Стандарт частоты радиолюбителя

Для того, чтобы не “выехать” за пределы диапазонов, отведённых для проведения любительских радиосвязей, необходимо осуществлять контроль радиочастот. В современных условиях это позволяют осуществлять цифровые шкалы приёмных и передающих устройств, но и они требуют корректировки: с течением времени происходит уход частот тактовых генераторов из-за старения деталей их составляющих, меняется окружающая температура и т. п. Достаточно много аппаратуры у радиолюбителей (а, особенно, у начинающих) вообще не имеет цифровых шкал, а, в лучшем случае, приёмники и передатчики, а также измерительная аппаратура (генераторы сигналов, ГИРы) имеют механические шкалы, где нанесены деления, якобы, обозначающие ту или иную частоту настройки…

Для возможности коррекции частот настройки, приведения их к единому значению, созданы и работают специальные передатчики (стандарты частот), которые круглосуточно излучают колебания со строго определённой частотой, например, 10 или 15 МГц, частоты настройки радиолюбительской и профессиональной аппаратуры сравниваются с этими сигналами и корректируются, обеспечивая точность частот колебаний своих генераторов и/или их синхронизацию. Частоты могут корректироваться и с помощью спутниковых систем позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), но требуют для этого соответствующую аппаратуру.

Довольно давно у радиолюбителей работали, а кое-где и продолжают работать свои индивидуальные стандарты частоты – кварцевые калибраторы, которые, будучи соотнесены по частотам с глобальными стандартами, позволяют очень точно выставлять любую частоту в диапазонах от ДВ (СДВ) до УКВ (СВЧ) включительно.

Основу такого калибратора составляет кварцевый генератор с последующим делителем (делителями) частоты, причём, выдаваемые прибором импульсные сигналы имеют очень крутые фронты и обеспечивают целую сетку маркированных частот, простирающуюся вплоть до СВЧ. Предельные частоты, на которых ещё можно обнаружить сигналы калибратора, зависят от его мощности и крутизны фронтов выдаваемых импульсов, которая зависит в свою очередь от предельных рабочих частот, которые могут обеспечить микросхемы калибратора, малых паразитных емкостей, малых индуктивностей соединительных проводов… Влияние емкостей снижается при низкоомных импедансах входа – выхода каждого активного элемента (здесь, в основном, - делителей), поэтому калибраторы чаще всего выполняют на микросхемах низкоомных ТТЛ серий, стараясь сокращать длину соединительных проводов.

Перейдём непосредственно к принципиальной схеме кварцевого калибратора (Рис. 1).

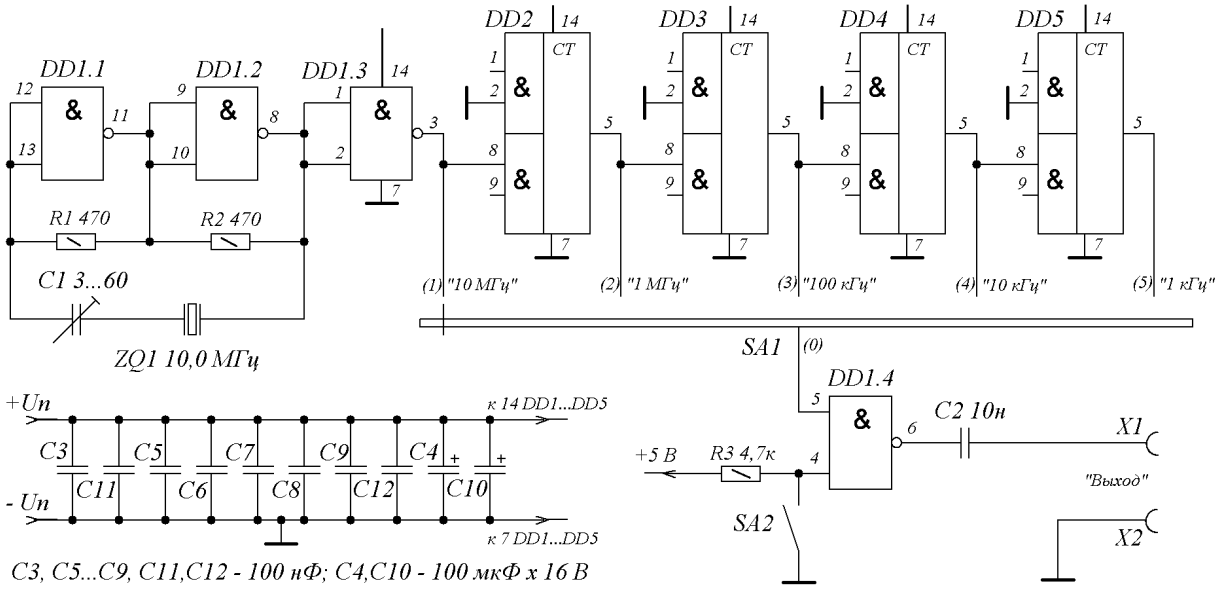

Рис. 1. Кварцевый калибратор. Схема принципиальная электрическая

Кварцевый генератор собран на двух элементах И-НЕ микросхемы DD1, через резисторы R1 и R2 осуществляется отрицательная обратная связь по постоянному току с выхода каждого элемента на его вход, благодаря которой, элементы DD1.1 и DD1.2 переводятся в аналоговый режим (приоткрываются). Любой перепад напряжения, например, при включении питания на входах DD1.1 (выводы 12-13), будет повторен на его выходе (вывод 11), но со сдвигом по фазе на 180 градусов, далее, этот перепад поступает на входы элемента DD1.2 (выводы 9-10) и, будучи ещё раз перевёрнутым по фазе на 180 градусов, оказывается в фазе с входным перепадом напряжения, при соединении вывода 8 DD1.2 со входом DD1.1 – возникает генерация. Для обеспечения генерации на нужной частоте, в цепь обратной связи последовательно включен кварцевый резонатор ZQ1, имеющий малое сопротивление на частоте собственного резонанса (здесь: 10 МГц), для осуществления небольшой регулировки частоты генерации в генераторе, последовательно с ZQ1 включен подстроечный конденсатор C1 (корректор частоты). С вывода 8 DD1.2, через буферный элемент DD1.3, сигнал генератора подаётся на ряд делителей частоты на 10 (DD2…DD5). В качестве делителей частоты применены ИМС с фазоимпульсным представлением информации (скважность выходных сигналов равна 10, что обеспечивает бóльшую амплитуду сигналов гармоник). С выхода каждого делителя (выводы 5), импульсы снимаются и через контакты переключателя SA1 поступают на вход буферного элемента DD1.4 (вывод 5), через разделительный конденсатор C2, выходной спектр калибратора поступает на вход калибруемого приёмного устройства, измерительного прибора. Через вывод 4 DD1.4 производится управление выходом сигнала калибратора, сюда через резистор R3 с плюсовой шины источника питания постоянно подана логическая единица, при этом импульсы с выходов делителей частоты постоянно проходят на выход калибратора. Через кнопку SA2, при замыкании на минусовую шину, на вывод 4 подаётся логический ноль, при этом, сигнал калибратора на выходе отсутствует (полезная функция, при отделении сигнала калибратора от сигналов помех, - при нажатии на SA1, сигнал калибратора исчезает, а помеха остаётся). Через этот вход, при желании, можно осуществить и модуляцию сигнала калибратора от внешнего звукочастотного генератора (через разделительный конденсатор, при этом резистор R3 удаляется, а ЗЧ модулирующий сигнал подаётся на вывод 4 с движка потенциометра, включенного между выходом генератора ЗЧ и общим проводом – уровень модулирующего сигнала нужно подобрать экспериментально).

Итак, кварцевый генератор калибратора выдаёт колебания с частотой резонатора 10 МГц – этот сигнал можно вывести также через переключатель, для чего на плате (Рис. 2) предусмотрен вывод. После делителя на 10 (DD2) получим частоту следования импульсов равную 1 МГц и, далее, после DD3, DD4, DD5 – 100 кГц, 10 кГц и 1 кГц, соответственно. Подключив выход калибратора к антенному входу приёмника, устанавливаем переключатель SA1 в положение 10 МГц, включаем питание и, стараемся принять сигнал калибратора на соответствующей частоте (или гармонике, кратной 10 МГц – 20, 30 и т. д. МГц). Убедившись, что генератор калибратора работает, ко входу приёмника подключаем антенну, находим сигнал одного из стандартов частоты, например, 10 МГц, размещаем отрезок провода, включенный в качестве антенны калибратора, вблизи антенного входа приёмника, уравниваем оба сигнала по амплитуде, перемещая антенну калибратора и, с помощью вращения ротора конденсатора C1, сводим оба сигнала по частоте до появления “нулевых биений” и их исчезновения, при точном соответствии частот и фаз стандарта и генератора калибратора. После этого все частоты выдаваемые калибратором будут точно соответствовать стандартным. Может возникнуть ситуация, когда отсутствует диапазон, на котором работают станции стандартов частот, кратных 10 МГц, но есть другие, например, 15 МГц. Переводим переключатель SA1 в положение “1 МГц”, теперь у нас появится сетка частот кратная 1 МГц и можно “сводить” частоты калибратора и стандарта частот с помощью подстроечного конденсатора C1 (Рис. 1) на частотах 5, 15 или 25 МГц, а при переключении SA1 в положение 100 кГц и на 2,5 МГц, т. е., там, где работают

станции стандартов частоты и времени. Главное, чтобы сигналы станций-стандартов частоты были хорошо слышны в месте приёма и в цикле их работы подавалась чистая несущая (это происходит сеансами два раза в час), в остальных частях цикла передачи присутствуют импульсы, по которым этот калибратор настраивать проблематично. Обратите внимание, возле “круглых” частот работают и ещё передатчики стандартных частот, частоты которых отличаются от, например, 10 МГц (например, RWM – 9996 кГц), будьте внимательны, станции в составе циклов своих работ передают свои позывные азбукой Морзе (также два раза в час). В радиотехнических журналах или в Интернете можно найти справки по этим станциям с позывными и циклами их работ. Если выше упомянутая станция прослушивается хорошо и больше нет возможности принимать другие станции, то “свести” частоты можно установив переключатель SA1 в положение сначала 10 кГц, заметить по шкале приёмника, где будут эти метки через 10 кГц (здесь: 9990 кГц и 10000 кГц), затем, переводим SA1 в положение 1 кГц и, отсчитав, от метки 9990 кГц шесть интервалов, сводим в “нулевые биения” сигналы стандартной частоты 9996 кГц и полученную с калибратора гармонику.
Калибровка калибратора осуществлена, теперь это – точный прибор радиолюбителя – кварцевый калибратор,- стандарт, которому можно доверять и по нему градуировать шкалы приёмопередающей и измерительной аппаратуры.
Как производится градуировка? На градуируемой шкале, например, приёмника, должен быть визир – указатель, который будет показывать в будущем: на какую частоту настроен Ваш приёмник. Ни шкала, ни визир не должны самопроизвольно перемещаться относительно частотозадающего элемента, например, на оси КПЕ.
Включаем питание калибратора, выход калибратора подключаем ко входу приёмника, переключатель SA1 устанавливаем в положение 10 или 1 МГц, в зависимости от того, включает ли диапазон эту частоту (у обзорных приёмников есть и 10, и 20, и 30 МГц). Вращая ручку настройки приёмника CW или SSB сигналов, совмещаем по нулевым биениям сигнал калибратора и ставим риску на шкале против визира (отмечаем, например, 10 МГц), следующая риска встанет на шкалу при частоте настройки приёмника 20 МГц, следующая – 30 МГц и так далее… Частоты через 10 МГц отстоят довольно далеко друг от друга и ошибку в градуировке частоты можно почувствовать даже интуитивно. Далее, переключатель SA1 переводим в положение “1 МГц” и производим градуировку шкалы между уже сделанными рисками через 1 МГц, более мелкие деления можно отмечать меньшими по высоте рисками через 100 кГц (между рисками в 1 МГц) и ещё более мелкими между рисками в 100 кГц – через 10 кГц. Риски через 1 кГц делают обычно или на растянутых шкалах или градуируя расстройки частоты передатчика относительно частоты приёмника (RIT, XIT) или, когда возникает вопрос установки частоты с большой точностью (до кГц). После проведения градуировки, шкалу можно снять и по ней, как по шаблону, изготовить новую в какой-нибудь компьютерной программе, например, в PAINT, Front Designer, Sprint Layout и т. п., отпечатать на лазерном принтере и установить в проградуированный прибор (при наклейке шкалы, следует ещё раз сравнить (во избежание смещения) соответствие её делений с метками, выдаваемыми калибратором).
Приёмники с более узкими диапазонами перестройки следует градуировать, начиная, например, с 1 МГц – интервала (например, 2 МГц – конец диапазона 160 м; 4 МГц – конец диапазона 80 м; 7, 14, 21, 28, 50, 144 МГц – начало диапазонов 40, 20, 15, 10, 6, 2 м, соответственно). Шкалы на других диапазонах градуируются в положениях SA1 с более мелкими интервалами (100, 10 и 1 кГц).

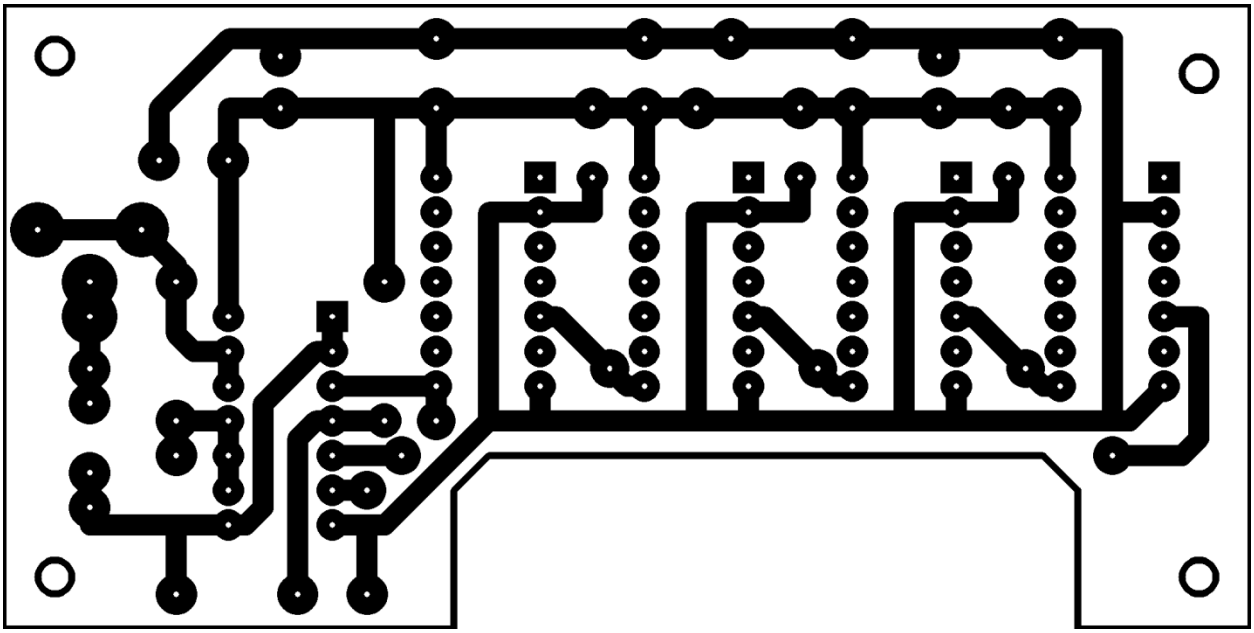

Рис. 2. Эскиз монтажной платы кварцевого калибратора. Вид со стороны печатных проводников. Размер платы 90 х 45 х 1, 5 мм

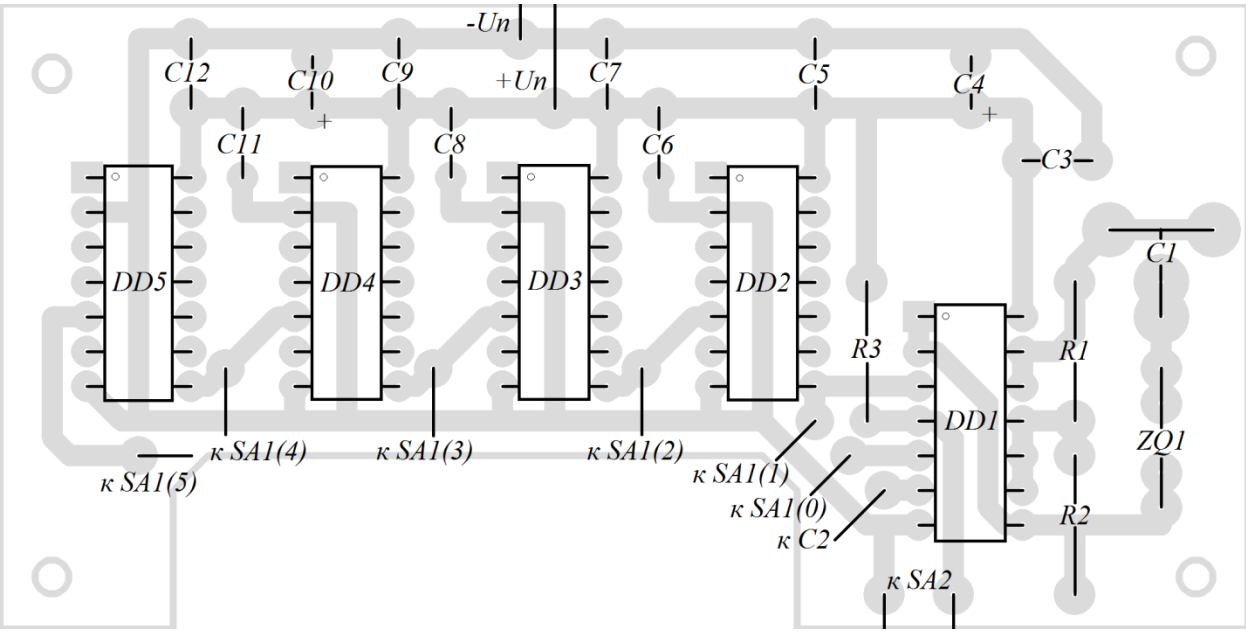

Рис. 3. Эскиз монтажной платы кварцевого калибратора. Вид со стороны установки деталей

В качестве SA1 применён галетный переключатель на 5 положений одно направление. Галета переключателя конструктивно введена в вырез на плате с деталями, выводы её контактов изогнуты в направлении платы и соединены кратчайшим путём жёсткими одножильными проводами с соответствующими точками, обозначенными на Рис. 1 и Рис. 3. Плата калибратора имеет размеры 90 х 45 мм и выполнена из фольгированного (с одной или двух сторон) стеклотекстолита толщиной 1,5 мм, причём, во втором случае, фольга под деталями имеет зенкованные отверстия под выводы деталей, представляет собой электростатический экран, который соединяется с общим проводом только в одной точке – точке присоединения минусового провода питания к плате – мера экранировки на случай большой напряжённости электромагнитного поля в месте работы калибратора и мера уменьшения проникновения сигналов калибрационных интервалов напрямую с делителей. Этому же будут способствовать металлический (желательно из стали) корпус

калибратора и хорошее его заземление на время работы. Внутри корпуса, кроме вышеописанной платы калибратора расположен также стабилизированный и развязанный от сети переменного тока блок питания, состоящий из силового трансформатора, диодного выпрямителя, интегрального стабилизатора и фильтров. Схема блока питания калибратора приведена ниже (Рис. 4). Калибратор потребляет около 500 мА при напряжении 5 В, поэтому батарейное питание его осуществлять вряд ли целесообразно, но оно возможно через соединитель от аккумулятора, имеющего достаточную ёмкость, например, от аккумуляторной батареи напряжением 9 В и ёмкостью 1,2 А/час. Чтобы блок питания кварцевого калибратора в паузах калибровки или профилактической проверки не “простаивал”, можно осуществить его коммутацию для питания других маломощных устройств, например, электронного телеграфного ключа для радиостанции (который, кстати, можно и встроить в корпус калибратора), ГИРа и т. п.

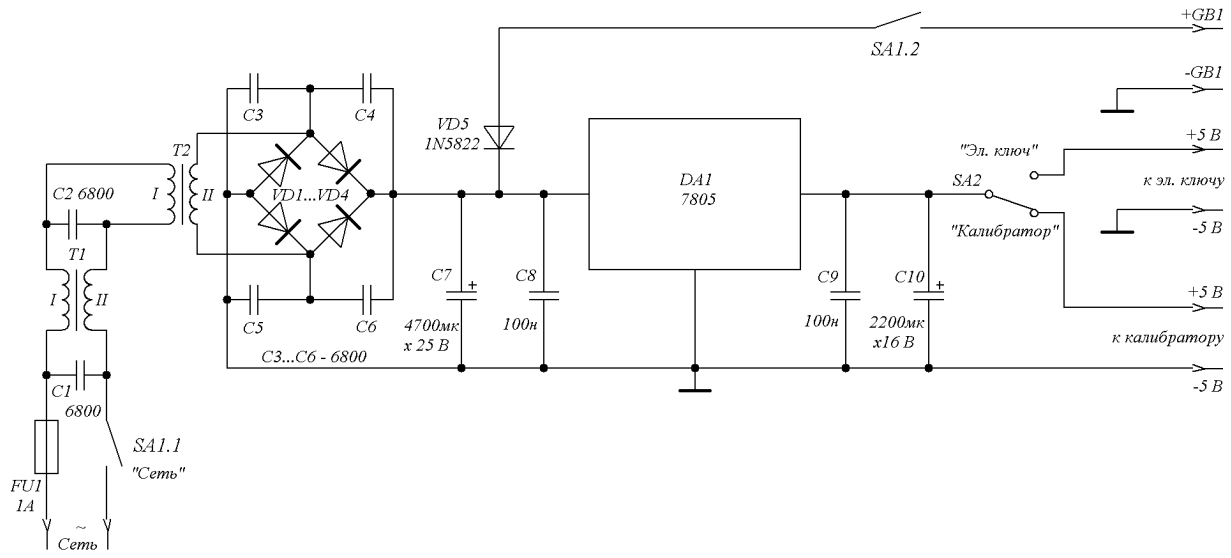

Рис. 4. Блок питания кварцевого калибратора. Схема принципиальная электрическая

Несмотря на простоту, БП можно выполнить и по-другому: например, ввести реверсирование диода VD5 с помощью дополнительного переключателя с целью зарядки резервной батареи GB1(при поступающем от выпрямителя БП напряжении, способном создать зарядный ток GB1) - Рис. 5. Если напряжение с обмотки II T2 избыточное, то его можно погасить, включив в разрыв провода, идущего с обмотки II на диодный мост, или с моста на стабилизатор DA1 лампу накаливания с номинальным рабочим током нити накала 1…2 А. При этом, уменьшится выделение тепла на DA1 и будет мягче включение БП.

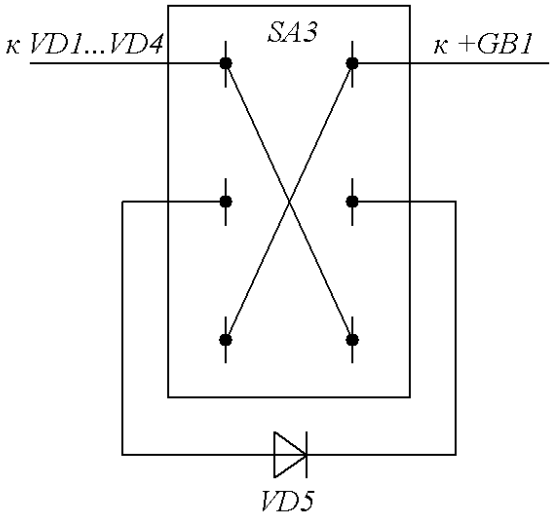

Рис. 5. Реверсирование диода VD5 с помощью дополнительного тумблёра SA3, позволяющего производить переключение в двух цепях одновременно

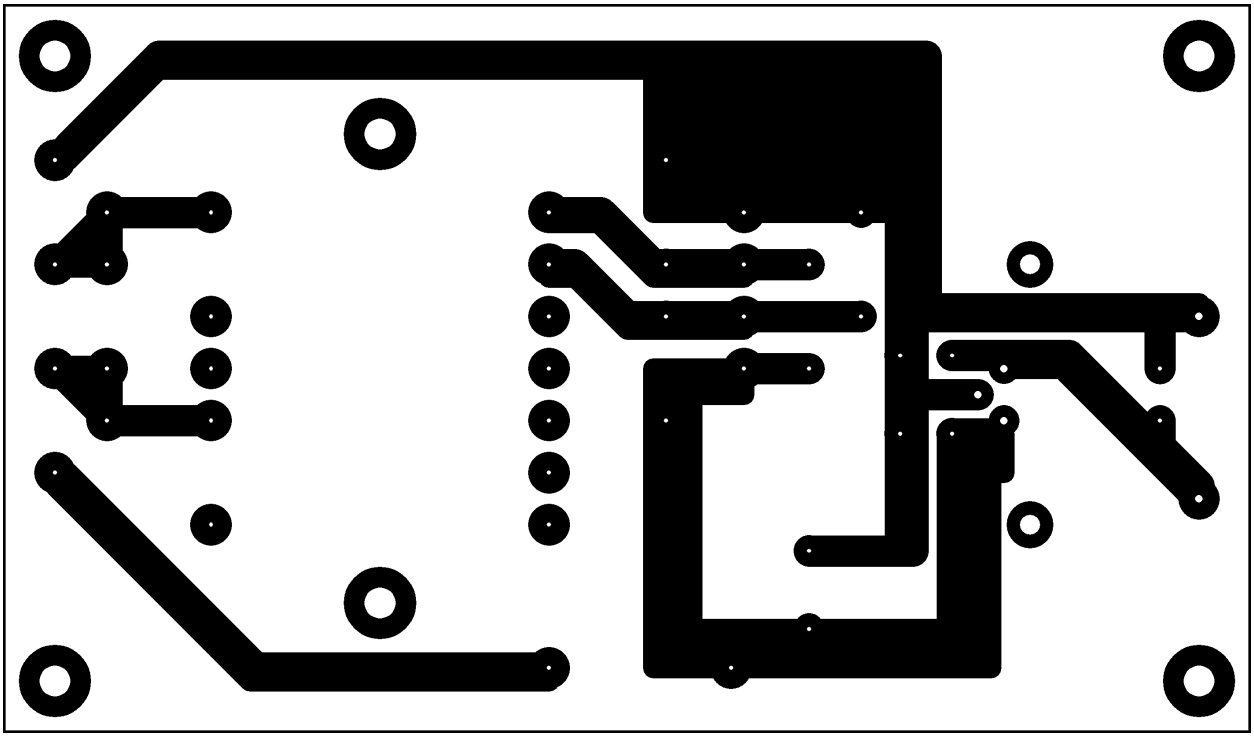

Рис. 6. Эскиз платы блока питания кварцевого калибратора. Вид со стороны печатных проводников. Размеры платы: 120 х 70 х 1,5 мм

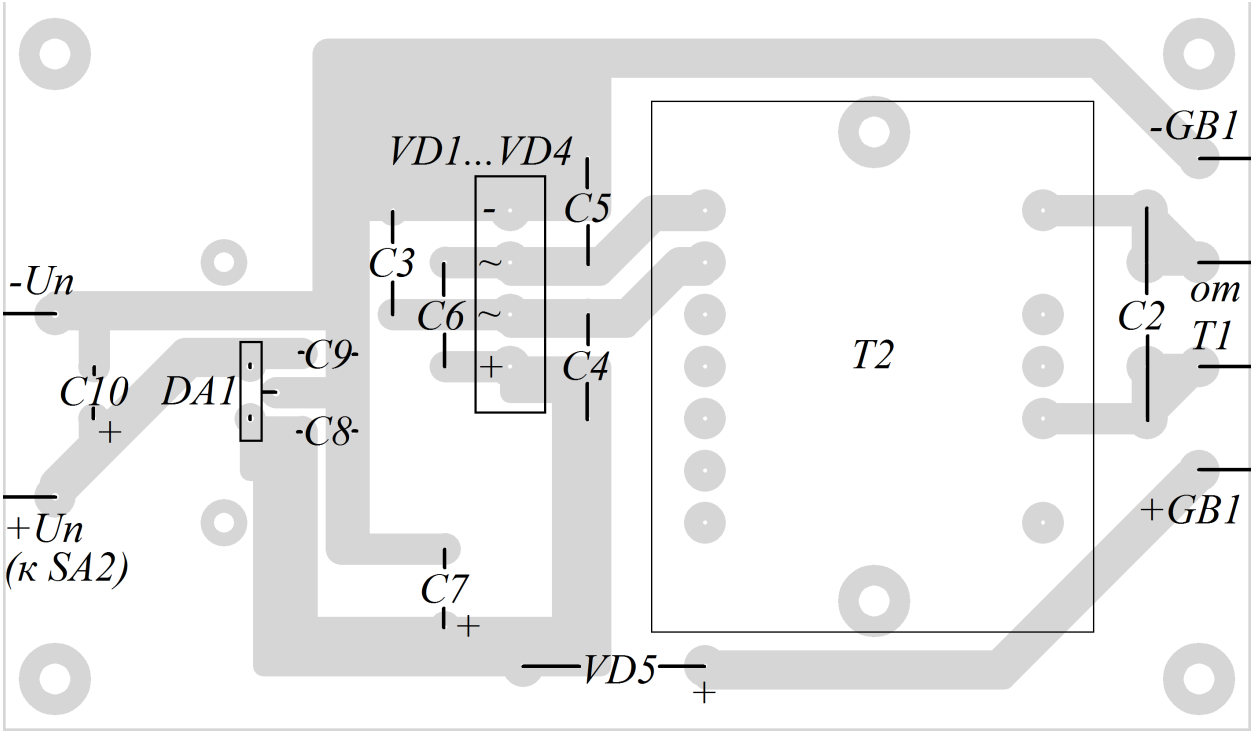

Рис. 7. Эскиз платы блока питания кварцевого калибратора. Вид со стороны установки деталей

Встроенный блок питания вместе с калибратором размещён в металлическом корпусе с внутренними размерами 230 х 100 х 60 мм. На переднюю (торцевую) стенку выведен переключатель спектра калибратора SA1, кнопка блокировки выходного сигнала калибратора SA2 и выходные гнёзда X1 и X2. На задней (торцевой) стенке установлены: кабельный ввод под сетевой провод, держатель предохранителя FU1 и сетевой выключатель блока питания SA1 (Рис. 4) – клавишного типа или тумблёр (сдвоенный тумблёр, если применяется резервная батарея (для одновременного отключения сети переменного тока и резервной батареи, во избежание её разрядки в нерабочем для прибора положении) и, в этом случае, устанавливаются ответные части соединителя для её (резервной батареи) подключения). Переключатель SA2 тоже устанавливается на задней (торцевой) панели корпуса прибора. Конденсатор сетевого фильтра C1 распаян между выводами держателя предохранителя и выключателя сети БП. Рабочее напряжение конденсаторов C1 и C2 БП должно быть не менее 630 В. Трансформатор T1 намотан в один ряд до заполнения на ферритовой трубке от компьютерного монитора или на подходящем ферритовом кольце (диаметром 20 мм и более) из материала 2000НН до заполнения тонким плоским двухпроводным сетевым шнуром или двумя жилками, отделёнными от плоского кабеля (не разделять), применяемого в компьютерной технике, весь узел T1 впаивается между выводами держателя предохранителя FU1 и сетевого выключателя SA1 БП и контактами на плате БП. Конденсатор C2 фильтра установлен на самой плате. В качестве T2 применён силовой унифицированный трансформатор ТП124-2 имеющий сетевую обмотку I (220 В) и понижающую обмотку II с напряжением 9 В и максимальным рабочим током 1,47 А. Конденсаторы постоянной ёмкости – неполярные (кроме C1 и C2, о которых упомянуто выше), например, К10-17 или импортные на рабочее напряжение 50…100 В, полярные – К50-35 или импортные на рабочее напряжение 25 В (C7) и 16 В (C10). Диод VD5 для уменьшения потерь применён с барьером Шоттки (1N5822), он предназначен для подключения внешней батареи GB1, например, для бесперебойного снабжения энергией прибора или при отсутствии сети поблизости. Есть небольшое условие: напряжение батареи должно быть меньше выходного напряжения мостового выпрямителя БП, но не ниже минимального входного напряжения стабилизатора DA1, т. е., здесь 7…9 В. При этом условии, более высокое напряжение с выпрямителя запирает диод VD5 и резервная батарея оказывается отключенной, при

пропадании сетевого напряжения, конденсатор C7 начинает разряжаться, диод VD5 открывается и прибор автоматически подключается для питания от батареи, причём, переход с одного источника питания на другой незаметен, происходит мгновенно, все флуктуации подавлены, благодаря конденсаторам C7 и C8 и стабилизатору DA1, работающему в присущем ему штатном режиме, диоды моста выпрямителя VD1…VD4 оказываются запертыми, приложенным к ним обратным напряжением с резервной батареи GB1 через открывшийся диод VD5 и отключают трансформатор T2. При напряжениях, с выпрямителя и резервной батареи, близких друг к другу, используется совместное питание прибора, причём, потребляемый ток будет больше от того источника, напряжение у которого больше. Диодный мост в схеме выпрямителя серии KBL или RS (автором применён RS-405). Интегральный стабилизатор DA1 применён типа 7805 или отечественный КРЕН-5 (КР142ЕН5), ИМС, для отвода тепла, установлена на стандартный радиатор, крепления которого обозначены на эскизах платы (Рис. 6, 7). Между корпусом ИМС и радиатором помещается термопаста КПТ-8 и ИМС прижимается к радиатору пружинной скобой. Есть один нюанс: у ИМС стабилизатора имеется значительный разброс выходного напряжения, если есть выбор, то желательно подобрать его более точно равным 5 В, при меньшем напряжении, придётся в разрыв между средним выводом ИМС и общим проводом включать диод или цепочку диодов последовательно (в прямом прохождению тока включении), при этом, напряжение на выходе стабилизатора увеличивается. И ещё: если БП предполагается использовать и как лабораторный источник питания, то на его выходе следует установить дополнительный предохранитель на ток 1…1,5 А.

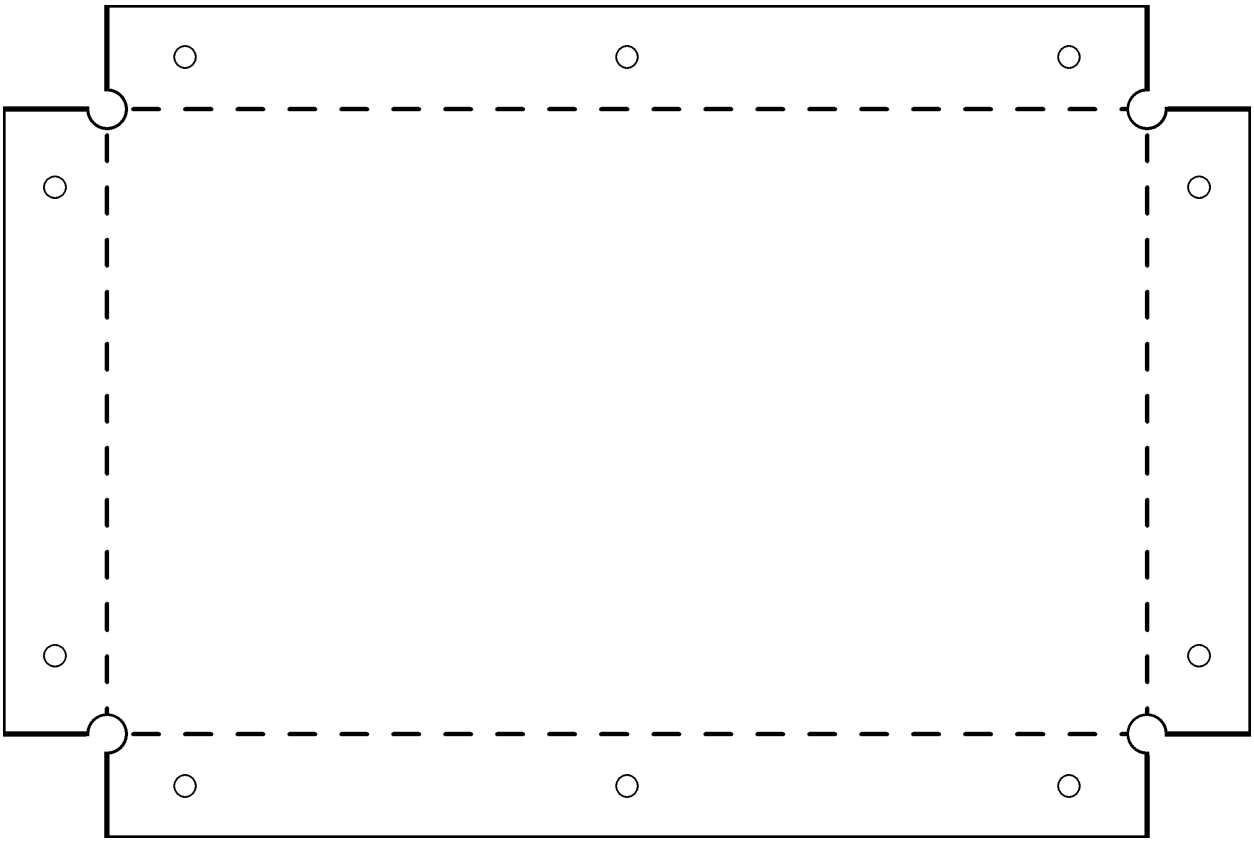

Рис. 8. Эскиз развёртки торцевой стенки корпуса калибратора. Размеры (до мест сгиба) 100 х 60 мм, для скрепления с панелями корпуса используются 10 отверстий с резьбой М3

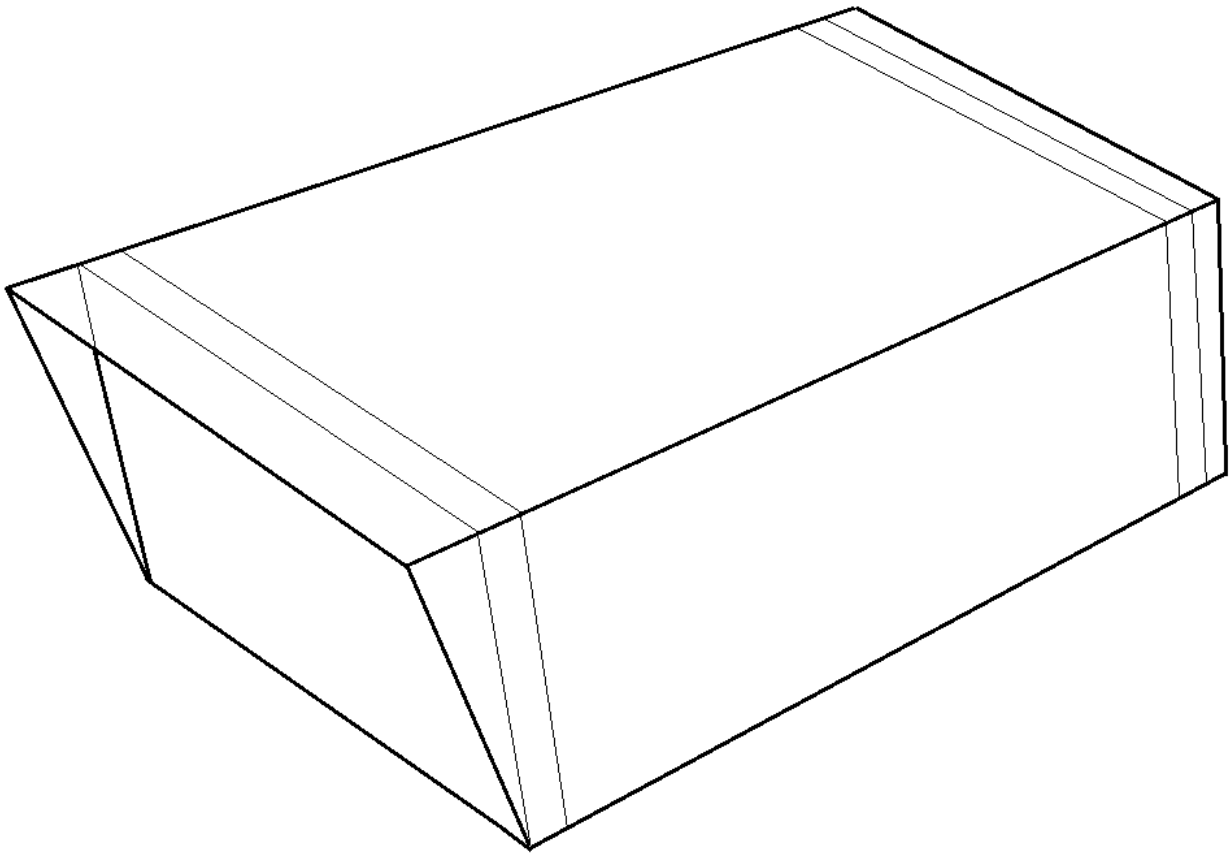

Рис. 9. Эскиз корпуса калибратора, тонкими линиями показаны места установок торцевых стенок для образования “козырьков” косого – с фронтальной части и прямого – с тыльной.

Внутренние размеры корпуса 230 x 100 x 60 мм. Корпус изготавливается из листового дюралюминия толщиной 2 мм или листовой стали толщиной 0,5…0,8 мм. Торцевые части корпуса (загнутыми частями внутрь корпуса) устанавливаются в места, указанные на Рис. 8, для образования “козырьков”. В торцевых частях по месту сверлятся отверстия и нарезается резьба М3, для большей прочности резьбы в дюралюминиевые торцевые панели можно вставить стальные пустотелые заклёпки с резьбой, а в стальных произвести вытяжку металла бородком, просверлив отверстия в 1,5..2 мм и нарезать резьбу. Всё механическое скрепление всех панелей корпуса производится с помощью 20 винтов М3 с головкой “впотай” на торцовых панелях, при этом, например, при панелях из дюралюминия толщиной 2 мм, прочность корпуса оказывается достаточной для использования в качестве настольной конструкции. Если требуется повышенная прочность корпуса, то следует сделать загибы сверху и снизу у боковых панелей и скрепить их с верхней и нижней панелями с помощью винтов в отверстия с нарезанной в них резьбой, есть вариант, при котором изготавливаются три торцевых панели, одна из них монтируется внутри корпуса между блоком питания и калибратором и крепится также винтами, при этом, жёсткость корпуса повышается и появляется экран между БП и калибратором. Верхняя и нижняя панели корпуса монтируются внахлёст на боковые, при аккуратной обработке и исключении деформации панелей, внешний вид конструкции оказывается ничуть не хуже цельногнутой или сварной с последующей обработкой. К нижней панели можно привернуть или приклеить ножки или полоски из толстой резины. Вообще-то, стандарт частоты в более широком понятии, чем рассматривается в данной статье, устройство довольно сложное и предусматривает защиту от многих факторов, могущих тем или иным образом повлиять на “святое святых” частоту высокостабильных колебаний, вырабатываемых генератором и устройство - неподсильное для рядового радиолюбителя. Для комнатной температуры радиолюбительского “шэка” вышеописанный прибор вполне приемлем и справляется с поставленной ему задачей – выдачей дискретных высокостабильных колебаний в широком спектре частот.

Точные (подетально) размеры составляющих корпуса сознательно не приведены, при его изготовлении, сначала вырезаются и загибаются по размерам торцевые панели (Рис. 8), затем, по ним уже производится вырезание верхней, нижней и боковых панелей по рекомендациям, изложенным выше.

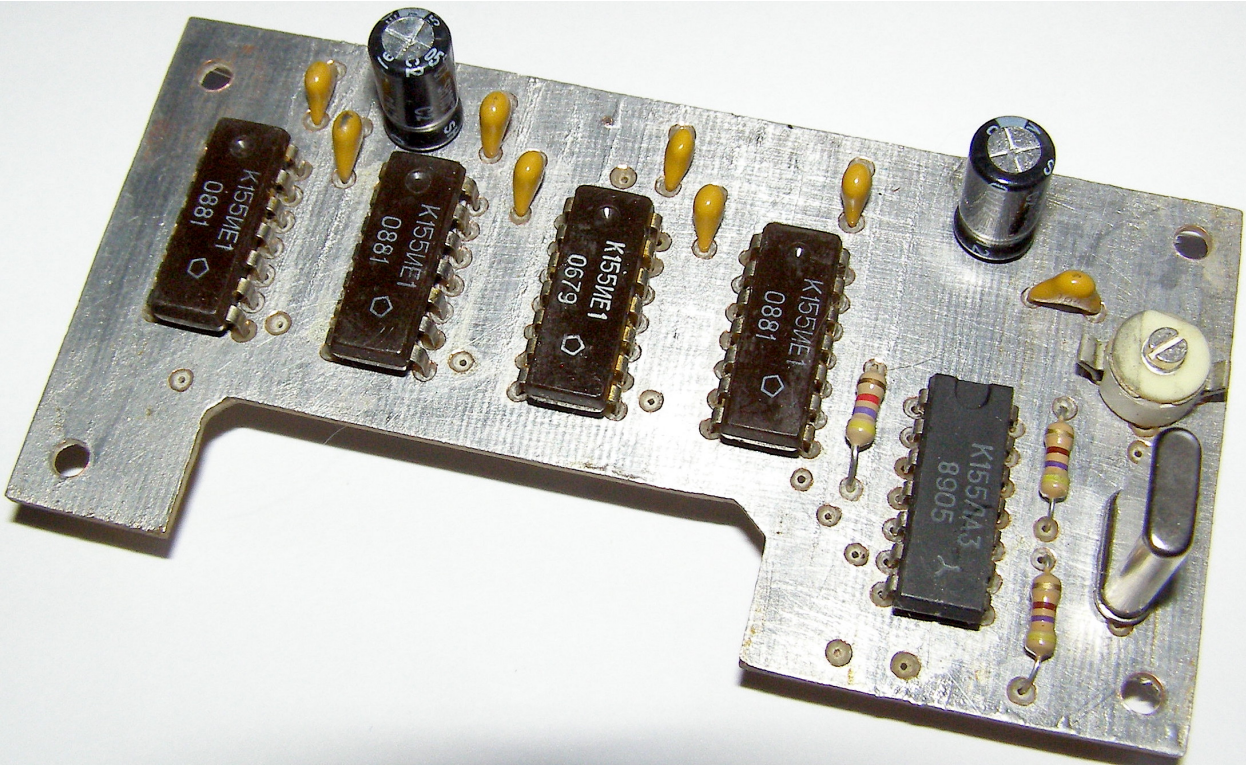

Рис. 10. Фото собранной платы калибратора

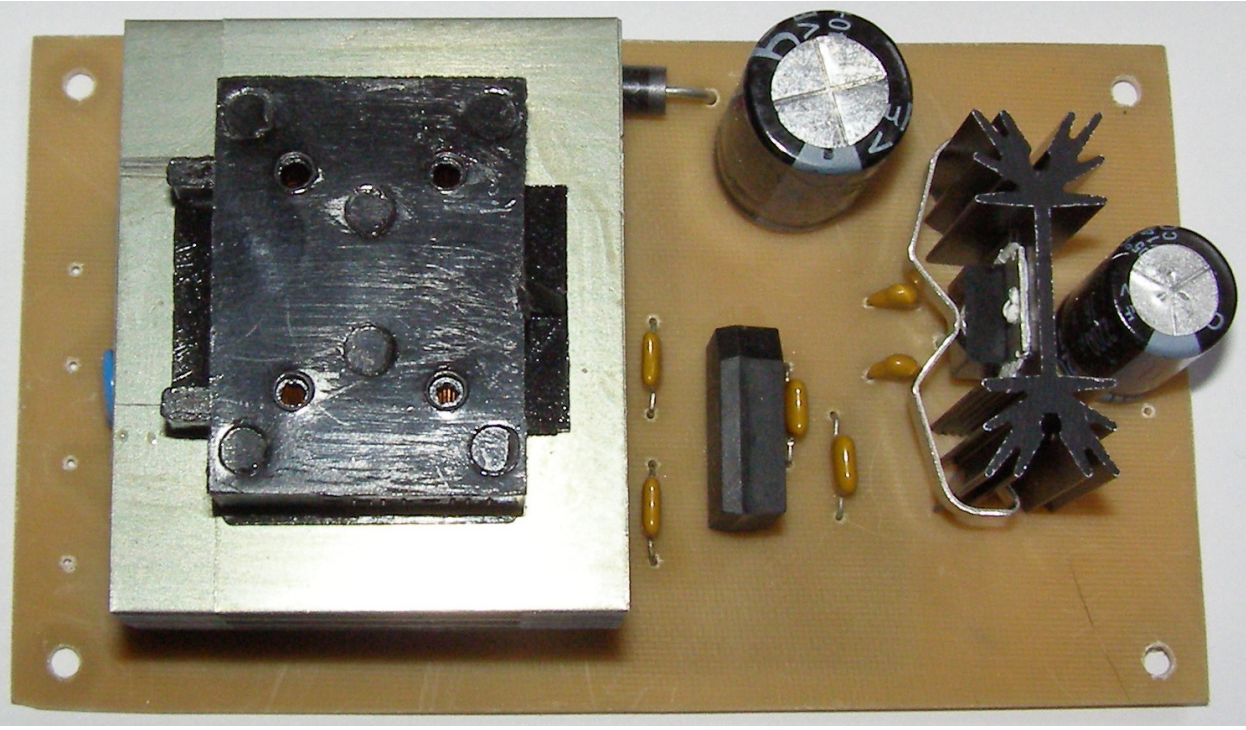

Рис. 11. Вид на собранную плату блока питания калибратора

Литература:

1. Стандарты частот в эфире - http://www.cqham.ru/trx_18_22.htm
2. Иркутский эфиролов - http://www.irkutsk.com/radio/tis_ru.htm
3. История системы передач эталонных сигналов частоты и времени в России - http://mendeleevo-i.narod.ru/sigtime.html
4. Эталонные частоты и сигналы точного времени - http://www.phviewer.ru/index.php/11-articles/125-etalonnye-chastoty-i-signaly-tochnogo-vremeni.html
5. Архив конференции журнала РАДИО - http://www.radio.ru/archive/oldbbs/connect/thread23874.shtml
6. Эталонные частоты сигналов точного времени - http://forum.yaesu.ru/index.php?topic=8246.0

Виктор Беседин (UA9LAQ)
г. Тюмень