
23	°С	Абсолютная температура перегрева.
24	(°С*10)/мин	Скорость перегрева.
25	%	Кпд для определения максимального времени заряда. (С заряда/С потрачено)
26	1/10 сек.	PDes при декристаллизации время зарядки. Полный цикл=(PDes заряд)+(Пауза)+

		(TDes разряд)+(Пауза)
27	1/10 сек.	TDes время на разряд.
28	1/50 Вольт	V хранения динамическое.
29	1/10 А/сек	Скорость роста тока. Скорость с которой алгоритм увеличивает ток. Слишком высокая скорость - колебательная нестабильность
30	Мин.	Время струйной или капельной зарядки или нулевой фазы