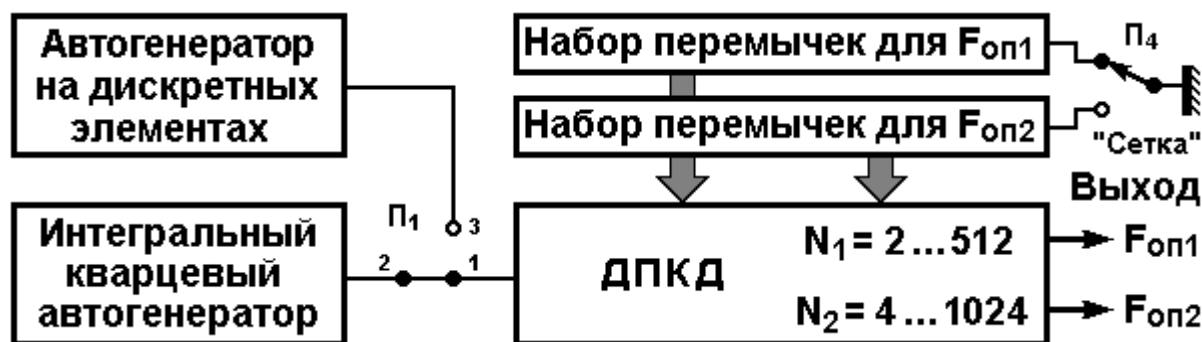


Опорный генератор для СЧ и ВЧ синтезаторов радиочастот

Сергей Комаров (UA3ALW)

Опорный генератор предназначен для формирования сигналов двух стабильных частот для разных сеток в различных цифровых синтезаторах. В частности, он может быть использован в составе синтезаторов для индивидуального радиовещания при формировании как средневолновой вещательной сетки 9 кГц (для диапазона 1449 – 1800 кГц), так и коротковолновой 5 кГц (для диапазона 2000 – 26100 кГц). Область применения опорного генератора этим не ограничивается. Возможность использовать интегральные генераторы и кварцевые резонаторы на различные частоты совместно с широким диапазоном коэффициентов деления позволяет использовать эту конструкцию для очень многих применений. Стабильность частоты определяется примененным термокомпенсированным кварцевым генератором ГК321-ТК-К-9М-5В фирмы «БМГ-кварц» и составляет $0,5 \times 10^{-6}$ в диапазоне температур минус $10^{\circ} \dots +60^{\circ}\text{C}$.

Структурная схема опорного генератора включает в себя кварцевый генератор и делитель с переменным коэффициентом деления, программируемый переключаемыми наборами переключателей, соответствующими двум коэффициентам деления для формирования разных опорных частот (двух сеток частот синтезатора). Первый коэффициент деления может быть выбран любым четным в диапазоне от 2 до 512, второй – любым, кратным 4 в диапазоне от 4 до 1024. Выбор коэффициента деления (сетки частот) производится переключателем на 2 положения П₄ «Сетка». Возможно также использование управляющего сигнала с ТТЛ уровнями.



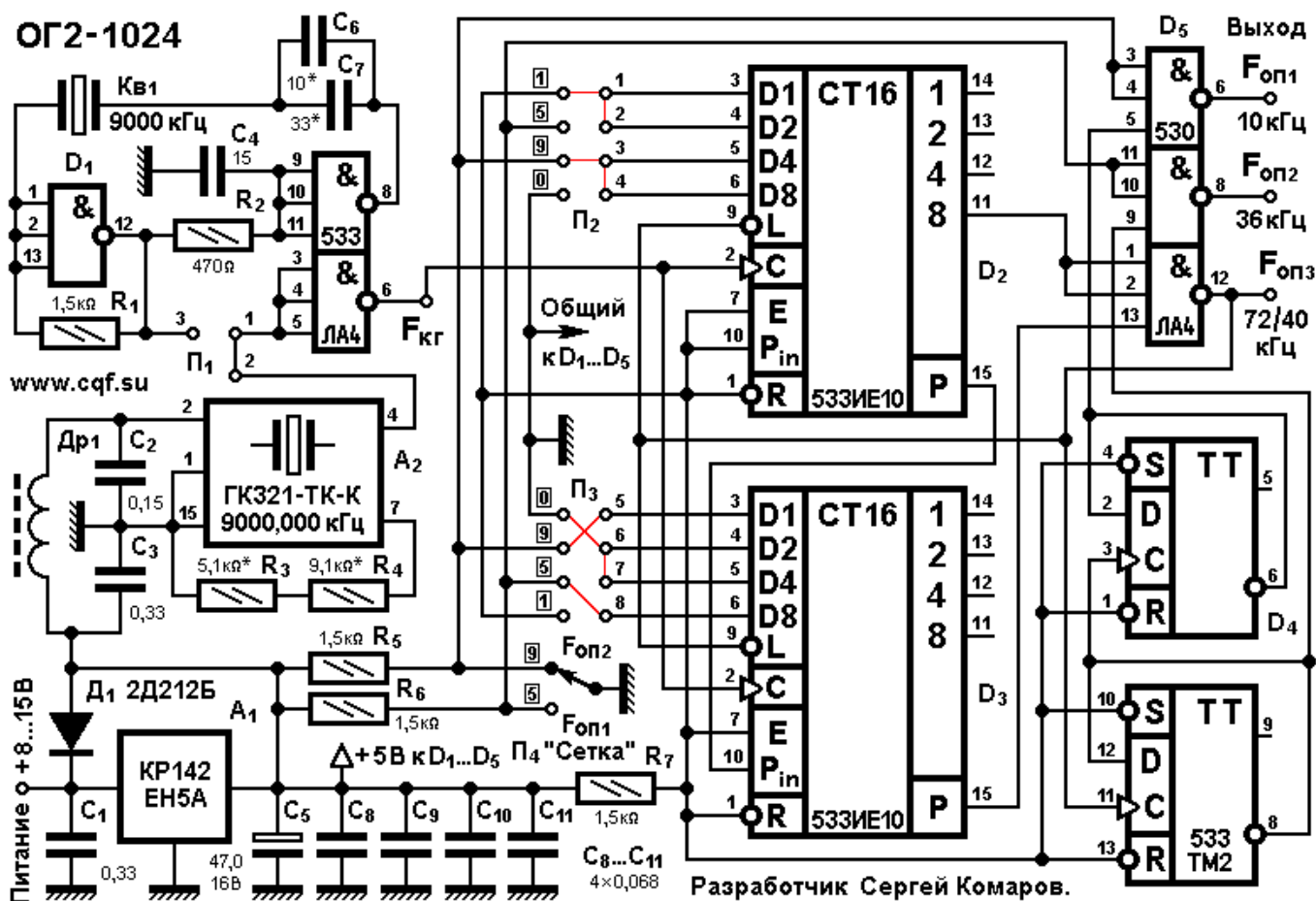
В случае невозможности приобретения интегрального высокостабильного кварцевого генератора, его можно заменить на автогенератор, собранный на дискретных элементах и ИС, который также имеется в предлагаемой схеме. Однако стабильность формируемых частот будет хуже. Выбор используемого кварцевого генератора производится с помощью переключки П₁.

Принципиальная схема. Интегральный термокомпенсированный кварцевый генератор А₂ типа ГК321-ТК-К-9М-5В включен по схеме рекомендованной предприятием изготовителем. Дополнительно цепь его питания развязана ВЧ дросселем Др₁ и двумя блокировочными конденсаторами С₂ и С₃. Нагрузкой генератора является буферный каскад на логическом элементе ЗИ-НЕ включенном инвертором ИС 533ЛА4 (D₁).

Альтернативный кварцевый генератор выполнен на двух ТТЛ элементах той же ИС (D₁) по схеме несимметричного мультивибратора с кварцем в цепи обратной связи. Во втором плече мультивибратора используется интегрирующая цепочка (R₂C₄) с частотой среза 2F_{кв} для предотвращения возбуждения кварцевого резонатора на гармониках. При использовании кварцевых резонаторов на другие частоты емкость интегрирующего конденсатора С₄ должна быть пересчитана в обратной пропорции. То есть, для кварцевого резонатора на частоту 4,5 МГц она должна составлять 30 пФ.

Программируемый делитель частоты выполнен на двух параллельных синхронных двоичных счетчиках 533ИЕ10 (D₂D₃) и двух триггерах микросхемы 533ТМ2 (D₄). По переполнению (переход из 255 в 0), на выходе переноса старшего счетчика D₃ формируется сигнал логической единицы, который приходит на вход 13 D₅. Сигнал с выхода старшего разряда младшего счетчика D₂ (вывод 11), поступающий на входы 1 и 2 D₅, при каскадировании ИС счетчиков предотвращает десинхронизацию (накопление задержки) отрицательного фронта импульса переноса, что улучшает стабильность фронта выходных импульсов и, как следствие, снижает фазовый шум выходного сигнала опорного генератора. Результирующий сигнал инвертируется логическим

элементом и с вывода 12 D₅ поступает на синхронные входы параллельной загрузки (9) счетчиков D₂ и D₃, заранее установленным кодом с перемычек. По пришествии следующего синхроимпульса производится загрузка, и дальнейший счет начинается с загруженного числа.



К примеру, если на все D входа счетчика подать потенциал логической единицы, то при переполнении в него будет записываться состояние 255 и досчитать до нового переполнения ему останется лишь единицу. То есть, в этом случае мы получим коэффициент деления $256 - 255 = 1$. При других логических комбинациях запарянных на перемычках, в счетчик будет записываться некое число X, которое будучи вычтенным из полного числа счета 256 даст искомый коэффициент деления. $N = 256 - X$. На выходе счетчика с переменным коэффициентом счета установлен дополнительный двухразрядный двоичный счетчик на D триггерах (D₄), который добавляет к коэффициенту счета или множитель 2 (получаем N₁), или множитель 4 (получаем N₂). При включении переключателя П₄ в положение Fоп₁ на шину [9] поступит потенциал логического нуля и все D входы счетчиков соединенные с ней сменят потенциал с единицы на ноль. Аналогичное действие произойдет при включении переключателя П₄ в положение Fоп₂, с той лишь разницей, что потенциал логического нуля поступит на шину [5]. Таким образом, имея 4 шины:

- [0] – ноль в обоих случаях N₁ и N₂;
- [1] – единица в обоих случаях N₁ и N₂;
- [9] – ноль для N₁ и одновременно единица для N₂;
- [5] – ноль для N₂ и одновременно единица для N₁;

можно запрограммировать на перемычках две восьмиразрядных логических комбинации и переключать их с помощью одной группы контактов П₄ или попеременной подачей логического нуля на шины [9] и [5]. Помимо управления коэффициентом деления, шины [9] и [5] управляют буферными логическими элементами повышенной мощности ИС 530ЛА4 (D₅), подключая к выходу опорного генератора либо выход первого, либо второго D триггера 533TM2 (D₄). Таким образом, на выходах D₅ формируется последовательность импульсов с частотой Fоп₁ (вывод 6 D₅), либо с частотой Fоп₂ (вывод 8 D₅).

В схеме также присутствует дополнительная возможность использовать любой коэффициент деления в диапазоне от 1 до 256 через 1 (Fоп₃), но этот выходной сигнал имеет форму не меандра (как у Fоп₁ и Fоп₂), а коротких положительных импульсов, длительностью в один период Fкв.

Питается вся схема от встроенного стабилизатора напряжения на микросхеме А1 КР142ЕН5.

Программирование коэффициента деления. Допустим, что мы хотим использовать этот опорный генератор для синтезатора С9-1449-1800¹. Для него опорная частота должна быть 45 кГц. В этом случае частоту кварцевого генератора надо поделить в $9000 / 45 = 200$ раз. Отдав 4 раза на счетчик на 533ТМ2, получим, что на ДПКД приходится 50 раз. Максимальный коэффициент счета восьмиразрядного двоичного счетчика – 256. Чтобы он считал до 50, необходимо при каждом переполнении записывать в него комбинацию $X = 256 - 50 = 206$. В двоичном коде это число будет иметь следующую комбинацию:

$$X = 206 = 128 \times 1 + 64 \times 1 + 32 \times 0 + 16 \times 0 + 8 \times 1 + 4 \times 1 + 2 \times 1 + 1 \times 0 = 1100\ 1110.$$

Поскольку для синтезатора С9-1449-1800 вторую опорную частоту формировать не надо, то набор перемычек П₂ и П₃ будет таким (младший разряд кода у счетчика сверху по схеме):

$$П_{2-1} - [0]; П_{2-2} - [1]; П_{2-3} - [1]; П_{2-4} - [1]; П_{3-5} - [0]; П_{3-6} - [0]; П_{3-7} - [1]; П_{3-8} - [1].$$

В этом случае второй набор перемычек не будет задействован и переключатель П₄ «Сетка» будет переключать лишь выходы дополнительного делителя, на одном из которых будет меандр с частотой 45 кГц, а на другом – 90 кГц.

Если же мы хотим запрограммировать ДПКД для получения двух опорных частот, например, 10 и 36 кГц (удвоенная КВ сетка 5 кГц и учетверенная СВ сетка 9 кГц²), тогда более низкую частоту будем формировать на втором выходе с дополнительным делителем на 4), а более высокую – на первом с дополнительным делителем на 2.

Для $F_{оп1} = 36$ кГц: Коэффициент деления $N_1 = 9000 / 36 = 250$. С учетом дополнительного делителя на 2 на долю ДПКД приходится $250 / 2 = 125$. Чтобы он считал до 125 в него каждый раз при переполнении надо записывать число $X = 256 - 125 = 131$. В двоичном коде:

$$X = 131 = 128 \times 1 + 64 \times 0 + 32 \times 0 + 16 \times 0 + 8 \times 0 + 4 \times 0 + 2 \times 1 + 1 \times 1 = 1000\ 0011.$$

Для $F_{оп2} = 10$ кГц: Коэффициент деления $N_2 = 9000 / 10 = 900$. С учетом дополнительного делителя на 4 на долю ДПКД приходится $900 / 4 = 225$. Чтобы он считал до 225 в него каждый раз при переполнении надо записывать число $X = 256 - 225 = 31$. В двоичном коде:

$$X = 31 = 128 \times 0 + 64 \times 0 + 32 \times 0 + 16 \times 1 + 8 \times 1 + 4 \times 1 + 2 \times 1 + 1 \times 1 = 0001\ 1111.$$

Далее подпишем два полученных двоичных числа друг под другом и сравним поразрядно:
131 = 1000 0011,

$$31 = 0001 1111. \text{ Имеем:}$$

- старший разряд соединяем с шиной [5] – ноль для N_2 и одновременно единица для N_1 ;
- седьмой разряд соединяем с шиной [0] – ноль в обоих случаях N_1 и N_2 ;
- шестой разряд также соединяем с шиной [0] – ноль в обоих случаях N_1 и N_2 ;
- пятый разряд соединяем с шиной [9] – ноль для N_1 и одновременно единица для N_2 ;
- четвертый разряд соединяем с шиной [9] – ноль для N_1 и одновременно единица для N_2 ;
- третий разряд соединяем с шиной [9] – ноль для N_1 и одновременно единица для N_2 ;
- второй разряд соединяем с шиной [1] – единица в обоих случаях N_1 и N_2 ;
- младший разряд соединяем с шиной [1] – единица в обоих случаях N_1 и N_2 ;

Далее выполняем перемычки, учитывая, что П₂₋₁ – младший разряд, а П₃₋₈ – старший.

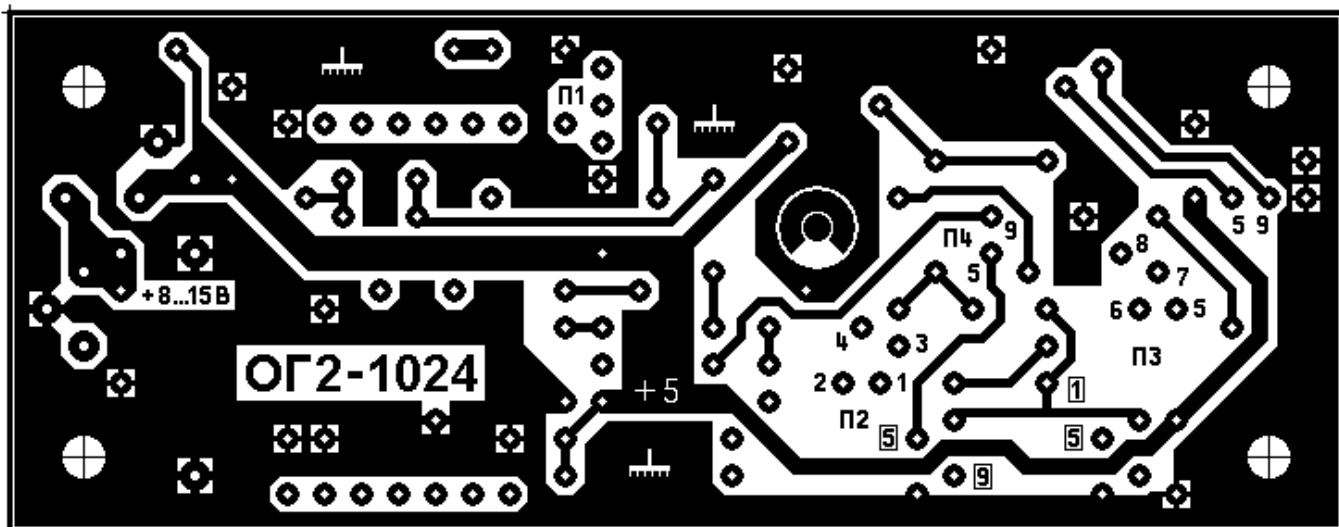
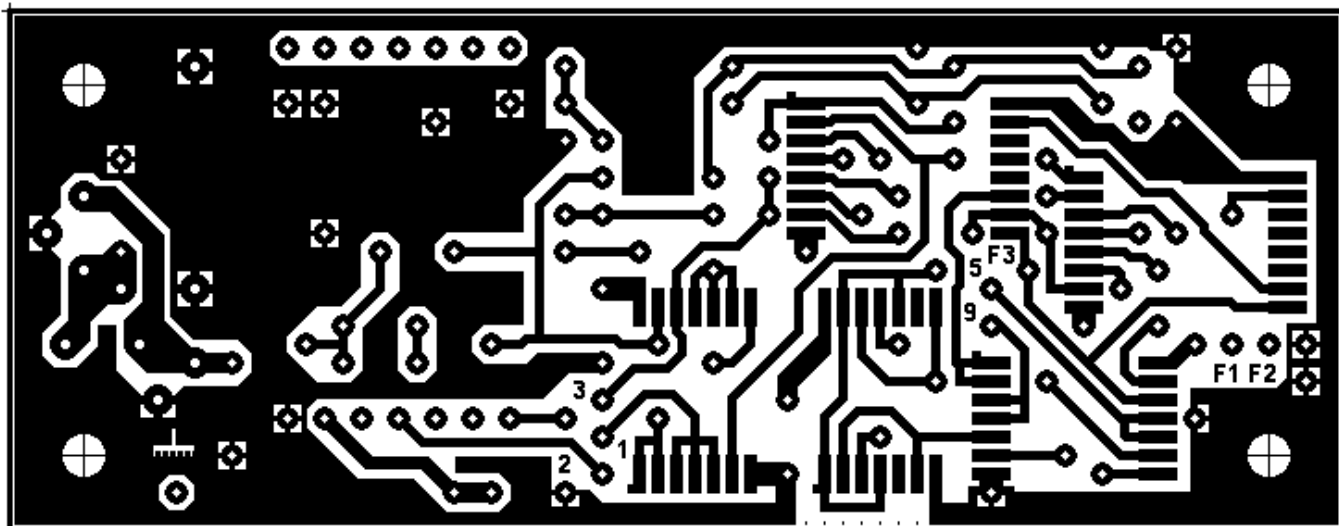
Если же у Вас кварцевый генератор имеет другую частоту, кратную 5; 9 и 4 одновременно (это необходимо для формирования радиовещательных КВ и СВ сеток частот и с учетом дополнительного делителя на 2 и 4) или вы собираетесь его использовать для иных применений, то Вам придется эти расчеты выполнить самостоятельно под свои исходные данные.

Если же вместо перемычек П₂ и П₃ установить в схему два переключателя на 16 положений и с помощью их контактов формировать код загрузки, то получится многочастотный калибратор.

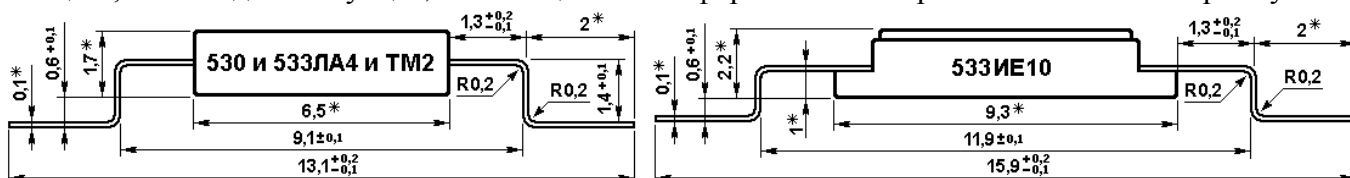
Конструкция. Опорный генератор рассчитан на широкое повторение и выполнен на двухсторонней печатной плате заводского изготовления размерами 90 x 35 мм, толщиной 1,5 мм с металлизированными отверстиями. При самостоятельном изготовлении печатной платы в домашних условиях придется выводы деталей пропаивать с обеих сторон, а в отверстия перехода печатного проводника с одной стороны на другую, впаять перемычки. Поскольку в данной конструкции применены микросхемы с планарным расположением выводов, то отверстий в плате не так уж много и ее самостоятельное изготовление по лазерно-уточной технологии вполне реализуемо.

¹ С. Комаров, «Средневолновый радиовещательный синтезатор частоты», «Радио» 2012 № 9 и 10.

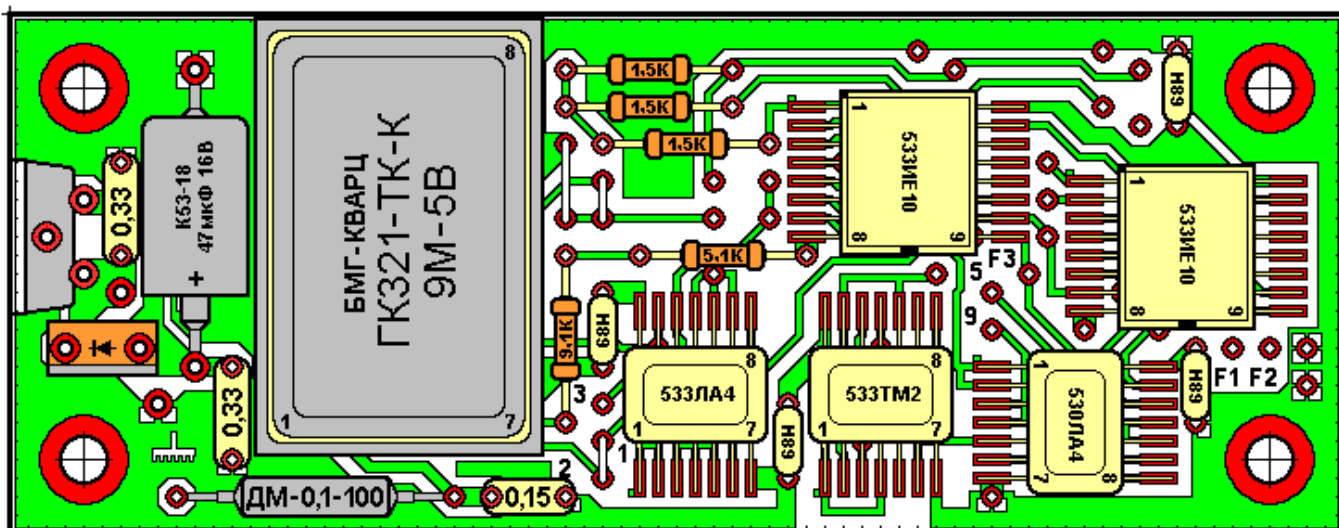
² Такие опорные частоты необходимы для синтезаторов С5-2000-7995-4; С9-1449-1800-4 и С9-1449-1800-2.



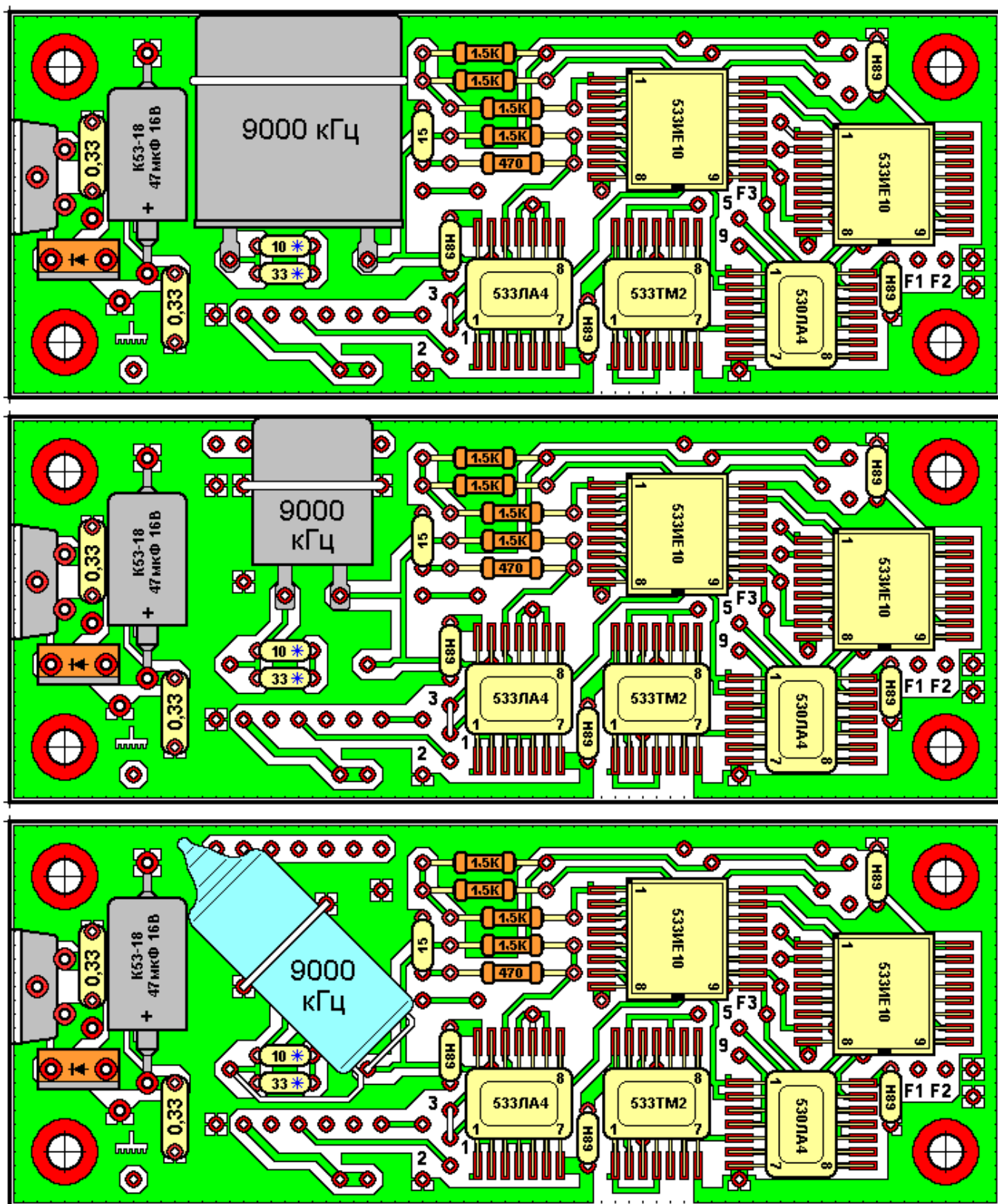
Перед установкой микросхем на плату их выводы необходимо отформовать с помощью пинцета, тонких длинногубцев, или специального формовочного приспособления по чертежу:



В конструкции опорного генератора предусмотрена возможность установки на ту же самую печатную плату, как интегрального кварцевого генератора, так и кварцевых резонаторов разных типоразмеров и дополнительных дискретных элементов. Расположение деталей и перемычек на плате с интегральным кварцевым генератором приведено на рисунке:

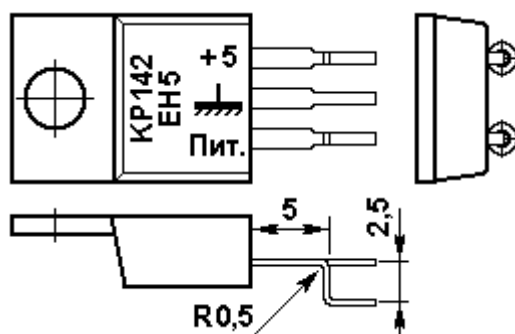


Расположение деталей и перемычек на той же самой плате, соответствующих автогенератору с кварцевыми резонаторами в трех вариантах корпусов и с дополнительными дискретными элементами показано на следующих рисунках:



При установке на плату кварцевых резонаторов в металлических корпусах под них необходимо подложить изолирующую прокладку из стеклотекстолита или толстого картона. Кварцевый резонатор в стеклянном баллоне следует перед установкой обмотать тремя – четырьмя слоями лакоткани. Крепеж кварцевых резонаторов осуществляется хомутиком из медной луженой проволоки, диаметром 0,6 – 0,7 мм, одетой в тонкий кембрик или во фторопластовую трубочку, диаметром 1 мм, запаянной в натяг в предусмотренные крепежные отверстия.

Детали. Резисторы МЛТ-0,125 или С2-23. Конденсаторы К10-17-16 и К53-18. Последний можно заменить на К50-35 или аналогичный импортный (например, фирмы Jamicon) с выводами в одну сторону. Для этого в плате имеется дополнительное отверстие для минусового вывода. Конденсатор с выводами на одну сторону можно установить как лежа, так и стоя. Защитный диод: КД212Б, КД106А (что предпочтительнее) или любой кремниевый на ток не менее 500 мА. Стабилизатор напряжения КР142ЕН5А или 7805. Формовка его выводов показана на рисунке:



Дроссель - ДМ-0,1 на индуктивность 100...150 мкГ. В конструкции желательно использовать термокомпенсированный интегральный кварцевый генератор ГК321-ТК-К-9М-5В фирмы «БМГ-кварц» (<http://www.bmg-quartz.ru/tcxo.html>). О его замене на кварцевые резонаторы сказано выше. Конструкцию желательно собрать на печатной плате заводского изготовления. Фотошаблоны уже разработаны фирмой МЭЛТ (<http://www.melt.com.ru>) и плату можно заказать под названием ОГ2-1024. Впрочем, как и плату упомянутого выше синтезатора С9-1449-1800.

В данной конструкции в зависимости от ее конкретного применения можно использовать интегральные кварцевые генераторы того же производителя и на другие частоты не выше 20 МГц.

Настройка. В случае использования интегрального кварцевого генератора, после включения, необходимо точно подобрать величину корректирующего сопротивления, набранного из последовательного соединения двух резисторов R₃ и R₄ - 5,1 и 9,1 кΩ в соответствии со значением, указанным в паспорте на конкретный экземпляр генератора. Точная корректировка частоты производится по частотомеру с помощью подбора номинала сопротивлений при температуре 20°C. Возможно, потребуется изменение номиналов обоих резисторов, чтобы в сумме получить точное значение.

В случае использования кварцевого резонатора и генератора на дискретных элементах, точная частота генерации устанавливается с помощью двух конденсаторов С₆ и С₇. Здесь также возможно изменение обоих номиналов, чтобы их сумма соответствовала точному значению частоты генерации.

В конструкции специально не используются подстроечные резисторы и конденсаторы для исключения нестабильности подвижного контакта и повышения надежности работы.

Предлагаемая универсальная конструкция открывает возможность для инженера или радиолюбителя собрать схему синтезатора (для которого используется этот опорный генератор) с любым, имеющимся кварцем, проверить его работу, после чего заказать интегральный генератор на точную частоту и установить его на той же плате.

Литература:

1. С. Комаров, Средневолновый радиовещательный синтезатор частоты, «Радио» 2012 № 9 и 10.
2. Кварцевые генераторы компании «БМГ-кварц». <http://www.bmg-quartz.ru/tcxo.html>