

Кварцевый гетеродин

Виктор Беседин (UA9LAQ)

В технике КВ и УКВ часто используется перенос частот одного диапазона в другой, с целью дальнейшей обработки сигналов имеющимися техническими средствами. Например: имеется хороший трансвер на КВ диапазоны (кварцевые фильтры, DSP, амплитудные ограничители и пр.), но нет возможности работать в двухметровом диапазоне (144...146 МГц). В этом случае необходим конвертер (только на приём), или трансвертер (для переноса частот на приём и на передачу). И конвертер и трансвертер имеют один очень важный узел – кварцевый гетеродин – “подставку”, частота которого в комбинации с частотой входного сигнала даёт желаемую для дальнейшей обработки в трансивере. В нашем случае, это может быть, например, 116 МГц для переноса диапазона 2 м в 10-метровый (144 – 116 = 28 МГц) или 130 МГц - в 20-метровый диапазон (144 – 130 = 14 МГц). Автор применял последнюю комбинацию в трансвертере к трансиверу UW3DI (оба в ламповом исполнении), работая на “двойке” с начала семидесятых годов прошлого века. Для получения кварцевого гетеродина с частотой 130 МГц тогда пришлось городить устройство на двух лампах: двойном триоде и пентоде (кварцевый генератор 6,5 МГц, умножитель частоты на 5 = 32,5 МГц, удвоитель частоты = 65 МГц и ещё один удвоитель = 130 МГц).

С той поры минули годы, сильно изменилась как сама компонентная база, так и схемотехника радиоаппаратуры, в частности и кварцевых генераторов. На смену лампам и биполярным транзисторам пришли полевые транзисторы различных структур, позволяющие решать задачи, о которых раньше можно было лишь мечтать. Автор, в своё время, экспериментируя, пришёл к схеме простого кварцевого генератора на полевом транзисторе [1, 2, 3].

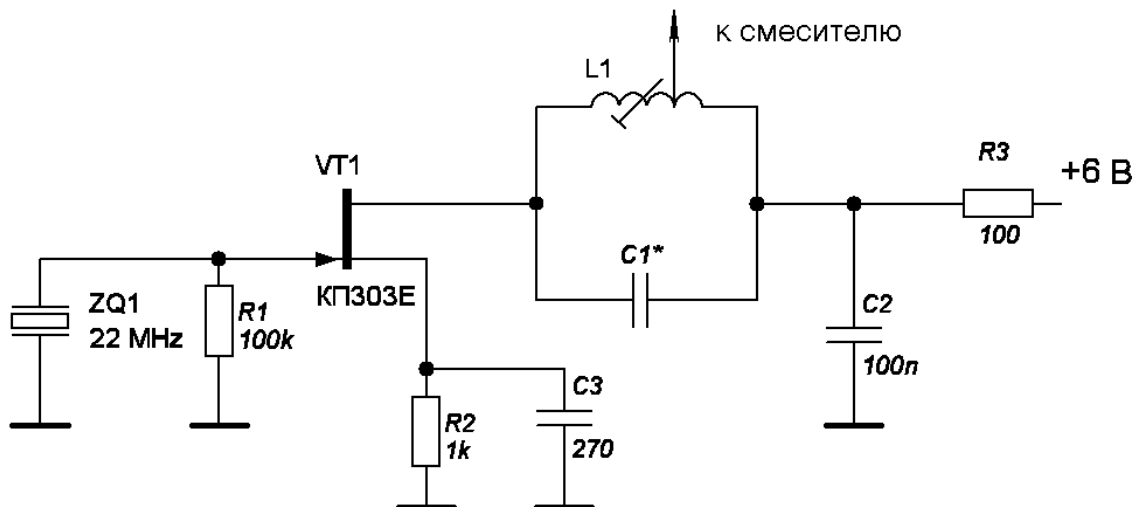


Рис. 1

Была отмечена предельная простота, надёжность и высокие показатели таких кварцевых генераторов, их способность работать в широком диапазоне питающих напряжений, что позволило, например в портативном CW/SSB приёмнике отказаться от стабилизации напряжения питания и повысить экономичность устройства [2]. Кварцевый генератор [1, 2, 3] (Рис. 1) работал или на основной или на третьей гармонике применяемых кварцевых резонаторов, что ограничивает область применения таковых, при доступных кварцевых резонаторах, частотами, примерно, 60 МГц. Попытки применения генератора с использованием пятой гармоники успеха (с доступными резонаторами) не имели: выходное напряжение было катастрофически малым. На мой взгляд, это получается из-за того, что кварцевый резонатор в этой осцилляторной, не имеющей специальной цепи обратной связи, схеме (Рис.1) возбуждается на основной частоте (на что уходит львиная доля мощности генератора) с набором гармонических составляющих, убывающих по амплитуде с увеличением номера гармоники. Контуром L1C1 выделяется напряжение нужной гармоники (1, 3 – чётные гармоники ослаблены), естественно, что амплитуда напряжения гармоник с более высоким номером будет мизерной. Несколько видоизменим схему генератора.

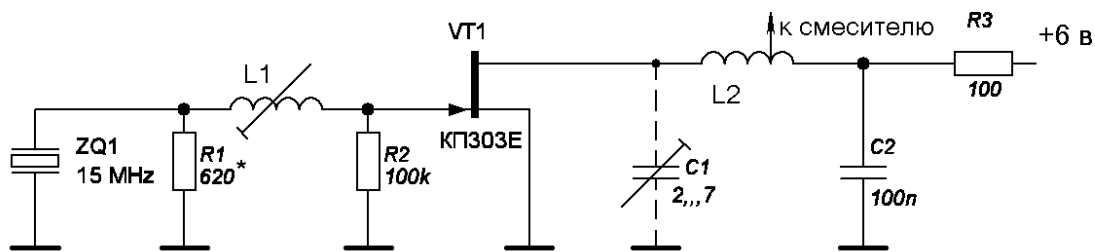


Рис. 2

Для устранения нежелательных фазовых сдвигов, уменьшения уровня шумов и повышения предельной рабочей частоты генератора, упраздним цепочку R2C3 в цепи истока ПТ VT1 (Рис. 1)., одновременно, для гашения колебаний основной частоты (1 гармоники кварцевого резонатора) добавим резистор R1 и катушку L1 – для обеспечения фазовых соотношений в генераторе только на частоте необходимой гармоники (Рис. 2), контур L2C1 выполняет здесь ту же функцию выделения напряжения, что и в генераторе на Рис. 1, но для той гармоники, на которую настраивается последовательный контур L1Cкв, где Cкв – ёмкость кварцедержателя ZQ1, включенная с L1 последовательно. Настраивая контуры L1Cкв и L2C1 в резонанс на нужную гармонику кварцевого резонатора, получаем генератор, способный работать на частотах выше 100 МГц. Такой генератор не имеет в выходном сигнале напряжения основной гармоники и называется, поэтому, обертонным. Для обеспечения подавления 1 гармоники и повышения выходного напряжения, возможно применения этого генератора и на 3 гармонике, однако, основной интерес к этой схеме должно проявить, так как она надёжно работает на 5 и 7 гармониках резонаторов.

Покупной резонатор на 15,000 МГц (1 гармоника) был запущен в схеме Рис.2 сначала на частоте 75 МГц – 5 гармонике, затем 105 МГц – на седьмой, отмечена обычная особенность генераторов на гармониках: возбуждаться выше расчётной

(по 1 гармонике) частоты, так, - точная частота генерации на седьмой гармонике резонатора 15 МГц составила 105,0404 МГц. Поскольку в оберточный генератор входят и катушки индуктивности L1 и L2 (для повышения добротности контура в цепи стока VT1 контурный конденсатор C1 не использовался), то их добротности и стабильности нужно уделить особое внимание – для эксперимента были взяты унифицированные катушки ШИ4778003 по ТУ радиостанции “Кама - С”.

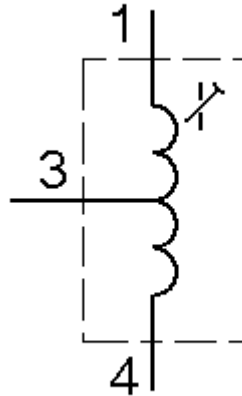


Рис. 3

Катушки имеют каркасы диаметром 10 мм с сердечниками из карбонильного железа МРЗ с резьбой М6 х 0,75, на каркасах имеется канавка, в которую с шагом положены 7 витков провода ПСР 0,51, имеется отвод от середины, катушки экранированы. Подключение катушек полностью (выводы 1-4 (Рис.3)) позволило, перемещая сердечники, настроить контуры сначала на 75 МГц (5 гармоника), а затем, полностью вывернув сердечники, и на 105 МГц (7 гармоника). Измерение частоты генератора, смонтированного на небольшой макетной платке, производилось частотомером MASTECH MS6100, катушка связи от которого, одевалась поверх L2, с которой был снят экран (L1 – в экране). Подпаяв другой резонатор, - оберточный на 56 МГц (частота 3 гармоники), я, вставив сердечники внутрь каркасов катушек, настроил генератор на частоту 93,3333 МГц, предполагаемую частоту 5 гармоники относительно основной $56 : 3 \times 5 = 93,3333$ МГц, но генератор “включился” несколько ниже, видимо, сказался, учтённый в обозначении на корпусе резонатора, уход частоты вверх в оберточном кварце. Индуктивности катушек были явно большими для частоты 7 гармоники и их пришлось переключить на отводы выводами 1-3 (или 4-3), вращая сердечники катушек, я получил генерацию на частоте 130,6377 МГц (!!!), что также ниже расчётных по первой гармонике ($56 : 3 \times 7 = 130,6666$ МГц). Но генератор работает, чем не подспорье и повод к мыслям о замене тех “ламповых” 130 МГц!

С одной стороны, это говорит о том, чтобы ещё раз подвергнуть ревизии, имеющиеся у радиолюбителя кварцевые резонаторы и оценить возможность их

применения в конструкциях, пересчитав частоты, например, обертоновых, относительно их основной (первой) гармоники и с учётом работы на гармониках, включая седьмую (составить таблички на имеющиеся резонаторы). С другой стороны, не пора ли от многокаскадных гетеродинов, например, на “двойку” переходить к однокаскадным, а на более высокочастотных диапазонах сократить количество каскадов гетеродинов, что позволит упростить аппаратуру, почистить спектр излучаемых ею сигналов, снизить её габариты, энергопотребление и вес. Уменьшение числа каскадов гетеродина и кратности умножения частоты улучшает спектральную чистоту напряжений, как самих генераторов, так и устройств, куда эти генераторы входят, в целом; уменьшается фазовый шум. Деление частоты такого генератора, скажем, для применения на КВ, казалось бы, должно было ещё улучшить последний показатель, но, как правило, из-за неоптимальной конструкции делителя, отсутствия должных: экранировки, развязки и согласований и вносимых делителями специфических помех, это преимущество остаётся, в большинстве своём, теоретическим.

Несколько конструктивных особенностей генератора: для устранения побочных связей катушки L1 и L2 должны быть изолированы друг от друга по полю, т. е., между ними должен быть экран, для устранения подвозбуждений генератора, что повлечёт за собой искажение формы выходного напряжения генератора и ухудшение спектральной чистоты его выходного напряжения (в простейшем случае, хотя бы одна из катушек, например, L1 должна иметь экран). Генератор следует исполнять с соблюдением правил СВЧ монтажа, причём, такие требования становятся актуальными в прямой геометрической прогрессии относительно роста частоты. Катушка L1 должна обязательно подстраиваться сердечником (из материала, работающего на частоте генерации), в противном случае, подбор индуктивности этой катушки может оказаться трудоёмкой операцией, хотя вариант с бескаркасной катушкой и подстройкой её перемещением витков относительно друг друга, при настройке, исключать не следует. Контур L2C1 может подстраиваться как сердечником с достаточно низкой величиной проницаемости 5ВЧ...20ВЧ, в зависимости от рабочей частоты, с упразднением C1, так иметь и бескаркасную конструкцию катушки с подстройкой частоты с помощью C1 или раздвиганием/сжатием витков катушки L2, при упразднении C1, во всех случаях экранировка между “входом” и выходом генератора обязательна. Катушки, не имеющие сердечников, обладают значительным полем рассеяния, поэтому, с одной стороны, они должны располагаться на плате горизонтально и как можно ближе к подстилающей поверхности земляной фольги, что благоприятно скажется на уменьшении излучения катушки, с другой стороны – такое размещение ухудшает добротность катушки и все дестабилизирующие факторы, например, вибрация фольги, в большей степени, негативно скажутся на настройку контура, нужен разумный компромисс. В качестве активного элемента в генераторе применён полевой транзистор КП303Е, который может быть заменён аналогичными из серии КП307 или КП312. Чем выше применяемая частота в генераторе, тем короче должен быть вывод истока транзистора. “Снимать” напряжение гетеродина на смеситель можно как с отвода катушки L2 (автотрансформаторно), так и с помощью катушки связи, размещённой у “холодного” конца L2 (в обоих случаях, - 1...2

витка). Выходное напряжение гетеродина можно регулировать и изменением напряжения его питания. Несмотря на то, что частота кварцевого генератора (гетеродина) (Рис. 2), при изменении напряжения питания, меняется не столь драматично (см. Табл. 1), питать генератор, всё же, для достижения высокой стабильности, желательно, через стабилизатор напряжения (например, маломощный регулируемый, - на LM317L).

Табл. 1

Влияние напряжения питания на частоту кварцевого генератора (Рис. 2)

Напряжение питания, В	Частота генератора, кГц
12	105043,7
11	105043,5
10	105043,1
9	105042,7
8	105042,0
7	105041,3
6	105040,4

Минимальное напряжение, при котором возбуждается генератор находится вблизи 3,9 В, максимальное – зависит от прочности транзистора VT1. При напряжении питания 10...12 В от генератора можно получить $U_{вых}$ до нескольких вольт. При уменьшении напряжения питания $U_{вых}$ снижается. Стабильность генератора в целом зависит не только от стабильности напряжения питания, но и от добротности и стабильности его катушек индуктивности (механической и температурной), следует уделить этому повышенное внимание: катушки мотаются серебряным проводом, в крайнем случае, простым обмоточным без снятия изоляции (не лудить!). Готовый генератор следует несколько раз подвергнуть циклу нагрева не выше 100° С в духовке и охлаждению в холодильнике, соотношение в циклах не менее 1 : 10, соответственно, для снятия механических напряжений. Резистор R1 (Рис. 2) должен быть безиндуктивным (подойдут типа МЛТ, МОН), номиналом ниже 1 кОм, критерий надёжная блокировка возникновения колебаний 1 гармоники кварцевого генератора. Ток, потребляемый генератором, при испытательном напряжении 6 В, составил 5,9 мА.

Если в готовой аппаратуре ощущается нехватка напряжения с кварцевого гетеродина, например, в связи с переделкой смесителя на более высокоуровневый, то, пересмотрев формирование частоты гетеродина на основе предложения, высказанного в этой статье, можно высвободить последний каскад умножителя, перевести его в усилительный режим и с минимальными переделками достигнуть поставленной цели. При необходимости заставить предлагаемый кварцевый генератор работать на низкоомную нагрузку необходимо добавить буферный каскад на полевом транзисторе, например, КП902, КП907, можно и на биполярных, но, во всех случаях, желательно тщательное согласование между каскадами и линейный режим работы дополнительного усилителя.

Настройка генератора довольно проста: сначала, параллельно кварцевому резонатору ZQ1 (Рис. 2) подключаем ГСС с установленной на нём частотой необходимой гармоники. Настраиваем контур L2C1 на максимум показаний, например, резонансного волномера, расположенного рядом с катушкой этого контура, затем отключаем ГСС. Вращая сердечник катушки L1, добиваемся появления генерации, о чём свидетельствуют показания волномера. С выходом генератора связываем частотомер и по максимальным показаниям волномера и контролю частоты на частотомере последовательными (несколько раз): вращением сердечника катушки L1 и коррекцией настройки контура L2C1 окончательно настраиваем генератор. Если генератор не возбуждается во всех положениях сердечника катушки L1, то либо: в генераторе применён дефектный кварцевый резонатор, либо предел изменения индуктивности катушки L1 не допускает настройку контура L1Cкв на частоту нужной гармоники, либо предварительно рассчитанная частота настройки контура L2C1 оказалась неверной (напоминаю, что частоты генерации резонаторов на высших гармониках смещаются вверх, относительно указанной на корпусе резонатора частоты первой гармоники и могут оказаться ниже расчётного значения частоты гармоники рассчитанной через первую гармонику у оберточного резонатора. Пример: на корпусе оберточного (третья гармоника) резонатора указана частота 56,0 МГц, делим на три, частота первой гармоники по расчёту составит 18,666 (в периоде) МГц, ожидаемая по расчёту частота седьмой гармоники будет $18,666 \times 7 = 130,666$ МГц, реально генератор возбудился на частоте 130,6377 МГц, ниже по частоте, что даёт повод сделать заключение о том, что уход частоты резонатора при возбуждении на 3 гармонике вверх был учтён в маркировке и частота 56,0 МГц получена с резонатором, имеющим частоту первой (основной) гармоники ниже 18,666 МГц). Об этом нужно помнить и при повышенном требовании к точности установки частоты, нужно специально подбирать резонаторы и устанавливать в небольших пределах частоту генерации путём небольшой расстройки контуров генератора или изменением напряжения его питания.

Подбор связи со смесителем следует осуществлять или с помощью подстроечного конденсатора, включенного между отводом катушки (который тоже можно двигать в пределах 1...2 витков) и гетеродинным входом смесителя (конденсатор на рисунках не показан) или путём изменения расстояния между катушкой L2 и катушкой связи, подключенной к гетеродинному входу смесителя. Внесённую расстройку контура L2C1 во всех случаях необходимо компенсировать.

Несмотря на неоднозначность подхода к преимуществу кварцевых гетеродинов, работающих на гармониках кварцевых резонаторов, без умножения частоты, следует сказать несколько слов в их защиту. Несколько меньшая стабильность (из-за наличия катушки L1, например) частоты генератора по схеме Рис.2 окупается, относительно Рис.1 тем, что меньшая нестабильность последнего после умножения частоты во столько же раз умножается, приближаясь к нестабильности первого, фазовый шум (все подёргивания частоты), вызванный, как процессами внутри транзистора генератора, так и факторами изменения питающего напряжения генератора и наводками на него в схеме с генератором на Рис. 1 и умножителями будет также умножены, плюс вложенный белый шум,

который усиливается всеми каскадами, следующими за генератором (и собственные шумы этих каскадов), искажение формы сигнала генератора приводит к появлению новых нежелательных частот, которые при умножениях производят новые... Частота генерации самого генератора, хоть в ослабленном виде, тоже проходит к смесителю, что, в конечном итоге, сильно снижает динамический диапазон последнего. Другое дело, когда мы имеем дело с одной частотой в гетеродине, да ещё кварцевом, где фазовый шум не умножается, если не применяется усилитель, то и белый шум будет иметь минимальный уровень, выбор режима работы транзистора (не “ голодный ”), с умеренным током стока и применение двух контуров, настроенных на частоту гармоники будут гарантировать отличную форму сигнала гетеродина, останется только правильно согласовать гетеродин со смесителем: по напряжению и импедансу.

- Литература: 1. В. Беседин. Конвертер на 50 МГц. Радиолобитель №8 1993 г, стр. 42...44; В. Беседин В. Конвертер 50/28 МГц. – КВ-журнал, № 4-5 1993 Г, стр. 46...50; В. Беседин. Конвертер на 50/28 МГц.
<http://cqham.ru/conv50.htm>
2. В. Беседин. Экспериментальный приёмник. Радиолобитель. КВ и УКВ. № 9, 1996 г, стр. 22...25; В. Беседин. Супер на микросхеме. Моделист-Конструктор, № 12 1996 г, стр.14...15; В. Беседин. CW приёмник для QRP радиостанции.
<http://cqham.ru/cwrx12.htm>; В. Беседин. Экспериментальный приемник. КВ – журнал, № 1 1996 г, стр. 25
3. В. Беседин. Маячок. Радиолобитель. КВ и УКВ. № 1 1997 г, стр. 28, 29
4. В. Беседин. Кварцевый гетеродин. Радиомир. КВ и УКВ № 7 2006 г, стр. 27...30

г. Тюмень