

Налаживание УКВ аппаратов

Налаживание УКВ аппаратуры представляет собой довольно сложный процесс, выполнить который можно только с помощью специальных измерительных приборов. Привожу краткий перечень самодельных приборов, необходимых при наладочных работах над аппаратами УКВ.

1. Гетеродинный измеритель резонанса и волномер.
2. Измерительная линия.
3. Генератор шума.
4. Генератор заданных частот.

Гетеродинный измеритель резонанса – волномер

Это один из самых необходимых приборов для настройки на заданную частоту различных колебательных контуров. Многокаскадные гетеродины УКВ аппаратов можно настроить только при помощи этого прибора. Различные фирменные частотомеры во многих случаях оказываются бессильны там, где только простой волномер способен выполнить настройку.

В радиолюбительской литературе имеется много описаний различных конструкций этого прибора. Сначала гетеродинные измерители резонанса (ГИР) выполнялись на электронных лампах, затем было создано много разных вариантов на транзисторах. Обычно этот прибор включает в себя три функции:

1. Измерение частоты, на которую настроен проверяемый контур. Такое измерение проводится в том случае, если проверяемый контур «обесточен», т.е. контур находится в аппаратуре с выключенным питанием. В таком случае ГИР работает как обычный генератор электромагнитных колебаний, но при этом колебательный контур этого генератора индуктивно связан с проверяемым колебательным контуром. Изменяя частоту излучающих ГИР'ом колебаний, следует наблюдать за показаниями стрелочного индикатора. Как только частота излучаемых колебаний станет равной частоте настройки проверяемого контура, произойдет резкое уменьшение показаний стрелочного индикатора.

2. Измерение частоты, излучаемой проверяемым колебательным контуром. Такое измерение проводится при проверке работающего генератора, например, при настройке колебательного контура многокаскадного УКВ гетеродина. При этом ГИР должен работать в режиме волномера, т.е. колебательный контур ГИР'а должен быть индуктивно связан с проверяемым контуром, но входящий в состав ГИР'а генератор должен быть выключен. Излучаемые проверяемым контуром электромагнитные колебания наводятся в контуре ГИР'а и как только частота излучаемых колебаний станет равной частоте настройки контура ГИР'а наступает явление резонанса и показания стрелочного индикатора резко возрастут.

3. Генерируемые ГИР'ом электромагнитные колебания можно использовать для прочих целей, как колебания любого измерительного генератора. Т.е. ГИР может использоваться как обычный генератор высокой частоты (ГВЧ).

На рис. 1 приведена принципиальная электрическая схема одной из конструкций радиолюбительского ГИР'а, опубликованная в [3].

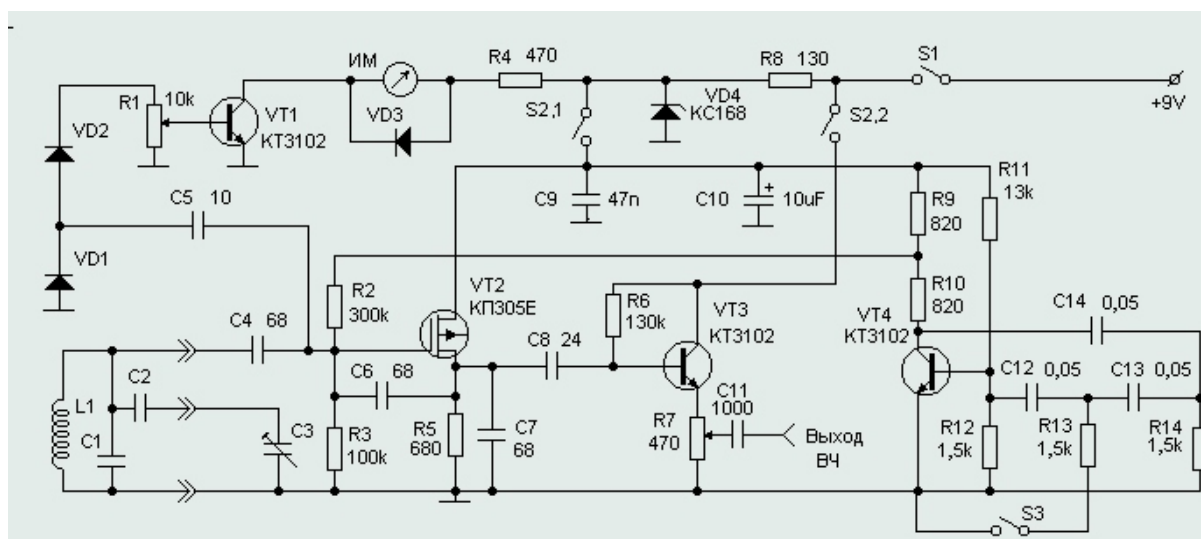


Рис. 1. Схема ГИР

В моей домашней лаборатории применяется ГИР, выполненный на электронной лампе. Прибор работает очень хорошо уже многие годы. Представленная на рис. 1 схема, по моему мнению, тоже может работать очень хорошо. Каскады на транзисторах VT3 и VT4 можно и не делать, потому что на практике работа в режимах, где используются эти каскады, проводится очень редко. Не буду приводить подробное описание этой конструкции, приведу далее только самые необходимые сведения.

При включении питания тумблером S1 запитывается усилитель постоянного тока на VT1, и прибор работает как обычный волномер. Диод VD3 и резистор R4 предохраняют стрелочный индикатор при «зашкаливании». Между базой транзистора VT1 и землей можно включить блокировочный конденсатор емкостью в несколько тысяч пикофард, например, 2200 пкф. Если приблизить сменную катушку L1 к контуру работающего генератора (гетеродин, ГПД), напряжение, наведенное в контуре L1, C1, C2, C3 и выпрямленное детектором на VD1 и VD2, вызовет отклонение стрелки прибора. При настройке L1, C1, C2, C3 на частоту генератора показания ИМ будут максимальны и по шкале можно определить частоту генерируемых колебаний.

При включении S2 подается питание на остальную часть схемы, и прибор используется как гетеродинный индикатор резонанса или как генератор ВЧ колебаний. Генератор ВЧ собран на VT2, каскад на VT3 – эмиттерный повторитель для уменьшения влияния нагрузки на частоту генерации при подключении внешнего потребителя ВЧ энергии. На VT4 собран генератор звуковой частоты. При подключении к «общему» проводу R13 тумблером S3 генератор ЗЧ возбуждается, и осуществляется амплитудная модуляция ВЧ колебаний генератора на VT2. Такая схема позволила исключить изменение частоты генератора ВЧ при включении модуляции.

Прибор ИМ – стрелочный индикатор от любого магнитофона с током полного отклонения не более 250 мкА. Диоды VD1 – VD3 могут быть любыми германиевыми, например, Д2, Д9; в качестве VD3 желательно применить диод типа Д310. C3 – подстроечный конденсатор с воздушным диэлектриком 1КПВМ-1. К его оси припаян удлиняющий отрезок длиной 15 мм от оси переменного резистора СП-1. Транзистор VT2 – КП305 с любым буквенным индексом, можно заменить на КП303, но при этом ухудшится стабильность частоты и уменьшится амплитуда колебаний на частотах 20 – 30 МГц. Транзисторы VT1, VT3 и VT4 – любые KT3102, или другие кремниевые ВЧ: KT312, KT315 и т. п., VT4 и VT1 можно заменить и НЧ транзисторами. S1 ...

S3 – тумблеры ТП1-2, R1 и R7 – СПЗ – 23. Питание от аккумуляторной батареи 7Д-01.

К прибору изготавливается необходимое количество сменных контуров. Для получения растянутых поддиапазонов надо подобрать соответствующие емкости С2 и С1, при максимальном перекрытии по частоте они не используются. Для катушек волномера и ГИР используются имеющиеся пластмассовые каркасы без сердечников. Намоточные данные не приводятся, так как они зависят от используемых каркасов, конструкции сменных контуров и желаемых поддиапазонов. Для примера, данные сменных контуров ГИР для поддиапазонов 1,8 – 2 МГц и 28 – 30 МГц, выполненных на каркасах диаметром 15 мм от контуров приемника Р154 (сердечники удалены): 160 м — 40 витков, С2 – 39 пФ, С1 – 10 пФ, 10 м – 4 витка, С2 – 27 пФ, С1 не используется. Намотка – виток к витку, провод ПЭЛ 0,25.

При настройке подобрать значение R5 по максимальной амплитуде ВЧ напряжения на наивысшей частоте генерации – по показаниям индикатора ИМ или ВЧ вольтметра (осциллографа), подключенного к разъему «Выход ВЧ». Затем проверить генерацию на наименьшей частоте и, если показания индикатора при максимальной чувствительности менее 1/3 – 2 шкалы прибора ИМ, несколько увеличить сопротивление R5. Подбором R6 установить ток коллектора VT3 равный 5 ... 8 мА.

Градуировку шкалы лучше проводить в режиме ГИР, измеряя частоту выходного напряжения, которое снимают с разъема «Выход ВЧ» или по контрольному радиоприемнику.

Измерительная линия

На УКВ и сверхвысоких частотах вместо измерения частоты электромагнитных колебаний очень удобно измерять непосредственно их длину волны , связанную с частотой f формулой:

$$\lambda = c/f,$$

где c – скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, близкая к 300 000 км/с. В качестве волномеров на метровых и дециметровых волнах применяют измерительные линии, чаще всего выполненные на базе короткозамкнутых отрезков двухпроводной или коаксиальной линии, а на сантиметровых волнах – объемные резонаторы.

Измерительная линия представляет собой колебательную систему с распределенными по длине индуктивностью и емкостью. По сравнению с резонансными частотомерами она имеет меньшие потери на излучение и значительно большую добротность. Преимущественное применение измерительных линий на УКВ и СВЧ объясняется в основном конструктивными соображениями (длина линии должна быть одного порядка с длиной измеряемых волн).

Наряду с измерением длины волны, измерительные линии также применяются для взаимного согласования различных компонентов устройств СВЧ (антенн, колебательных систем, линий передачи) и измерения их параметров: полного и волнового сопротивлений, коэффициентов стоячей и бегущей волн и др.

Достоинством измерительных линий является простота их конструкции. Коэффициент перекрытия измеряемых линий длин волн обычно не превышает 1,5, а погрешность измерений достигает 0,1 – 1%.

Двухпроводные измерительные линии

Двухпроводные измерительные линии применяются для различных измерений резонансным методом на метровых и частично дециметровых волнах. Устройство линии показано на рис. 2.

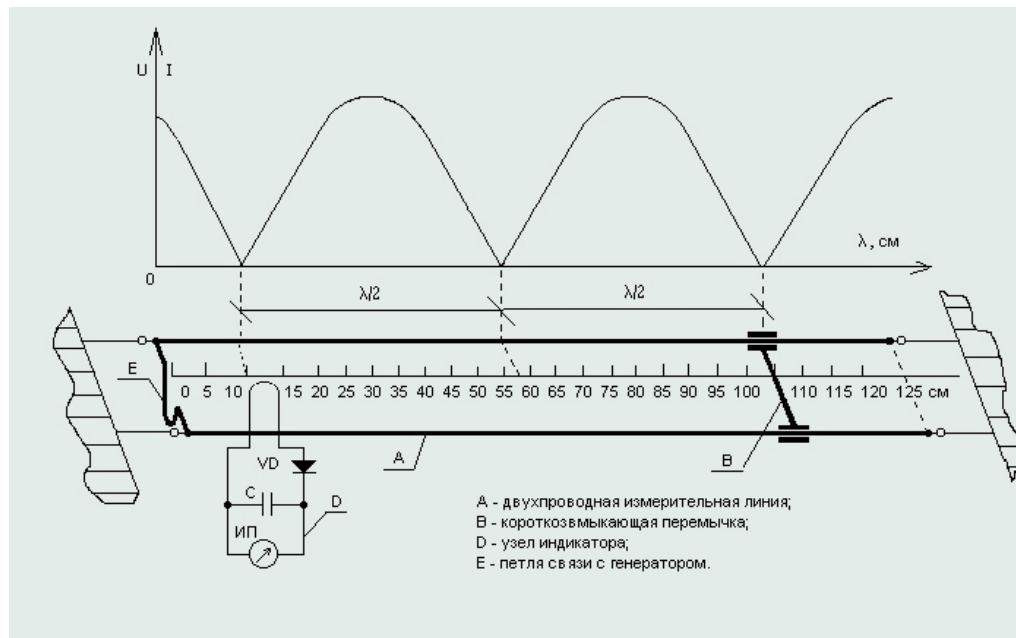


Рис 2. Двухпроводная измерительная линия

Линия состоит из двух туго натянутых параллельных проводов, подвешенных через изоляторы к неподвижным опорам. Такими опорами могут служить, например, противоположные стены помещения. Линии длиной до 2—3 м часто выполняются в виде переносных устройств с использованием в качестве опор стоек из изоляционного материала, установленных на деревянном основании. Параллельно проводам располагают шкалу, проградуированную в единицах длины. Чтобы избежать заметного излучения электромагнитных волн в пространство, расстояние между проводами линии не должно превышать 5% наименьшей измеряемой длины волны. Провода линий метрового диапазона волн взаимно удаляют на 5—30 см, на дециметровых волнах это расстояние уменьшают до 1—5 см. Вдоль линии может перемещаться металлическая перемычка (мостик) В, замыкающая практически накоротко провода линии; ее часто выполняют в виде пластины, экранирующей действующий участок линии от ее свободной части.

Начало линии посредством витка (петли) Е связывается индуктивно с источником колебаний, длина волны которых измеряется. При испытании маломощных генераторов допускается непосредственное соединение их выходных зажимов с входом измерительной линии посредством проводников или коаксиального кабеля (при этом виток связи от линии отключается). Линия связи должна быть согласована с измерительной линией, что достигается при равенстве их волновых сопротивлений. Поэтому измерительную линию обычно выполняют с определенным значением волнового сопротивления, определяемым формулой

$$= 276 \lg(a/r),$$

где a – расстояние между центрами проводов линии, а r – радиус сечения проводов. Например, при $a = 37$ мм и $r = 3$ мм получаем 300 Ом .

Под действием э. д. с., наводимой в витке связи, или напряжения, подводимого по кабелю от источника колебаний, в короткозамкнутой линии устанавливаются стоячие волны тока и напряжения. Распределение среднеквадратических значений тока I и напряжения U вдоль линии при фиксированном положении переключки В примерно соответствует графику в верхней части рис. 2. На конце линии всегда имеет место пучность тока и узел напряжения. Пучность тока (напряжения), как и узлы, повторяются через интервалы, равные $\lambda/2$. Из-за наличия некоторых потерь в линии по мере удаления от ее начала амплитуда пучностей постепенно уменьшается.

Для определения пучностей служит стрелочный индикатор **D**, состоящий из высокочастотного диода **VD**, фильтрующего конденсатора **C** и магнитоэлектрического измерителя **ИП**. Если виток связи индикатора расположен параллельно проводам, то связь с линией носит индуктивный характер и индикатор реагирует на ток в линии; при расположении витка связи перпендикулярно проводам связь с линией приобретает емкостный характер и индикатор реагирует на напряжение между проводами. Индикатор можно связать с линией и через конденсатор малой емкости. Для регулировки чувствительности индикатора последовательно или параллельно с его измерителем включают переменный резистор.

При перемещении индикатора вдоль линии связь между ними трудно сохранять неизменной. Поэтому петлю связи индикатора иногда закрепляют неподвижно в начальной части линии, а передвигают переключку **В**, вместе с которой перемещается и вся картина распределения стоячих волн. Расстояние между двумя соседними положениями переключки, при которых показания индикатора минимальны (или максимальны), равно, очевидно, $0,5 \lambda$.

Погрешность измерений оказывается наименьшей, если измерительную линию *настраивать в резонанс* с частотой исследуемых колебаний $f = c/\lambda$ посредством изменения длины ее короткозамкнутого участка. Резонансная настройка будет иметь место при длине последнего кратной $0,5 \lambda$, т. е. при $0,5 \lambda$, λ , $1,5 \lambda$, 2λ и т. д. Задача измерения сводится к определению положений переключки **В** при резонансных настройках.

Резонанс характеризуется сильным возрастанием энергии, отсасываемой измерительной линией от исследуемого генератора. При испытании маломощных автогенераторов реакция последних на резонансную настройку связанной с ними линии проявляется в резком изменении тока в цепях активного элемента – лампы или транзистора. При отсутствии у генератора стрелочного индикатора резонанс можно обнаружить по наименьшей яркости свечения лампочки накаливания, индуктивно связанной с контуром генератора. Таким образом, при измерении *методом реакции* измерительная линия может не иметь индикатора.

В общем случае положения переключки **В**, соответствующие настройке линии в резонанс, можно определять достаточно точно по наибольшей яркости свечения миниатюрной лампочки, включаемой в разрыв переключки. Для этого переключку составляют из двух металлических пластин, закрепленных на изоляционном основании и ребрами соприкасающихся с проводами линии, а лампочку помещают на изоляторе между пластинами. Лампочка реагирует на ток I_k в пучности на конце линии, который при перемещении переключки изменяется в соответствии с графиком на рис. 2. При резонансе ток I_k резко возрастает (для линии без потерь он стремится к бесконечности); его амплитуда ограничивается сопротивлением переключки и потерями в линии и по мере увеличения длины

последней постепенно уменьшается. Вместо лампочки в разрыв перемычки можно включить термоэлектрический прибор.

В качестве примера практического применения измерительной линии при некоторых радиолюбительских случаях, на рис. 3 приведена схема одного из вариантов описанной выше измерительной линии, применяющаяся в моей домашней лаборатории. На этом рисунке измерительная линия показана схематично во время настройки колебательного контура, состоящего из емкости **С** и индуктивности **L**.

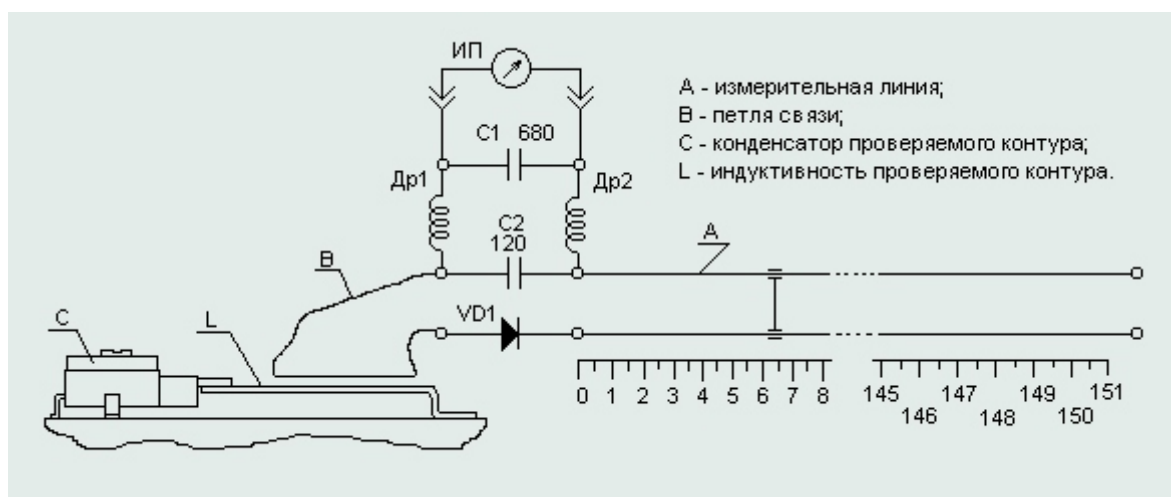


Рис. 3. Схема применения линии

Конструктивно линия выполнена на деревянной рейке длиной 150 см. На концах рейки шурупами прикреплены пластмассовые изоляционные упоры, служащие для крепления проводов. На одном из концов рейки, который служит началом линии, между изоляционными стойками укреплена плата из одностороннего фольгированного стеклотекстолита с расположенными на ней элементами измерителя. В качестве измерительного прибора используется подключаемый во время измерений тестер ТЛ-4. К плате также припаяна петля связи, выполненная из отрезка одножильного провода в хлорвиниловой изоляции. Длина провода примерно 20 см. Указанные на схеме ВЧ дроссели имеют каждый по 14 витков провода ПЭЛ-0,4, намотанных на оправке диаметром 4 мм.

В начале измерений короткозамыкающая перемычка должна находиться в начале линии. Петлю связи нужно согнуть таким образом, чтобы на этой петле создать прямолинейный участок, длина которого должна быть немного меньше длины измеряемой индуктивности. Расположить рейку с длинной линией таким образом, чтобы прямолинейный участок петли связи располагался на удалении 1 ... 2 мм от измеряемой индуктивности. При этом, если в измеряемом контуре уже имеется высокочастотная энергия, то стрелка прибора должна немного отклониться от нулевого положения. Перемещать вдоль линии перемычку и наблюдать изменения показаний прибора.

В нормальном случае, по мере перемещения перемычки, показания прибора должны изменяться от какой-то минимальной величины до какого-то максимума. Следует сразу обратить внимание, какие из показаний – максимумы или минимумы являются более резко выражены.

Для проведения измерения следует замерить расстояние между двумя соседними максимумами или минимумами. Полученная величина будет равна

половине длины волны присутствующей в контуре ВЧ энергии. Для пересчета длины волны в частоту следует использовать формулу

$$f = 30000 / \lambda,$$

где f – частота в МГц, λ – длина волны в сантиметрах.

Если измеренное расстояние между двумя соседними максимумами равно 47 см, то длина волны будет равна: $\lambda = 47 + 47 = 94$ см.

При этом получим значение частоты будет равно: $30000 : 94 = 319,14$ МГц. Для настройки контура в резонанс следует установить переключку на положение максимума и изменять емкость контурного конденсатора C до наибольшей величины показаний измерительного прибора.

Грубая настройка приемной части

После того, как была выполнена настройка гетеродина, следует переходить к настройке УВЧ. Однако сначала следует настроить контур ПЧ, расположенный сразу же после смесителя (если таковой контур имеется в конвертере). Для настройки УВЧ следует подать на его вход сигнал от простейшего генератора шума. Схема такого простейшего прибора приведена на рис. 4. Можно изготовить и использовать также несколько более сложный прибор, схема которого приведена на рис. 5.

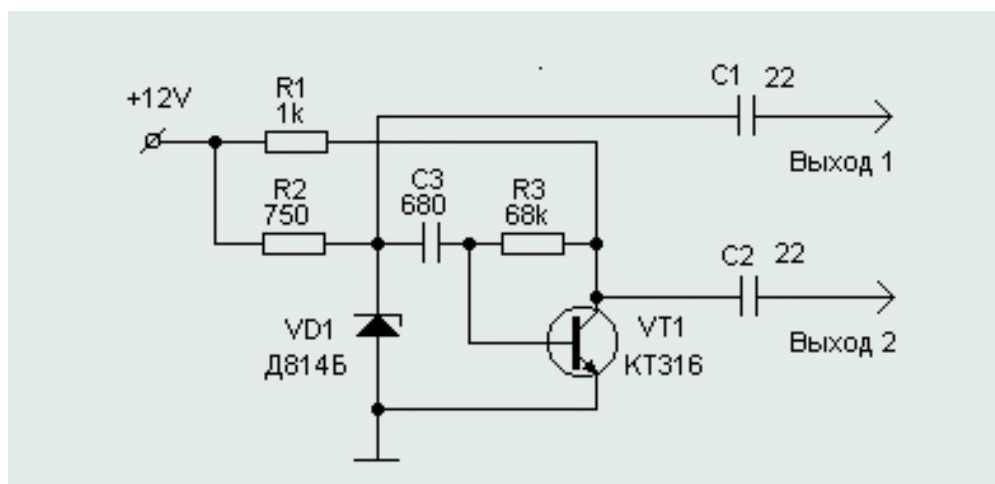


Рис. 4. Принципиальная схема простейшего генератора шума

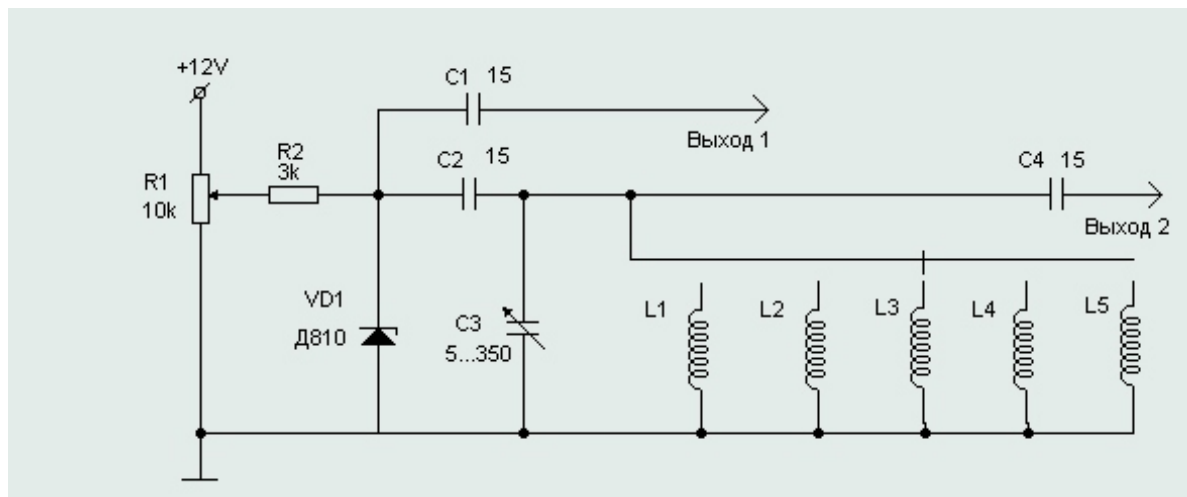


Рис. 5. Схема простого сигнал-генератора

При настройке конвертера 29 МГц или 145 МГц сразу же после подключения генератора шума на вход УВЧ на выходе приемника появится шумовой сигнал. Подстроечными органами – (конденсаторами) следует добиться максимально возможного усиления шумового сигнала.

Таким путем можно выполнить только грубую настройку. Зачастую такая настройка оказывается достаточной. Точную настройку конвертера и проверку направленных свойств антенны можно выполнить с применением более сложных приборов.