

# Средневолновый радиовещательный синтезатор частоты

Сергей Комаров, UA3ALW,  
Радиостанция «Зеленый глаз»<sup>1</sup>

*Синтезатор предназначен для работы в качестве задающего генератора передатчика для индивидуального радиовещания, и разработан в порядке реализации Рекомендаций круглого стола «Индивидуальное (любительское) радиовещание в России»<sup>2</sup>, прошедшего 18 ноября 2009 года при поддержке Федерального Агентства по печати и массовым коммуникациям.*

**Параметры.** В диапазонах 200 метров (1449 – 1620 кГц) и 180 метров (1629 – 1800 кГц) синтезатор формирует сетку из 40-а радиочастот с шагом 9 кГц, принятом для радиовещания на средних и длинных волнах в соответствии с Международным Регламентом Радиосвязи<sup>3</sup>. Частота (номер канала, кратный 9 КГц) набирается на двух переключателях. На каждом из двух своих противофазных выходов синтезатор выдает половинную частоту с половинной сеткой частот для построения тракта формирования несущей на более низкой частоте, чтобы в предвыходном каскаде передатчика (в удвоителе) перейти на рабочую частоту, а затем подать сигнал на выходной каскад. Такое техническое решение применено для увеличения устойчивости передатчика, улучшения повторяемости и упрощения его наладки в любительских условиях.

Стабильность частоты обеспечивается опорным кварцевым генератором на частоту 90 или 180 кГц и при использовании вакуумного резонатора, при комнатной температуре составляет  $1,5 \times 10^{-6}$ . С использованием внешнего делителя частоты в синтезаторе можно использовать любые кварцевые резонаторы, которые при делении дают точный номинал частоты 45 кГц. Для подключения внешнего делителя частоты или внешнего опорного генератора на плате синтезатора предусмотрен разрыв цепи сигнала опорной частоты (перемычка ПЗ). Синтезатор выполнен на микросхемах серий ТТЛ. Форма выходного сигнала и его параметры оптимизированы под удобство и простоту построения следующих каскадов АМ радиопередатчика.

Питается синтезатор от нестабилизированного источника с напряжением 15 – 20 вольт, потребляя ток 150 мА (не считая тока выходных ключей). Габаритные размеры 120 x 104 x 40 мм.

Поскольку одной из главных целей Индивидуального радиовещания, как любительской деятельности, является увлечение, воспитание и начальное образование будущих специалистов в области радиотехники, радиосвязи и радиовещания, данное описание выполнено с объяснениями теоретических аспектов, и детальным изложением принципов работы устройства. Оно может быть использовано, как одно из пособий при подготовке к квалификационному экзамену по радиотехнике для начинающих и опытных индивидуальных радиовещателей.

**Структурная схема** (Рис. 1). Синтезатор выполнен на основе схемы фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ) аналогового высокочастотного автогенератора (ГУН) с последующим делением частоты сформированного сигнала до нужного номинала. Для формирования сетки частот используется делитель с переменным коэффициентом деления (ДПКД) в цепи обратной связи.

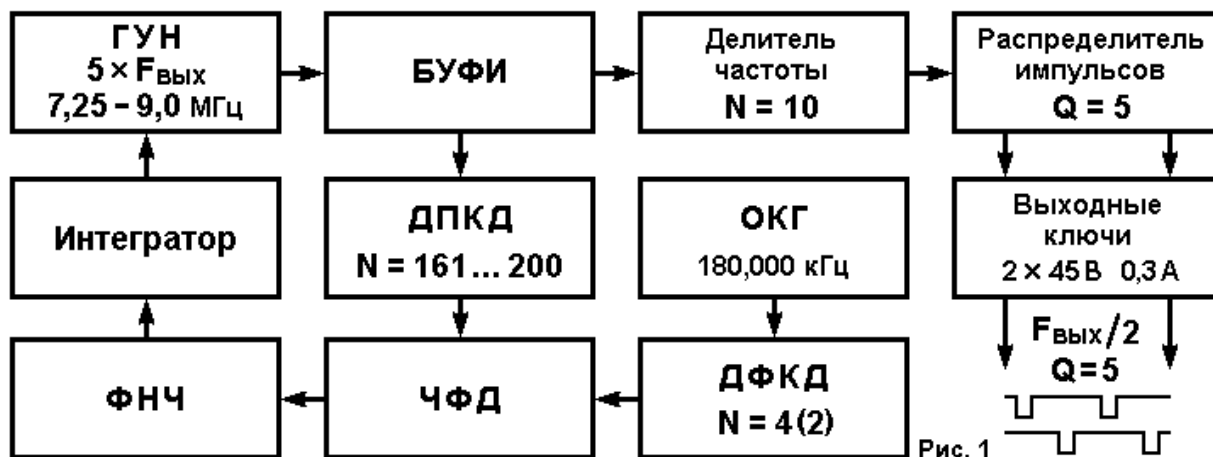


Рис. 1

<sup>1</sup> Радиовещательный позывной, зарегистрированный, как название средства массовой информации: Радиопрограмма «Зеленый глаз». Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС77-37059 от 6 августа 2009 г. Подробнее здесь: <http://www.cqf.su/greeneye1.html>

<sup>2</sup> Полный текст Рекомендаций: <http://www.cqf.su/stuff/confrec.html>

<sup>3</sup> Русское издание (ITU) Регламента Радиосвязи 2004 года. Выложено здесь: <http://www.cqf.su/links.html>

Синтезатор включает в себя три структурных звена:

- **канал основного сигнала:** Генератор, управляемый напряжением (ГУН), Буферный усилитель – формирователь импульсов (БУФИ), Делитель частоты с  $N = 10$ , Распределитель импульсов на две последовательности со скважностью 5 и выходной каскад с ключевыми транзисторами.

- **канал опорной частоты:** Опорный кварцевый генератор (ОКГ) и Делитель с фиксированным коэффициентом деления (ДФКД), чтобы получить нужный номинал опорной частоты.

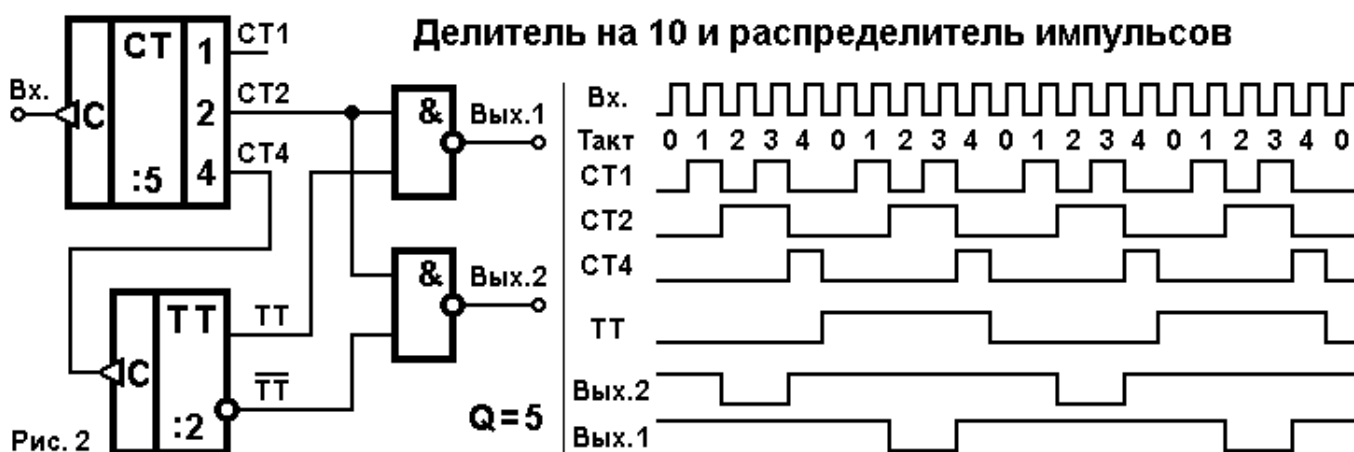
- **петля обратной связи:** Делитель с переменным коэффициентом деления (ДПКД), цифровой Частотно-фазовый детектор (ЧФД), аналоговый Фильтр нижних частот (ФНЧ), аналоговый Интегратор, выполненный на операционном усилителе, сигнал с которого управляет варикапами в ГУН.

**Работа структурной схемы.** Для синтезатора выбрана частота формирования в пять раз выше выходной частоты. Это сделано для ослабления влияния наводок с выхода передатчика на работу ГУН. При таком соотношении частот также удобно формировать на выходе синтезатора две парафазных последовательности импульсов со скважностью 5 на половинной частоте, путем деления и последующего распределения импульсов. Выходной сигнал синтезатора такой формы выбран для того, чтобы значительно упростить построение следующих каскадов передатчика и сократить их количество. Одновременно с этим, деление частоты после ее формирования, сокращает уровень фазовых шумов синтезатора в коэффициент деления раз, что важно для формирования качественного радиовещательного сигнала.

**Канал опорной частоты.** Поскольку формирование сетки частот идет на пятикратной частоте, то, опорная частота должна быть также в пять раз выше, чем шаг сетки частот, и составляет  $9 \times 5 = 45$  кГц. Высокостабильные вакуумные кварцевые резонаторы на столь низкую частоту имеют сравнительно большие габариты и неудобны в эксплуатации. Поэтому в схеме присутствует ДФКД, обеспечивающий применение кварцевого резонатора на вдвое или вчетверо большую частоту: 90 или 180 кГц.

**Канал основного сигнала.** Генерирует пятикратную частоту (7,25 – 9,0 МГц), преобразует синусоидальные колебания в импульсы со скважностью<sup>4</sup>, близкой к двум (меандр), делит частоту в 10 раз до получения половинной частоты, распределяет импульсы через один для получения скважности 5 на две парафазных последовательности и обеспечивает два мощных выхода, переключающих токи до 300 мА при напряжении до 45 вольт. Такой уровень выходного сигнала необходим, чтобы коммутировать цепи катодов радиоламп предвыходного каскада передатчика.

Собственно, изюминкой этой схемы является идея формирования на выходе синтезатора двух парафазных последовательностей импульсов половинной частоты со скважностью 5 (Рис. 2).



Счетчик (делитель) на 10 построен из счетчика на 5, работающего в коде 1-2-4 и счетного триггера (счетчик на 2), причем, сначала сигнал подается на вход счетчика на 5. Согласно логике работы такого счетчика на его выходе СТ2 имеется последовательность импульсов, период которых равен пяти периодам входного сигнала, а длительность положительного импульса равна двум периодам. То есть, скважность импульсов равна 2,5. Если такую последовательность «рассчитать на

<sup>4</sup> Скважность – отношение периода следования импульсов к их длительности. Если  $Q = 5$ , то импульс короче периода в 5 раз. При длительности импульса равной половине периода (скважность – 2), их последовательность называется меандр.

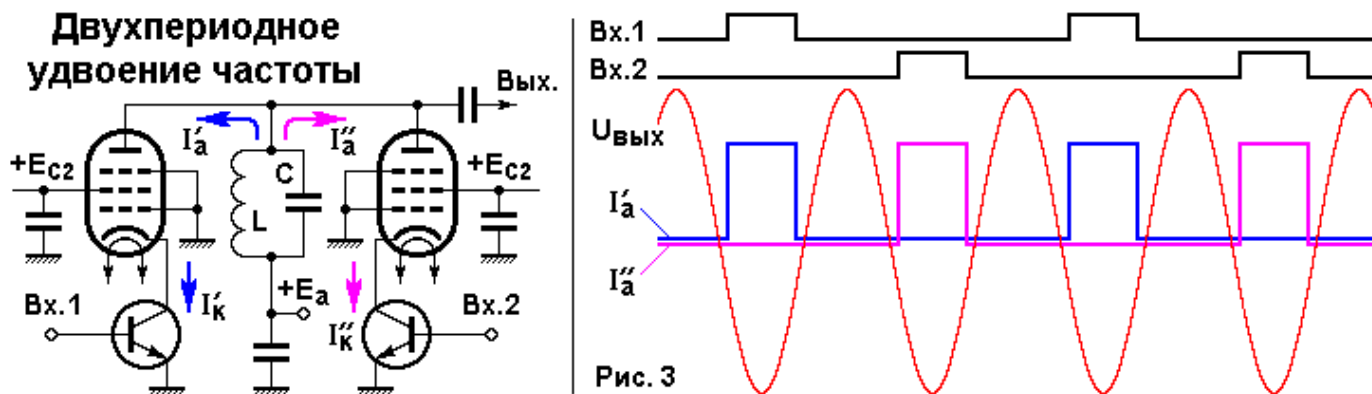
первый-второй» и «первые» и «вторые» импульсы направить каждый на свой выход, то в результате получатся две последовательности импульсов, каждая со скважностью 5.

Рассчитывает импульсы на «первый-второй» счетный триггер (делитель на 2). Далее, на двух логических элементах 2И-НЕ выполнен распределитель импульсов. На первые входа обоих логических элементов поступает последовательность с выхода СТ2, а вторые выходы коммутируются счетным триггером в противофазе. Таким образом с выхода логических элементов мы имеем две последовательности импульсов с выхода СТ2, но разобранные через один. То есть, с частотой в два раза меньшей, чем на выходе СТ2. Однако, что замечательно, – обе выходных последовательности сдвинуты по фазе относительно друг друга ровно на половину периода.

А вот теперь – самое интересное. Зачем все это нужно.

- Половинная частота выхода синтезатора (разумеется, и с половинной сеткой номиналов частот) нужна для того, чтобы дальнейший усилительный тракт передатчика не работал бы весь на одной частоте, и его даже в любительских условиях, при непрофессионально выполненном монтаже, можно было бы сделать устойчивым к самовозбуждению. То есть, частота синтезатора в дальнейших каскадах передатчика должна удваиваться. Как правило, удвоение частоты производится в предвыходном каскаде уже при значительной мощности сигнала (единицы ватт) и таким образом тракт усиления сигнала выходной частоты содержит всего один каскад. Обратим внимание, что в аналоговых узлах синтезатора нигде нет каскадов, работающих на выходной частоте и подверженных, таким образом, наводкам мощного сигнала с выхода передатчика.

- Скважность последовательности импульсов, равная пяти близка к оптимальной при возбуждении колебательного контура удвоителя частоты прямоугольными импульсами. То есть, в ламповом удвоителе частоты, при подаче импульса тока, равного по длительности  $1/5$  части периода резонансной частоты, в его контуре после каждого импульса будут возникать два периода автоколебаний. Теперь вспомним, что у нас имеются две последовательности таких импульсов, сдвинутых по фазе относительно друг друга на половину периода. Иными словами, у нас есть возможность с помощью второго источника тока (второй лампы) подпитать контур удвоителя во время второго периода автоколебаний, сделав, таким образом, двухпериодный удвоитель частоты.



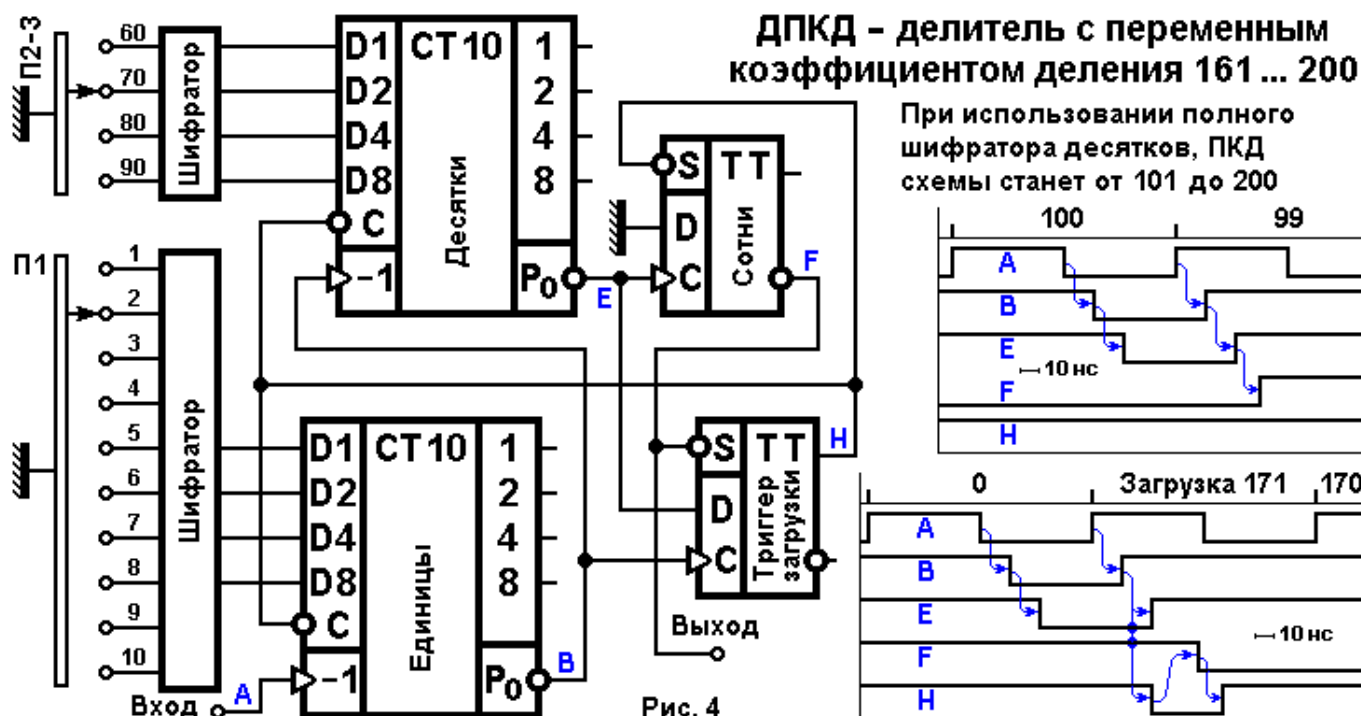
Достоинства такой схемы: отсутствие в спектре выходного сигнала половинной частоты и в два раза большая мощность. Эти достоинства позволяют полностью изъять из передатчика тракт усиления на половинной частоте, подключив вход удвоителя (катоды лампы) непосредственно к выходу транзисторных ключей синтезатора (Рис. 3). Это также дает возможность сократить число резонансных колебательных систем в передатчике до одной (в выходном каскаде) при высокой степени чистоты спектра сигнала на выходе передатчика. Применение этого синтезатора позволяет собрать простой, двухламповый, АМ радиопередатчик вполне доступный радиолюбителям и индивидуальным вещателям среднего уровня квалификации.

Мощность транзисторных ключей синтезатора выбрана достаточной для управления по цепи катода такими радиолампами, как 6Ж4, 6Ж4П, 6Ж5П, 6Ж11П, 6П15П, 6П9, 6П37Н или иными ВЧ пентодами, имеющими отдельный вывод защитной сетки, или тетрами; импульс тока катода которых не превышает 300 миллиампер и напряжение запираения лампы не более минус 45 вольт. Для использования в этой схеме непригодны радиолампы, в которых защитная сетка соединена с катодом внутри баллона, а также почти все лучевые тетроды (кроме 6П45С), у которых лучеобразующие пластины также соединены с катодом.

**Петля обратной связи.** Обеспечивает привязку частоты выходного сигнала синтезатора к опорной частоте с точностью до фазы. Текущий коэффициент пересчета ДПКД определяется

соотношением номинала выходной частоты и шагом сетки частот. Число значений ПКД определяется диапазоном перестройки синтезатора, то есть, числом рабочих частот. В нашем случае ПКД изменяется от 160 до 199 плюс 1 на такт загрузки кода КД. Набор частоты в этом случае можно выполнить на двух переключателях: на десять положений – «единицы» и на 4 положения – «десятки». Для синтезатора радиовещательного передатчика, где нужно встать на выбранную частоту и далее не сдвигаться с нее в течение нескольких часов ведения радиопередачи, необходимо обеспечить жесткую фиксацию номинала частоты, поэтому регуляторы с плавной перестройкой здесь нежелательны. В данном синтезаторе фиксация выбранной рабочей частоты достигается набором коэффициента деления с помощью механических переключателей.

Принцип работы ДПКД основан на использовании вычитающих счетчиков с возможностью параллельной записи в них, как в регистр, начального числа. То есть, во время начального такта в счетчик записывается число (требуемый КД) после чего с каждым тактом счета (с каждым входным импульсом) идет вычитание по единичке. Когда текущее число достигает нуля, ДПКД дает команду на новую параллельную запись в счетчик числа, набранного на переключателях. Такт загрузки начального числа добавляет к общему коэффициенту пересчета единичку. Поэтому коэффициент деления получается на единичку больше, чем реально набранное на переключателях число. Для нашего случая это даже удобно.



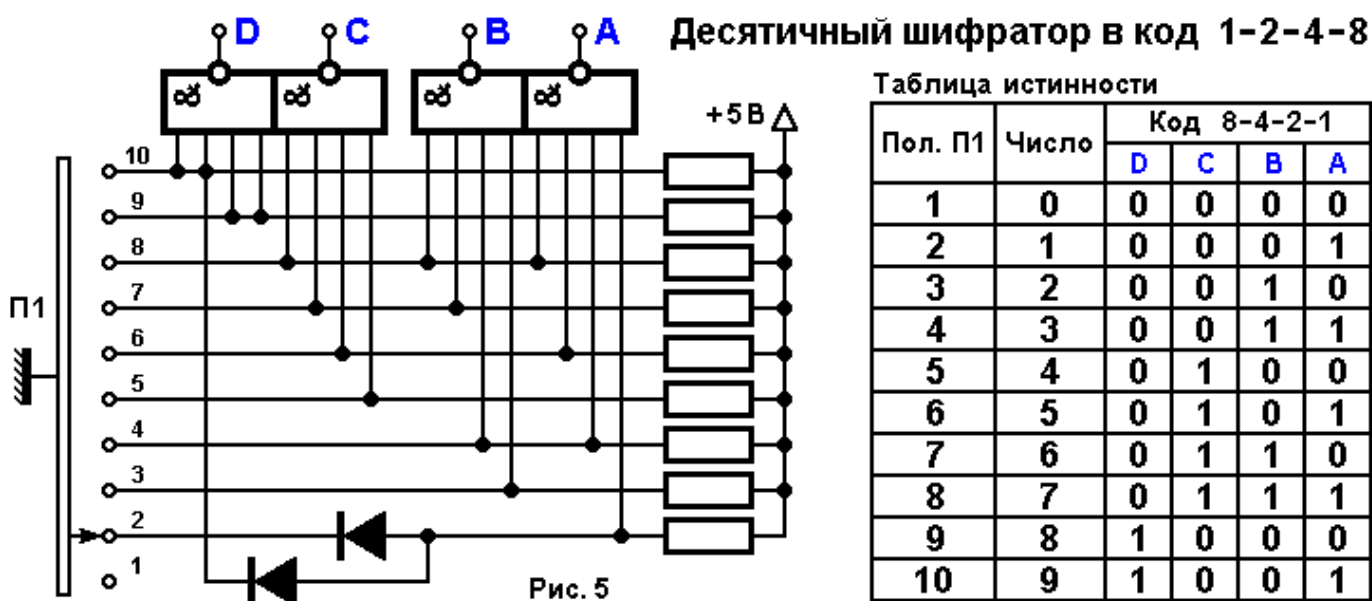
Теперь посмотрим, как все это работает (Рис. 4). Из предварительно записанного в счетчики числа текущего значения КД (на схеме, на переключателях П1 и П2-3 показано значение 72; добавляем 100 – старший разряд синтезатора, и вычитаем единицу, получаем КД = 171) с каждым проходящим входным импульсом происходит вычитание по единичке. Когда текущее значение числа достигнет 100 (верхняя временная диаграмма на Рис. 4) и во второй половине такта входной сигнал (А) установится в значение логического нуля, на выходе P<sub>0</sub> сначала счетчика единиц (В), а затем и счетчика десятков (Е) сформируется нулевой импульс. Эти импульсы запаздывают друг относительно друга и от входного импульса на величину задержки формирования сигнала переноса счетчиками (временной масштаб для микросхем 533/555 серий указан на временных диаграммах). Положительным фронтом окончания каждый импульс (А и В) завершит последующий (счетчики включены последовательно), а импульс с выхода переноса десятков (Е) установит старший разряд счетчика «сотни», имеющий всего два значения и поэтому выполненный в виде триггера, в положение 0. Соответственно, на его инверсном выходе (F) установится единица. Поскольку на входе S триггера загрузки присутствует логический ноль (F), устанавливающий его в единицу, то он не реагирует на сигналы (В и Е) по входам D и С. Далее оба счетчика продолжают вычитать до значения 0. Во второй половине нулевого такта (нижняя временная диаграмма на Рис. 4) будут опять сформированы два импульса переноса, но в этот раз триггеру загрузки единичным уровнем сигнала F на его входе S будет разрешено работать по входам D и С, и он запишет в себя нулевой

уровень (E) по входу D. На выходе триггера загрузки (H) появится нулевой потенциал, который по входам параллельной загрузки С запишет в счетчики число, набранное на переключателях, и по входу S установит триггер сотен в значение 1. Это вызовет появление логического нуля на его инверсном выходе (F), который установит триггер загрузки в положение 1 (H), зафиксировав этим введенные в счетчики начальные значения ПКД с переключателей, и запретит триггеру загрузки реагировать на сигналы по входам D и С.

Далее счетчик снова начнет с каждым пришедшим входным импульсом вычитать из занесенного в него числа по единичке. И так будет продолжаться все время, пока работает синтезатор. При изменении положения переключателей П1 или П2-3, со следующего периода работы счетчика изменится записываемое в него число и поменяется коэффициент деления.

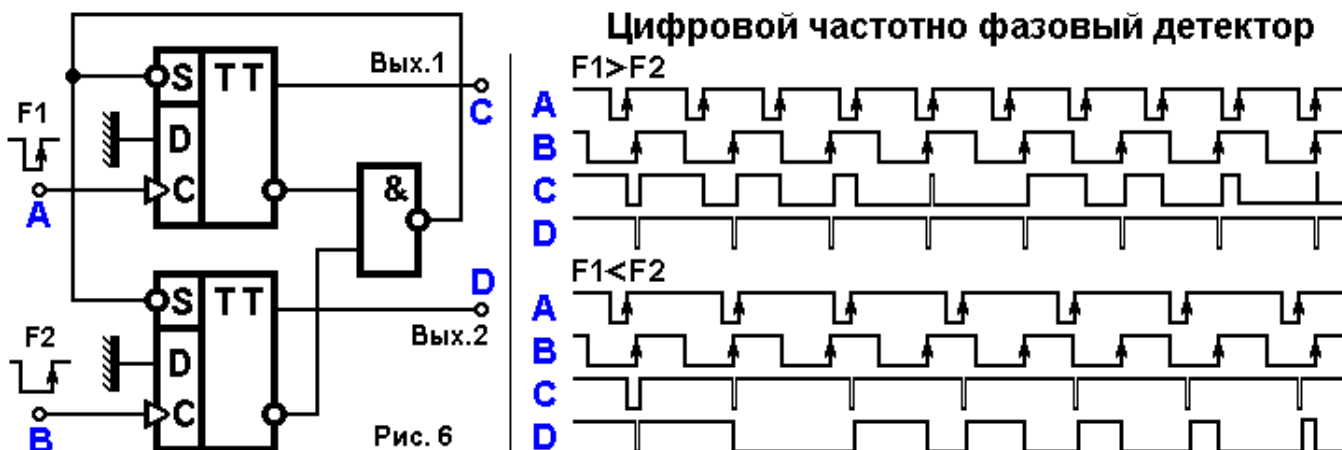
Если вместо триггера сотен в эту же схему установить третий десятичный счетчик, то можно будет на этом же принципе реализовать ДПКД с коэффициентом деления от 1 до 999. Или, для ограничения нужного диапазона КД, использовать в старшем разряде неполный шифратор.

Показанные на схеме Шифраторы представляют собой комбинационные логические схемы, преобразующие 10-и позиционный код (с переключателей П1 и П2-3) в четырехразрядный двоично-десятичный код числа, который будет записываться в регистры счетчиков ДПКД (Рис. 5).



Поскольку в данной схеме синтезатора достаточно 40-а значений кода числа КД (от 160 до 199), то шифратор десятков выполнен неполным, и преобразует в код лишь 4 положения переключателя: числа 6, 7, 8, 9. При проектировании других синтезаторов использование полного шифратора десятков позволит увеличить число кодируемых чисел до 100: от 100 до 199.

Частотно фазовый детектор сравнивает частоту (F1) и фазу последовательности импульсов с выхода ДПКД (частота ГУН, поделенная в ПКД раз) с частотой (F2) и фазой опорного сигнала.



При этом на двух его выходах формируется сигнал, имеющий в своем составе «знак частоты» (больше-меньше), а также две последовательности импульсов в которых скважность пропорциональна разбалансу фаз входных сигналов. Принцип работы схемы заключается в

запоминании, с какого входа раньше пришел импульс. В исходном состоянии оба D-триггера взведены в логическую единицу. Поскольку оба их D входа соединены с потенциалом нуля (общий провод), то первый же входящий импульс сбрасывает один из триггеров в ноль. Импульс, пришедший на вход С другого триггера, также сбросит его в ноль, но при этом на входе логического элемента 2И-НЕ окажутся две единицы с инверсных выходов триггеров и на выходе будет сформирован потенциал логического нуля, который асинхронно взведет оба триггера в исходное состояние логической единицы. Подробно работа схемы показана на временных диаграммах (Рис. 6) на которых приведены оба случая работы схемы при разных соотношениях входных частот. Из диаграмм видно, что информация о разности фаз сигналов содержится в ширине выходных импульсов, а знак частоты соответствует появлению ШИМ последовательности на том выходе детектора, на какой из его триггеров подается сигнал более высокой частоты. На втором выходе при этом будет потенциал логической единицы, прорезанный последовательностью коротких импульсов меньшей частоты.

Фильтр нижних частот обеспечивает устойчивость петли обратной связи, а также преобразует последовательность импульсов с изменяющейся скважностью в постоянное напряжение.

Интегратор «отрабатывает» знак частоты накоплением потенциала на интегрирующей емкости, чем обеспечивается перестройка частоты ГУН. После сравнения номиналов опорной и поделенной частот, поддерживает нулевое положение фазы сигнала ГУН относительно опорного сигнала. Благодаря наличию интегратора в петле обратной связи ФАПЧ обеспечивается нулевая фазовая ошибка автоподстройки в установившемся режиме. Благодаря тому, что ЧФД выдает знак частоты, а интегратор его накапливает и перестраивает частоту ГУН до совпадения фаз, полоса захвата такой системы ФАПЧ равна диапазону перестройки ГУН. То есть, примененная в синтезаторе петля обратной связи не требует контроля захвата слежения. Единоразово будучи отрегулированной при изготовлении синтезатора, она далее автоматически поддерживает свою работоспособность.

**Выбор элементной базы для разработки принципиальной схемы.** Критериями выбора послужили многие факторы, определяющие не только электрические характеристики, но и специфику эксплуатации синтезатора в самодельных радиовещательных передатчиках, а также специфику его изготовления радиолюбителями в непрофессиональных условиях. Поэтому одним из главных факторов стала аппаратная законченность схемы, то есть: собрал, включил, настроил, работает. Соблюдение этого фактора сразу отменило использование каких-либо микросхем, требующих программирования. К тому же наличие большой нестабильности бытовой питающей сети и частых непредсказуемых скачков напряжения, при применении программируемых контроллеров, сильно увеличивает вероятность программных сбоев. Из оставшейся элементной базы в заданном частотном диапазоне могут работать распространенные и относительно недорогие микросхемы серий ТТЛ и ТТЛШ. На них и остановимся. Эти микросхемы выпускаются в двух вариантах: в планарных корпусах, с шагом выводов 1,25 мм и в корпусах типа DIP с шагом выводов 2,5 мм. С точки зрения ручной сборки, конечно удобнее вторые. Однако, наличие в печатной плате большого числа отверстий под их выводы (сложность разводки печати из-за сокращения площади под проводники, что неизбежно ведет к увеличению размеров платы) и сложность отпайки вышедших из строя микросхем при неаккуратной регулировке и эксплуатации, что часто бывает в любительских условиях, сильно снижают кажущееся преимущество DIP корпусов. Либо нужно делать печатную плату больших размеров, либо отказываться от этого исполнения микросхем.

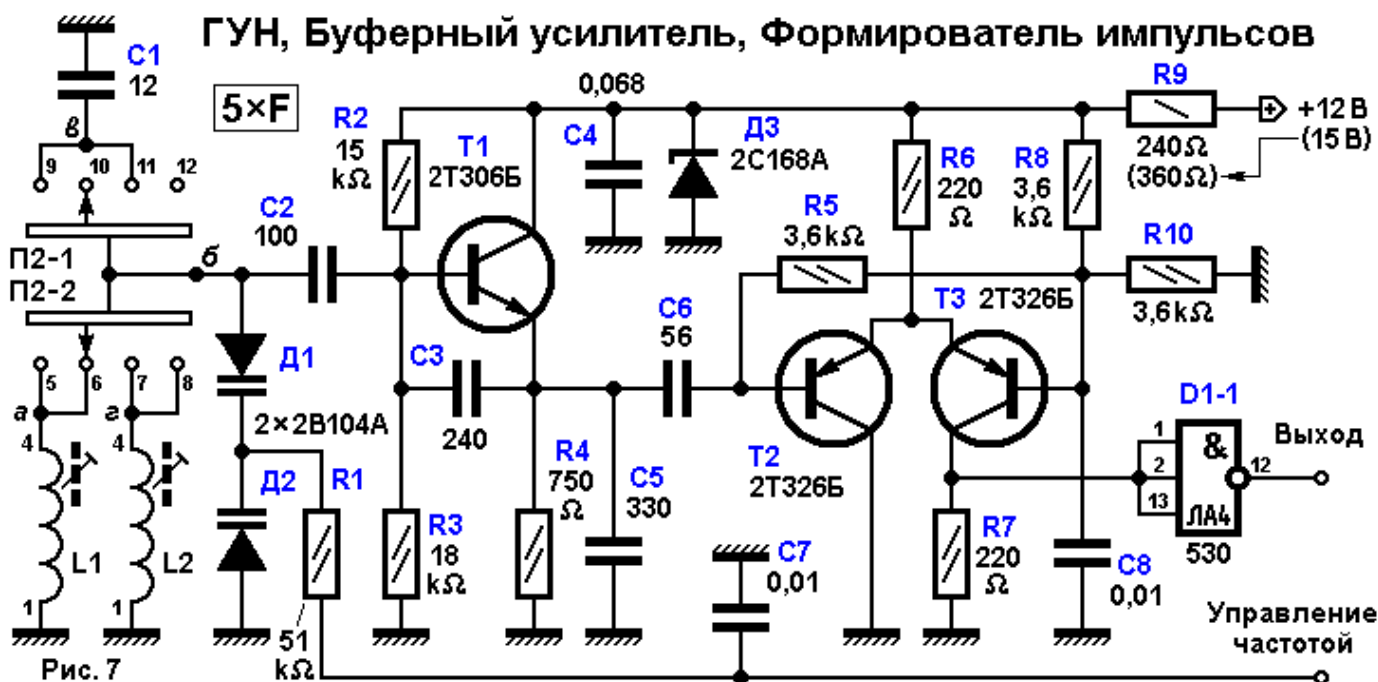
Решающим фактором в данном вопросе, определившим выбор планарных корпусов стал чисто эмоциональный. Я бы даже назвал его патриотическим. Последние годы в околорадиотехнических кругах появилось большое число скупщиков микросхем, уничтожающих их ради извлечения цветных металлов. И глядя на это, душа кровью обливается, как совершенно годные радиодетали из неликвидов или микросхемы, отлежавшие на складах свой гарантийный срок хранения, идут на уничтожение этим скупщиком. Поэтому мной было принято решение разработать схему и конструкцию синтезатора именно на планарных микросхемах (серии 133, 530, 533). Поскольку есть надежда, что этот синтезатор после его публикации будет изготавливаться радиолюбителями массово, то хоть несколько тысяч микросхем спасу от уничтожения этими варварами. Да и печатная плата при конструировании получилась очень компактная и красивая! А паять планарные микросхемы внахлест на плату, не просовывая их выводы в отверстия, как у DIP-ов, даже удобнее. Впрочем, это дело вкуса и привычки.



Если же кто-то не согласен с моими критериями и принятыми решениями, вам никто не запрещает самостоятельно перевести синтезатор на микросхемы серий 155, 531 и 555 и развести новую печатную плату. Право, при существующем программном обеспечении это дело не такое уж и сложное. Если найдутся радиоинженеры или радиолюбители, которые не согласятся со мной в отказе использовать для передатчиков индивидуального радиовещания специализированные микросхемы синтезаторов, управляемые контроллерами или содержащие в своем составе контроллеры, вам тоже никто не запрещает самим разработать надежные синтезаторы с их применением и широко опубликовать их, благо, Интернет в наше время эту задачу сильно упростил, да и многие радиолюбительские журналы с удовольствием публикуют хорошие разработки, рассчитанные на массовое повторение. В любом случае, я буду рад, если инженерная и конструкторская мысль увлеченных людей начнет работать в данном направлении. Только хочу обратить Ваше внимание на то, что синтезаторы для радиовещательных передатчиков, по сравнению с синтезаторами для связных радиостанций, любительских трансиверов и радиоприемников имеют весьма большие отличия, определяемые сферой их применения и спецификой работы именно в радиовещании. В этом же синтезаторе все эти тонкости учтены.

**Принципиальная схема синтезатора** достаточно большая, поэтому будем разбирать ее работу по узлам в порядке названных выше структурных звеньев.

**Генератор, управляемый напряжением (ГУН).** Выполнен на транзисторе 2Т306Б по схеме Клаппа: емкостная трехточка с последовательной емкостью (С2) в индуктивной ветви (Рис. 7), обеспечивающей большую стабильность частоты генерации по сравнению с обычной схемой емкостной трехточки за счет частичного включения транзистора в колебательный контур и большего характеристического сопротивления контура благодаря возможности увеличения индуктивности контура. Колебательный контур автогенератора образован конденсаторами С2, С3, С5 и одной из катушек L1 или L2. Для перестройки генерируемой частоты параллельно катушке включены варикапы, которые входят в состав колебательного контура. При смене поддиапазонов переключателями П2-1 и П2-2 параллельно выбранной катушке может подключаться дополнительный конденсатор С1, который, когда подключен, также входит в состав колебательного контура автогенератора. Благодаря тому, что емкость конденсаторов С3 и С4 выбраны достаточно большими, а емкость С2 относительно малой, собственные емкости переходов транзистора, подверженные изменениям от температуры и от питающих напряжений, слабо влияют на частоту генерации.



Варикапы Д1 и Д2 по переменному току включены в контур встречно-последовательно для исключения влияния нелинейности варикапа на положительную и отрицательную полуволну напряжения на контуре. По постоянному току варикапы включены параллельно (анод варикапа Д1

замыкается на общий провод через катушку) и таким образом управляющее напряжение изменяет их емкость одинаково. К средней точке варикапов подключен развязывающий резистор R1, который разделяет по высокой частоте цепь колебательного контура от цепи управляющего напряжения. Поскольку варикапы включены по отношению к управляющему напряжению в обратной полярности, то тока в цепи управления нет (обратный ток варикапа очень маленький) и требования к значению и точности номинала резистора R1 практически не предъявляются. Его можно поставить и 75 и даже 100 килоом. Меньше 30 килоом его номинал уменьшать не стоит из-за шунтирования им колебательного контура автогенератора и ухудшения стабильности частоты. Для лучшей фильтрации к его «холодному» выводу подключен блокировочный конденсатор C7.

Транзистор в схеме автогенератора включен с заземленным по высокой частоте коллектором, что обеспечивает его экранировку, поскольку у ВЧ транзисторов вывод коллектора, как правило, соединен с корпусом. Режим транзистора по постоянному току обеспечивает базовый делитель R2, R3 и эмиттерный резистор R4. Ток эмиттера автогенератора выбран 4,5 мА, и таким образом, на эмиттерном резисторе при отсутствии генерации падение напряжения составляет половину питающего напряжения: + 3,4 вольта. Питается автогенератор и буферный усилитель от общего параметрического стабилизатора напряжения + 6,8 вольта на стабилитроне ДЗ. Выходной сигнал ГУН берется с наиболее «холодной» точки колебательного контура (эмиттер транзистора Т1) через конденсатор внешнеемкостной связи С6.

**Буферный усилитель.** Выполнен на двух р-п-р транзисторах 2Т326Б по каскодной схеме ОК-ОБ (Рис. 7). Режим схемы по постоянному току в отсутствии сигнала: напряжение в точке соединения двух эмиттеров: 4,6 В, напряжение на резисторе R7: 1,5 вольта – равное пороговому значению напряжения логического элемента D1-1.

**Формирователь импульсов.** Выполнен на быстродействующем логическом элементе 530 серии (ТТЛШ). Пороговое напряжение на входе задается резистором R7 (Рис. 7) за счет суммы двух токов: вытекающего тока входа логического элемента (2 мА) и тока коллектора транзистора Т3 (4,9 мА). Преобразование высокочастотного синусоидального сигнала в меандр осуществляется только за счет усиления и ограничения. Важное предостережение: использование в этой схеме пороговых элементов с гистерезисом (триггеры Шмитта) недопустимо из-за внесения в сигнал фазовой нестабильности фронта, что рассыпает спектр выходного сигнала синтезатора.

**Делитель частоты с  $N = 10$ .** Выполнен на микросхеме 133ИЕ2, представляющей собой два счетчика на 2 и на 5 имеющих отдельные входы и выходы (Рис. 8). Микросхема использована в своей типовой схеме включения с той лишь разницей, что сначала сигнал подается на делитель на 5 и лишь затем на делитель на 2. Принцип работы этого каскада был разобран при описании структурной схемы синтезатора.

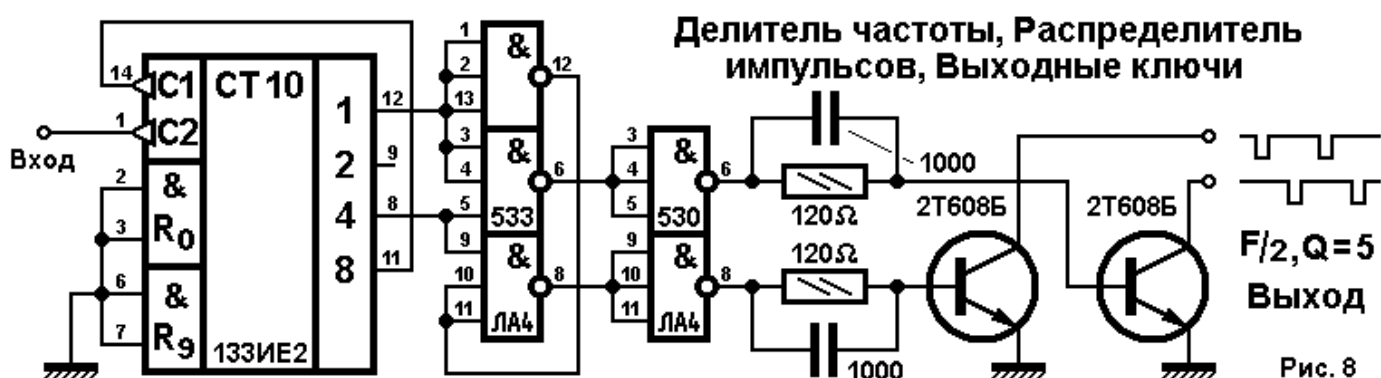


Рис. 8

**Распределитель импульсов.** По сравнению со схемой, разобранный при описании структуры синтезатора, эта схема имеет отличие в том, что в микросхеме 133ИЕ2 отсутствует инверсный выход делителя на 2 (Рис. 8). Поэтому применен дополнительный инвертор на элементе микросхемы 533ЛА4.

**Выходные транзисторные ключи.** Выполнены на ключевых транзисторах 2Т608Б (Рис. 8) и при активной нагрузке могут коммутировать ток до 400 мА при напряжении до 60 вольт. Для обеспечения такого режима ключи имеют во входной цепи дополнительные мощные элементы микросхемы 530ЛА4, обеспечивающие импульсный ток базы каждого транзистора 10 – 15 мА. Значение тока задается базовыми резисторами 120 Ом. Параллельные им конденсаторы, номиналом от 820 до 1200 пикофард ускоряют переключение транзисторов.



**Опорный кварцевый генератор.** Выполнен по схеме несимметричного мультивибратора с кварцевым резонатором в цепи обратной связи на двух инверторах микросхемы 533ЛА4. Резисторы 1,5 килоома и 470 Ом обеспечивают линейный режим работы инверторов и, тем самым, мягкий режим самовозбуждения автогенератора (Рис. 9). Кварцевый резонатор возбуждается на частоте последовательного резонанса. Точный номинал частоты необходимо установить по калиброванному частотомеру подбором конденсатора, включенного последовательно с кварцевым резонатором. Во втором плече мультивибратора интегрирующая RC цепочка имеет частоту среза  $2F_{кв}$  для того, чтобы исключить возбуждение резонатора на нечетных гармониках. В зависимости от частоты используемого резонатора линейно изменяется номинал емкости цепочки. В случае применения резонатора непосредственно на 45 кГц, интегрирующая емкость должна быть 3000 пФ и сигнал генератора с точки схемы  $F_{оп}$  необходимо подать на контакт 2 переключателя ПЗ исключив из него перемычки. Также подключается к синтезатору внешний опорный генератор на частоту 45 кГц.

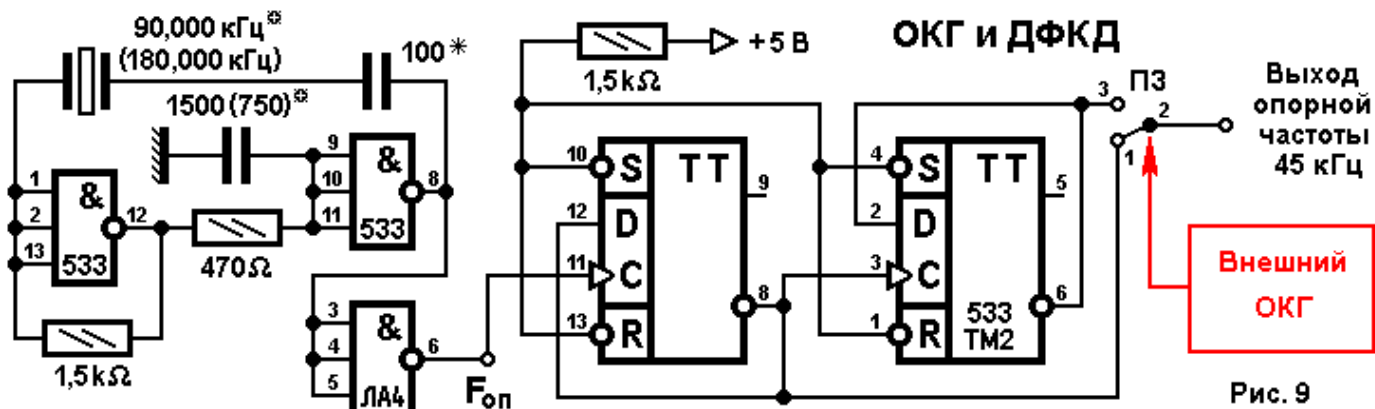


Рис. 9

**Делитель с фиксированным коэффициентом деления.** Выполнен на D триггерах микросхемы 533ТМ2, включенных в счетный режим замыканием инверсного выхода на вход D (Рис. 9). На незадействованные входа R и S подан потенциал логической единицы через резистор 1,5 килоома.

С таким ДФКД в схеме можно использовать кварцевые резонаторы на частоты 45 кГц, 90 кГц и 180 кГц. Для возможности применения резонаторов на другие частоты, на плате синтезатора предусмотрено место под установку микросхемы 133ИЕ2 (делитель на 5 и 2). При ее подключении можно будет использовать кварцы на частоты: 360, 225, 450, 900, 1800 кГц. В схеме также можно использовать кварцевые резонаторы на другие номиналы частот: 720, 1440, 2250, 2880, 3600, 4500, 5760, 7200, 9000 кГц, но это потребует применение внешнего делителя частоты. Начиная с частоты резонаторов 4500 кГц интегрирующий конденсатор в схеме ОКГ можно не устанавливать.

**Делитель с переменным коэффициентом деления, ДПКД 161 - 200.** Выполнен на двух синхронных реверсивных счетчиках 533ИЕ6 и двух D-триггерах микросхемы 533ТМ2 (Рис. 10).

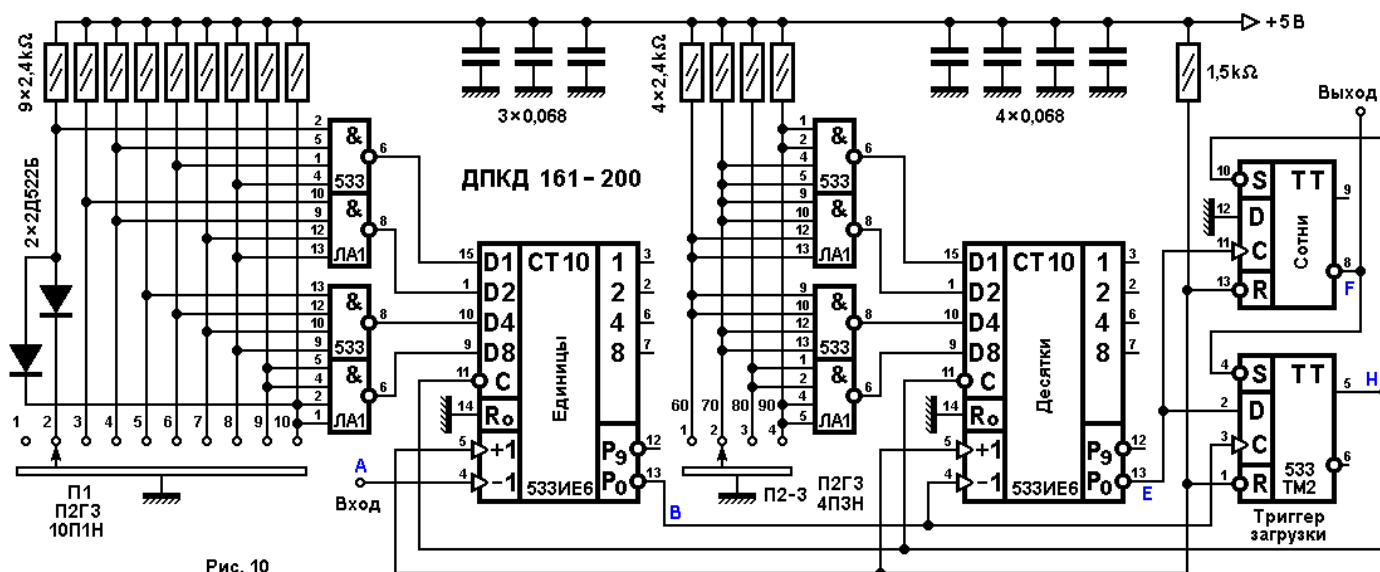
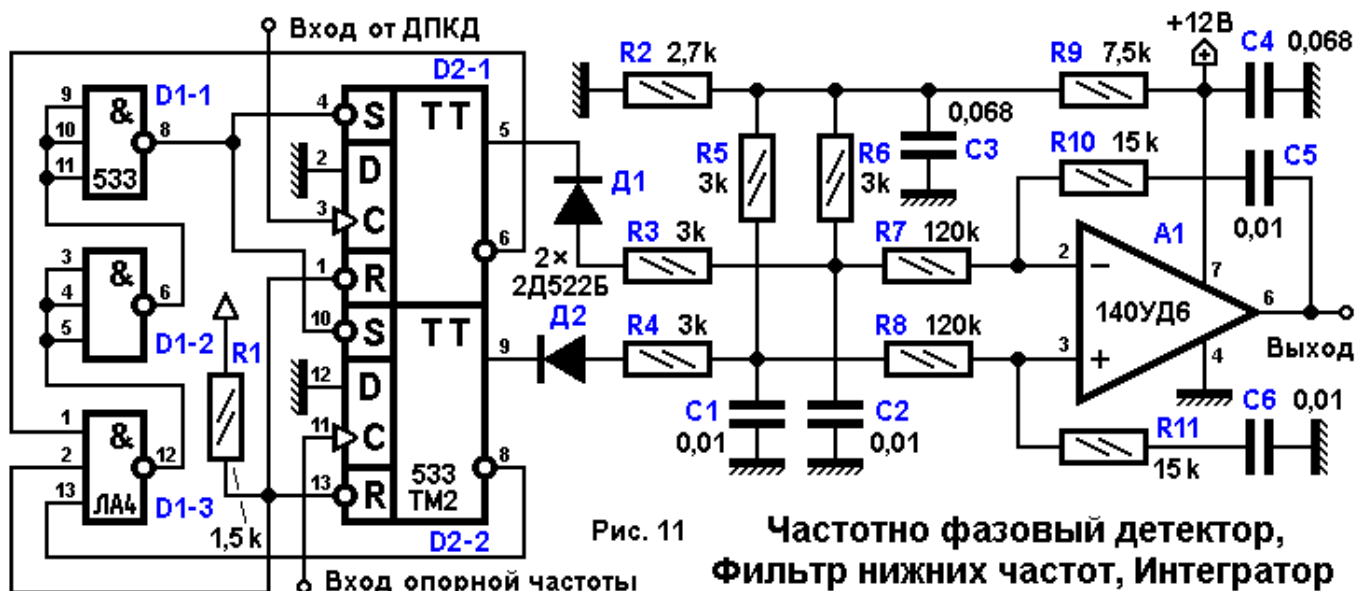


Рис. 10

Шифраторы выполнены на четырех микросхемах 533ЛА1, двух диодах 2Д522Б и тринадцати резисторах, задающих потенциал логической единицы.

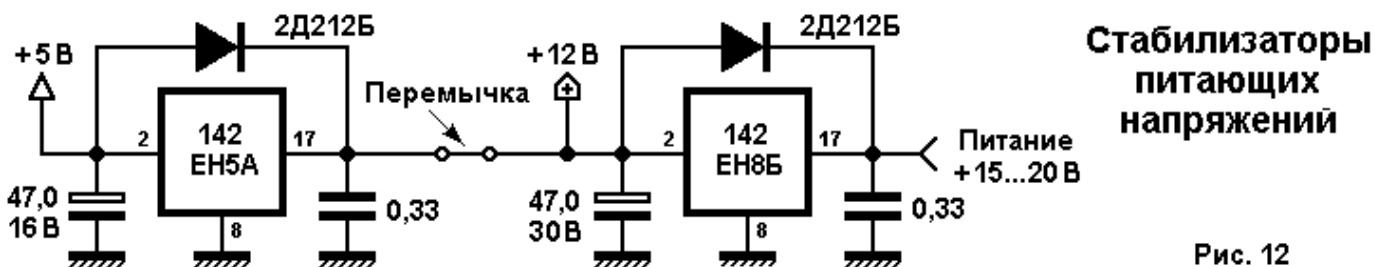
**Частотно фазовый детектор.** Выполнен на микросхемах 533ТМ2 и 533ЛА4. На выходе триггеров установлены отсекающие диоды Д1 и Д2 (Рис. 11), чтобы использовать для дальнейшего аналогового преобразования лишь нулевой потенциал выходного напряжения логических микросхем. Потенциал логической единицы использовать нельзя, во избежание увеличения фазовых шумов и фазовой нестабильности выходного сигнала синтезатора, поскольку цепь питания +5 вольт, к которой привязан потенциал логической единицы, в схемах на ТТЛ микросхемах имеет провалы напряжения при переключении логических элементов. Для задания «чистого» высокого потенциала в последующей аналоговой схеме использован источник +12 вольт и делитель напряжения на резисторах R9 и R2 с блокировочным конденсатором С3 для лучшей фильтрации помех по питанию, и развязывающими резисторами R5 и R6, раздающими этот потенциал в оба плеча схемы.



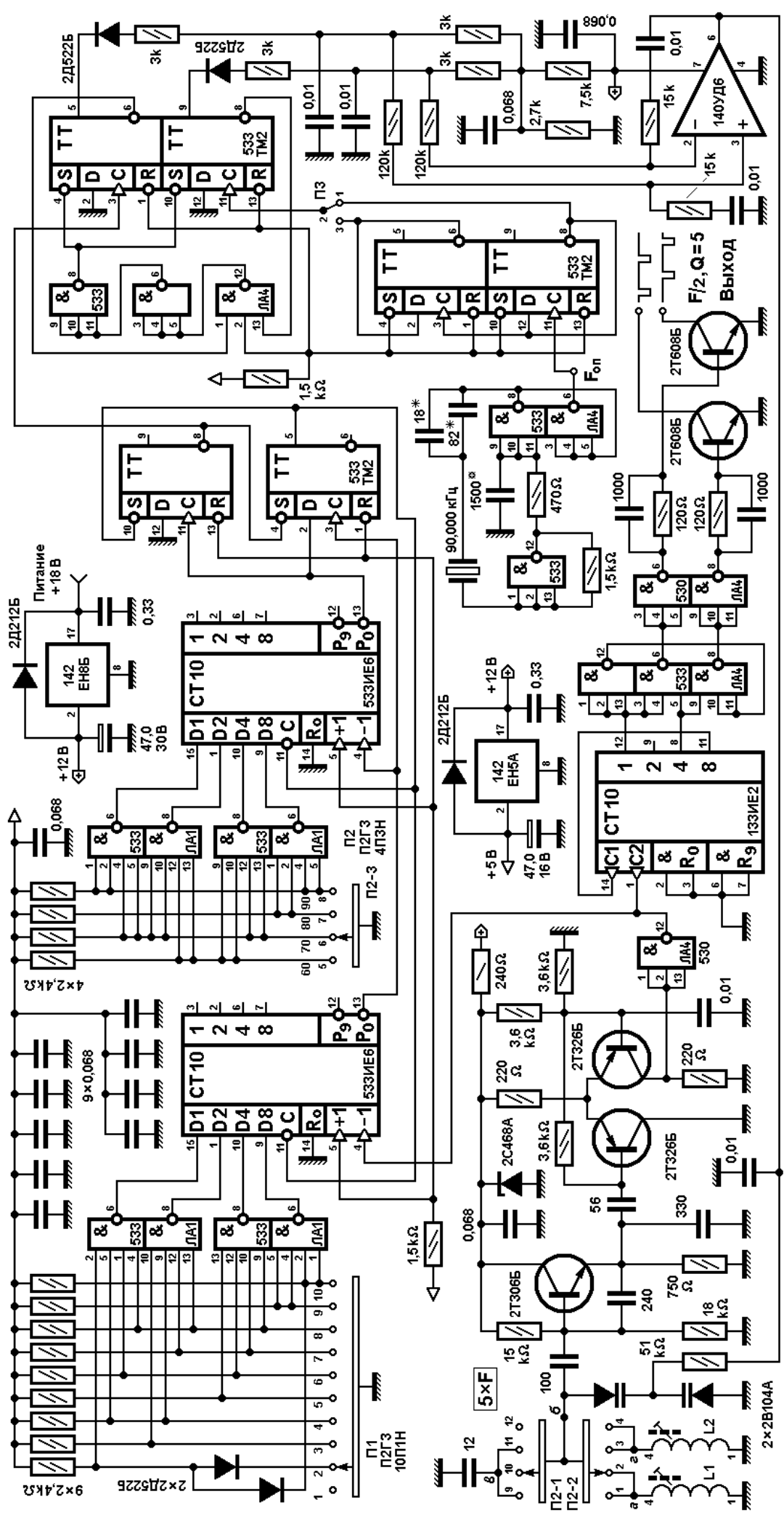
**Фильтр нижних частот.** Представляет собой две интегрирующих RC цепочки с емкостями С1 и С2 (Рис. 11), а в качестве сопротивления работает параллельное включение резисторов R3 и R6 в одном плече и R4, R5 – во втором.

**Интегратор.** Выполнен на базе операционного усилителя 140УД6 по схеме пропорционально интегрирующего фильтра. Симметрия обоих плеч достигается наличием на неинвертирующем входе усилителя второй пропорционально интегрирующей цепочки R11, С6 (Рис. 11). Убыстрение реакции интегратора обеспечивается «пропорциональными» резисторами R10 и R11, а накопление потенциала осуществляется на интегрирующей емкости С5. Постоянная времени интегратора определяется резисторами R7 и R8 и емкостью конденсаторов С5 и С6. С4 – блокировочный конденсатор по питанию операционного усилителя А1.

**Стабилизаторы напряжения.** Синтезатор питается от однополярного источника напряжения от плюс 15 до плюс 20 вольт, потребляя ток 150 миллиампер. Непосредственно его схема требует для своей работы два стабилизированных напряжения +5 и +12 вольт. Обеспечивают эти напряжения два трехвыводных интегральных стабилизатора 142ЕН5А и 142ЕН8Б (Рис. 12).



При желании питать синтезатор от мостового выпрямителя со средней точкой во вторичной обмотке (напряжения плюс 9 и плюс 18 вольт), предусмотрен разрыв цепи питания, замыкаемый переключкой, позволяющий подключать отдельно каждый из стабилизаторов к своему источнику. При этом необходимо установить к стабилизатору 142ЕН5А защитный диод 2Д212Б, предохраняющий его от переплюсовки при выключении питания, точно также, как и у 142ЕН8Б.

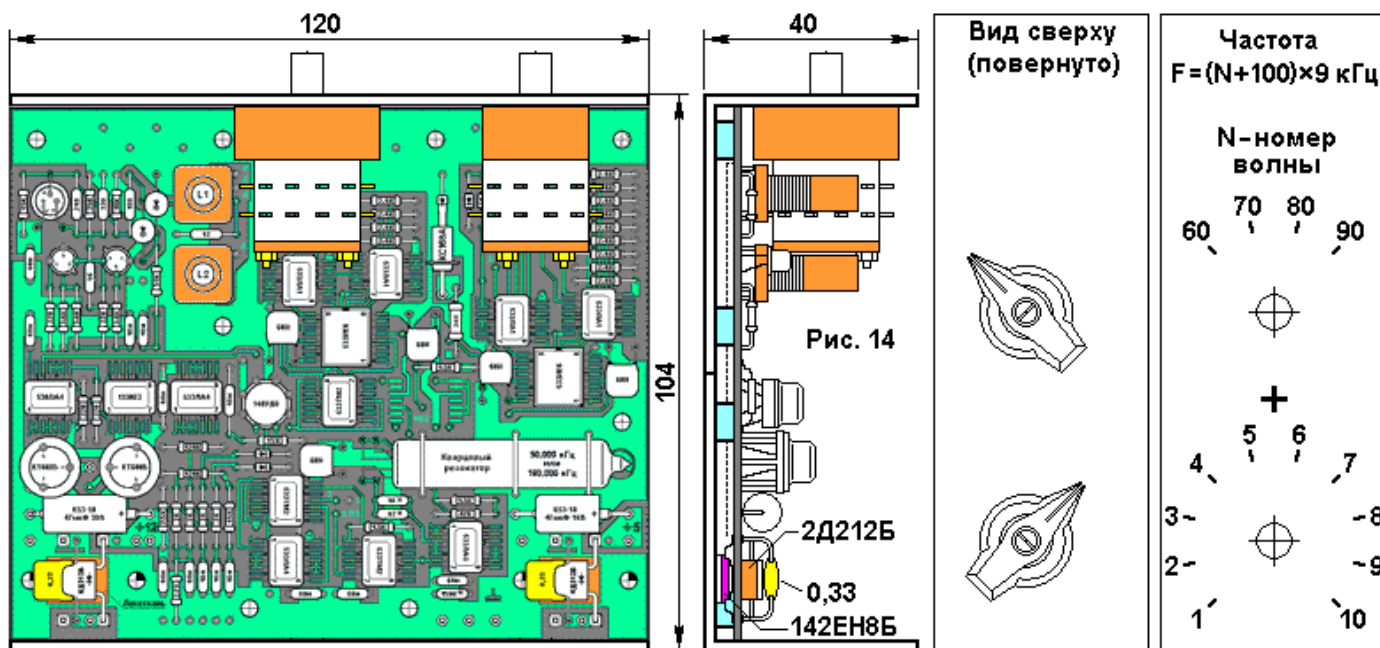


Средневолновый синтезатор частоты  
для индивидуального радиовещания  
С9-1449-1800  
Версия 4-2 от 06.08.2011  
Разработчик Сергей Комаров.  
www.cqf.su

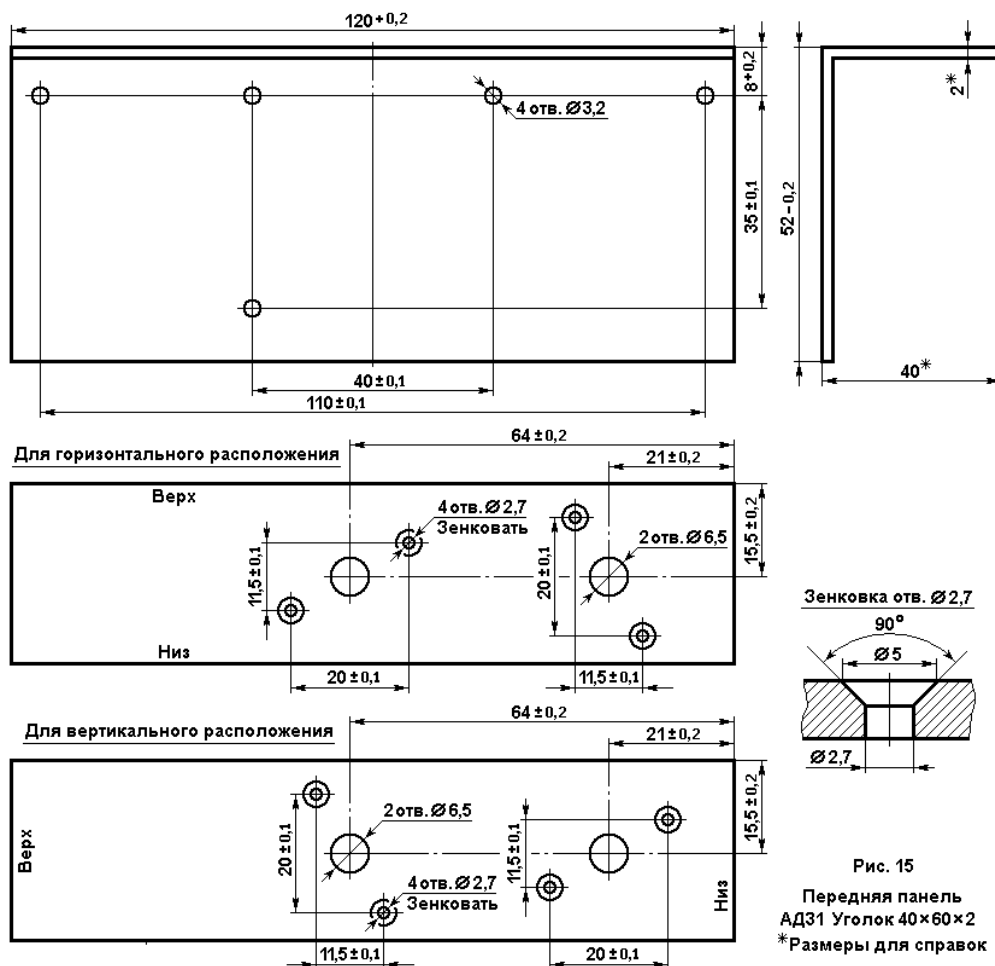
Частота F (кГц)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
60	1449	1458	1467	1476	1485	1494	1503	1512	1521	1530
70	1539	1548	1557	1566	1575	1584	1593	1602	1611	1620
80	1629	1638	1647	1656	1665	1674	1683	1692	1701	1710
90	1719	1728	1737	1746	1755	1764	1773	1782	1791	1800

L1 - 3,6 мкГ - 23 вит. ПЭЛШО 0,25, виток к витку, на каркасе Ø 6,8 мм - ИШГД6.687.017, сердечник М5ВН20  
L2 - 3,0 мкГ - 20 вит. ПЭЛШО 0,25, виток к витку, на каркасе Ø 6,8 мм - ИШГД6.687.017, сердечник М5ВН20  
При использовании кварцевого резонатора на частоту 180,000 кГц, конденсатор отмеченный знаком \*  
установить номиналом 750 пФ, и перемычку П3 переставить с выводов 1 и 2 на выводы 2 и 3.  
При использовании кварцевого резонатора на частоту 45,000 кГц, конденсатор отмеченный знаком \*  
установить номиналом 3000 пФ, а точку 2 перемычки П3 соединить с точкой Fоп.  
Точный номинал частоты опорного генератора Fоп устанавливается подбором номинала конденсатора, отмеченного знаком \*.

**Конструкция.** Синтезатор представляет собой законченный узел (Рис. 14), предназначенный для встраивания в радиопередатчик. Детали синтезатора, кроме переключателей, смонтированы на двухсторонней печатной плате (ДПП), размером 120 x 100 мм и толщиной 1,5 мм, выполненной по технологии с металлизированными отверстиями.



Спереди и сзади к печатной плате привернуты два уголка, выполняющие роль передней и задней панели узла. На передней панели монтируются два переключателя ПТГЗ (П1 и П2, Рис. 13). Задняя панель выполняет роль радиатора для микросхем стабилизаторов и одновременно является ребром жесткости конструкции. В качестве заготовки для них используется алюминиевый «строительный» уголок размером 40 x 60 x 2 мм. Чертежи панелей показаны на рисунке 15 и 16.



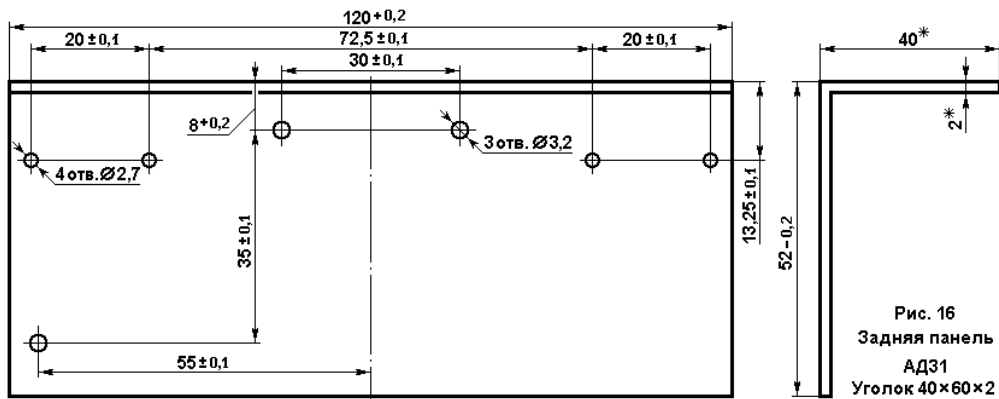


Рис. 16  
Задняя панель  
АД31  
Уголок 40×60×2

Уголок передней панели может быть выполнен в двух вариантах: для горизонтального расположения синтезатора в передатчике и для вертикального. Различие состоит – в развороте переключателей и расположении их крепежных отверстий. Переключатели крепятся к передней панели винтами М2,5 х 8 с головкой впотай. На рисунке 14, справа, дана гравировка фрагмента передней панели передатчика под установку синтезатора. Передняя и задняя панели крепятся к плате восемью винтами М3 х 10 через стойки высотой 3 мм, гайками и шайбами Гровера.

**Детали.** Выводы логических микросхем и микросхем стабилизаторов перед установкой на плату необходимо отформовать. Желательно иметь для этого специальное приспособление, однако, при некотором навыке, это удастся сделать с помощью двух небольших металлических линейек.

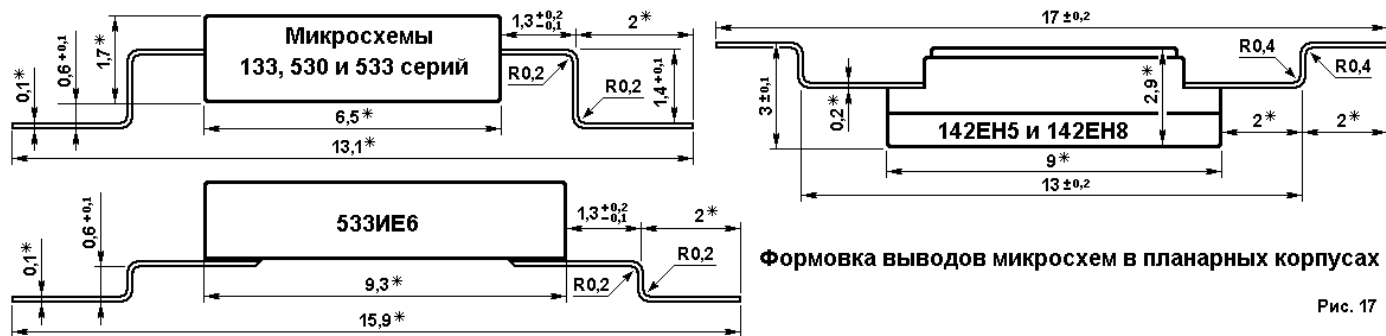


Рис. 17

Формовка выводов остальных деталей ясна из монтажной схемы (Рис. 19). В конструкции использованы: резисторы МЛТ-0,125 и 0,25 или им подобные С2-23, С2-33 с допуском 5%. Конденсаторы КМ-5, КМ-6, К53-18. Возможна замена на аналогичные импортные с теми же параметрами и допусками. Номиналы резисторов и конденсаторов в схемах ГУН, БУФИ, ОКГ, ФНЧ и интегратора желательно выдержать точно указанные на схеме. Транзисторы: КТ306Б можно заменить на КТ316 или КТ315. КТ326 на КТ361. Стабилитрон 2С468 - на КС168 или на импортный, с напряжением стабилизации 6,8 вольт. Диоды КД522Б на КД503Б. Использование в схеме операционного усилителя 140УД6 тоже не принципиально и он может быть заменен на 153УД2 или 153УД6 с соответствующими цепями коррекции. Микросхемы стабилизаторов 142ЕН5А и 142ЕН8Б могут быть заменены на импортные трехвыводные стабилизаторы 7805 и 7812 или на наши серии КРЕН с напряжением 5 и 12 вольт, соответственно. При этом они могут быть установлены на те же самые посадочные места, но крепиться будут лишь одним винтом М2,5 х 8. Диод 2Д212Б можно заменить на КД212БМ в пластмассовом корпусе, что даже предпочтительней.

Катушки индуктивности L1 и L2 наматываются виток к витку проводом ПЭЛШО-0,25 на каркасах, диаметром 6,8 мм с резьбовым ферритовым сердечником. L1 содержит 23 витка и имеет индуктивность в настроенном состоянии 3,6 мкГн, а L2 – 20 витков и индуктивность 3 мкГн.

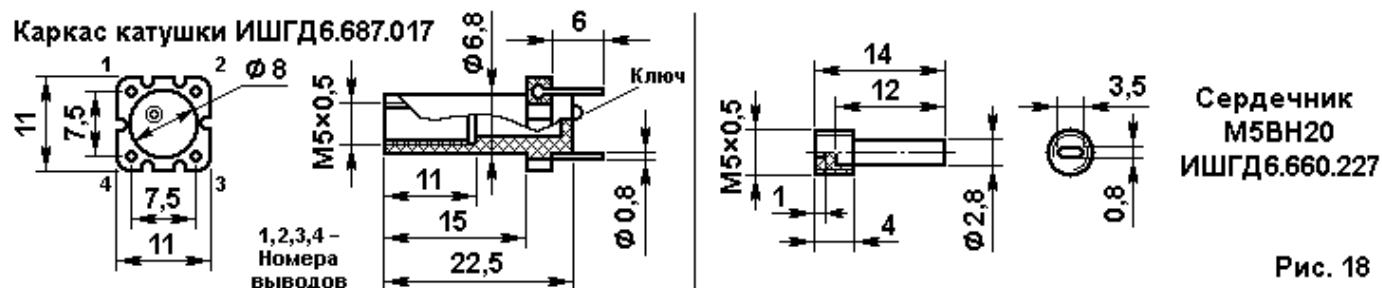


Рис. 18

Для них могут быть использованы каркасы КВ контуров старых транзисторных радиоприемников или же литые каркасы (Рис. 18) из терморезистивной пластмассы: ИШГД6.687.017 с сердечником М5ВН20 – ИШГД6.660.227, выпускающиеся в настоящее время в Санкт-Петербурге (производитель легко ищется в интернете по номерам каркаса и сердечника).

**Печатная плата.** Выполнена из двустороннего фольгированного стеклотекстолита, толщиной 1,5 мм. Размер платы 120 x 100 мм (Рис 23 и 24). При заказе платы на заводе, она выполняется по технологии с металлизированными отверстиями. Графические файлы (в формате GIF) представлены на сервере<sup>5</sup>. При заказе платы также необходимы технологические пояснения (Рис. 22).

**Порядок сборки.** Перед началом сборки необходимо проверить исправность и номиналы всех радиодеталей. Затем, с помощью формовочного приспособления отформовать и обрезать выводы микросхем в соответствии с рисунком 17. Следует обратить внимание, что выводы микросхем стабилизаторов напряжения формуются в сторону крышки (вверх), а сами микросхемы устанавливаются на обратной стороне платы, крышкой к плате. Детали необходимо устанавливать на плату так, чтобы после монтажа можно было прочесть их обозначения и номиналы. Пайку выводов деталей следует вести припоем ПОС-60 с применением спиртоканифольного флюса.

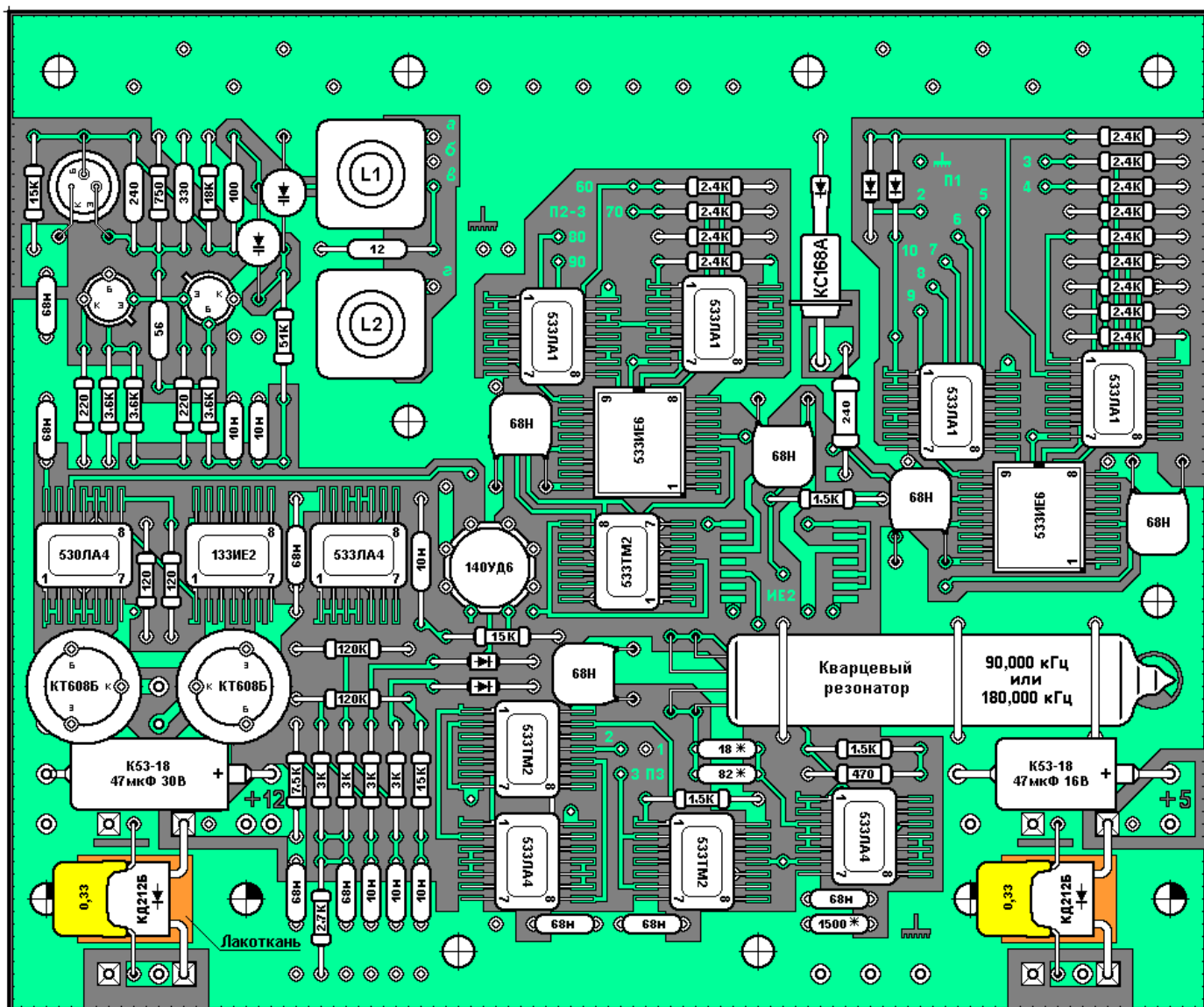


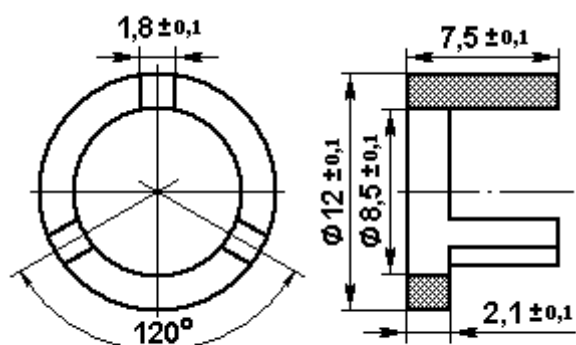
Рис. 19. Расположение деталей на печатной плате синтезатора.

Сначала на плату устанавливаем все цифровые микросхемы в произвольном порядке. После монтажа цифровых микросхем следует установить блокировочные конденсаторы КМ-6-0,068 $\mu$ F. Затем, устанавливаем резисторы и, следом, конденсаторы КМ-5. Резисторы устанавливаются с зазором от платы 0,6 – 0,8 мм. Затем монтируем ГУН. При распайке выводов и монтаже катушек обратите внимание, что имеющийся на доньшке каркаса ИШГД6.687.017 ключевой выступ,

<sup>5</sup> Адреса файлов: <http://www.cqf.su/stuff/sintez1449pechat1.gif> и <http://www.cqf.su/stuff/sintez1449pechat2.gif>



отмечающий первую ножку, встает в соответствующее отверстие на плате. Далее на плату устанавливаем операционный усилитель и все диоды. Под диоды КД212Б при установке на плату, необходимо подложить два-три слоя лакоткани или другого изоляционного материала, закрепив его клеем. Размер кусочков лакоткани 10 x 12 мм. Если используются диоды КД212БМ в пластмассовых корпусах, то этого делать не нужно. После монтажа диодов КД212Б, поверх них устанавливаются блокировочные конденсаторы КМ-6 - 0,33 мкФ (Рис. 19).



Подставка под транзистор КТ608Б  
Термопласт. Литьё.

Рис. 20

Затем, на плату устанавливаются оксидно-полупроводниковые конденсаторы К53-1. Вместо них можно использовать импортные оксидные конденсаторы с выводами в одну сторону (бочёнки). Для этого в плате имеются дополнительные отверстия. Лучше использовать конденсаторы фирмы Jamicon. После этого, можно установить транзисторы 2Т608Б. Они ставятся на специальные пластмассовые подставки (Рис. 20). Хотя, в любительских условиях, можно обойтись и без них.

Затем, на переднюю панель синтезатора устанавливаем переключатели П1 и П2 и голым одножильным проводом, диаметром 0,6 – 0,8 мм, производим монтаж перемычек на их контактах. Соединения, помеченные на схеме буквами *а, б, в, г* выполняются этим же проводом, одетым в кембрик<sup>6</sup> или во фторопластовую изоляционную трубочку, диаметром 1 мм. Далее, к выводам переключателей, обозначенным на плате номерами, припаиваем соединительные проводники (желательно из провода МГТФ-0,07) длиной 80 - 90 мм и, обрезая их по месту, запаиваем в соответствующие отверстия печатной платы. Здесь можно дать небольшую слабину, для удобства съема передней панели без отпайки проводников. Смонтированную таким образом переднюю панель вместе с переключателями крепим к плате синтезатора с помощью четырех винтов М3х8 с гайками и шайбами Гровера. Длины проводников соединений *а, б, в, г* отмеряются и запаиваются после установки передней панели с переключателями на плату. Длина этих выводов должна быть как можно меньшей (почти внахлест).

На обратной стороне платы устанавливаются ускоряющие конденсаторы КМ-5б – М750 – 1000 пФ (Рис. 21). Контактные площадки платы, используемые для паек этих элементов, отмечены на рисунке красным цветом. Микросхемы стабилизаторов монтируются на обратной стороне платы «вверх ногами» так, чтобы их теплоотводящая поверхность после монтажа оставалась бы открытой. При установке платы стабилизатора в передатчик, они встанут теплоотводящей поверхностью либо на шасси, либо на радиатор, либо на алюминиевый уголок задней панели синтезатора и тогда их теплоотводящую поверхность будет нужно смазать термопастой ВВ-1000, КПТ-8 или АлСил-3.

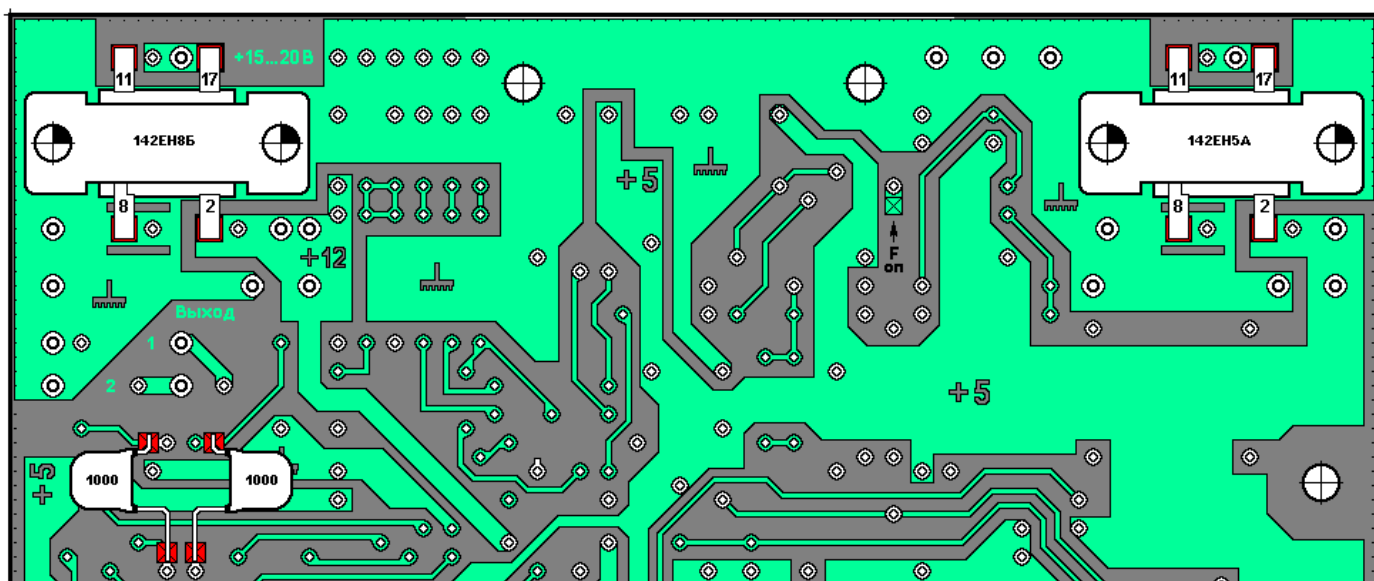


Рис. 21. Установка на обратной стороне платы микросхем стабилизаторов и ускоряющих конденсаторов.

<sup>6</sup> Кембрик – тканная, из хлопчато-бумажных или стекловолоконных нитей, изоляционная трубка, пропитанная лаком.

В последнюю очередь устанавливаем кварцевый резонатор. Помимо пайки выводов его необходимо закрепить с помощью двух или трех хомутиков из монтажного провода, запаяв их в соответствующие крепежные отверстия платы. Для амортизации, необходимо обернуть кварцевый резонатор четырьмя-пятью слоями лакоткани или же одеть на него толстую полихлорвиниловую трубку. Если применяется кварцевый резонатор в металлическом корпусе, необходимо его изолировать от печатных проводников.

В соответствии с номиналом частоты кварцевого резонатора, устанавливаем переключку ПЗ, или устанавливаем в ДФКД дополнительную микросхему 133ИЕ2 и подключаем нужный КД.

После установки всех деталей необходимо 96% спиртом смыть с платы флюс.

**Первое включение.** Перед тем, как включить готовый синтезатор, необходимо тщательно проверить качество паек всех радиодеталей и путем осмотра убедиться в отсутствии замыканий между ножками микросхем. При питании от одного источника необходимо установить переключку между выводом 2 микросхемы 142ЕН8Б и выводом 17 микросхемы 142ЕН5А. Для установки этой переключки на плате предусмотрены отверстия большего диаметра, чем под выводы радиодеталей. К выходам синтезатора (коллектора транзисторов 2Т608Б) нужно припаять по нагрузочному резистору МЛТ-0,5-300  $\Omega \pm 5\%$ . Второй вывод этих резисторов соединяется с источником питания синтезатора +15...20 вольт (вывод 17 стабилизатора 142ЕН8Б). Питание подается на вывод 17 микросхемы 142ЕН8Б, рядом с ним на плате предусмотрено отверстие большего диаметра для припайки провода. Отрицательный вывод питания запаивается в одно из трех отверстий большего диаметра, расположенных на общей шине ниже микросхемы 533ЛА4 кварцевого генератора (Рис. 19), отмеченные значком  $\perp$  (соединение с общим проводом).

Далее, к одному из выходов синтезатора подключаем импульсный осциллограф с делителем 1:10 с учетом того, что размах импульсов в этой точке может достигать 20 вольт и для правильной оценки формы сигнала необходимо исключить влияние емкости кабеля осциллографа. К шине питания +5 вольт желательно подключить вольтметр или тестер для контроля напряжения питания микросхем.

На лабораторном источнике устанавливаем напряжение +18 вольт. Если планируется использование аккумуляторов, то соединяем последовательно аккумуляторы с напряжениями 12 вольт и 6 вольт. **Строжайше соблюдаем полярность питающего напряжения!**

**Включаем питание на синтезатор и сразу же контролируем напряжение питания на цифровых микросхемах!** Оно должно быть в пределах от 4,75 до 5,25 вольт. В случае, если напряжение отличается от указанного, как можно быстрее выключаем питание и проверяем монтаж. Если напряжение в норме, переставляем щуп тестера на шину +12 вольт и контролируем работу второго стабилизатора. После этого стоит глянуть на экран осциллографа и убедиться, что на выходе присутствуют положительные импульсы с амплитудой, равной напряжению питания 18 вольт. Убедитесь, что они одинаковые на обоих выходах синтезатора. После чего следует выключить питание. Первое включение прошло успешно, и грубых ошибок в монтаже синтезатора нет.

**Регулировка. Внимание! Все подключения измерительных приборов к различным точкам схемы синтезатора и любые перепайки необходимо выполнять при отключенном питании!!!**

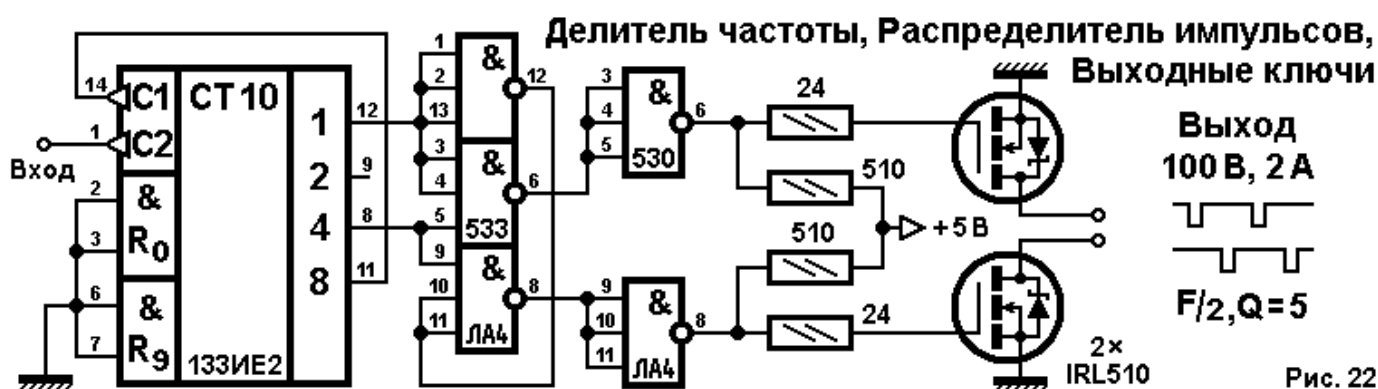
Перед началом регулировки установите переключатели в положение 90 + 10 (номинал сетки частот 1800 кГц). Замкните между собой оба выхода синтезатора и к этой точке подключите осциллограф. Подайте питание. Вращая сердечник катушки L2, наблюдайте небольшое изменение частоты импульсов на экране осциллографа. Переключите щуп осциллографа в точку схемы **Фоп** и наблюдайте импульсы опорной частоты. Для этого подключения на плате предусмотрена контрольная точка между ножкой 6 микросхемы 533ЛА4 ОКГ и ножкой 11 микросхемы 533ТМ2 ДФКД. Далее, подключите стрелочный вольтметр, аналоговый тестер или осциллограф в режиме измерения постоянного напряжения на выход операционного усилителя (ножка 6 микросхемы 140УД6 или точка на плате, обозначенная **Уу**) и вращением сердечника катушки L2 в обе стороны, убедитесь, что на выходе операционного усилителя (точка схемы **Уу**) можно установить любое напряжение в пределах от 2 до 10 вольт. После этого установите напряжение +7,5 вольта. Подключите выход синтезатора к частотомеру или к калиброванному приемнику и убедитесь, что частота выходных импульсов синтезатора составляет точно 1800 кГц.

Далее, установите переключатели в положение 70 + 10 (номинал сетки частот 1620 кГц) и вращением сердечника катушки L1 установите напряжение на выходе операционного усилителя также +7,5 вольта. Убедитесь, что номинал выходной частоты соответствует 1620 кГц. Не выключая

питания, поочередно установите переключатели во все возможные положения и убедитесь в соответствии всех номиналов выходных частот заданной сетке, приведенной в таблице на рисунке 13. Небольшой подстройкой сердечника катушек установите, чтобы при любых положениях переключателей изменения напряжения на выходе операционного усилителя оставались бы в пределах от 5 до 8 вольт, симметрично изменяясь вокруг значения +6,5 вольт. Как Вы, наверное, заметили, при уверенности в правильности монтажа, исправности деталей и **при некотором навыке, синтезатор можно отрегулировать лишь с помощью тестера и отвертки!**

Вернитесь на частоту 1800 кГц и подбором номиналов двух конденсаторов, включенных последовательно с кварцевым резонатором, установите частоту 1800,000 кГц с точностью до 5 Гц или лучше. **Регулировка завершена.** Теперь можно капнуть расплавленным парафином от обычной белой свечки на сердечники катушек и на их витки, чтобы исключить самопроизвольное смещение.

Изменение схемы выходных ключей синтезатора с заменой биполярных транзисторов 2Т608Б на полевые IRL520, позволит управлять по цепи катодов двумя радиолампами ГУ-50, 6П45С и даже ГУ-70Б и ГУ-74Б. Однако, столь мощные ключи (Рис. 22) нужно расположить на отдельной плате с соответствующим коммутируемым токам сигнальными цепями, цепями «земли» и блокировки.



При использовании этого синтезатора в передатчиках большей мощности (100 или 250 Вт), желательно применить внешний термостатированный ОКГ с номиналом частоты 9000, 11520, 14400 или 18000 кГц с соответствующим внешним делителем (200, 256, 320, 400). Благо, в настоящее время такие генераторы производятся, доступны, недорого стоят, имеют малые габариты и напряжение питания +12 вольт; могут питаться от имеющегося в схеме стабилизатора и могут быть размещены вместе с дополнительным делителем «вторым этажом» над платой синтезатора в том же самом конструктиве. При использовании внешнего термостатированного генератора номинал выходной частоты синтезатора желательно установить с точностью до 1 Гц или лучше.

**Чистого эфира!**

**Приложения.**

Технологические пояснения и чертежи печатных проводников для изготовления печатной платы.

### Металлизированные отверстия

Рис. 23

- ⊙ Диаметр 0,8 мм после металлизации. Контактная площадка, диаметром 1,6 мм.
- ⊙ Диаметр 1,2 мм после металлизации. Контактная площадка, диаметром 2,2 мм.
- ⊠ Диаметр 1,2 мм после металлизации. Контактная площадка - квадрат 2,4 x 2,4 мм.

### Печатные проводники

- Основные проводники, шириной 0,6 мм.
- Расширенные проводники, шириной 0,9 мм.

### Контактные площадки

- 0,8x2,5 мм (214 штук)
- ⊠ 1,8x1,8 мм (5 штук)

Помимо этого, на плате имеются широкие проводники сложной формы, координаты и размеры которых определяются по пиксельной сетке с шагом 0,125 мм (1 пиксель).

### Отверстия без металлизации

- ⊙ Диаметр 1,2 мм (2 штуки)
- ⊙ Диаметр 5,5 мм (1 штука)
- ⊙ Диаметр 2,7 мм (4 штуки)
- ⊙ Диаметр 3,1 мм (6 штук) Эти отверстия не расположены в узлах сетки 1,25 мм

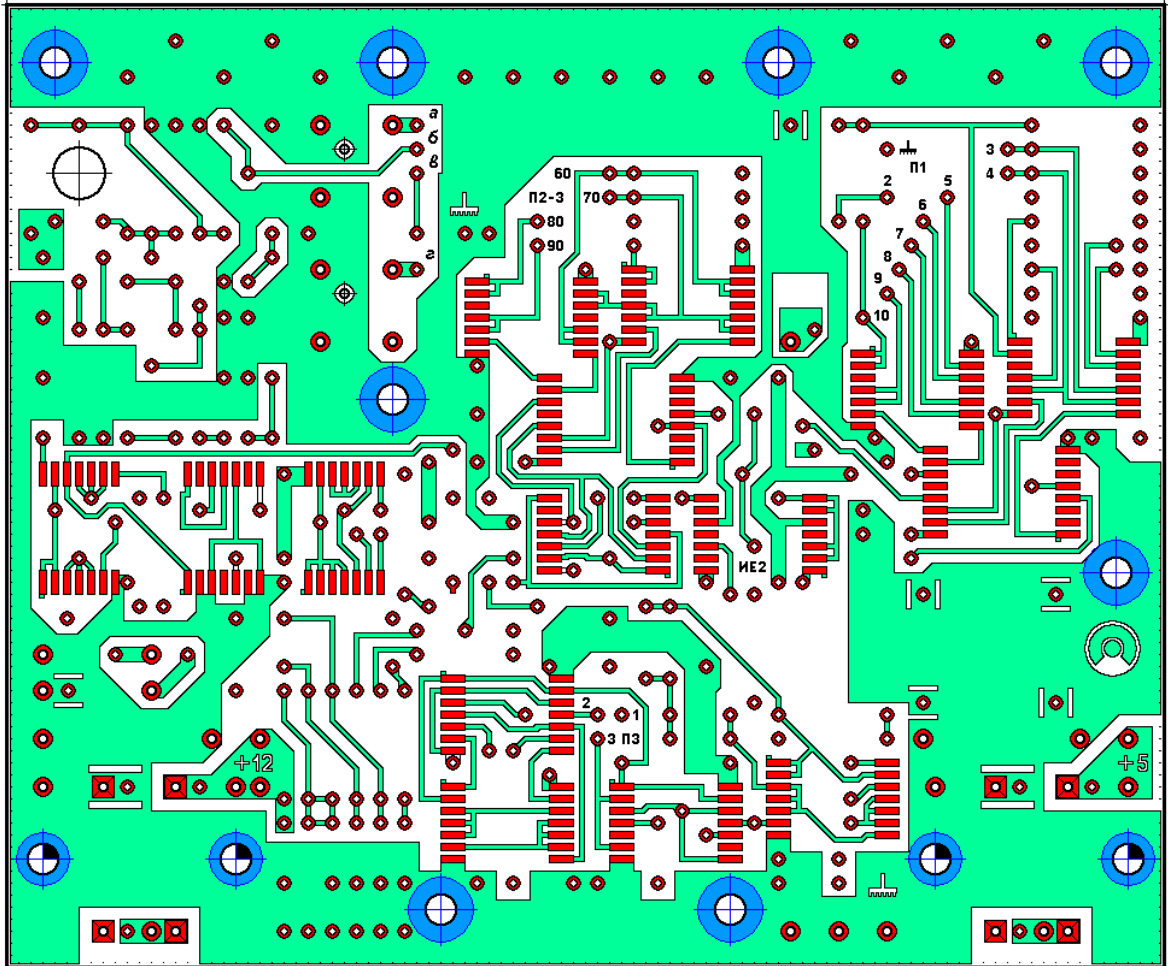


Рис. 24. Печатные проводники со стороны расположения деталей.

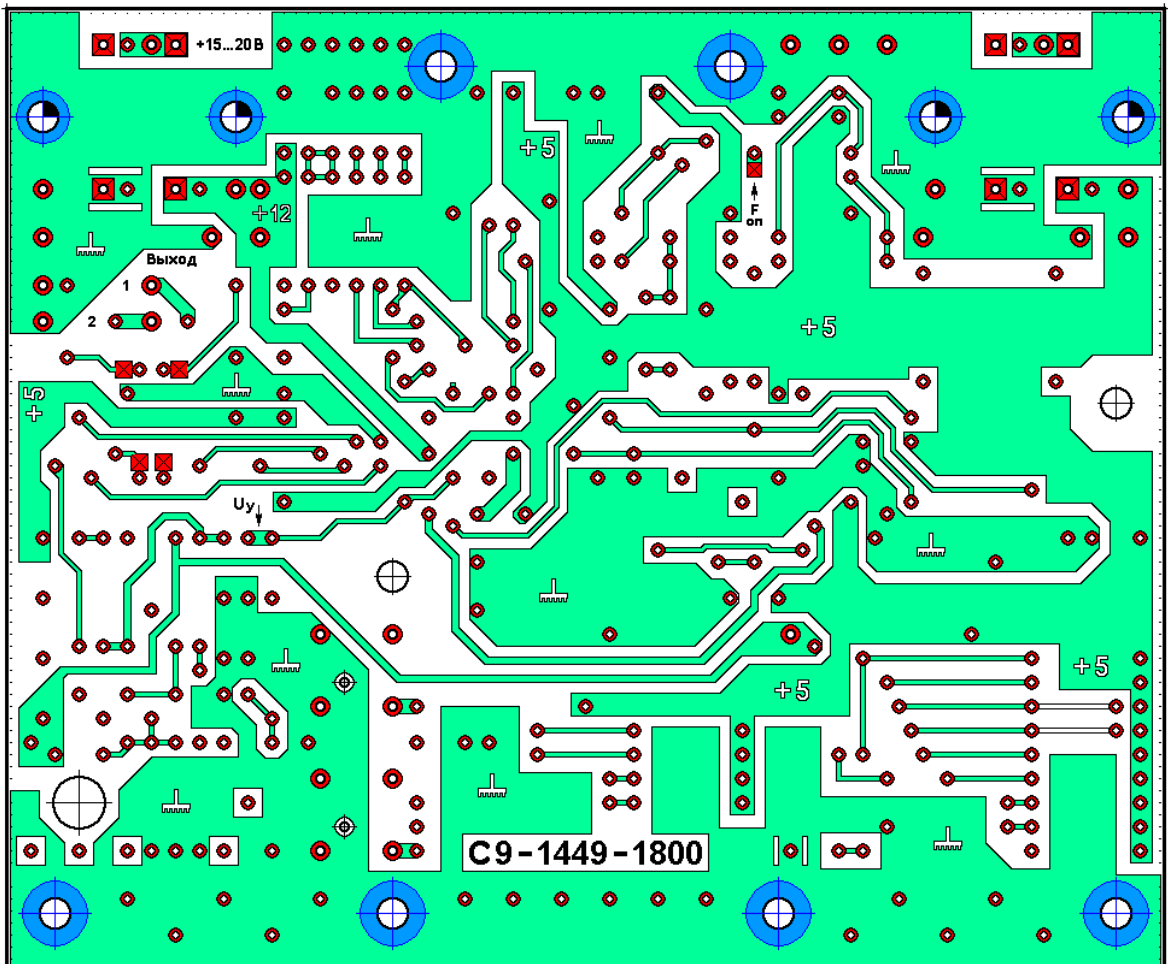


Рис. 25. Печатные проводники с обратной стороны платы.

# Средневолновый синтезатор радиочастот С9-1449-1800

Спецификация к принципиальной схеме.

**Резисторы** МЛТ-0,125 (С2-23), допуск 5%.

220 $\Omega$ – 4 шт.	1,5 к $\Omega$ – 3 шт.	3 к $\Omega$ – 4 шт.	15 к $\Omega$ – 3 шт.	120 к $\Omega$ – 2 шт.
470 $\Omega$ – 1 шт.	2,4 к $\Omega$ – 13 шт.	3,6 к $\Omega$ – 3 шт.	18 к $\Omega$ – 1 шт.	МЛТ-0,25 (С2-23) 240 $\Omega$ – 1 шт.
750 $\Omega$ – 1 шт.	2,7 к $\Omega$ – 1 шт.	7,5 к $\Omega$ – 1 шт.	51 к $\Omega$ – 1 шт.	

**Конденсаторы** КМ-5, КМ-6.

12 pF – 1 шт.	82 pF – 1 шт.	330 pF – 1 шт.	0,01 $\mu$ F – М1500 – 6 шт.
18 pF – 1 шт.	100 pF – 1 шт.	1000 pF – 2 шт.	0,068 $\mu$ F – Н90 – 13 шт.
56 pF – 1 шт.	240 pF – 1 шт.	1500 pF* – 1 шт.	0,33 $\mu$ F – Н90 – 2 шт.

**Конденсаторы:** К53-1 или К53-18: 30В x 22 - 47  $\mu$ F – 1 шт., 16В x 15 - 47  $\mu$ F – 1 шт.

**Диоды:** КД522Б – 4 шт., КВ104А – 2 шт., КС468А (КС168А) – 1 шт., КД212БМ – 2 шт.

**Транзисторы:** КТ306Б (КТ316Б) – 1 шт., КТ363Б (КТ326Б) – 2 шт., КТ608Б (КТ635А) – 2 шт.

**Микросхемы:**

140УД6 – 1 шт.	142ЕН5А – 1 шт.	133ИЕ2 – 1 шт.	533ЛА1 – 4 шт.	533ТМ2 – 3 шт.
	142ЕН8Б – 1 шт.	530ЛА4 – 1 шт.	533ЛА4 – 3 шт.	533ИЕ6 – 2 шт.

**Кварцевый резонатор:** 90 000 Гц, или 180 000 Гц, вакуумный в стеклянном баллоне, желательного, размером  $\varnothing$ 10 x 35 - 50 мм, с гибкими выводами. Динамическое (последовательное при резонансе) сопротивление кварцевого резонатора не более 400  $\Omega$ . Точность установки частоты не хуже 2 Гц.

\*При установке кварцевого резонатора 180 кГц конденсатор 1500 пФ заменить на 750 пФ.

**Каркасы катушек:** ИШГД 6.687.017 – 2 шт. **Сердечники:** М5ВН20 – ИШГД 6.660.227 – 2 шт.

**Провод намоточный:** ПЭЛШО – 0,25 – 1 м 20 см.

**Провод монтажный:** МГТФ-0,07 – 1 м 60 см.

**Провод медный голый:** луженый или посеребренный, диаметром 0,6-0,8 мм – 30 см.

**Трубка фторопластовая:** внутренним диаметром 1 мм – 15 см.

**Лакоткань:** толщина 0,15 мм, размер 5 x 20 см.

**Термопаста:** ВВ-1000 или КПТ-8 – четыре капли.

**Возможная замена микросхем:**

140УД6 – 140УД601, или МС1456, или МС1556

142ЕН5А – КР142ЕН5А или 7805

142ЕН8Б – КР142ЕН8Б или 7812

133ИЕ2 – SN5490

530ЛА4 – SN54S10

533ЛА1 – SN54LS20

533ЛА4 – SN54LS10

533ТМ2 – SN54LS74

533ИЕ6 – SN54LS192