

В.Н. Гололобов

Как работает...



...генератор сигналов?

Москва - 2013

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Шум	3
Глава 2. Обратная связь	4
Глава 3. Положительная обратная связь	4
Глава 4. Логические вентили	5
Глава 5. Мультивибратор на транзисторах	6
Глава 6. Мультивибратор на микросхеме таймера 555	7
Глава 7. Генератор импульсов на микроконтроллере	8
Глава 8. Простой генератор синусоидального сигнала	9
Глава 9. Почему фаза сигнала изменилась?	10
Глава 10. Некоторые важные параметры генераторов	10

Введение

Самая скромная лаборатория радиолюбителя должна иметь мультиметр, генератор, осциллограф и источник питающего напряжения.

Каждый из этих приборов может быть любой природы. Так сегодня генератор и осциллограф звуковой частоты можно иметь в виде программы на компьютере, оснащённом звуковой картой. Звуковая карта служит основой для весьма качественных приборов.

Мультиметр позволяет измерять ток, напряжение, сопротивление. Некоторые мультиметры позволяют измерять ёмкость, частоту, усиление по току транзистора, температуру.

Внутренняя жизнь любого электронного устройства связана с преобразованием сигналов, несущих полезную информацию. Даже электронные часы имеют генератор, его называют тактовым генератором, отсчитывающий секунды. Этот сигнал преобразуется в минуты и часы, которые отображаются на дисплее. Любой сигнал можно считать переменным напряжением или током, изменяющимся по какому-то определённом закону. Поэтому, налаживая или ремонтируя электронное устройство, используют лабораторные источники сигналов (или генераторы сигналов). Так как работает генератор сигналов?

Глава 1. Шум

Я знаю два простых способа получения (или генерации) сигналов, один из которых связан с таким неприятным явлением как шум.

Все компоненты (или почти все) создают в электрической схеме шум. Шум связан с тем, что и в проводах, и в других элементах электрической схемы под действием температуры происходит хаотическое движение электронов. И если ток – это направленное движение электронов, то хаотическое их движение мешает выявить, увидеть (или услышать) это направленное движение.

Шум, создаваемый элементами схемы, можно представить как смесь бесконечного числа сигналов разных частот. Поэтому, имея источник шума, мы можем с помощью фильтров выделять сигналы разных частот.

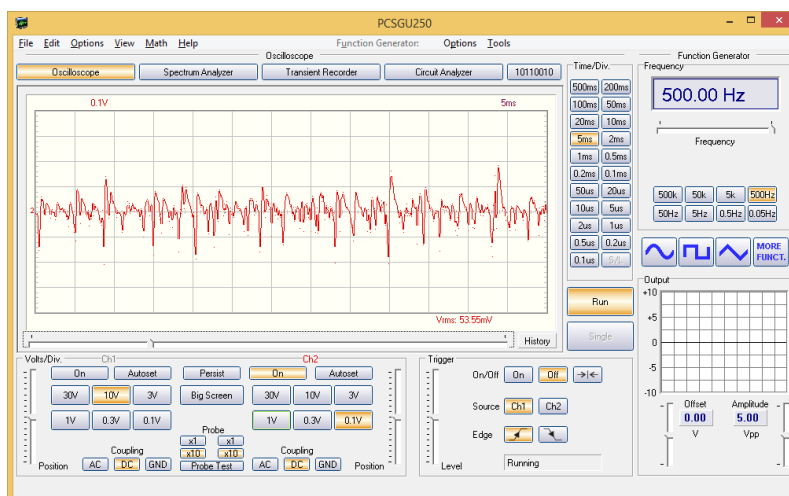


Рис.1. Шум радиоприёмника на экране осциллографа

Если спектр шума равномерный, то шум называют белым. Генераторы белого шума можно применять при исследовании широкополосных цепей.

Глава 2. Обратная связь

Любая электрическая цепь имеет вход и выход. Даже в том случае, когда электрическая цепь состоит из единственного элемента, а вход и выход совпадают, мы можем говорить о входе и выходе. Если часть сигнала с выхода подать на вход электрической цепи, то получится обратная связь. Вот схема простейшего каскада усиления на транзисторе.

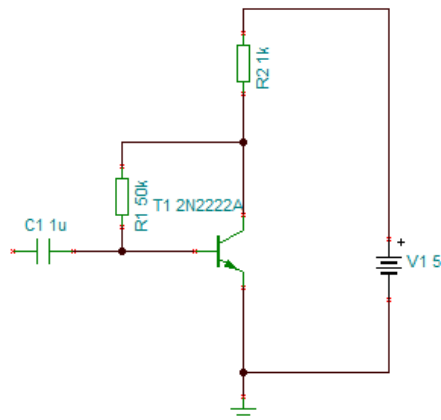


Рис. 2. Обратная связь в каскаде усиления

Резистор R1 задаёт базовый ток транзистора, определяя его рабочую точку. Но! Выходной сигнал снимается с коллектора транзистора, а входной сигнал приложен к базе и эмиттеру. Резистор R1 с входным сопротивлением каскада усиления образуют делитель напряжения. При этом часть выходного сигнала с коллектора транзистора попадает на вход. То есть, образуется обратная связь. Если выходной сигнал, как в этом случае, противофазен входному, то обратная связь называется отрицательной – сигнал обратной связи вычитается из входного сигнала.

Отрицательную обратную связь широко применяют для разных целей: это и расширение полосы пропускания, это и уменьшение нелинейных искажений, и изменение входного сопротивления, и уменьшение шумов, и стабилизация рабочей точки.

Глава 3. Положительная обратная связь

В том случае, когда сигнал обратной связи совпадает по фазе с входным сигналом, мы имеем дело с положительной обратной связью. В некоторых случаях эта обратная связь полезна. Например, компаратор, переключающийся при превышении напряжения на входе заданного, порогового напряжения, при введении положительной обратной связи срабатывает быстрее, что важно для компаратора.

В других случаях положительная обратная связь вредна. Так в усилителях с большим усилением из-за паразитной обратной связи приходится с этим явлением бороться, иначе усилитель работает нестабильно. Кроме того, если сигнал обратной связи большой, то есть, обратная связь очень глубокая, следует тщательно исследовать поведение усилителя на высоких частотах. На этих

частотах отрицательная обратная связь может превратиться в положительную, а усилитель потеряет устойчивость. Происходит это из-за того, что у каждого усилительного каскада есть верхняя рабочая частота, за которой усиление каскада падает. Но меняется не только усиление выше этой частоты, меняется фаза сигнала. Противофазный сигнал низкой частоты на высоких частотах может стать синфазным.

Что происходит с каскадом усиления, когда отрицательная обратная связь превращается в положительную?

Глава 4. Логические вентили

Цифровые микросхемы, как правило, построены на логических вентилях. Дело в том, что цифровые микросхемы работают с сигналами только двух видов: сигнал низкого уровня (можно считать 0 В) и сигнал высокого уровня (часто близко к напряжению питания). Цифровые микросхемы могут выполнять арифметические операции, работая с двоичными числами, где есть две цифры – это ноль и единица. Любое число можно представить в привычном для нас десятичном виде, но можно представить и в двоичном виде. Суть числа от этого не изменится. Однако математический аппарат арифметики двоичных чисел очень схож с аппаратом бинарной логики. Поэтому современные компьютеры, супер калькуляторы, прекрасно работают не только с числами, но и обрабатывают информацию любого рода. В логических рассуждениях говорят о двух состояниях: истинно и ложно. Если состояние «истинно» считать уровнем логической единицы, а состояние «ложно» - уровнем логического нуля, то цифровые микросхемы в своей работе прекрасно справятся и с задачами логики. Для логических вентилей цифровых микросхем составляют таблицы истинности, как для логических конструкций.

Но выше мы говорили об обратной связи. При чём здесь логика?

В цифровой микросхеме можно ввести обратную связь. Этим пользуются для создания тактовых генераторов цифровых устройств. Вот классическая схема мультивибратора на цифровой микросхеме.

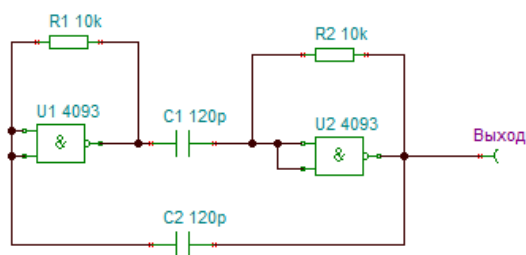


Рис. 3. Мультивибратор на цифровых микросхемах

В схеме использовано два вентиля 2И-НЕ. У каждого из вентилях, если подать на входы 1, то на выходе будет 0, и наоборот.

Если при включении питающего напряжения на выходе будет 1, то в начальный момент эта единица попадёт через конденсатор C2 на вход U1, а на выходе этого вентиля будет 0. Через конденсатор C1 ноль попадёт на вход вентиля U2, что и даст на выходе 1. Логично. Но...

Но конденсатор не пропускает постоянный ток. Значит, вышеописанный сценарий логичен только в начальный момент времени. Когда конденсатор C2 зарядится, на вход U1 попадёт ноль с его выхода через резистор R1. Ситуация изменится на противоположную – на выходе схемы будет 0.

Процесс изменения состояния выхода будет повторяться раз за разом. Примерно, так:

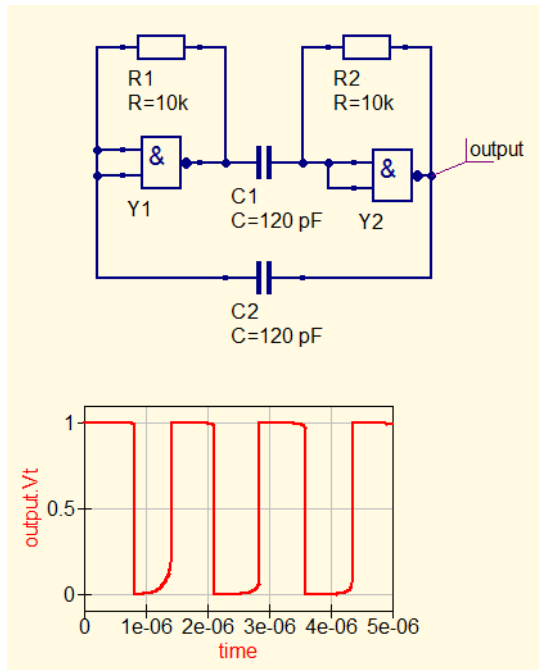


Рис. 4. Работа мультивибратора на цифровых микросхемах

Пример использования цифровых микросхем не так очевиден, как ещё более классический вариант мультивибратора.

Глава 5. Мультивибратор на транзисторах

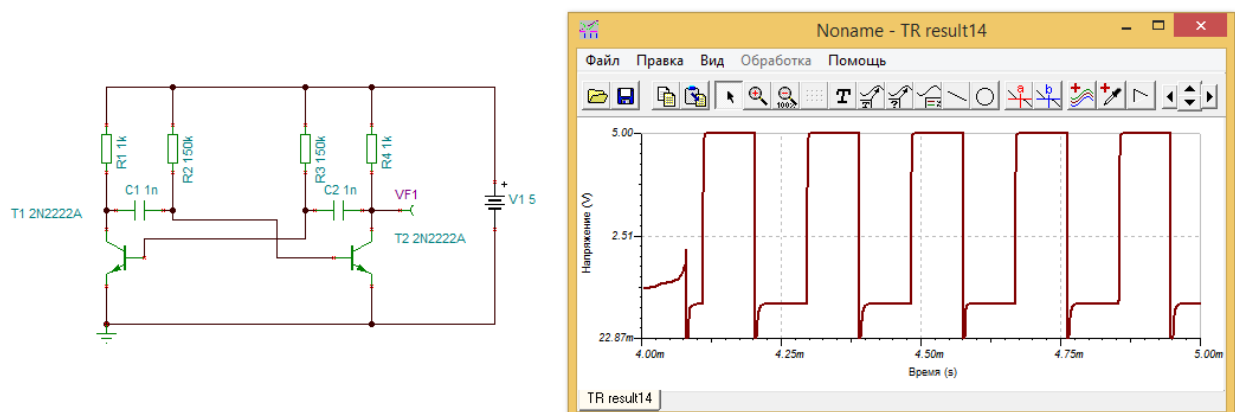


Рис. 5. Мультивибратор на двух транзисторах

Понять работу мультивибратора на транзисторах легче, хотя схемы этого мультивибратора и предыдущего очень похожи.

Предположим, что после подачи питающего напряжения транзистор T2 включён. Конденсатор C2 через включённый транзистор T2 оказывается включён между базой и эмиттером транзистора T1. В начальный момент времени напряжение на конденсаторе C2 равно нулю. Значит, транзистор T1 закрыт. Но конденсатор C2 через резистор R3 заряжается. Когда напряжение на нём достигнет величины открывания транзистора T1, тот начинает открываться. Конденсатор C1 до этого зарядился так, что на обкладке, соединённой с коллектором T1 плюс, на второй обкладке минус. И, когда транзистор T1 откроется, конденсатор C1 через этот открытый транзистор оказывается приложен к базе и эмиттеру транзистора T2. Но полярность заряженного конденсатора такова, что транзистор T2 быстро закрывается. Перезарядка конденсатора C1 через резистор R2 повторит процесс переключения. И так раз за разом.

Генератор однополярных прямоугольных импульсов можно собрать, используя разные схемы и разные компоненты. Например, можно использовать микросхему таймера 555.

Глава 6. Мультивибратор на микросхеме таймера 555

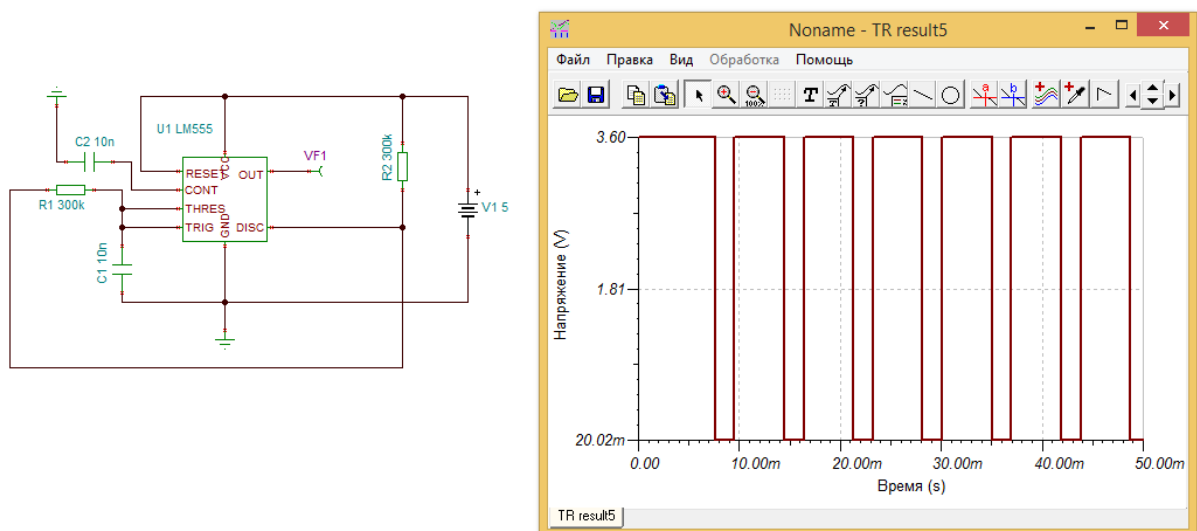


Рис. 6. Мультивибратор, использующий таймер 555

Такой генератор будет хорошо работать до частоты около 100 кГц. Немного видоизменив схему, можно добавить не только регулировку частоты (резистор R2), но и скважности. Описать работу этого генератора можно, но это сложнее, поскольку микросхема таймера 555 довольно сложная. Выглядит она так:

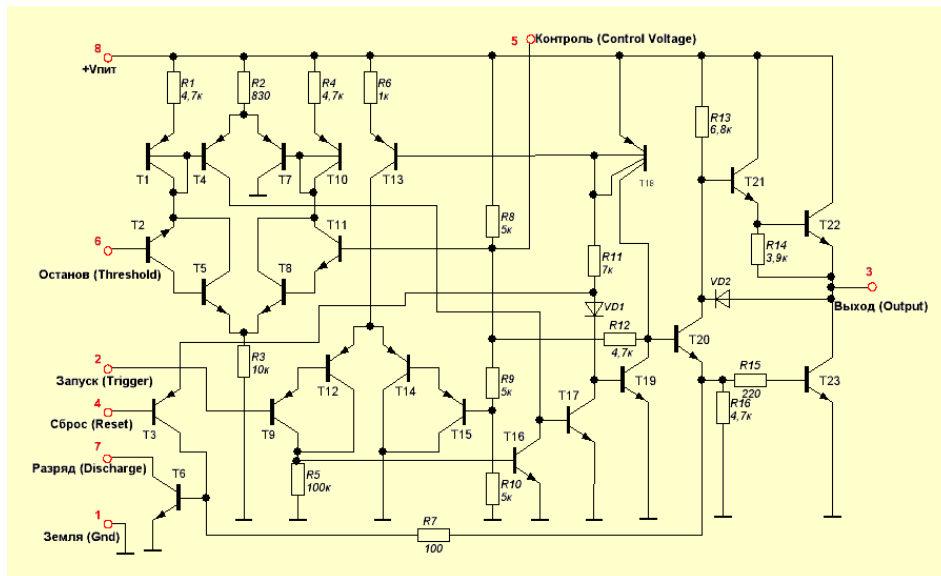


Рис. 7. Схема таймера 555

Сегодня подобный генератор можно собрать, добавив перестройку частоты и скважности импульсов, взяв за основу микроконтроллер.

Глава 7. Генератор импульсов на микроконтроллере

Простейшая схема генератора с фиксированной частотой выглядит так:

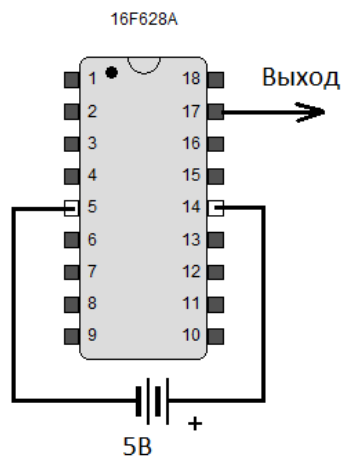


Рис. 8. Схема генератора на микроконтроллере

И ту же схему будет иметь генератор качающейся частоты. Различие в работе двух генераторов будет скрыто в программе, написанной для микроконтроллера. Если добавить к схеме несколько кнопок, то с их помощью можно менять частоту генератора, скважность импульсов. А для удобства работы с генератором можно подключить дисплей, который будет отображать текущие параметры.

Характерной особенностью построения подобного генератора прямоугольных импульсов будет то, что вы можете создать первый, простейший генератор, а позже добавить другие элементы, переписав программу и перепрограммировав микроконтроллер.

Глава 8. Простой генератор синусоидального сигнала

Если не считать генератора на микроконтроллере, остальные генераторы используют обратные связи. Схема генератора синусоидального сигнала на одну частоту тоже использует обратную связь.

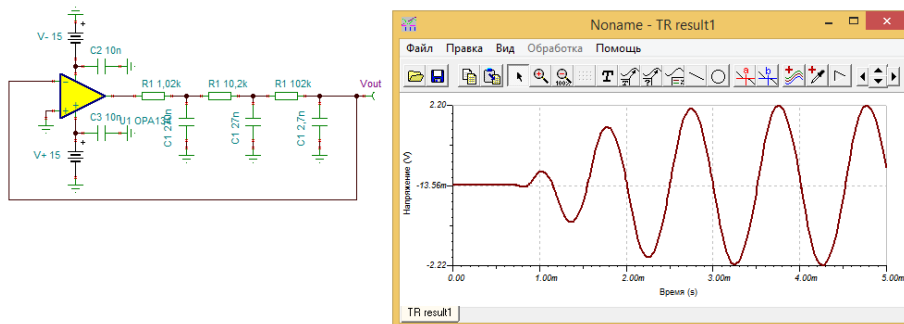


Рис. 9. Простой генератор синусоидального сигнала

В этой схеме используется операционный усилитель, но можно было использовать и транзистор. Обратная связь, сигнал с выхода приходит на инверсный вход операционного усилителя, отрицательная. Но для создания возбуждения, как правило, используется положительная обратная связь. Как же в этой схеме происходит генерация?

Чтобы понять, как это происходит, следует обратиться к амплитудно- и фазочастотным характеристикам:

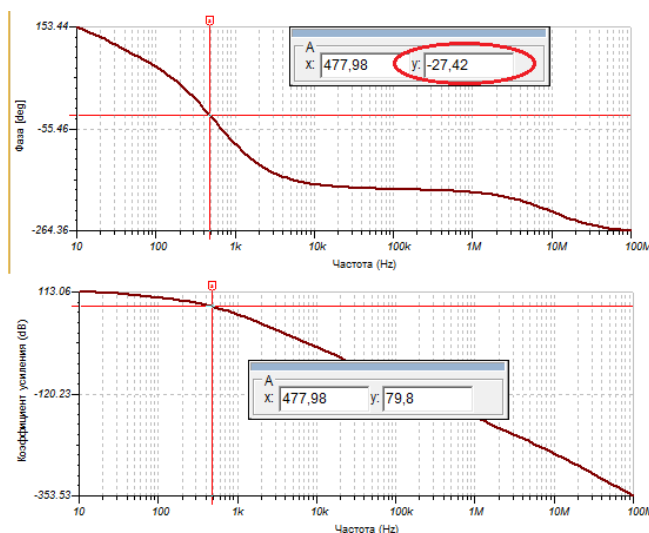


Рис. 10. Частотные характеристики схемы

Верхняя характеристика показывает изменение фазы сигнала с ростом частоты. Частота, при которой фаза изменилась на 180 градусов, а отрицательная обратная связь превратилась в

положительную, на нижнем рисунке тоже отмечена маркером. На этой частоте усиление больше нуля, что и превращает усилитель на операционном усилителе в генератор.

Глава 9. Почему фаза сигнала изменилась?

Заслуга в этом, конечно фильтра, собранного на трёх резисторах и трёх конденсаторах.

Давайте, посмотрим, как меняется фаза сигнала в цепи из одного резистора и одного конденсатора.

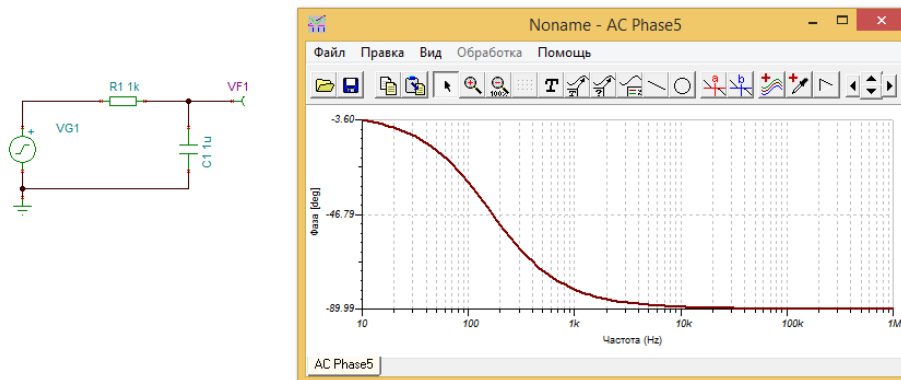


Рис. 11. Фазочастотная характеристика RC цепи

Фаза выходного сигнала меняется с ростом частоты на 90 градусов. Это сказывается влиянием реактивных элементов схемы. Они меняют фазу сигнала. Достаточно вспомнить, что ток и напряжение на индуктивности или ёмкости сдвинуты по фазе. Используя фазовый сдвиг сигнала на реактивных элементах схемы, мы можем превратить отрицательную обратную связь в положительную, что и было сделано в схеме генератора синусоидального сигнала.

Глава 10. Некоторые важные параметры генераторов

Для генераторов прямоугольных импульсов одним из самых важных параметров, как правило, является стабильность частоты. Особенно тогда, когда генератор используется в качестве тактового генератора в цифровых схемах. Чтобы улучшить этот параметр, применяют кварцевую стабилизацию частоты. Кварцевый резонатор имеет очень хорошие показатели по стабильности частоты.

У генераторов синусоидального сигнала наиболее важными параметрами является стабильность амплитуды сигнала и нелинейные искажения. Чем выше стабильность амплитуды, тем меньше нелинейные искажения, тем качественнее генератор. Раньше для генерации низкочастотных сигналов часто использовали схему с мостом Вина.

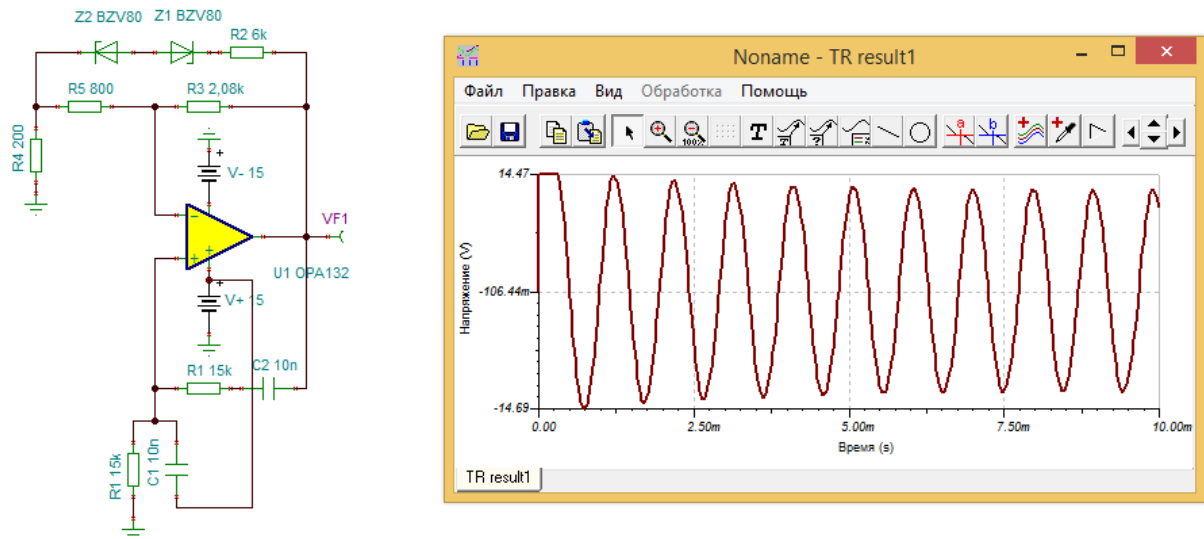


Рис. 12. Генератор с мостом Вина

В приведённой схеме конденсатор C1 подключён к плюсу питания – это особенность программы моделирования, но может иметь и принципиальное значение при буквальном повторении схемы.

Генератор с мостом Вина использует и положительную обратную связь через RC фильтры, и отрицательную обратную связь. Назначение последней – уменьшить нелинейные искажения и стабилизировать амплитуду сигнала при перестройке частоты.

Сегодня, используя современную элементную базу, часто выпускают такую разновидность, как функциональные генераторы, производящие прямоугольные, треугольные и синусоидальные сигналы с очень хорошими параметрами. Однако начинающему радиолюбителю важнее понимать принципы работы генераторов, а использовать можно и самые простые, собранные собственными руками. Их возможностей хватит надолго.