

Metabo BS 12 NiCd: переход на литий и адаптация зарядного устройства Metabo C60

© GTK31, 2020 г.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

- 1. Статья не является инструкцией и не содержит описание пошаговой последовательности всех действий.*
- 2. В процессе вмешательства внутрь устройства существует опасность поражения электрическим током и (или) выхода изделия из строя в результате ошибки (ошибок). Все свои действия Вы совершаете на свой страх и риск.*
- 3. Перед принятием решения о повторении изменений, описанных в публикации, правильно оцените свой уровень знаний, опыт и навыки для осуществления намеченного. При недостаточном уровне воздержитесь от вмешательства внутрь изделия или обратитесь к лицу с необходимой квалификацией, способному на это.*

Аккумуляторная дрель-шуруповёрт Metabo BS 12 NiCd недорогой, качественный и удобный инструмент с типовыми характеристиками для подобных инструментов, однако по истечению некоторого времени проявляются недостатки его аккумуляторов. У аккумуляторов уменьшается емкость и увеличивается саморазряд при хранении. В некоторых случаях это происходит весьма скоротечно.

Автор по примеру других энтузиастов решил переделать аккумуляторы на литий-ионные батареи 18650. Такие переделки сейчас популярны и достаточно хорошо описаны в интернете. Поэтому я не буду акцентироваться на выборе конкретных литиевых батарей, платы BMS и запаковке их в батарейный отсек Metabo BS 12 NiCd. Об этом я не смогу добавить чего-то нового, разве что продемонстрирую фотографии своих изменений в корпусе батареи именно этой модели аккумуляторной дрели.

Поводом для написания этой статьи было желание рассказать о возможном варианте переделки комплектного зарядного устройства Metabo C60 (далее просто ЗУ). В моем комплекте это ЗУ имеет артикул 27053000.

Решил использовать 3 литиевых аккумулятора типоразмера 18650 и соответственно плату защиты BMS 3S. Основной аргумент в пользу такого выбора – простота внедрения такой сборки в корпус аккумулятора Metabo BS 12.

Выбор количества литиевых батарей определил следующие задачи для адаптации ЗУ:

- обеспечение возможности заряда аккумуляторной сборки с напряжением 12,6 В (из расчета максимального напряжения на одном элементе 4,2 В);
- выполнения изменений, по возможности таким образом, чтобы работа штатной индикации ЗУ сохранилась с новым типом аккумуляторной батареи (далее сокращенно АКБ).





Индикация ЗУ Metabo C60

Все возможные состояния устройства отображаются при помощи двух индикаторов. На фото левый индикатор – зеленого цвета в активном состоянии, правый – красный в активном состоянии.

При включении ЗУ оба индикатора кратковременно загораются. Следующее состояние индикаторов зависит от подключения АКБ. Если АКБ не вставлена в ЗУ, то оба индикатора не горят. При подключенном АКБ начинает мигать зеленый индикатор, сигнализируя о заряде батареи. В случае перегрева АКБ, заряд батареи прекращается, зеленый индикатор гаснет и загорается красный индикатор. После некоторого охлаждения АКБ красный индикатор гаснет и снова начинает мигать зеленый индикатор – заряд продолжается. В случае аварийного состояния АКБ красный индикатор мигает. Когда зеленый индикатор перестает мигать и начинает гореть постоянно, это означает, что АКБ заряжен и заряд окончен.

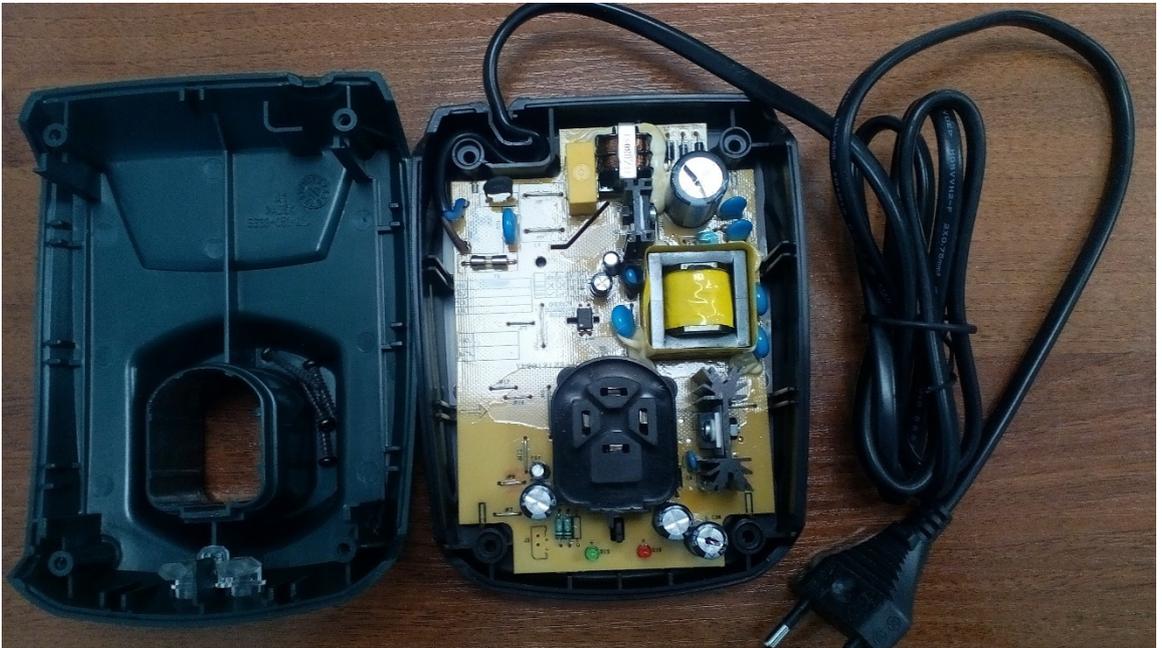
Индикация поясняется пиктограммами на корпусе ЗУ. После небольшого опыта использования ЗУ пиктограммы доступно напоминают о том, какой индикатор чему соответствует.

Корпус ЗУ Metabo C60 разбирается при помощи отвертки с наконечником Torx. Для того чтобы открутить саморезы необходимо снять резиновые ножки-заглушки. Головки саморезов имеют специфичный выступ в центре углубления для биты, поэтому к ним подойдет не всякая отвертка Torx. Впрочем, эти саморезы можно выкрутить шлицевой отверткой со шлицом шириной 2-2,5 мм.

Корпус АКБ шуруповёрта, как и корпус ЗУ тоже стянут саморезами с головкой Torx.



Корпус ЗУ Metabo C60: вид сверху и снизу



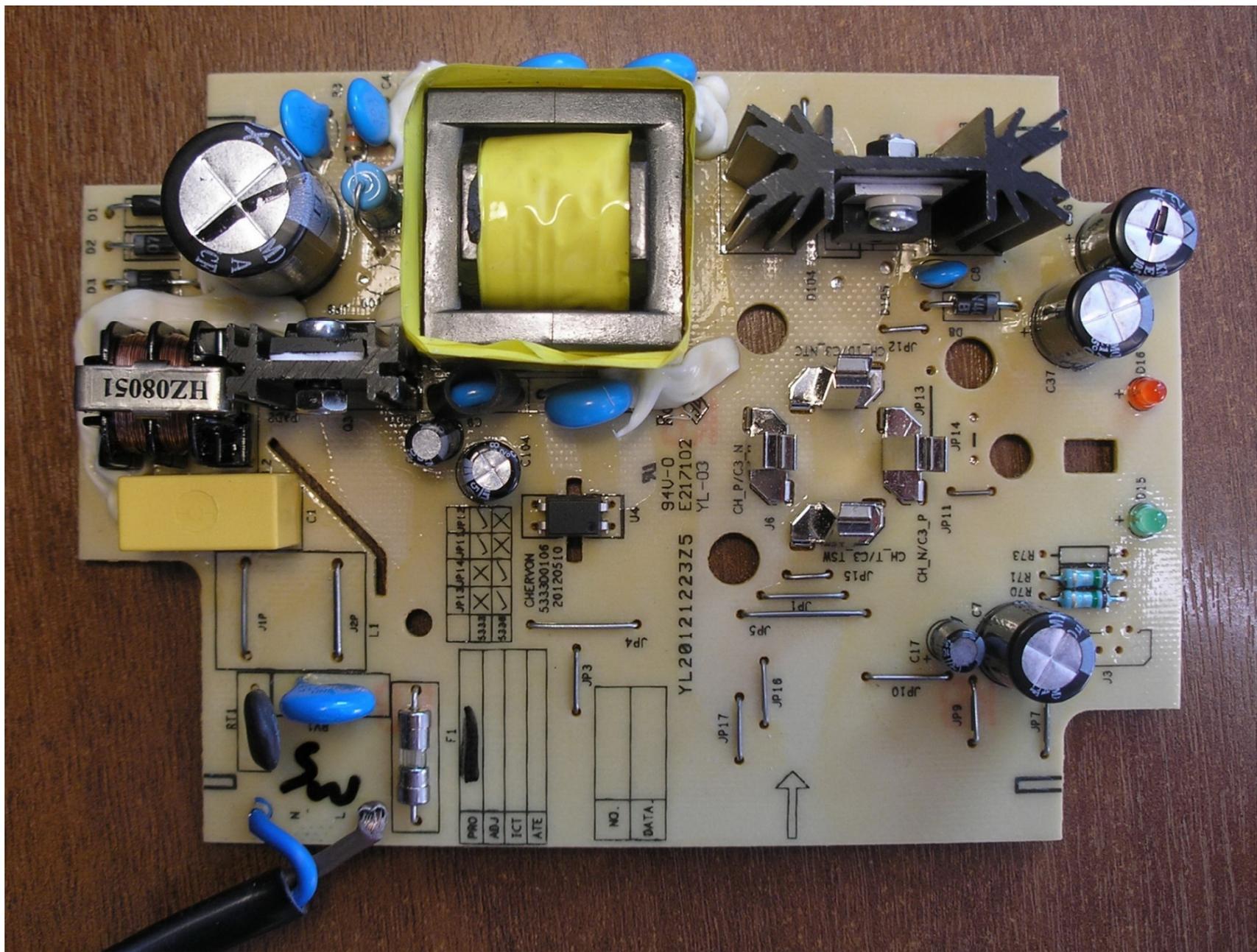
ЗУ со снятой верхней крышкой



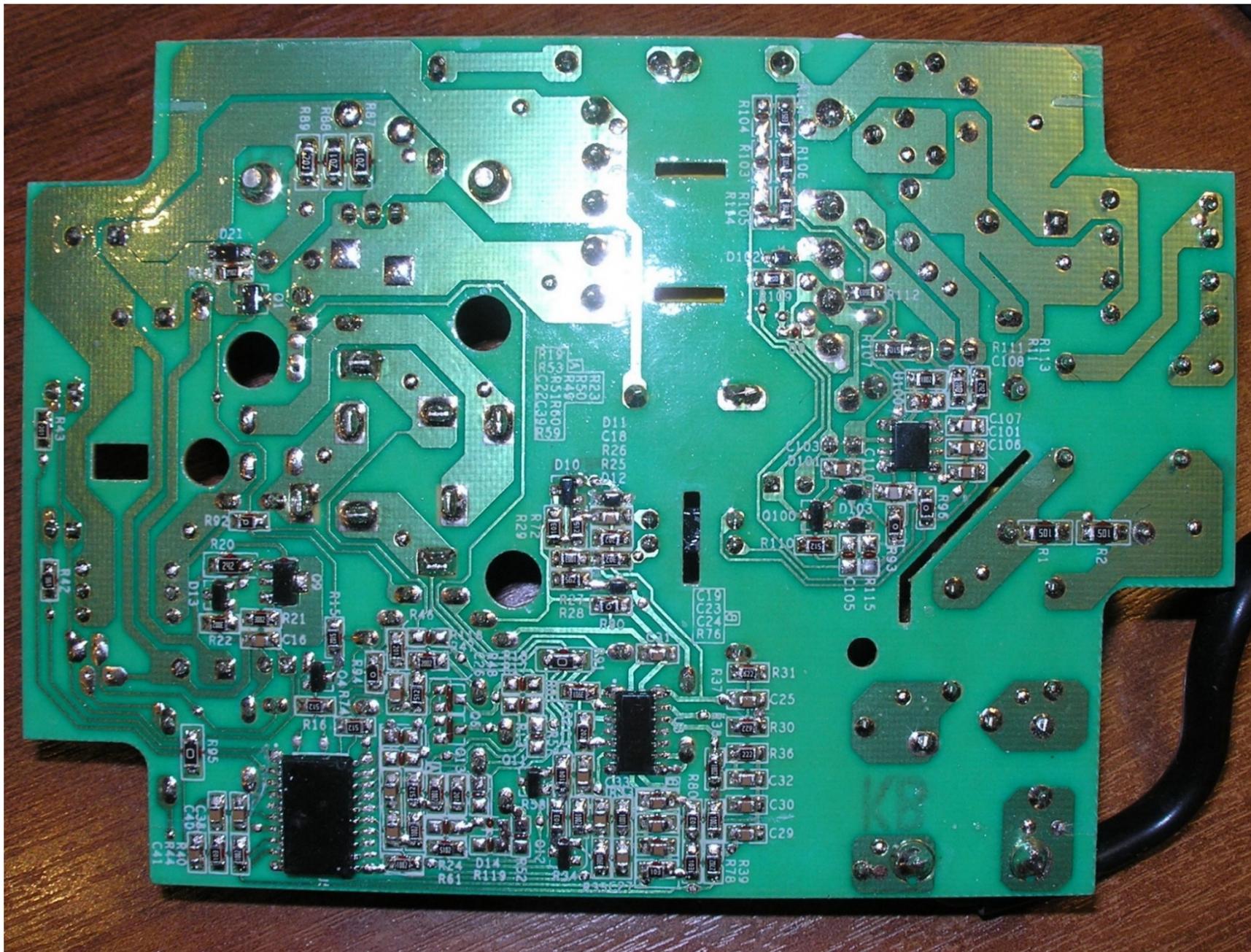
Корпусные детали ЗУ отдельно



Саморезы корпуса и ножка-заглушка отдельно



Плата ЗУ Metabo C60, вид сверху



Плата ЗУ Metabo C60, вид снизу

Поскольку актуальную схему, соответствующую исполнению моего ЗУ в интернете найти не удалось, пришлось потратить изрядное количество времени на реверс-инжиниринг устройства. В результате удалось более-менее правдоподобно идентифицировать все элементы и составить подробную схему, включая перемычки на плате. Возможно, что несмотря на все мое усердие, в составленной схеме имеются какие-то ошибки и неточности. На всякий случай будьте внимательны!

Печатная плата ЗУ односторонняя и покрыта тонким слоем лака. Чтобы проконтролировать напряжение какого-нибудь цепи схемы придется прокалывать лак. Лак на местах пайки выводов легко разрушается горячим жалом паяльника.

Плата ЗУ имеет маркировку позиционных обозначений компонентов. Позиционные обозначения элементов на моей схеме соответствуют маркировке на печатной плате. Нарисованная схема приведена на трех последних листах этой статьи. На первом листе схемы приведена силовая часть схемы и схема питания. На втором листе сосредоточена схема управления. На третьем листе принципиальной электрической схемы показана схема штатной NiCd АКБ и авторские изменения ЗУ в состояниях «Имеется» и «Должно быть» для варианта 3-х секционной сборки литиевых аккумуляторов.

После анализа схемы и элементной базы полагаю, что изделие возможно разрабатывалось американскими или японскими инженерами. На это намекают микроконтроллер с японско-американскими корнями, тип MOSFET-транзистора преобразователя и квазирезонансный ШИМ-контроллер производства Texas Instruments.

ЗУ возможно является или вариантом какого-то универсального ЗУ или одним из вариантов ЗУ на общей для ряда устройств плате – на ней есть многочисленные незадействованные посадочные места для компонентов.

ЗУ управляется микроконтроллером (далее сокращенно МК), который контролирует все состояния устройства. Во многих других электронных устройствах наличие МК предполагает невозможность каких-то существенных изменений в них. Но как оказалось Metabo C60 под литиевые батареи адаптировать вполне возможно.

Сделаю небольшой обзор схемы и алгоритма работы ЗУ для тех, кто хочет вникнуть в работу этого ЗУ поглубже.

Первичная сторона импульсного преобразователя (гальванически связанная с сетью переменного тока) не требует никакого вмешательства. Все изменения будут выполнены на вторичной стороне. Поэтому далее первичная сторона преобразователя не будет рассматриваться.

Ниже на рисунке приведена схема питания на вторичной стороне преобразователя.

В ЗУ на вторичной стороне трансформатора формируются два канала питания:

- силовой канал, который питает заряжаемую АКБ;
- канал питания схемы управления.

Оба канала питаются от одной обмотки трансформатора, но разделены выпрямительными диодами: силовой канал питается через мощную сборку диодов Шоттки MBR10200, а канал питания схемы управления, как ни странно, через медленный диод 1N4007. «Минус» силового канала (т.е. «минус» АКБ) соединяется с общим проводом схемы управления через шунт контроля тока. Разделение питания очень важный момент для переделки ЗУ. Этот вопрос будет рассмотрен ниже.

«Плюс» силового канала питания (цепь обозначена автором +V1) через мощный, миниатюрный р-канальный MOSFET транзистор Q1 через разъем ЗУ поступает на плюсовую клемму АКБ. Эта цепь условно обозначена мной «+V_BAT». Транзистор Q1 управляется МК через промежуточный транзистор. Когда ЗУ работает без АКБ напряжение силового канала равно примерно 12,6 В. Это напряжение в исходной схеме ЗУ никак не стабилизируется, поэтому не стоит надеяться, что для переделки под литий ничего делать не надо. В моем экземпляре это напряжение оказалось таким, а в другом оно может быть, например, 12,2 В, а в третьем экземпляре 13,0 В. На самом деле это напряжение может изменяться в широком диапазоне и достигать даже 29 В.

При подключенной АКБ напряжение силового канала и схемы управления выше чем в режиме ожидания, когда АКБ не подключено к ЗУ. Разработчики видимо стремились уменьшить потребление

схемы в режиме ожидания. Управляет режимом экономии МК. При этом МК всегда получает свои полноценные 5,0 В.

Нестабилизированное напряжение канала питания схемы управления питает операционные усилители и узел регулирования на D10 (TL432). В процессе заряда АКБ это напряжение поднимается выше 13 В (в исходной схеме).

Во время заряда АКБ транзистор Q1 всегда включен. По окончании заряда транзистор Q1 отключается микроконтроллером. Следует обратить на один нюанс (стоивший мне выгорания входной части моего измерителя LCR): внутри транзистора Q1 есть обратный диод, который может проводить ток при отключенном транзисторе. Поэтому чтобы заряженный АКБ не разряжался при закрытом транзисторе Q1 в силовом канале отсутствует разрядное сопротивление для конденсаторов C36, C37.

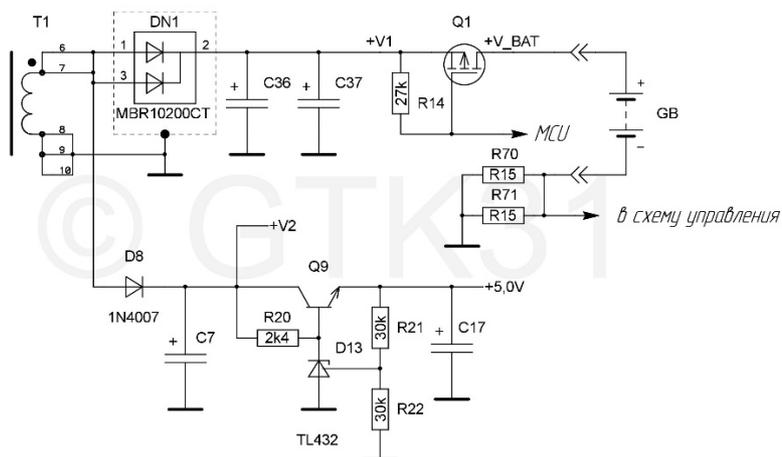


Схема питания на вторичной стороне преобразователя

Такое схемотехническое решение приводит к двум последствиям:

- после окончания заряда АКБ напряжение на конденсаторах C36 и C37 будет равным напряжению на АКБ;
- после извлечения АКБ из ЗУ напряжение на конденсаторах C36 и C37 будет сохраняться достаточно длительное время (привет от моего измерителя LCR), т.к. конденсаторы могут разряжаться только собственным током утечки (саморазряда) и током утечки через диоды Шоттки. Ситуация усугубляется тем, что напряжение на этих конденсаторах может достигать 29В благодаря плате BMS (без изменений в схеме ЗУ). О том, как это происходит будет написано ниже.

МК измеряет напряжение на АКБ при помощи делителя напряжения, состоящего из резисторов R60 и R61, который подключается к АКБ во время заряда ррр-транзистором Q11 (см. лист 2 схемы). После прекращения заряда транзистор Q11 отключается, чтобы АКБ не разряжался. Т.к. измерение напряжения АКБ осуществляется относительно общего провода, то в это напряжение входит и падение напряжения на шунте контроля тока.

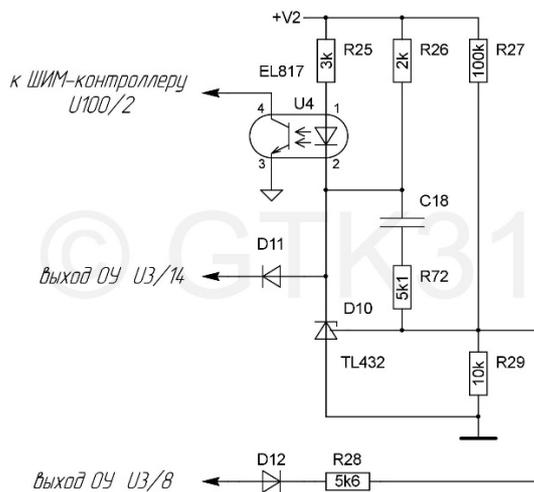
Как оказалось, алгоритм контроля заряда NiCd АКБ в этом ЗУ реализован достаточно просто. Схема ЗУ стабилизирует только ток заряда, при этом контролируя напряжение на батарее. На ярлыке ЗУ указан зарядный ток 2,2 А (см. фото выше). Наблюдения автора с мультиметром за финальной стадией заряда штатной батареи показали, что критерием окончания заряда является достижение напряжения на NiCd АКБ уровня 18 В. Этот уровень должен быть зафиксирован как минимум 10 секунд. Как это реализовано в программе МК неизвестно: то ли используется таймер, то ли реализован какой-то фильтр низких частот (ФНЧ) для входа, контролирующего уровень напряжения на АКБ. Впрочем, для переделки это не важно. Следует заметить, что никакого контроля «дельта U» МК не выполняет, так как напряжение на батарее только растет, и после достижения уровня 18 В МК сразу отключает АКБ.

При измерениях на плате моего экземпляра ЗУ выяснилось, что напряжение на шунте в процессе заряда поддерживается равным 154 мВ. Т.к. в качестве шунта используются два резистора с номинальным сопротивлением 0,15 Ом, то расчетное сопротивление шунта равно 75 мОм (миллиом). Таким образом ток заряда моего экземпляра ЗУ на самом деле около 2,0 А, а не заявленные 2,2 А.

Для NiCd АКБ емкостью 1,7 Ач, по моему мнению, ток заряда 2,0 А является чрезмерно слишком большим. Поэтому в процессе заряда штатной батареи красный индикатор загорается практически в каждом цикле заряда. Возможно по этой же причине АКБ Metabo BS 12 NiCd быстро деградируют. Зато для потребителя доступна быстрая зарядка длительностью менее одного часа. Видимо это пример случая, когда «маркетологи победили инженеров».

При напряжении АКБ менее 10 В ЗУ заряжает АКБ током в 10 раз меньше номинального. Таким образом реализован «щадящий» режим начального заряда, глубоко разряженного АКБ.

МК управляет ШИМ-контроллером через оптрон U4. Других каналов информационной связи между первичной и вторичной сторонами преобразователя в схеме нет. Важнейшим узлом регулирования в ЗУ является фрагмент стабилизатора на D10 (TL432).



Узел формирования сигнала обратной связи

Для понимания работы этого узла следует помнить, что увеличение входного тока оптрона приводит к уменьшению тока заряда или выходного напряжения. В исходной схеме ЗУ напряжение не стабилизируется само по себе, но для заряда литиевых батарей этот режим необходим.

Выше упоминалось о возможности появления напряжения 29 В на выходе силового канала. Это может произойти при закрытых диодах D11 и D12 в рассматриваемом узле. При этом схема упрощается и выходное напряжение определяется только делителем напряжения из резисторов R27 и R29. Т.к. на входе REF микросхемы TL432 в режиме стабилизации должно быть значение близкое к 2,5 В, то расчетным путем можно получить напряжение в цепи +V2 равное 27,5 В. Близким по значению напряжение становится на выходе силового канала, т.к. у обоих каналов обмотка питания общая. Разработчик схемы это знал, поэтому выбрал конденсаторы C7, C36 и C37 с номинальным рабочим напряжением 50 В.

Ситуация с закрытыми диодами D11 и D12 возникает, например, когда BMS внезапно отключает литиевую сборку. Т.к. МК про существование BMS ничего не знает (а его и не было в NiCd АКБ), то в течении какого-то времени происходит обрыв ОС и значительный скачок напряжения на выходе силового канала. МК эту ситуацию расценивает как аварийную, о чем сигнализирует красным мигающим индикатором.

Изложенного выше уже достаточно для начала адаптации ЗУ Metabo C60.

Первым делом автор уменьшил ток заряда. Т.к. напряжение с шунта непосредственно участвует в формировании сигнала обратной связи (ОС), то для изменения тока заряда надо менять номинал резисторов шунта. При установленных автором двух резисторах номиналом 0,2 Ом ток стал 1,5А. На печатной плате предусмотрены 3 посадочных места для резисторов шунта.

Вторым этапом вводим стабилизацию (вернее ограничение) выходного напряжения на уровне 12,6 В. Т.к. напряжение АКБ в процессе заряда присутствует на коллекторе рnp-транзистора Q11, то напряжение с этого узла схемы должно поступать на вход опорного напряжения D10. Расчетное сопротивление этой новой цепи ОС должно быть около 69 кОм. Часть этого сопротивления должна быть реализована в виде подстроечника.

Проверим расчет для TL432. Для упрощения оценочного расчета считаем напряжение питания схемы управления и силового канала равными. 69 кОм и 100 кОм (R27) соединенные параллельно дают общее сопротивление 40,8 кОм. При номинальном напряжении около 2,5 В на входе TL432, сопротивление в анодной цепи 10 кОм (R29) и 40,8 кОм в катодной цепи получаем напряжение в силовом канале равное 12,7 В. Помня о сделанном упрощении предусмотрим подстроечный резистор, позволяющий выполнить подстройку напряжения стабилизации вверх и вниз. На своей плате автор использовал многооборотный подстроечный резистор при помощи которого выставил напряжение ограничения 12,66 В относительно общего провода.

Для того, чтобы МК принимал литиевую АКБ за штатный NiCd надо изменить уже упоминавшийся делитель напряжения с резисторами R60 и R61. Эти сопротивления номиналами 10 кОм и 51 кОм при 18 В (я писал выше, что это напряжение соответствует окончанию заряда штатной АКБ) формируют напряжение 2,95 В на выводе 14 МК. Я на схеме обозначил эту цепь «IN_VAT», так как это вход, соответствующий напряжению АКБ.

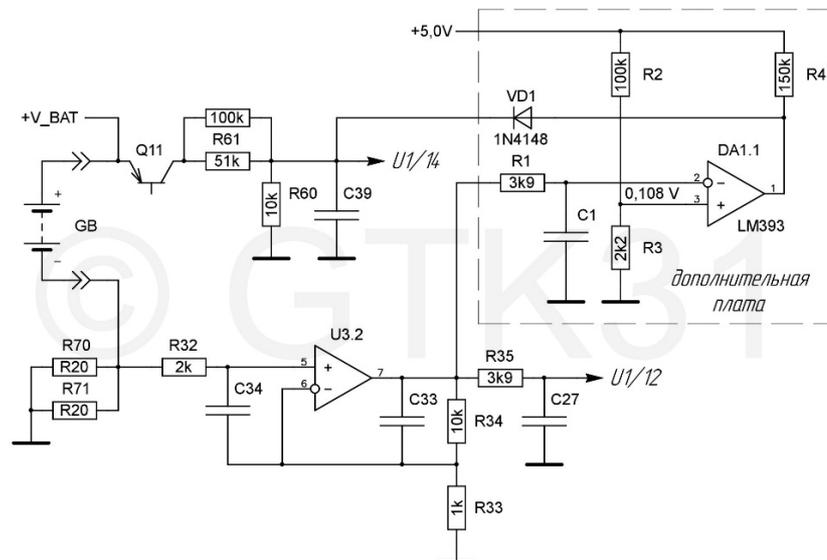
Вот примерно такой уровень напряжения – 2,95 В должен приходиться на тот же вход МК и с литиевой АКБ, но лучше, если это напряжение будет чуть ниже 2,95 В, чтобы заряд литиевой АКБ не прекратился сразу же когда напряжение на АКБ достигнет 12,6 В.

Для минимизации ненужных телодвижений в параллель к R61 припаял чип-резистор 100 кОм типоразмера 0805 (такой же как у R61). Подобные бутерброды я достаточно часто использую для коррекции номинала, т.к. выполняется это легко и почти не портит вид платы. При этом желательно хорошо очищать место пайки до и после пайки и использовать не активный флюс. Уточню также на всякий случай, что R60 и R61 имеют допуск не хуже 1%, поэтому чтобы не сильно портить точность делителя рекомендую дополнительно вводимый параллельный 100 кОм резистор брать тоже с допуском не хуже 1%.

В результате такого «параллелизма» R61' станет равным 33,77 кОм. С таким номиналом при напряжении на АКБ равным 12,6 В напряжение на выводе 14 МК будет равно 2,88 В. Получили именно то, что нужно. При этом напряжении МК не прекращает заряд, а ЗУ обеспечивает стабилизацию напряжения на АКБ на уровне 12,6 В.

И вот мы подошли к финальному этапу адаптации. Осталось лишь реализовать корректное прекращение заряда, когда ток заряда литиевого АКБ снизится до определенного значения. Автор принял границу снижения тока заряда равной 100 мА. Т.е. ЗУ заряжает литиевую АКБ изначально стабилизированным током 1,5 А (в авторском варианте) и когда ток заряда снижается ниже 100 мА ЗУ должно прекратить заряд. В этот момент некая схема должна обеспечить повышение напряжения на выводе 14 МК выше 2,95 В продолжительностью не менее 10 секунд (это выяснилось в ходе экспериментов). Я проверял и заранее предупреждаю, что значительное превышение 2,95 В приведет к тому, что МК оценит такой уровень как аварию АКБ или неисправность в самом ЗУ. Поэтому радикальные способы здесь неуместны. Само собой, предполагается, что при снижении тока заряда ниже 1,5 А ЗУ уже должно стабилизировать напряжение на АКБ.

Чтобы минимизировать «перепахивание» платы ЗУ автор пришел к необходимости использования компаратора на дополнительной макетной плате. Этот компаратор сравнивает напряжение на выходе неинвертирующего усилителя сигнала шунта с опорным напряжением. Опорное напряжение формируется делителем напряжения. Схема всего этого фрагмента «в сборе» показана на рисунке ниже.



Фрагмент схемы поясняющий имитацию заряженной АКБ

Выход компаратора изначально при заряде АКБ находится в низком уровне. Из-за диода VD1 выход компаратора практически никак не влияет на работу ЗУ. После снижения тока заряда напряжение на инвертирующем входе компаратора становится ниже опорного напряжения на неинвертирующем входе. В результате выход компаратора переключается на высокий уровень. В этом состоянии диод VD1 переходит в открытое состояние и напряжение 5,0 В через резистор R4 и диод VD1 (на дополнительной плате) поднимает потенциал средней точки делителя R61', R60. На входе 14 МК напряжение становится равным 2,96 В. Напомню, что до этого, при ограничении напряжения на АКБ 12,6 В, в этой точке напряжение должно быть 2,88 В. МК корректно воспринимает такое изменение уровня напряжения на АКБ и сигнализирует об успешном окончании заряда. При этом МК отключает АКБ. Состояние ЗУ уже не изменится без удаления АКБ и повторного включения.

Расчет опорного напряжения компаратора:

$$(R70//R71) \cdot 100 \text{ мА} \cdot K = 0,1 \cdot 0,1 \cdot 11 = 0,11 \text{ В,}$$

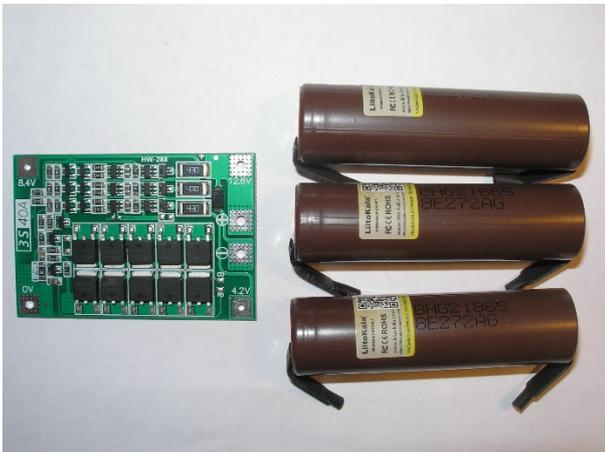
где K=11 – коэффициент неинвертирующего усилителя на ОУ U3.

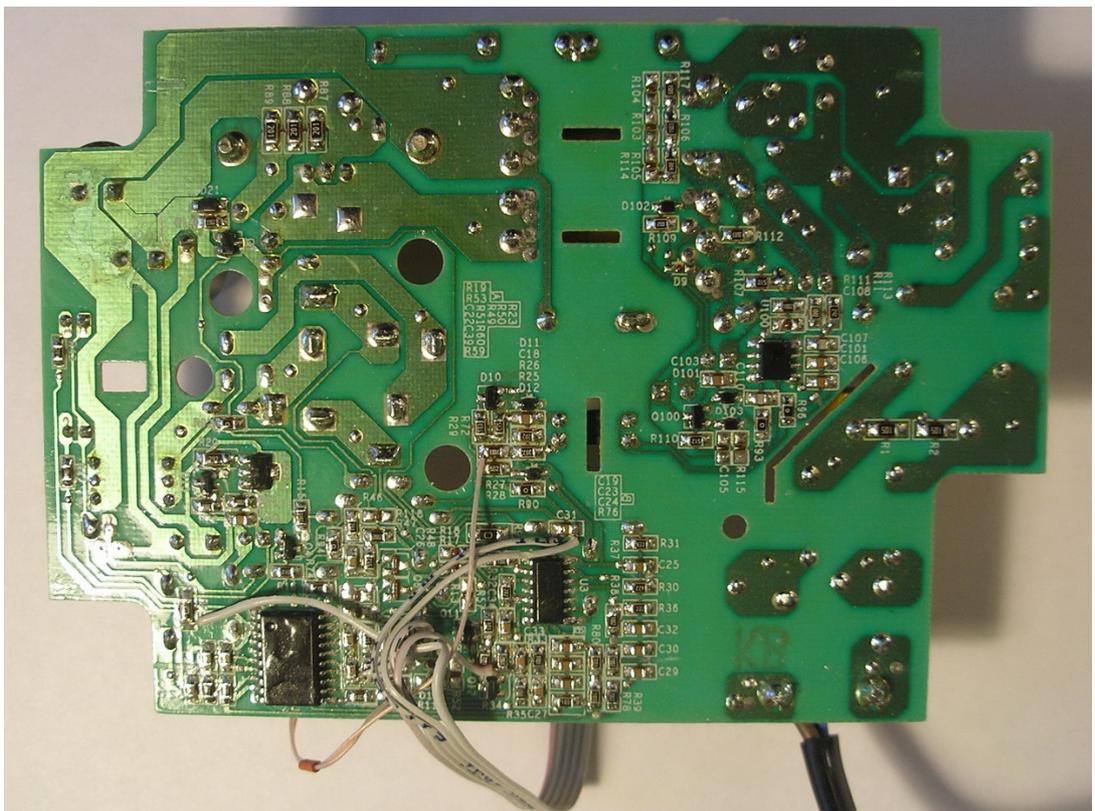
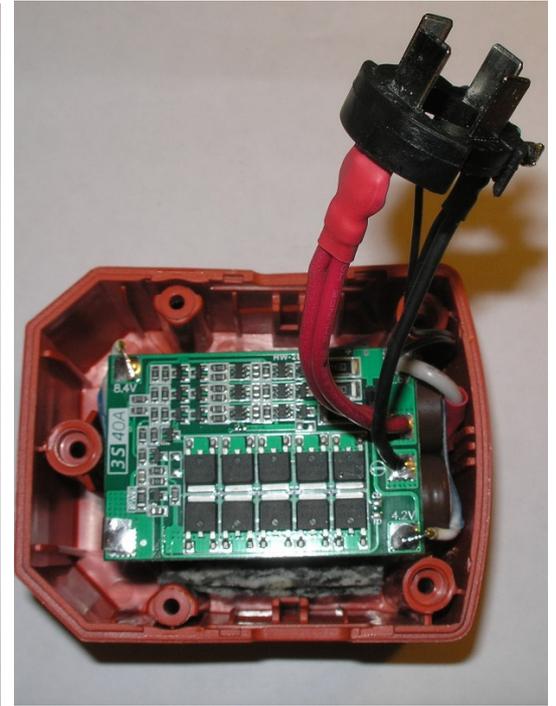
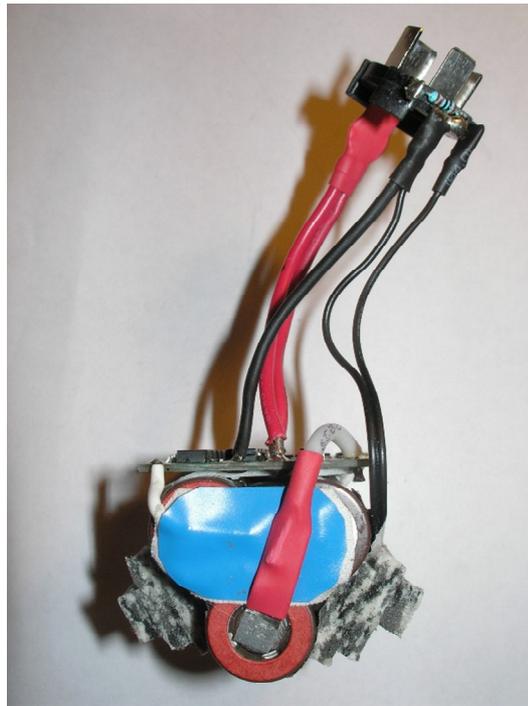
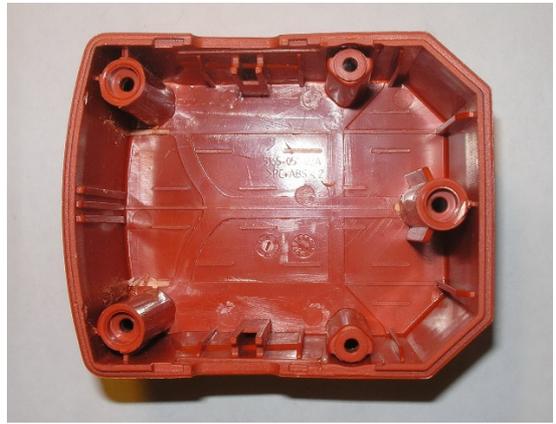
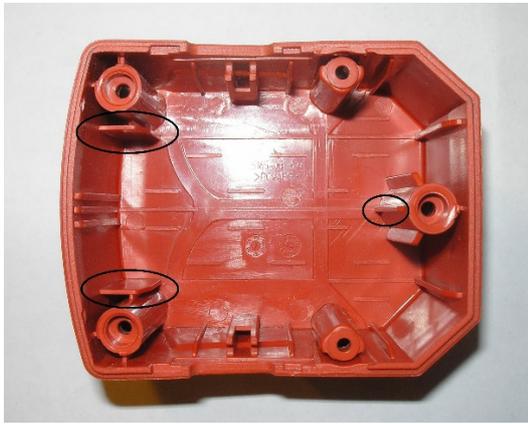
Все написанное проверено на единственном имеющемся экземпляре. Индикация ЗУ после выполненных изменений работает штатным образом. Снижение веса каждой АКБ при переходе на литий составило 190 грамм.

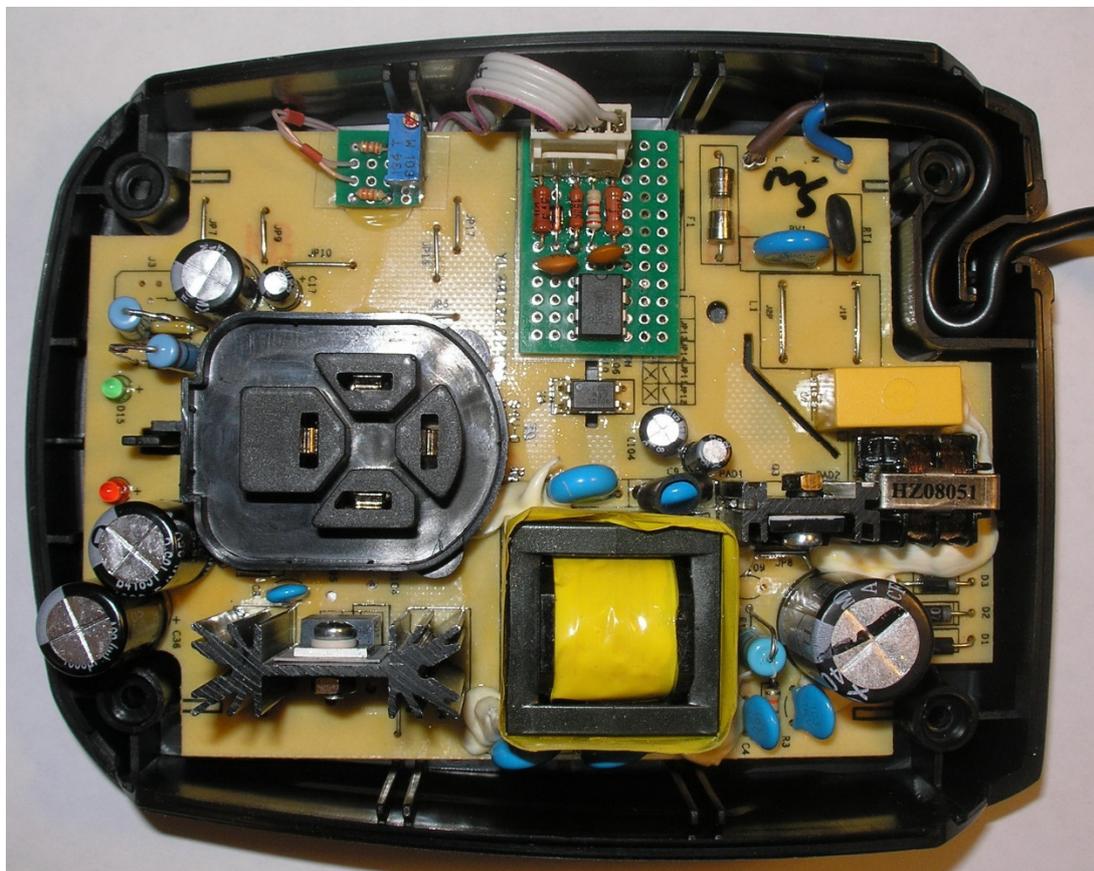
На своей плате ЗУ в ходе проб я дополнительно заменил тип диода D8 на FR104, но это практически никак не сказалось на работе схемы. Также поменял конденсаторы C36 и C37 на более емкие с низким ESR, но эта замена не существенна для работы ЗУ.

Добавил фотографии, которые могут быть полезны при адаптации.









Список принятых сокращений:

АКБ – аккумуляторная батарея;

ЗУ – зарядное устройство;

МК – микроконтроллер;

ОС – обратная связь;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция.

Лист №

Склад №

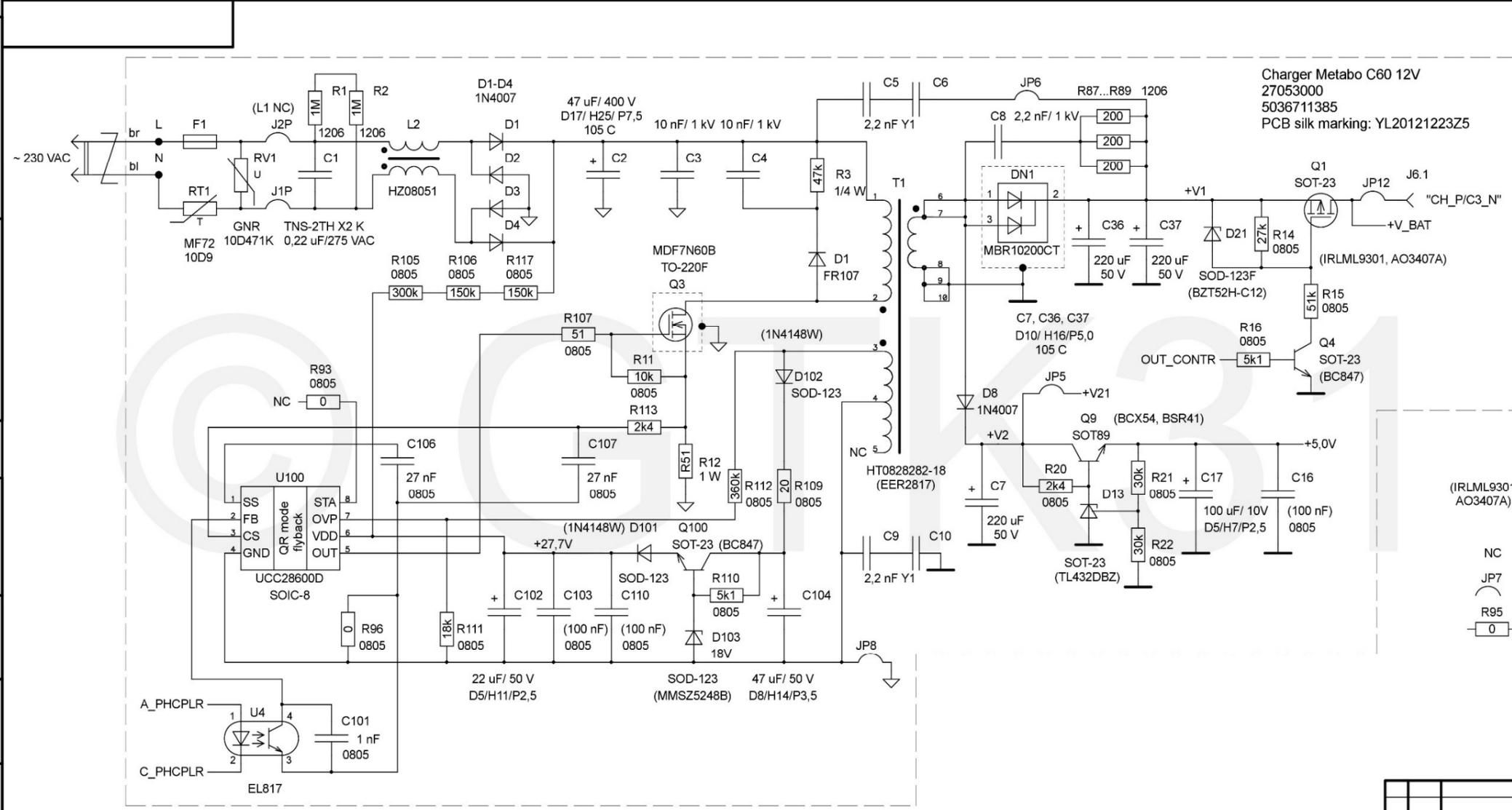
Подп. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. №



Charger Metabo C60 12V
 27053000
 5036711385
 PCB silk marking: YL20121223Z5

(IRLML9301,
 AO3407A)

NC
 JP7
 R95

Примечания (Notes)

Маркировка SMD-элемента отсутствует или не видна.
 В скобках указан возможный вариант.
 (The chip marking is missing or not visible.
 A possible option is indicated in parentheses)

Нет соединения (электрической цепи или компонента).
 (No connection (electric chain or component))

Проволочная перемычка.
 (Wire jumper)

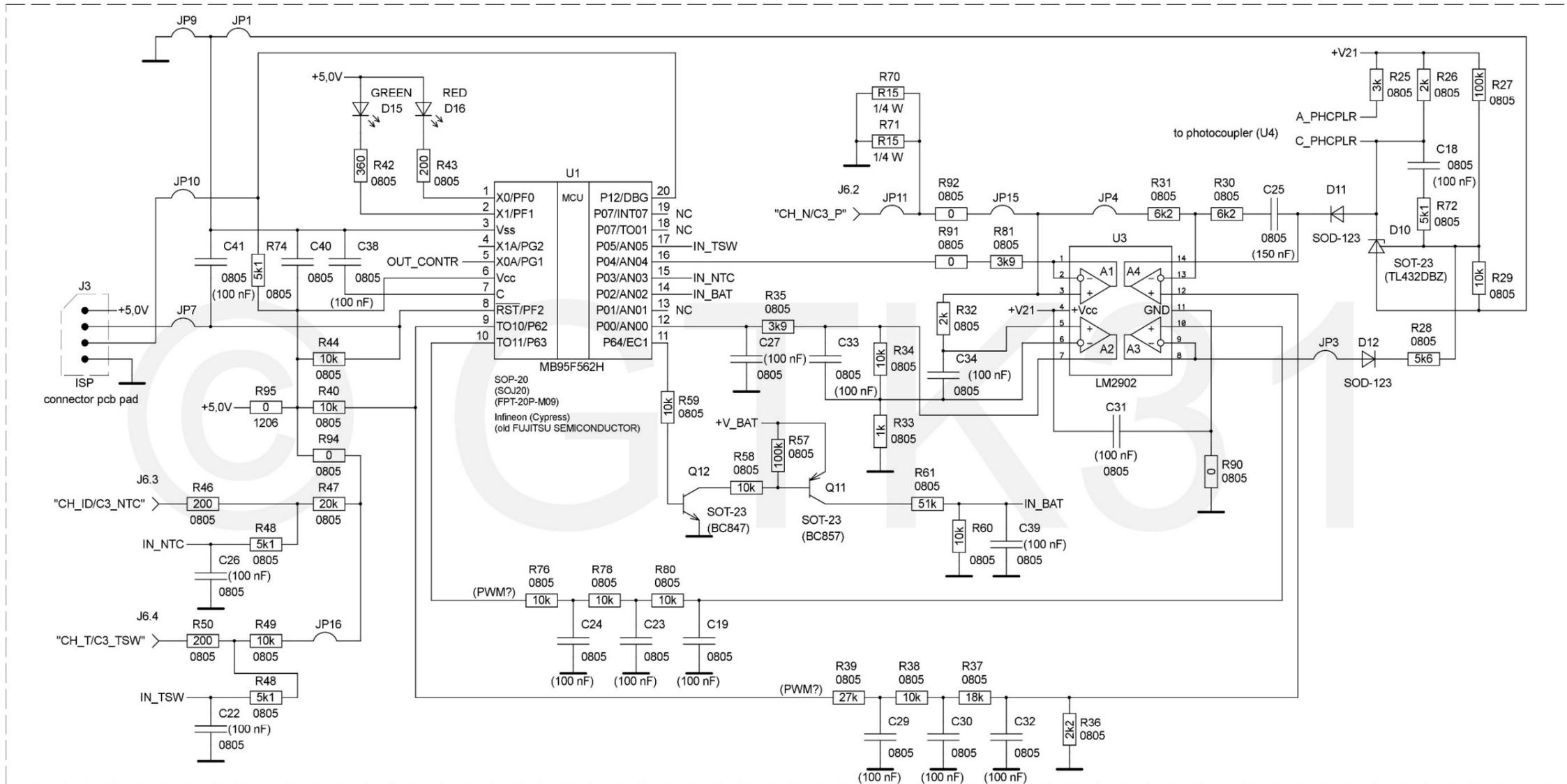
Чип-резистор как перемычка.
 (Chip resistor as a jumper)

Элементы, отсутствующие на плате,
 на электрической схеме не показаны.
 (Elements that are missing from the PCB
 are not shown in the electrical diagram)

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема зарядного устройства NiCd аккумуляторов Metabo C60 12V 27053000 5036711385	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.						Лист 1	Листов 3	
Проб.								
Т.контр.								
Н.контр.					(NiCd Charger circuit)			GTK31 © RUSSIA 2020
Утв.								Формат А4-3

Копировал

Формат А4-3

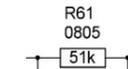
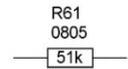


Предлагаемые изменения зарядного устройства для работы с литий-ионным аккумулятором
(Suggested changes to the charger for working with a lithium-ion battery)

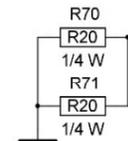
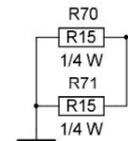
Изменения на плате зарядного устройства
(Changes to the charger pcb)

Имеется (Have)

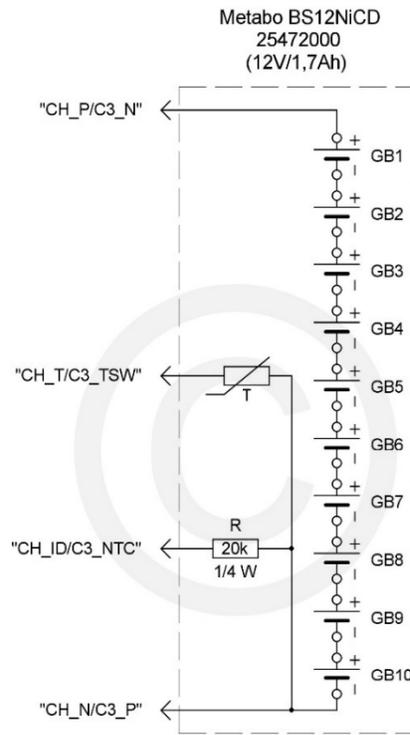
Должно быть (Must be)



Изменение делителя контроля напряжения заряда:
при максимальном напряжении батареи 12,6В (Li-Ion 3S)
напряжение в средней точке делителя
примерно соответствует напряжению NiCd батареи 18В



Ограничение тока заряда - 1,5 А
(было 2А, увеличение сопротивления шунта)
Для тока заряда 1А общее сопротивление
шунта должно быть 0,15 Ом.
На плате предусмотрены места для трех
параллельных резисторов шунта.

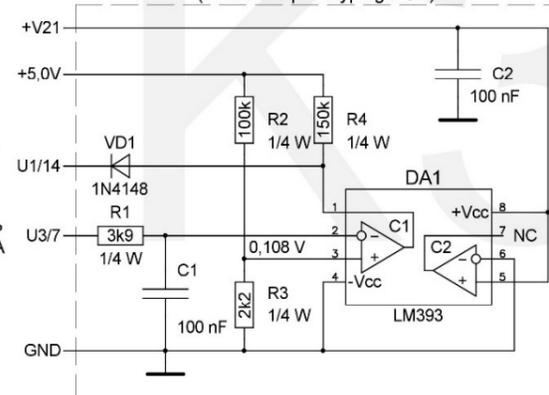


GB1 ... GB10 - HIGHSTAR GNYSC1700-P1 (KRXR 23/43) 1700 mAh Ni-Cd

выход - окончание заряда
(output - end of charge)

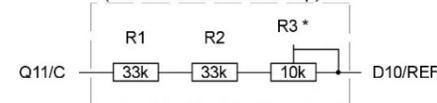
контроль
 $I < 100 \text{ mA}$
 $0,1 \text{ A} * 0,1 \text{ Ом} * 11 = 0,11 \text{ V}$

Дополнительная макетная плата
(Additional prototyping PCB)



Компаратор сравнивает усиленный сигнал тока
заряда АКБ с опорным напряжением соответствующим
примерно 100 мА.
При снижении тока заряда менее 100 мА выход
компаратора переключается с низкого уровня на высокий.
Источник питания 5 В, резистор R4 и диод VD1
смещают напряжение на входе U1/14 немного выше уровня,
который MCU принимает равным 18 В.

Дополнительная цепь обратной связи
(Additional feedback loop)



R3 - Установка напряжения ограничения заряда 12,6 В
(Setting the charge voltage limit 12,6V)

Суммарное сопротивление цепи
для сборки из 3-х Li-Ion АКБ около 69 кОм

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Копировал

Формат А4*3