

Стремясь к уменьшению габаритов конструируемой радиоаппаратуры, радиолюбители уделяют важное место миниатюризации блока питания. Обычно эту задачу решают с помощью импульсного преобразователя напряжения. Между тем существенный прогресс в области электронных компонентов позволяет создавать малогабаритные блоки питания, работающие по так называемому "трансформаторному" принципу, но не содержащие трансформатора. Относительная простота конструкции и доступность компонентов делают их привлекательными и для радиолюбителей.

При малых мощностях сетевого блока питания зачастую используется бестрансформаторный вариант с гасящим конденсатором [1]. Недосток такого блока состоит в том, что потребляемый от сети ток примерно равен выходному и при увеличении выходной мощности становится очень большим, хотя и носит в основном реактивный характер. В то же время в трансформаторных блоках эти токи связаны коэффициентом трансформации. В связи с этим актуальным, на наш взгляд, представляется конденсаторный блок питания, работающий по "трансформаторному" принципу.

Впервые подобное техническое решение предложил Л. М. Браславский из Новосибирского электротехнического института еще в 1972 г., подав заявку на изобретение. Оно оказалось столь оригинальным и неочевидным для специалистов, что ВНИИГПЭ проводил экспертизу по заявке целых шесть лет и только в 1978 г. выдал авторское свидетельство. Позже были запатентованы и другие решения, позволяющие реализовывать конденсаторные блоки питания с несколькими выходными напряжениями [2] и их стабилизацию. Эти решения имеют много общего с устройствами, использующими переключаемые конденсаторы, достаточно популярными в зарубежной схемотехнике [3]. Дальнейшим развитием этого направления в нашей стране следует считать преобразователь переменного тока в постоянный с понижением напряжения [4].

Упрощенная схема такого устройства изображена на рис. 1. Принцип его действия заключается в следующем. В начальный момент времени цепочка конденсаторов $C1 - Cn$ (одинаковой емкости) устройства разряжена. При положительной полуволне сетевого напряжения диоды $VD1, VD6-VD8$ и $VD2$ открываются, а диоды $VD3-VD5...VD_n$ закрываются. При этом все конденсаторы блока оказываются включенными последовательно и заряжаются напряжением сети до его амплитудного значения. Причем напряжение на каждом из N конденсаторов в силу равенства их емкости в N раз меньше амплитудного напряжения сети и эквивалентная емкость, подключенная к сети, также в N раз меньше емкости одного конденсатора.

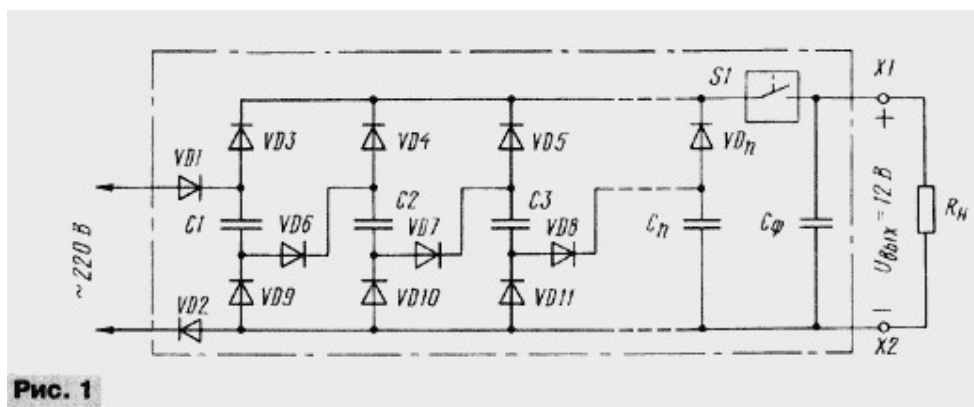


Рис. 1

Во второй половине положительного полупериода диоды VD1, VD6-VD8 и VD2 закрываются и на конденсаторах сохраняется накопленный ими электрический заряд. При отрицательном полупериоде закрываются диоды VD1 и VD2, в результате чего конденсаторный блок оказывается отключенным от сети. В этот момент к выходу блока возможно подключение низковольтной нагрузки Rн путем замыкания контактов электронного переключателя S1. Теперь диоды VD3-VDn, VD9-VD11 открываются и все заряженные конденсаторы оказываются подключенными к низковольтной нагрузке параллельно, что позволяет получать от блока среднее значение тока разрядки существенно выше зарядного. Таким образом, блок осуществляет уменьшение напряжения при одновременном увеличении выходного тока. Так как в первой половине полупериода происходит накопление энергии на конденсаторах, а во второй - ее отдача, то работа конденсаторного блока носит явно выраженный двухтактный характер. Для сглаживания пульсаций и увеличения среднего значения тока емкость фильтрующего конденсатора Сф должна быть достаточно большой или применен еще один такой же конденсаторный блок, работающий на ту же нагрузку, но в противофазе с первым.

В рассматриваемом устройстве замыкание контактов переключателя S1 происходит с частотой питающей сети, что существенно уменьшает коммутационные потери на них по сравнению с импульсными блоками питания и, кроме того, не предъявляет требований к диодам по быстродействию. Тем не менее требования по величине обратного напряжения остаются. Так, например, диоды VD1, VD2, VD3 - VDn и VD9 - VD11 должны быть на обратное напряжение выше амплитудного напряжения сети и на средний ток в 2N раз меньше выходного тока. Все другие диоды могут быть на обратное напряжение в N раз меньше амплитудного сетевого.

Недостатки устройства - отсутствие гальванической развязки от сети и высокое рабочее напряжение транзистора, выполняющего функцию электронного переключателя S1. Но возможность применения малогабаритных низковольтных оксидных конденсаторов и современных высоковольтных транзисторов обеспечивает сравнимость мощностных показателей конденсаторных блоков питания с импульсными блоками и делает перспективным использование их для разнообразного применения.

На основе этих идей было сконструировано полностью бестрансформаторное зарядное устройство мощностью 150 Вт, масса которого не превышает 1 кг. Оно позволяет реализовать "тренировку" аккумуляторов - режима, при котором аккумулятор в течение одного полупериода сетевого напряжения заряжается, а затем разряжается меньшим током на балластный резистор.

Описываемый конденсаторный преобразователь напряжения предназначен для зарядки автомобильных аккумуляторных батарей емкостью до 70 Ач, поэтому максимальный средний выходной ток устройства должен быть 7 А. Эта величина согласована с ограничением переменной составляющей на уровне 20...30 % от номинального напряжения для примененных оксидных конденсаторов.

Принципиальная схема устройства показана на рис. 2. Выпрямительный диод VD38, конденсатор С13 и стабилитроны VD39, VD40 формируют напряжение питания узла управления, осуществляющего синхронизацию работы коммутирующих транзисторов VT2 и VT3 с полярностью напряжения сети и стабилизацию выходного тока.

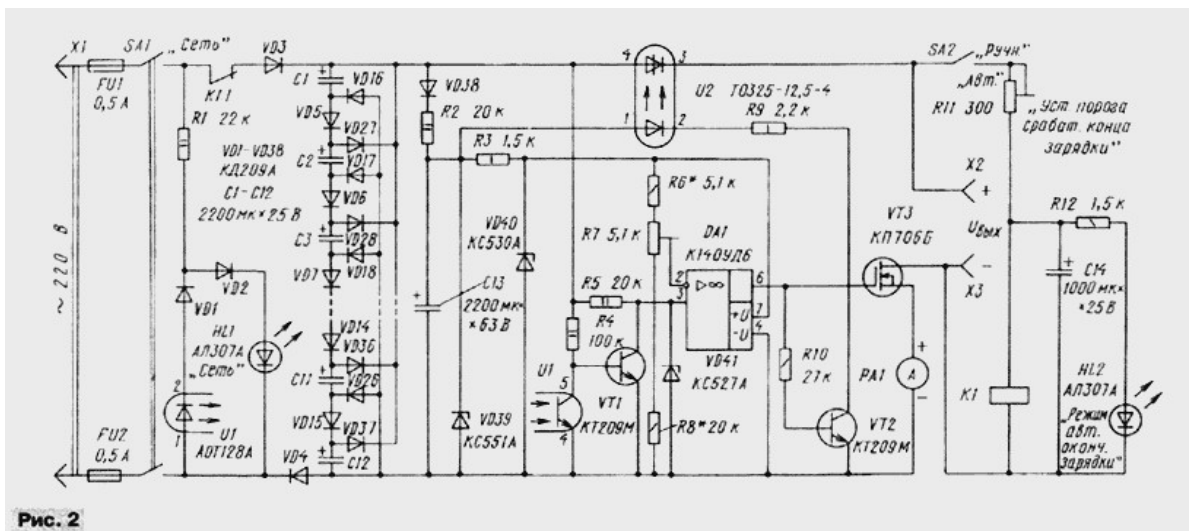


Рис. 2

Работает устройство следующим образом. При положительной полуволне напряжения сети заряжаются блок конденсаторов C1 - C12 и накопительный конденсатор питания C13. При отрицательной полуволне включается светодиод оптрона U1, а его фототранзистор, открываясь, шунтирует эмиттерный переход транзистора VT1. Транзистор VT1 закрывается и через резистор R5 подключает неинвертирующий вход ОУ DA1 к выходу конденсаторного блока. Сам же ОУ при этом переключается и открывает транзисторы VT3, VT2 и светодиод оптрона U2.

ОУ DA1 работает в компараторном режиме, поэтому его выходной сигнал может принимать только два значения - близкое к напряжению питания и к нулю. Если напряжение на его инвертирующем входе больше, чем на неинвертирующем, выходное напряжение будет близким к нулю и транзистор VT3 окажется в закрытом состоянии. В противном случае напряжение на выходе ОУ близко к напряжению питания, транзистор VT3 открывается, а через резистор R10 - транзистор VT2 и оптрон U2.

Входным сигналом для стабилизации выходного тока служит напряжение на конденсаторном блоке. Оно связано с электрическим зарядом известными соотношениями: $U=CQ$ и $dU/dt=CdQ/dt=CI$. Таким образом, изменение напряжения на конденсаторном блоке (его уменьшение) прямо пропорционально отданному в нагрузку заряду, поэтому, стабилизируя отдаваемый конденсаторным блоком заряд за время единичного цикла разрядки, устройство стабилизирует выходной ток. Его значение регулируют резистором R7. После закрывания транзистора VT1 напряжение с конденсаторного блока поступает на неинвертирующий вход ОУ DA1 и сравнивается с образцовым, поступающим на инвертирующий вход с делителя R6-R8. Когда напряжение на конденсаторном блоке становится меньше образцового, ОУ DA1 переключается в нулевое состояние и закрывает транзистор VT3, а через него (и нагрузку устройства) - и фотодинистор оптрона U2.

Если по каким-либо причинам напряжение на конденсаторном блоке не снизилось до образцового (т. е. в нагрузку не ушел заряд, определяемый положением движка резистора R7), а время, отведенное на разрядку, закончилось, работа блока для предотвращения попадания сетевого напряжения на выход устройства организована так. Напряжение отрицательной полуволны сети снижается до выключения светодиода оптрона U1 и, следовательно, закрыванию его фототранзистора. Это приводит к открыванию транзистора VT1, шунтированию им неинвертирующего входа и переключению компаратора DA1 и, как следствие, закрыванию транзисторов VT3, VT2 еще до появления положительной полуволны сетевого напряжения. Таким образом, происходит принудительная синхронизация узла стабилизации тока с полярностью напряжения сети.

Оптрон U2 необходим лишь как улучшающий безопасность и во встраиваемых блоках питания может отсутствовать.

Зарядка аккумуляторной батареи длится сравнительно долго и требует определенного контроля. Поэтому в устройстве предусмотрена возможность автоматического отключения заряжаемой батареи при напряжении на ней 14,2...14,4 В. Функцию порогового элемента отключения полностью заряженной батареи выполняет электромагнитное реле К1 (РЭС10), срабатывающее при напряжении около 10,5 В. Реле подключено к выходным зажимам Х2 и Х3 через проволочный подстроечный резистор R11. Этот резистор вместе с конденсатором С14 образуют фильтр, подавляющий переменную составляющую пульсирующего зарядного напряжения, но пропускающий медленно нарастающую постоянную составляющую напряжения аккумуляторной батареи. Поэтому при достижении порогового напряжения реле К1 срабатывает и размыкающимися контактами К1.1 отключает питание конденсаторного блока и системы управления. Сама же обмотка реле остается под напряжением заряжаемой батареи и благодаря наличию гистерезиса выключается при снижении напряжения до 11,8 В. После чего происходит автоматическая подзарядка батареи аккумуляторов.

Включение-выключение режима автоматического окончания зарядки осуществляют переключателем SA2. Применение реле серии РЭС10 обусловлено его малым током потребления и, следовательно, малым током разрядки батареи в режиме прекращения зарядки. Маломощные контакты используемого реле отражают и особенности описываемого устройства, связанные с емкостным характером нагрузки. Поэтому разрыв цепи питания конденсаторного блока происходит без искрения.

Применение двух сетевых предохранителей (FU1, FU2) и двухсекционного выключателя SA1 связано с повышенными требованиями электробезопасности из-за отсутствия гальванической развязки устройства от сети.

Внешний вид и некоторые конструктивные особенности бестрансформаторного зарядного устройства иллюстрирует рис. 3. Корпус устройства выполнен из двух П-образных алюминиевых пластин, соединенных винтами. На его лицевой стенке расположены индикатор включения в сеть (HL1), амперметр PA1 контроля зарядного тока и выходные гнезда-зажимы Х2, Х3. Переключатели SA1, SA2 (тумблеры), подстроечные резисторы R7, R11 и сетевые предохранители находятся на задней стенке корпуса. Размещение там подстроечных резисторов обусловлено наличием системы стабилизации тока зарядки, поэтому при эксплуатации в гараже требуется лишь однократно выставить значение зарядного тока и порога срабатывания конца зарядки перед началом эксплуатации.

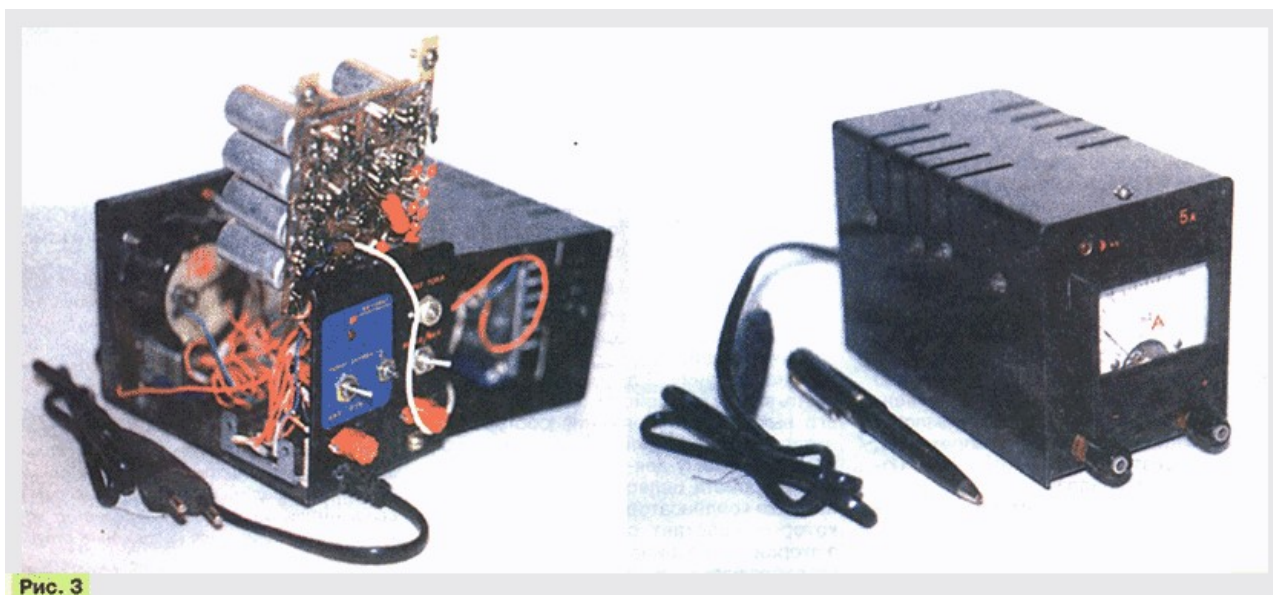


Рис. 3

Оптрон U2 и мощный транзистор VT3 установлены в верхней части корпуса, имеющего вентиляционные отверстия. Площадь охлаждения их теплоотводов примерно 20 см².

Теплоотводы крепят к корпусу винтами с изолирующими втулками и шайбами из пластмассы.

Диодно-конденсаторный блок собран на печатной плате из односторонне фольгированного стеклотекстолита, которая укреплена на стойках внутри корпуса. На второй плате, расположенной под конденсаторным блоком, смонтированы все детали системы управления зарядным устройством.

В конденсаторном блоке возможно применение любых оксидных конденсаторов, но желательно одного типа. В случае использования импортных конденсаторов габариты этого блока можно существенно уменьшить. Диоды блока также могут быть любыми, рассчитанными на такой же ток и обратное напряжение - подойдут даже диоды Д226Б и Д7Ж, но при этом габариты блока и его масса существенно увеличатся.

Оптрон ТО325-12,5-4 заменим на ТО125-10 или ТО125-12,5 не ниже 4-го класса. Вместо КП706Б (VT3) возможно применение аналогичных отечественных полевых транзисторов или импортного IGBT на такой же ток и напряжение, причем желательно с минимальным сопротивлением канала.

При выборе электромагнитного реле (K1) необходимо учитывать, что паспортное номинальное напряжение примерно в 1,5...1,7 раза выше напряжения срабатывания и что напряжение срабатывания может быть несколько различным даже для реле из одной партии. Возможно применение реле РЭС9, РЭС22, РЭС32 и иных, обладающих достаточно малым потребляемым током, на напряжение срабатывания в пределах 8...12 В. При этом, возможно, придется подобрать резистор R11 и конденсатор C14 с целью эффективного подавления переменной составляющей, предотвращения "дребезга" контактов реле и ложных срабатываний.

Налаживание устройства проводите только при наличии сетевых предохранителей. Перед первым включением обязательно проверьте правильность монтажа и соединений, поскольку ошибки могут привести к выходу из строя большей части деталей и даже взрыву конденсаторов. В порядке страховки конденсаторный блок можно прикрыть коробкой из плотного картона или фанеры.

Правильно собранное устройство начинает работать сразу. Потребуется в основном лишь подборка резисторов R6 и R8 для корректировки диапазона регулировки тока зарядки. Для этого к выходу блока подключите разряженную батарею аккумуляторов и подборкой резисторов R6 и R8 установите по амперметру PA1 диапазон регулирования зарядного тока резистором R7. Если при начальном положении движка резистора R7 ток будет отличен от нуля, то нужно уменьшить сопротивление резистора R8. Если же ток зарядки становится равным нулю не в крайнем положении движка R7, сопротивление этого резистора следует увеличить. Далее движок резистора R7 установите в конечное положение. Если теперь ток зарядки окажется меньше максимального, сопротивление резистора R6 придется уменьшить, а если превышает - увеличить.

После этого, установив переключатель SA2 в положение "Ручной режим", доведите батарею до полной зарядки, контролируя напряжение на нем вольтметром постоянного тока. Затем отключите устройство от сети, переведите тумблер SA2 в режим "Авт.", а движок резистора R11 - в положение максимального сопротивления. Снова подключите устройство к сети и уменьшением сопротивления резистора R11 добейтесь четкого срабатывания реле K1 - устройство готово к эксплуатации.

При налаживании и эксплуатации зарядного устройства необходимо помнить об отсутствии гальванической развязки от сети. Следовательно, подключать и отключать его от аккумуляторной батареи можно только при отключенной от сети вилке шнура питания.

Описанное зарядное устройство - один из конкретных примеров использования конденсаторного преобразователя напряжения. В других случаях надо иметь в виду, что действующее значение его выходного напряжения составляет около 12 В, а амплитудное - близко к 24 В. Поэтому для питания электронных устройств целесообразней применять два конденсаторных блока, один из которых работает от положительной, а второй - от отрицательной полуволны сетевого напряжения. Выходы же обоих блоков должны быть объединены и работать на одну общую нагрузку. Сами же блоки практически идентичны. Отличаются они только подключением их к токонесящим сетевым проводам: там, где первый блок подключен катодами диодов, второй - подключен анодами. Это позволяет получить большую выходную мощность при существенном уменьшении емкости фильтрующих конденсаторов.

Выходное напряжение описанного устройства определяется числом конденсаторов в батарее и при более низком напряжении может устанавливаться с достаточно малым шагом.

Литература

1. Бирюков С. Расчет сетевого источника питания с гасящим конденсатором. - Радио, 1997, # 5, с. 48 - 50.

2. Браславский Л. и др. Преобразователь напряжения в постоянное с двумя выходными напряжениями разного уровня. Описание изобретения к авт. свид. # 797022. - Бюллетень "Открытия, изобретения,...", 1981, # 2.

3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники, в 3-х томах: Т. 1. Пер. с англ., 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Мир, 1993, с. 399-401.

4. Богданович М., Поляков А. Преобразователь переменного тока в постоянный с понижением напряжения. Описание изобретения к авт. свид. # 1182613. - Бюллетень "Открытия, изобретения,...", 1985, # 36.

От редакции. Выход описанного преобразователя формально может считаться не связанным с сетью, поскольку при одном полупериоде сети закрыты транзистор VT3 и оптрон U2, при другом - диоды VD3 и VD4. Однако рассчитывать на то, что прикосновение к выходным клеммам безопасно, нельзя. Любой из упомянутых выше элементов может выйти из строя, это будет незаметно с точки зрения функционирования преобразователя, но один из выходных проводов будет соединяться с сетью. Поэтому можно не устанавливать, например, диод VD4 и оптрон U2 - устройство будет нормально работать и без них.

О стабилизации выходного тока. Выходной ток выключается в момент уменьшения напряжения на конденсаторном блоке до заданной резистором R7 величины, а начальное напряжение на блоке пропорционально напряжению сети. Как показали авторы, выходной ток пропорционален разности этих напряжений, поэтому его стабилизация осуществляется лишь при изменении нагрузки. Колебания напряжения сети сказываются на выходном токе, причем относительное изменение выходного тока примерно вдвое больше относительного изменения напряжения сети.

Предложенное авторами релейное устройство для отключения преобразователя в момент окончания зарядки аккумулятора не может иметь столь узкий гистерезис по напряжению, как указывается в статье, поскольку для реле РЭС-10 ток отпускания примерно в семь раз меньше тока срабатывания. Для получения требуемого гистерезиса необходимо применение реле с большим числом контактов. При срабатывании оно должно вводить последовательно с R11 дополнительный переменный резистор, которым устанавливается напряжение отпускания реле.