

Виктор Беседин (UA9LAQ)

г. Тюмень

E-mail: ua9laq@mail.ru

## БЛОК ПИТАНИЯ трансвертеров

В статье [1] упоминалось о том, что блок трансвертеров "ТАНДЕМ" питается от БП (сетевого стабилизированного блока питания) с выходным напряжением 20 В. В качестве силового выбран трансформатор TH-46. Такой трансформатор удобен тем, что позволяет получать от его вторичных обмоток ряд напряжений, приведенных в таблице 1, и имеет приемлемые для конструкции габариты.

Однаковыми токами отдельных вторичных обмоток обладают унифицированные накальные

трансформаторы TH-30, TH-36, TH-46 и условно одинаковыми (близкими по значению тока) – TH-60, TH-61. Поскольку трансформатор TH-46 обеспечивает токи во всех вторичных обмотках до 2,3 А и имеет приемлемые для применения в блоке трансвертеров "ТАНДЕМ" габариты, он и был выбран в качестве силового в блоке его питания. На рис. 1 приведены принципиальные схемы двух модификаций трансформатора TH-46: а) – TH-46-220-50 – с питанием от сети переменного тока напряжением 220 В

и частотой 50 Гц; б) – TH-46-127/220-50 – то же, но дополнительно, с помощью секционированной комбинированной первичной обмотки, есть выбор напряжения сети 110, 127, 220, 237 В.

Для включения в сеть 220 В, напряжение на T1 TH-46-220-50 подают на выводы 1 и 5, как и на TH-46-127/220-50, но, при этом, нужно соединить между собой выводы 2 и 4 (рис. 1б). В последнем случае, при питании от сети 110 В, соединяют между собой выводы 1 и 4, 2 и 5. Две обмотки получаются

Таблица 1. Некоторые комбинированные включения вторичных обмоток унифицированного накального трансформатора TH-46

Напряжение, В	Соединение выводов	Выводы выхода	Примечание
1,3	- -	12-13 15-16	Для увеличения тока в нагрузку обмотки могут быть соединены параллельно синфазно
2,6	13 и 15	12-16	Синфазное включение обмоток
3,7	12 и 16, 15 и 13	11-15 14-12	Противофазное включение обмоток
5,0	- -	11-12 14-15	Для увеличения тока в нагрузку обмотки могут быть соединены параллельно синфазно
6,3	- - - -	7-8 9-10 11-13 14-16	Для увеличения тока в нагрузку обмотки могут быть соединены параллельно синфазно
7,6	8 и 9, 10 и 12 8 и 9, 10 и 15	7-11 7-14	Противофазное включение обмоток
10,0	12 и 14	11-15	Синфазное включение обмоток
11,3	8 и 9, 10 и 13 8 и 9, 10 и 16	7-12 7-15	Противофазное включение обмоток
12,6	8 и 9 10 и 11 13 и 14	7-10 9-13 11-16	Для увеличения тока в нагрузку комбинации обмоток могут быть соединены параллельно синфазно
13,9	8 и 9, 10 и 12 8 и 9, 10 и 15	7-13 7-16	Синфазное включение обмоток
15,2	8 и 9, 10 и 12, 13 и 15	7-16	Синфазное включение обмоток
16,3	8 и 9, 10 и 11, 12 и 16 8 и 9, 10 и 14, 13 и 15	7-15 7-12	Противофазное включение обмоток
17,6	8 и 9, 10 и 11 8 и 9, 10 и 14	7-12 7-15	Синфазное включение обмоток
18,9	8 и 9, 10 и 11 8 и 9, 10 и 14	7-13 7-16	Синфазное включение обмоток
20,2	8 и 9, 10 и 12, 13 и 14	7-16	Синфазное включение обмоток
22,6	8 и 9, 10 и 11, 12 и 14	7-15	Синфазное включение обмоток
23,9	8 и 9, 10 и 11, 12 и 14	7-16	Синфазное включение обмоток
25,2	8 и 9, 10 и 11, 13 и 14	7-16	Синфазное включение обмоток

# ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

соединёнными параллельно синфазно, сеть подключается к выводам (1, 4) и (2, 5). Также параллельно синфазно оказываются подключены две первичные обмотки трансформатора T1 и на напряжение 127 В, если соединить их выводы (рис. 1б) 1 и 4, 3 и 6 и подать это напряжение на выводы (1, 4) и (3, 6) – в скобках: соединённые между собой выводы. Включение первичной обмотки этой разновидности трансформатора на напряжение 237 В производится соединением выводов 3 и 4 и подачей напряжения сети на выводы 1 и 5. Подачей напряжения на выводы 1 и 6 и соединением между собой выводов 3 и 4, трансформатор

T1 можно перевести на питание от сети на напряжении даже 254 В. Жаль, что силовые трансформаторы с секционированной первичной обмоткой встречаются всё реже и реже. Чтобы поточнее подобрать напряжение питания по первичной обмотке, можно воспользоваться и отводами 1а (4а), 16 (4б). Напряжение между выводами 1 и 1а (4 и 4а) – 3,2 В, между выводами 1 и 16 (4 и 4б) – 6,3 В.

Напряжение, подаваемое на выпрямитель, может быть подобрано, исходя из комбинированного включения вторичных обмоток силового трансформатора, по минимальному напряжению между входом и выходом ИМС стабилизатора,

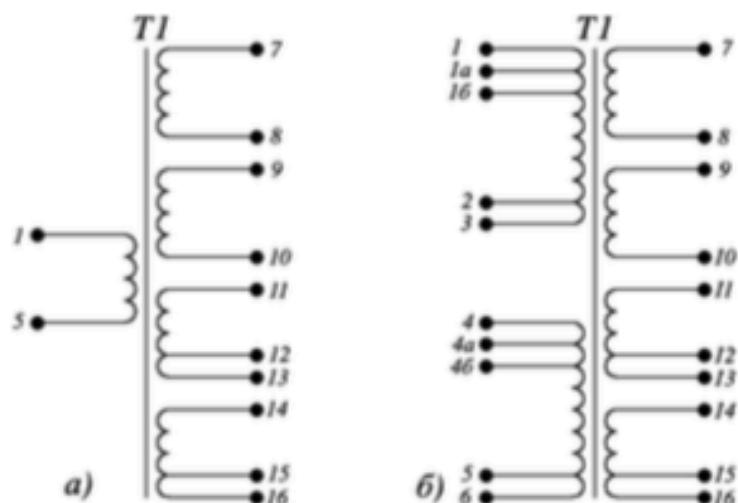


Рис. 1. Силовой накальный трансформатор ТН-46. Схема принципиальная электрическая: а) – ТН-46-220-50; б) – ТН-4\1.

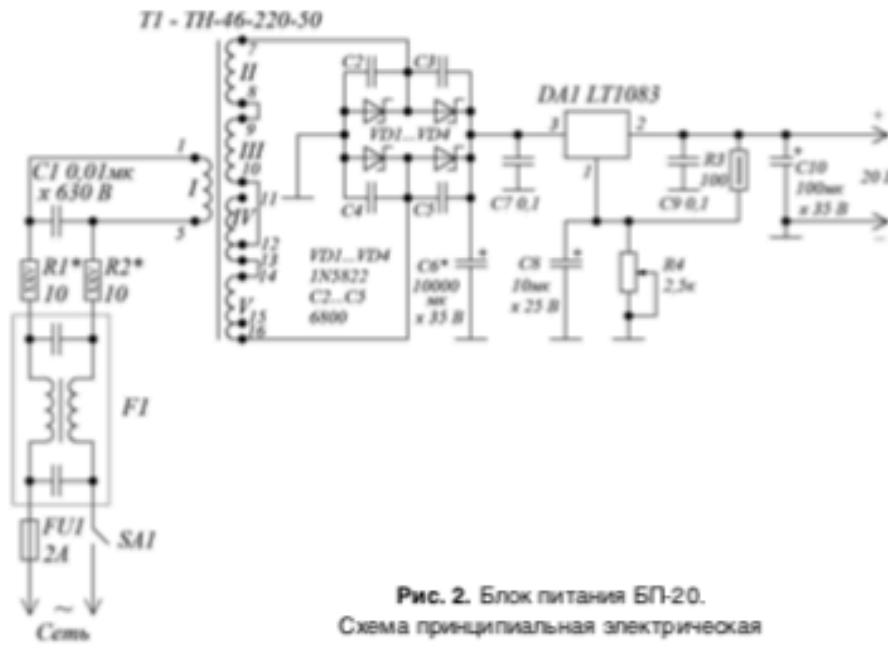


Рис. 2. Блок питания BN-20.  
Схема принципиальная электрическая

при минимальном допустимом напряжении в местной питающей сети, при максимальном рабочем токе в нагрузку, ещё обеспечивающими режим стабилизации, при минимальной мощности рассеивания тепловой энергии на ИМС стабилизатора. Можно подкорректировать напряжения на вторичных обмотках и подбором в небольших пределах напряжения первичной обмотки, используя отводы от обмотки, в случае обладания трансформатором разновидности с рис. 1б.

В стабилизаторе БП применён интегральный чип (ИМС) типа LT1083, позволяющий регулировать (плавно подбирать) выходное напряжение и допускающий стабилизацию тока до 7,5 А, при достаточно низком перепаде напряжений вход-выход (до 1,5...1,0 В).

В мостовом выпрямителе применены диоды Шоттки с максимальным выпрямляемым током, в расчёте на диод – до 3 А, в мостовой схеме, они способны выдерживать ток до 6 А. Диоды зашунтированы конденсаторами для устранения мультиплексивного фона и генерации помех.

Итак, переходим к принципиальной схеме блока питания со стабилизатором (рис. 2). После соединения с питающей сетью, ток проходит через плавкий предохранитель FU1, плечо сетевого фильтра (комбинированного или/и самого простого (см. ниже)), поступает через резистор R1 на первичную обмотку силового трансформатора T1, пройдя эту обмотку, ток через резистор R2, второе плечо сетевого фильтра и замкнутые контакты сетевого выключателя SA1 возвращается в сеть. Во время последующего полупериода переменного напряжения, ток проделает тот же путь, только теперь – в обратном направлении. За счёт связи (взаимодействия) через сердечник трансформатора T1, электрическая мощность, поступившая из питающей сети, выделяется во вторичных его обмотках, включенных тем или иным образом, для получения нужного напряжения. Для

## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

питания трансвертеров необходим ток постоянного направления, поэтому переменный ток, поступающий с силового трансформатора Т1, выпрямляют (здесь: с помощью мостового диодного выпрямителя (VD1...VD4), для снижения потерь, применены диоды Шоттки). Поскольку диоды моста выпрямляют не только токи с сетевой частотой 50 Гц, но и радиочастотные наводки на провода электросети, возникают неприятные и трудно устранимые накладки на подготовленные для питания конструкций напряжение и токи, выражющиеся в появлении, так называемого, "мультиплексивного" фона на приёмной стороне и ухудшения тона, например, телеграфного сигнала и модуляции несущей (сигнала) программы местного радио- или телевещания – на передачу. Для борьбы с этим явлением, диоды выпрямителя шунтируют конденсаторами небольшой ёмкости (до 0,01 мкФ), которые обеспечивают для РЧ сигналов короткое замыкание (в этом случае, диоды выпрямителя не детектируют РЧ, но выпрямляют напряжения с низкой частотой сети – 50, 100 Гц). После выпрямителя включается сглаживающий фильтр – накопительный конденсатор С6,

который через трансформатор Т1 и диоды выпрямителя заряжается энергией от питающей сети, чтобы отдать эту энергию (здесь: через стабилизатор) в нагрузку. Ёмкость конденсатора фильтра должна быть достаточно большой (не менее 3300...4700 мкФ в расчёте на ток 1 А в нагрузку), в противном случае, в нагрузке могут появиться пульсации с частотой 100 Гц (двуухполупериодный выпрямитель), частично эту ситуацию спасает стабилизатор, но, при низком напряжении на его регулирующем элементе, в нашем случае, может произойти срыв стабилизации и произойдёт, так называемая, "прощадка" выходного напряжения на выходе БП со всеми вытекающими последствиями, например, для трансвертера или трансивера, работающего в качестве нагрузки БП (упадёт выходная мощность, появится фон переменного тока, будут в тант с сигналом "подмаргивать" все осветительные приборы – подсветки шкал, вплоть до срыва работы синтезатора или гетеродина, появятся широкополосные помехи от передатчика всему электронному окружению). В качестве стабилизатора, с целью упрощения конструкции, применена ИМС типа

LT1083, которая имеет довольно хорошие параметры и внутренние защиты от перегрева и короткого замыкания, работает при малых разницах между входным и выходным напряжением (в пределе до 1,5...1,0 В), "выносит", будучи размещенной на радиаторе, рабочие токи в нагрузку до 7,5 А. Однако, есть у неё и специфические запросы: необходимо, чтобы по входу и выходу ИМС (непосредственно у корпуса) была "развязана" включением с шины питания на корпус конденсаторов: оксидных не менее сотни мкФ, tantalовые могут иметь на порядок меньшую ёмкость. Обычно, для уменьшения возможности самовозбуждения ИМС (например, при мощных наводках от местных передатчиков – наш случай), все её выводы шунтируют на общий провод РЧ конденсаторами ёмкостью не менее 0,1 мкФ, причём, чем ближе к корпусу ИМС, тем лучше. Конденсатор, обычно, – tantalовый, ёмкостью от 10 мкФ, включаемый с управляемым выводом ИМС на корпус, способствует и дальнейшему уменьшению доли пульсаций, всегда имеющейся на выходе сетевых БП.

Окончание в №6/2020

**Виктор Беседин (UA9LAQ)**  
г. Тюмень  
E-mail: ua9laq@mail.ru

## Блок питания трансвертеров



Окончание.  
Начало в № 5/2020

Поскольку на выходе выпрямителя включен (или включены, если их – несколько), для увеличения нагрузочной способности БП, конденсатор сопидной ёмкости в десять тысяч (или десятки тысяч) мкФ – С6, и, во время включения БП в сеть, при разряженном этом конденсаторе фильтра, диоды выпрямителя будут испытывать стресс (при разряженном конденсаторе фильтра, токи через диоды близки к токам короткого замыкания) и могут выйти из строя. Применять ступенчатое включение БП с помощью реле в таком простом устройстве вряд ли имеет смысл, хотя – возможно. С другой стороны, силовые трансформаторы ТН-46 выпускались, когда стандарт на сетевое напряжение был 220 В. Ныне этот стандарт сменился и составляет 230 В. Естественно, что трансформаторы, при этом, будут гудеть, греться чуть больше и выдавать повышенные напряжения на вторичных обмотках. Выход из положения может быть найден, с одной стороны, для трансформаторов с секционированной первичной обмоткой, включением её, например, на напряжение 237 В. С другой стороны: для включения трансформаторов модификации с одной первичной обмоткой и обеспечения одновременной защиты диодов от стресса, включаем в оба сетевых провода мощные проволочные резисторы (например, с "ушами" для крепления на теплоотводе), сопротивлением примерно по десятку Ом и более, лишь бы, при максимальном токе с БП в нагрузку, не вывести стабилизатор из режима стабилизации. Эти оба резистора можно развязать между проводами сети с обеих сторон конденсаторами ёмкостью по 0,01 мкФ на рабочее напряжение 630 В, получится ещё один дополнительный сетевой фильтр вдобавок к применённому или единственному, если отсутствует

специальный сетевой фильтр F (например, DL10DZ2KR или подобный). Итак: мы, включением этих резисторов между сетью и трансформатором T1, обеспечили: снижение сетевого напряжения 230 В до норматива для T1 – 220 В, уменьшили стресс для диодов выпрямителя, растянув во времени заряд сглаживающего конденсатора выпрямителя С6 и обеспечили в союзе с конденсаторами (С1 и конденсатор 0,01 мкФ х 630 В, включенный как в схеме фильтра F между проводами снизу от резисторов R1 и R2) дополнительный сетевой фильтр.

Трансвертеры "по паспорту" имеют выходную мощность передатчика порядка 5 Вт, при 50% КПД выходного каскада передатчика (наиболее часто встречающееся значение на практике), значит, он потребляет 10 Вт. При питании от источника с напряжением 20 В, ток нагрузки БП составит всего 0,5 А. Если добавить на всё остальное плюс реле (остальные каскады передающего тракта трансвертера – трансвертеры работают по очереди, на приём потребляется значительно меньший ток), то ток, потребляемый от БП, составит около 1 А, может, чуть более этого, так что и диоды, и ИМС стабилизатора будут работать в режиме с большим запасом, чем больше запас, тем надёжнее будет работать БП.

ИМС стабилизатора "требует" к себе повышенного внимания: между выводами и общим проводом (чем ближе к корпусу ИМС, тем лучше) следует припаивать развязывающие конденсаторы по РЧ, например, ёмкостью по 0,1 мкФ, также высококачественные tantalевые (например, SMD) с указанными на схеме ёмкостями, ёмкости обычных оксидных конденсаторов (при применении вместо tantalовых) должны иметь примерно на порядок большие значения. Если провода от конденсатора С6 до ИМС имеют длину более 5...10 см, параллельно С7,

вблизи от корпуса ИМС, следует установить ещё один "электролитический" конденсатор: ёмкостью 10 мкФ, если он tantalовый или 100 мкФ – оксидный. Конденсатор С8, в основном, "отвечает" за дополнительное подавление пульсаций выпрямленного напряжения, при нестабильной работе ИМС, при РЧ наводках, рядом с корпусом ИМС (с управляющим выводом ИМС на общий провод, параллельно С8) подключается РЧ конденсатор ёмкостью 0,1 мкФ, при должной экранировке БП и применении tantalовых конденсаторов, такая "причина нестабильности" встречается редко. Переменным или подстроечным резистором R4 производится точная установка выходного напряжения 20 В. Большие ёмкости конденсатора С10 (более нескольких сотен мкФ) устанавливать не стоит, поскольку это замедляет реакцию стабилизатора на изменение выходного напряжения, при изменении тока нагрузки. Резистор R4 не стоит устанавливать миниатюрных размеров, поскольку такие резисторы обладают малой допустимой рассеиваемой мощностью и, отсюда, не термостабильны (в процессе эксплуатации БП будет плыть выходное напряжение), можно также подобрать сопротивление этого резистора по выходному напряжению 20 В и установить, вместо подстроечного, постоянный резистор с мощностью рассеяния 0,5 Вт. ИМС стабилизатора следует смонтировать для отвода тепла на небольшом радиаторе, который устанавливается на плате (изолирован от общего провода). Между корпусом ИМС и радиатором помещается слой пасты КПТ-8 для уменьшения теплового сопротивления между ними. Температура радиатора увеличивается, при работе одного из трансвертеров в "ТАНДЕМе" на передачу – увеличиваются токи в нагрузку, и будет тем больше, чем больше разница напряжения между входом и выходом ИМС стабилизатора. Отсюда: следует так

# ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

настроить БП, чтобы, при минимально допустимом напряжении в сети и максимальном токе нагрузки, стабилизатор не выходил из режима (не было ощутимой просадки выходного напряжения БП). Разница между входным и выходным напряжениями стабилизатора, при этом, должна быть около 1 В. Напряжение на входе стабилизатора подбирают комбинацией вторичных обмоток силового трансформатора Т1, подбором ёмкости конденсатора С6. Выпрямительные диоды VD1...VD4 могут не иметь радиаторов, обычно такие диоды монтируют, оставляя у них длинные выводы, которые тоже отводят тепло, проводят его от переходов в диодах к значительным по площади площадкам фольги, оставляемым на печатных платах, которые служат радиаторами.

Сетевой фильтр F может быть как самодельным (применяется трансформатор с двумя одинаковыми обмотками и включаются два конденсатора по 0,01 мкФ на 630 В), так и покупным, например, рассчитанным на пропускаемые токи порядка 2 А. В экстренных случаях можно обойтись и только фильтром с теми же резисторами R1 и R2, которые установлены перед силовым трансформатором Т1, добавив конденсатор со стороны сети в те же 0,01 мкФ на 630 В. Обязательными являются плавкий предохранитель и выключатель между сетью и сетевыми фильтрами, если конструктивно не получается, например, установить предохранитель (фильтр F блокирован с выключателем и сетевым соединителем), предохранитель устанавливают прямо на сетевом проводе в специальной капсуле.

Для осуществления дополнительного (аварийного) питания устройства, аккумулятор (аккумулятор или другой источник) с напряжением 24 В подключается отрицательным полюсом на общий провод (шасси) "ТАНДЕМа", положительный полюс, через плавкий предохранитель (2...5 А) и мощный диод, например, D242 или другой с максимально допустимым током ампер на десять, подключается катодом диода прямо к плюсовому выводу конденсатора

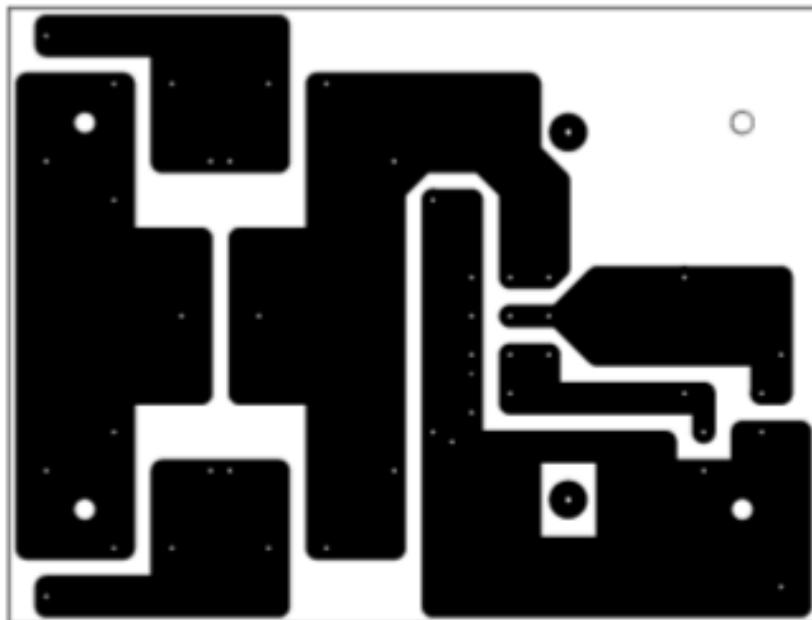


Рис. 3. Эскиз платы для размещения деталей выпрямителя и стабилизатора БП. Вид со стороны печатных проводников. Размеры платы: 105x80x1,5 мм

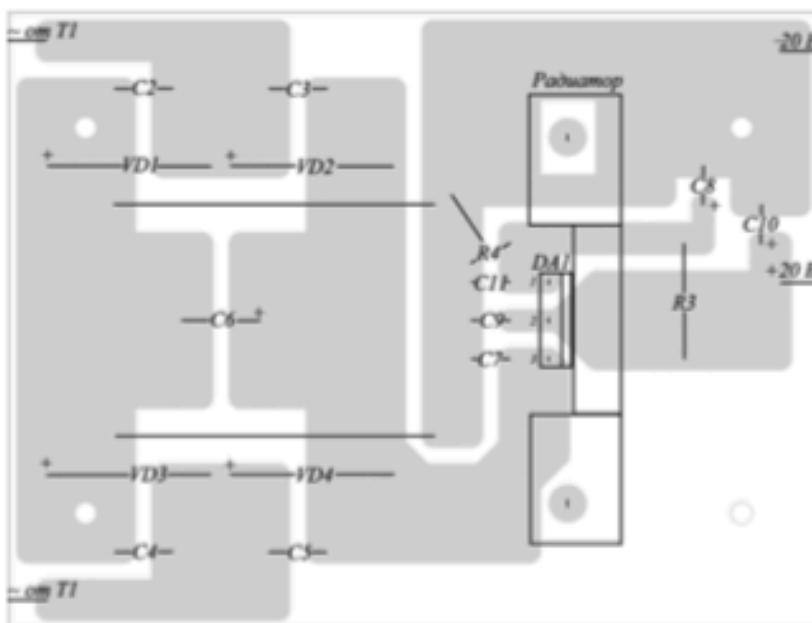


Рис. 4. Эскиз платы для размещения деталей выпрямителя и стабилизатора БП. Вид со стороны деталей. С11 – 0,1 мкФ устанавливается при нестабильной работе стабилизатора при мощных РЧ наводках. Радиатор крепится пайкой в соответствующие отверстия, также может быть закреплён винтами в нарезанные в его теле резьбы. Во всех случаях радиатор изолирован от проводников платы

С6 или к катодам диодов VD2, VD4 – на вход стабилизатора. Правильная работа этого узла будет при напряжении на С6 (при работе от сети) на 1 В больше, чем от дополнительного источника. При этом диод в цепи этого источника закрыт обратным напряжением и он (источник) отключен от нагрузки (при равенстве

напряжений от сетевого и дополнительного источников будут потребляться одинаковые токи, равные половине тока нагрузки). При пропадании напряжения в сети, напряжение на С6 начинает снижаться, диод открывается и нагрузка (через стабилизатор) оказывается запитанной от дополнительного источника, при

# ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

в этом, диоды VD2 и VD4 оказываются запертыми обратным напряжением и эффективно отключают трансформатор T1 от входа стабилизатора, а сам стабилизатор, при достаточном напряжении с дополнительного источника, не выходит из режима стабилизации, отходя автоматический переход с одного источника на другой незаметен, даже в режиме передачи, когда нагрузкой (передатчиком) потребляется повышенный ток. Если напряжение от дополнительного источника не будет хватать для правильной работы стабилизатора, то ситуацию можно подправить, установив мощный диод Шоттки (вместо кремниевого) в качестве дополнительного в плюсовую шину или/и немножко уменьшив выходное напряжение стабилизатора, одновременно уточнив напряжение, подаваемое с T1 на выпрямитель. При появлении напряжения в сети, напряжение на С6 увеличивается, диод в положительнойшине дополнительного источника питания закроется и БП выйдет на штатный режим, быстро и незаметно для корреспондентов в эфире, отключив аварийный источник. Для обеспечения минимального нагрева ИМС стабилизатора, следует подобрать минимально необходимые её входные напряжения (обычно, это делается при минимально допустимом напряжении сети и максимальном необходимом токе в нагрузку, – ИМС не должна выходить из режима стабилизации), в противном случае, при увеличенной разнице между входным и выходным напряжениями стабилизатора (больше 1,5...1,0 В), нужно увеличить размеры радиатора к DA1.

Прежде, чем приступить к регулярной работе с БП, его проверяют, тестируют, проводят с ним эксперименты, нагружив эквивалентом нагрузки – мощным резистором или комбинацией резисторов общим сопротивлением 10 Ом. При этом, ток нагрузки, при напряжении 20 В, составит 2 А. Этот ток данный БП должен выносить достаточно долго, если достаточен размер радиатора, на котором установлена ИМС DA1 и правильно

подобрана разница напряжений между её входом и выходом.

Автор определился на практике: нужно сначала включать БП (стабилизатор выходит на рабочий режим), затем жать на кнопку POWER (сеть) у трансиверов, выключение делать в обратном порядке.

Что касается конструкций стабилизаторов и чувствительных к нагреву схем, не стоит бояться устанавливать, если позволяет место, резисторы и другие детали, рассчитанные на большие мощности, чем это требуется по факту.

Скачав шаблон платы (рис. 3, рис. 4) с сайта редакции журнала, распечатывают его в масштабе 1:1 в зеркальном изображении на обычной бумаге. Вырезав шаблон, укладывают его на ровный кусок пенопласти и, протыкая выводами деталей шаблон, устанавливают все имеющиеся детали, размечают отличия от оригинала и корректируют шаблон в программе SPRINT LAYOUT 6.0 под них, затем печатают шаблон на специальной гладкой бумаге и изготавливают плату по методу лазерно-утюжной технологии (ЛУТ). Несложный рисунок на плате можно нанести и вручную лаком или краской, скорректировав его под имеющиеся детали.

Фольга проводников печатной платы – тонкая, если есть боязнь, что проводники, по которым протекают значительные токи, расплавятся, нужно сделать их шире, применить толстое их лужение или/и продублировать печатные проводники проводами или экранирующей оплёткой (имеется в продаже для снятия излишков припоя), припаяв их по всей длине печатного проводника и соблюдая его конфигурацию.

Если необходимо "отвязать" по РЧ общий провод стабилизатора, на печатной плате (рис. 4), вместо проволочных перемычек (из провода диаметром не менее миллиметра), устанавливают дроссели, а крепление платы к корпусу БП осуществляется, в этом случае, с помощью стоек из изоляционного материала. Соединения платы с трансформатором T1 и нагрузкой нужно

производить проводами диаметром не менее 1 мм.

**О вопросах по "ТАНДЕМу":** если не удается найти (изготовить, заказать, купить) нужные радиаторы (длина – 200 мм, ширина – 90...95 мм, высота ребер над основанием радиаторов – 20 мм), можно скрепить несколько радиаторов, обеспечив их тепловой контакт друг с другом, для образования боковых стенок корпуса – ребра устанавливаются вертикально. Крепление транзисторов к радиаторам за винты (КП902, КТ610 и КТ922) можно осуществить двумя способами: первый – нарезать в радиаторе резьбы и вкрутить транзисторы, однако, в этом случае, при полном вворачивании винтов, может оказаться, что корпуса транзисторов повёрнуты не той стороной, что необходимо (например, вместо базы транзистор повёрнут выводом коллектора к контактной точке на плате). Из медной лужёной фольги вырезают шайбы и пропускают крепежные винты транзисторов в них, добиваясь нужного положения корпусов транзисторов, при полном вворачивании винтов в радиаторы. Второй способ: для крепления транзисторов в основаниях радиаторов сверлятся отверстия, в ребрах радиаторов фрезеруются углубления под крепёжные гайки с пружинными шайбами, гайки затягиваются после установки положения корпусов транзисторов, торцевыми ключами. Боковые стенки можно выполнить и из толстого листового дюралюминия (толщиной не менее 5 мм), эстетичность при этом потеряется – будут "торчать" крепёжные винты транзисторов и снизится эффект рассеяния тепловой энергии, однако можно подправить ситуацию, установив ряд небольших радиаторов на эти боковые стенки, а крепления транзисторов осуществить (спрятать) между ними. Крепления крышек корпуса можно осуществить через отверстия в торцах толстых материалов как боковых стенок корпуса, так передней и задней, или применить уголки с нарезанной в них резьбой.

## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ



Фото 1

Блок питания монтируется в центральной части корпуса трансвертеров в "глухом" субкорпусе из тонкой листовой стали, для охлаждения возможна перфорация субкорпуса "мелкими" отверстиями.

На **фото 1** представлен внешний вид готовой собранной платы выпрямителя и стабилизатора блока питания.

73!

Рисунок печатной платы в формате .lay (файл [bd20\\_lay.zip](#)) вы можете загрузить с сайта нашего журнала:

<http://www.radioliga.com>  
(раздел "Программы")

### Литература

1. В. Беседин. "ТАНДЕМ". - Радиолюбитель, 2020, №4, стр. 36-40.