

Частотно-избирательные устройства.

**Пассивные фильтры и их
характеристики. Резонансные
усилители. Активные фильтры.**

**Гираторы. Генераторы
синусоидальных колебаний.
LC-генераторы. Кварцевые
генераторы. RC-генераторы.**

В электрических, радиотехнических и телемеханических установках часто решается задача: из совокупного сигнала, занимающего широкую полосу частот, выделить один или несколько составляющих сигналов с более узкой полосой. Сигналы заданной полосы выделяют при помощи *частотных электрических фильтров*.

Активными называются фильтры, использующие для формирования частотной характеристики заданного вида как пассивные (в основном резисторы и конденсаторы), так и активные (усилительные) элементы.

Что же такое фильтрация?

Фильтрация – выделение желательных компонентов спектра электрического сигнала с подавление нежелательных.

Спектр сигнала – результат разложения сигнала на ряд более простых базисных ортогональных функций. Для электротехники такими функциями чаще всего являются синусоидальные функции.

Для разложения сигнала чаще всего используют преобразование Фурье, разложение по функциям Уолша и вейвлет-преобразования.

Виды фильтров

- Аналоговые и цифровые

Аналоговые фильтры обрабатывают аналоговые сигналы и строятся на основании RLC компонентов, транзисторов, операционных усилителей и пр.

Цифровые фильтры обрабатывают цифровые сигналы и используют в качестве специализированного ПО.

- Пассивные и активные

Пассивные фильтры не используют внешних источников питания.

Активные фильтры используют внешние источники питания и могут быть слаботочными (применяются в измерительных каналах) либо силовыми (для фильтрации высших гармоник в силовых цепях.)

Классификация фильтров

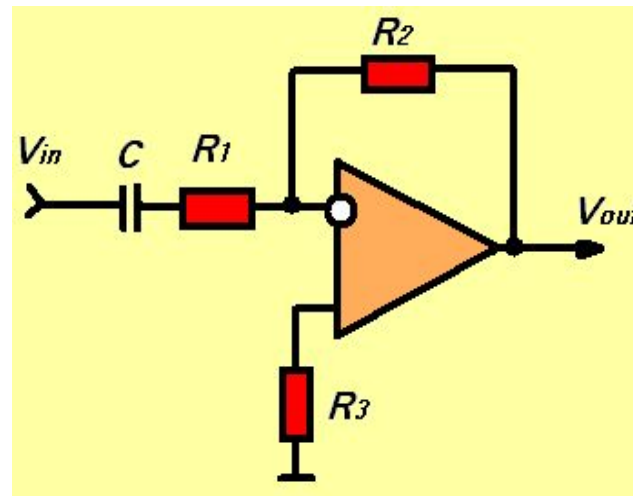
- по виду амплитудно-частотной характеристики:
- По назначению известны фильтры:
 - ◆ высоких (верхних) частот;
 - ◆ низких (нижних) частот;
 - ◆ полосовые;
 - ◆ узкополосные;
 - ◆ широкополосные;
 - ◆ режекторные (заграждающие) и пр.

Фильтры верхних частот

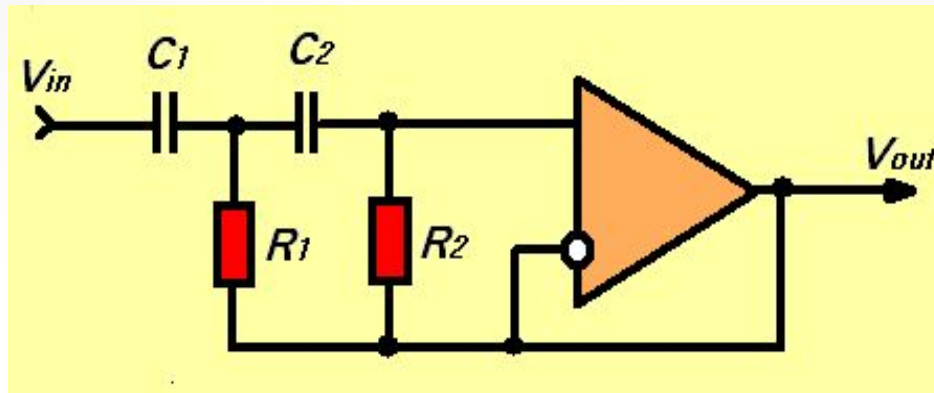
- **Фильтры верхних частот** пропускают только те сигналы, частота которых выше некоторого заданного значения. Такие фильтры используются в звуковых схемах для устранения низкочастотного шума, вызываемого, к примеру, работой лентопротяжного механизма.

Частота спада АЧХ :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C}$$



в) простой фильтр ВЧ



2) классическая схема фильтра ВЧ

- Для критического ослабления: $C_1=C_2=C$, $R_1=R$, $R_2=2R$,

• Частота среза:

$$f_c = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_1 R_2}}$$

- Если $R_2 > 2R_1$, то частотная характеристика схемы имеет резонансный пик.

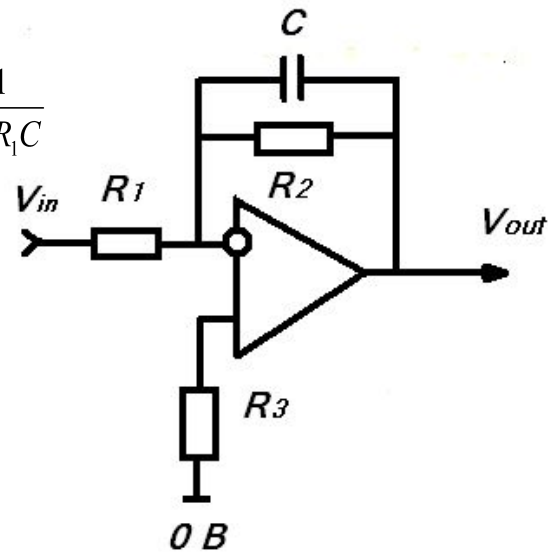
Фильтры нижних частот

- **Фильтр нижних частот** препятствует пропусканию сигналов, частота которых выше некоторого заданного значения. Типичная область применения фильтров низких частот - устранение высокочастотного шума в звуковых схемах, в этом случае такие фильтры называют шумопоглощающими.

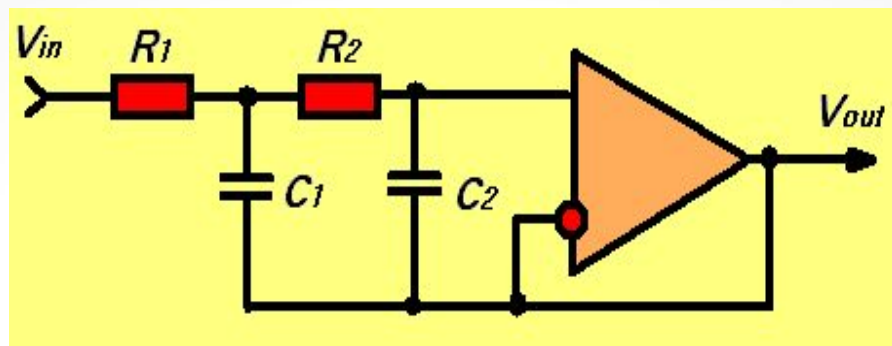
Частота спада АЧХ :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C}$$



а) простой фильтр низких частот



б) классическая схема фильтра НЧ.

- Для критического ослабления: $R_1=R_2=R$, $C_2=C$, $C_1=2C$

- Частота среза:
$$f_c = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C_1 C_2}}$$

- Если $C_1 > 2C_2$, то частотная характеристика схемы имеет резонансный пик.

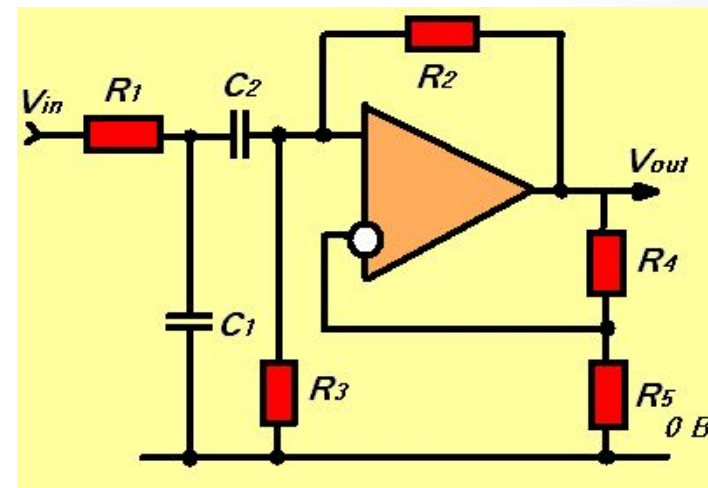
Полосовые фильтры

- **Полосовые фильтры** пропускают только частоты определенного диапазона, а режекторные фильтры (фильтр-пробка) препятствуют прохождению сигналов из определенного диапазона частот.

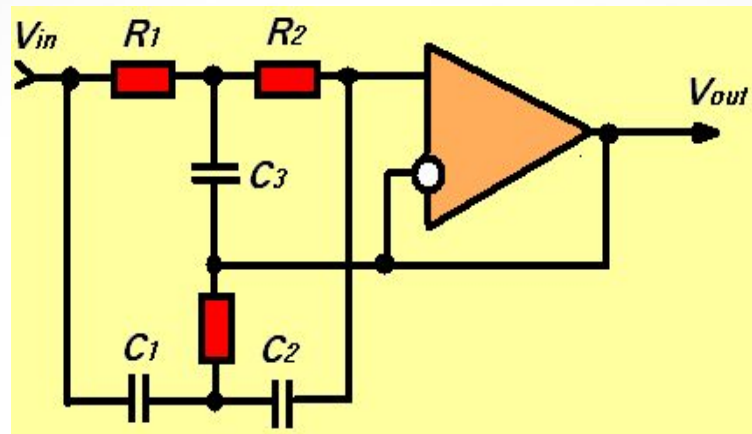
• Центральная частота :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad Q = \frac{R_5}{2R_5 \cdot R_4}$$

Если $R_1=R_2=R$, $R_3=2R$ и $C_1=C_2=C$



д) полосовой фильтр



е) режекторный фильтр

- Центральная частота:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Если $R1=R2=R$, $R3=R/2$ и $C1=C2=C$, $C3=2C$

Например, режекторный фильтр частотой 45...55 Гц широко используется в контрольно-измерительной аппаратуре для блокировки сетевых шумов частотой около 50 Гц.

Преимущества

К **преимуществам** активных фильтров в первую очередь следует отнести:

- способность усиливать сигнал, лежащий в полосе их пропускания;
- возможность отказаться от применения таких нетехнологичных элементов, как индуктивности, использование которых несовместимо с методами интегральной технологии;
- лёгкость настройки;
- малые масса и объем, которые слабо зависят от полосы пропускания, что особенно важно при разработке устройств, работающих в низкочастотной области;
- простота каскадного включения при построении фильтров высоких порядков.

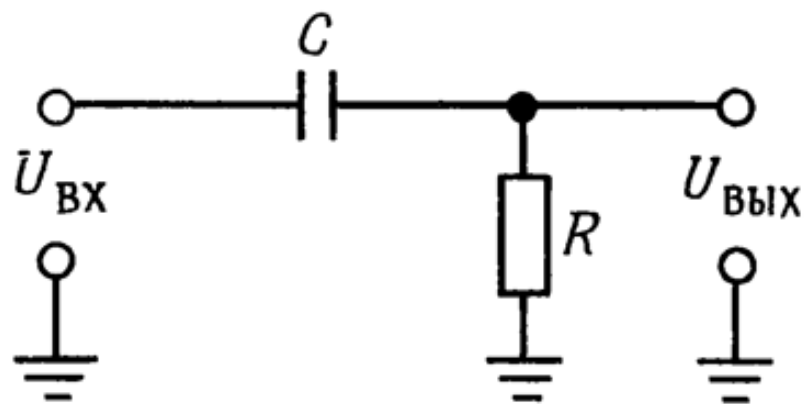
Недостатки

Вместе с тем данному классу устройств свойственны следующие **недостатки**, которые ограничивают их область применения:

- невозможность использования в силовых цепях, например в качестве фильтров выпрямителей;
- необходимость источника, предназначенного для питания усилителя;
- ограниченный частотный диапазон, определяемый собственными частотными свойствами используемых усилителей.

Принцип работы пассивных фильтров

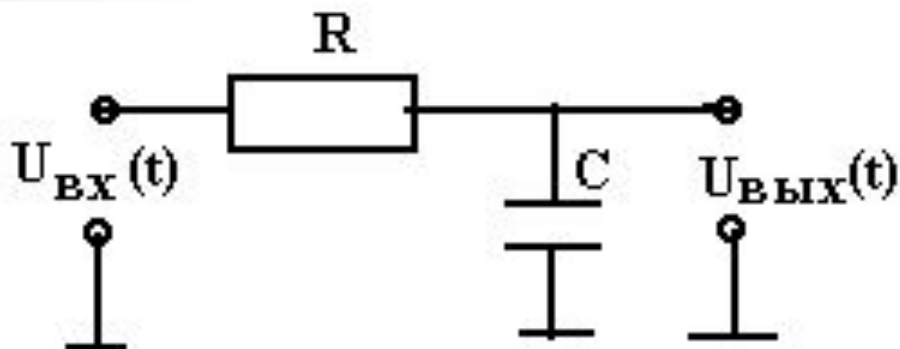
Основан на способностях емкости подавлять низкие частоты и способности индуктивности подавлять высокие частоты.



$$X = X_L - X_C$$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$



Сглаживающие фильтры

- Основным параметром сглаживающих фильтров является **коэффициент сглаживания**, которым называется отношение коэффициента пульсации на входе к коэффициенты пульсации на выходе или т.е. на нагрузке.
-
- где $U_{1в}$ -это амплитуды первой гармоники напряжений на входе и выходе фильтра соответственно; $U_{1в0}$ - постоянные составляющие напряжений на входе и выходе фильтра

Гираторы

- Гиратор – это активный индукторный фильтр – пробка, иногда называемый также узкополосным режекторным фильтром с синтезированной катушкой индуктивности

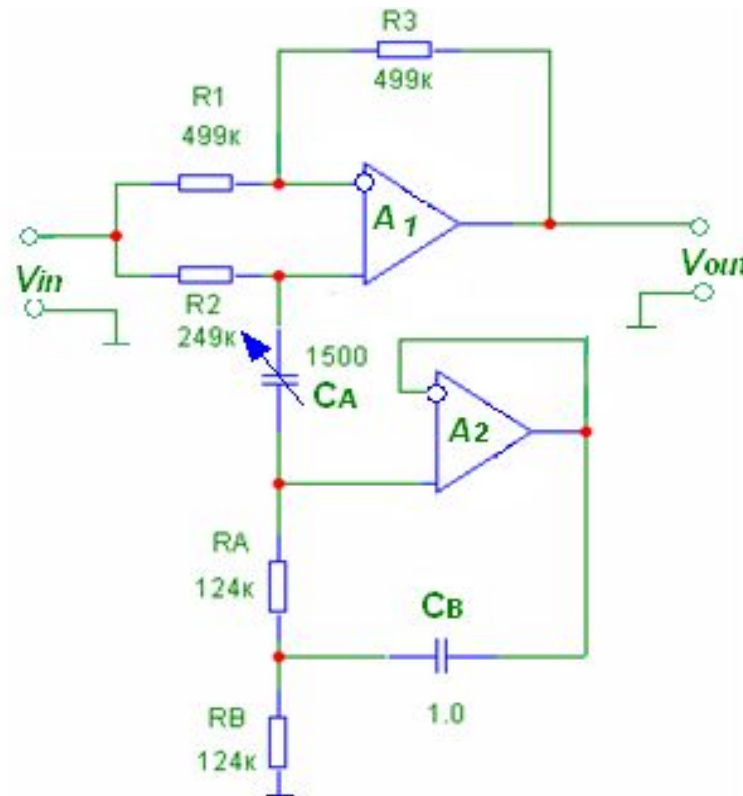


Рисунок. Гиратор (активный индукторный фильтр-пробка)

- Частота режсекции определяется выражением:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_A R_B C_A C_B}}$$

- Если выполняется условие: $\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_2}{R_A + R_B} = \frac{R_2}{2R}$
- То это выражение можно упростить следующим образом:

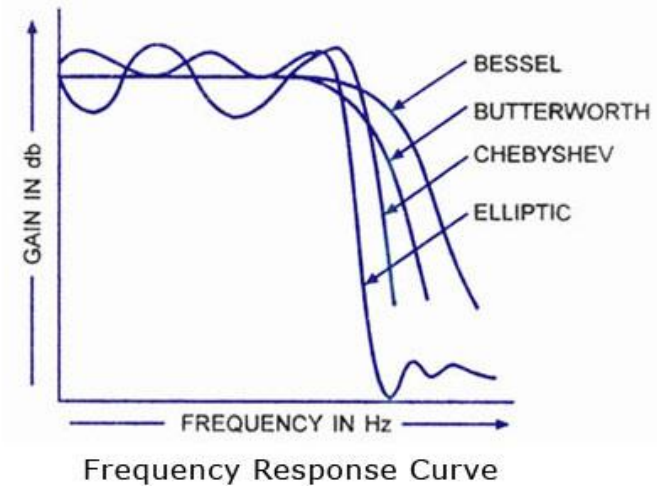
$$f_c = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C_A C_B}}$$

Для настройки фильтра можно заменить любой из компонентов C_A , C_B , R_A , R_B соответствующим переменным конденсатором или резистором. Обычно конденсатор C_A заменяют переменным конденсатором, а конденсатор C_B является постоянным конденсатором большой емкости.

- **Частота среза — это точки на АЧХ, в ко торой амплитуда сигнала уменьшается на 3 дБ, а вовсе не значение частоты, выше (или ниже) которой задерживаются все частоты.**

Среди рекурсивных фильтров по типу передаточной функции выделяют

- фильтры Чебышева 1го и 2го порядка
- фильтры Бесселя
- Фильтры Баттерворта
- Эллиптические фильтры
- фильтр Гаусса



www.CircuitsToday.com

Что же такое передаточная функция?

Это один из способов математического описания динамической системы и дифференциальный оператор, выражающий связь между входом и выходом линейной стационарной системы

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

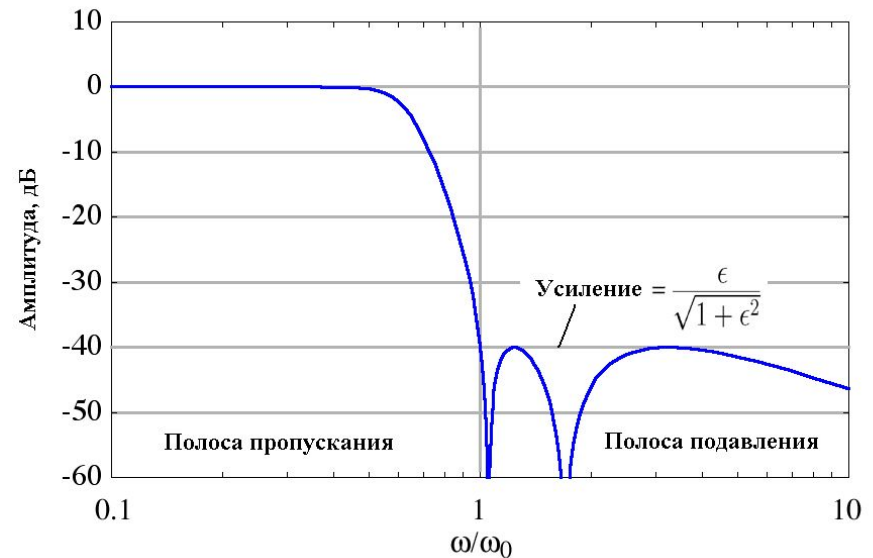
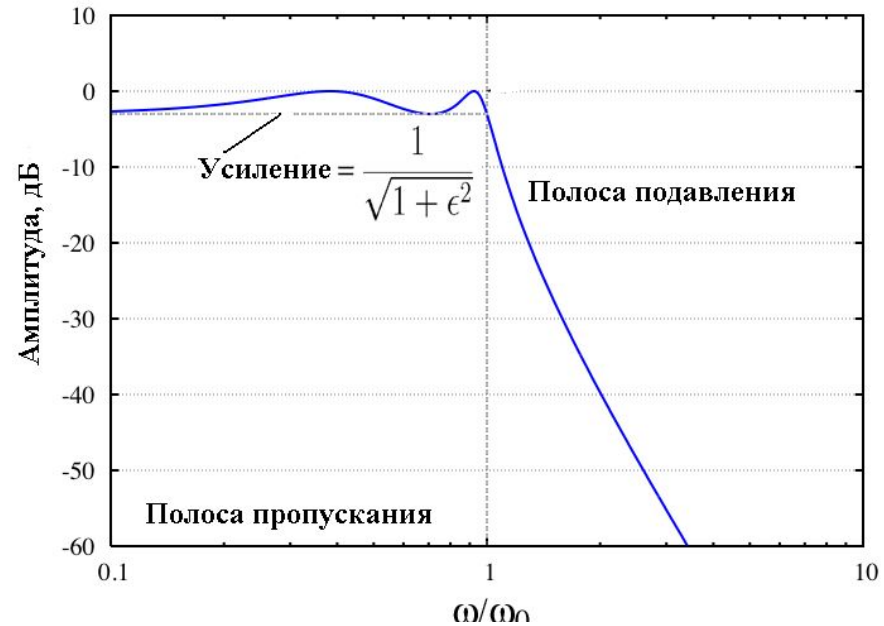
$$W(z) = \frac{Y(z)}{U(z)}$$

Фильтры Чебышева

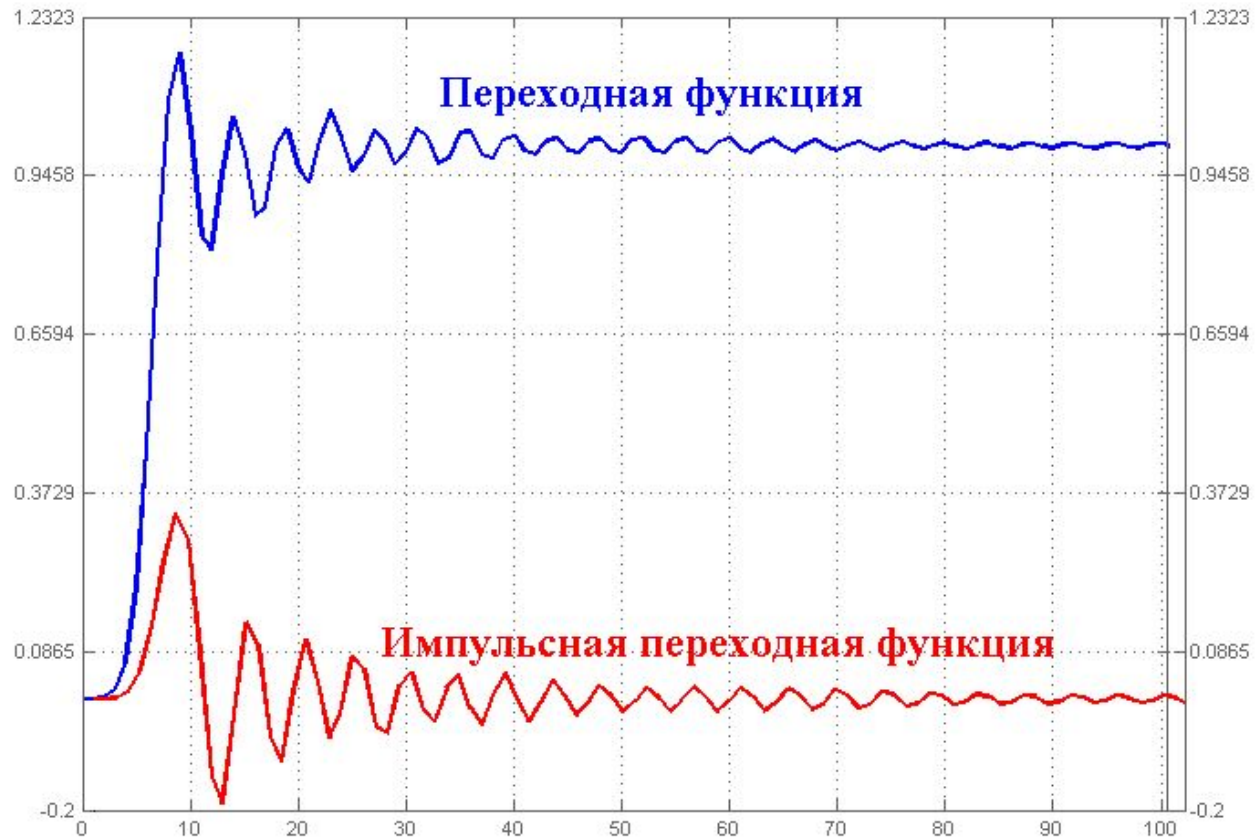
один из типов линейных аналоговых или цифровых фильтров, отличительной особенностью которого является более крутой спад амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и существенные пульсации амплитудно-частотной характеристики на частотах полос пропускания (фильтр Чебышёва I рода) и подавления (фильтр Чебышёва II рода), чем у фильтров других типов.

$$H(s) = \prod_{m=0}^{n-1} \frac{1}{(s - s_{pm})}$$

$$G_n(\omega) = |H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}}$$



Переходная и импульсная функция фильтра Чебышева



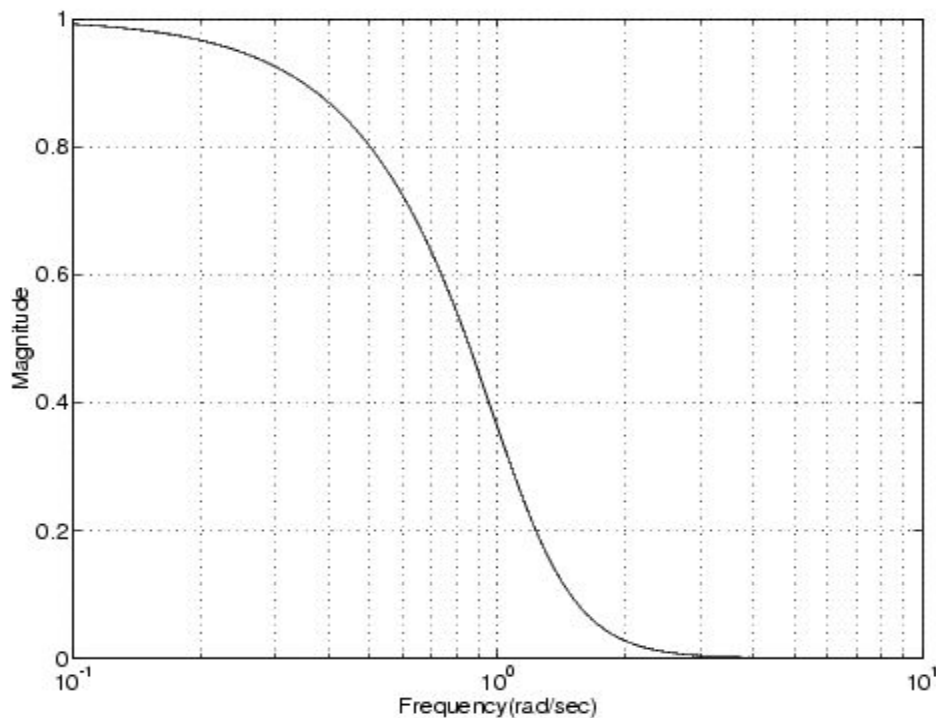
Фильтр Бесселя

отличительной особенностью которого является максимально гладкая групповая задержка и линейная фазо-частотная характеристика.

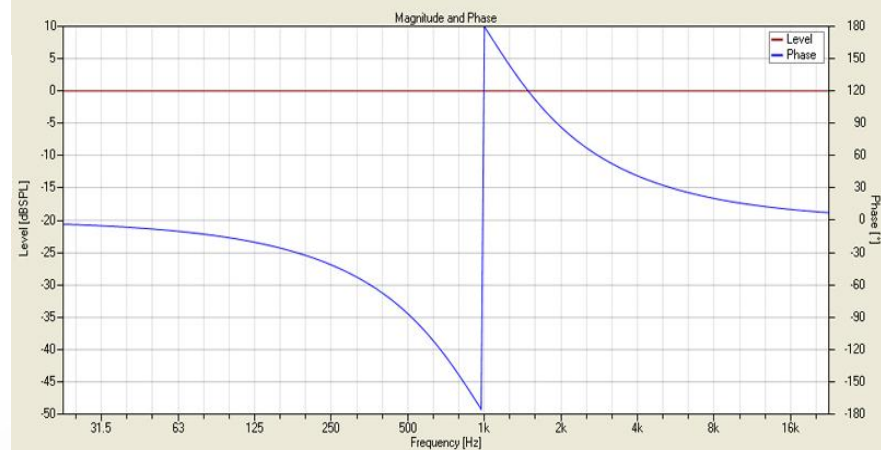
Их групповая задержка практически не изменяется по частотам полосы пропускания, вследствие чего форма фильтруемого сигнала на выходе такого фильтра в полосе пропускания сохраняется практически неизменной

$$H(s) = \frac{\theta_n(0)}{\theta_n(s/\omega_0)} \quad H(s) = \frac{15}{s^3 + 6s^2 + 15s + 15}$$

$$G(\omega) = |H(j\omega)| = \frac{15}{\sqrt{\omega^6 + 6\omega^4 + 45\omega^2 + 225}}$$



Data Shown: Dual 12 inch Two-Way (Excelsior Audio)
Display Parameters: Frequency: 22.4Hz (1/24th Octave) Mer: 0° Par: 0°



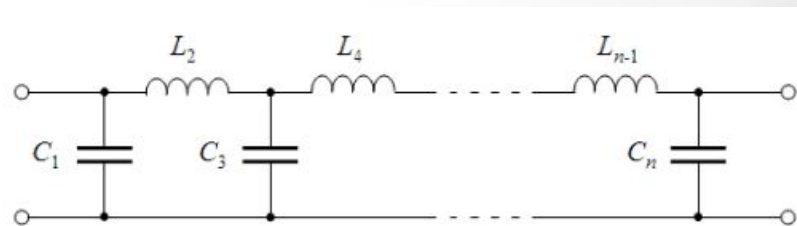
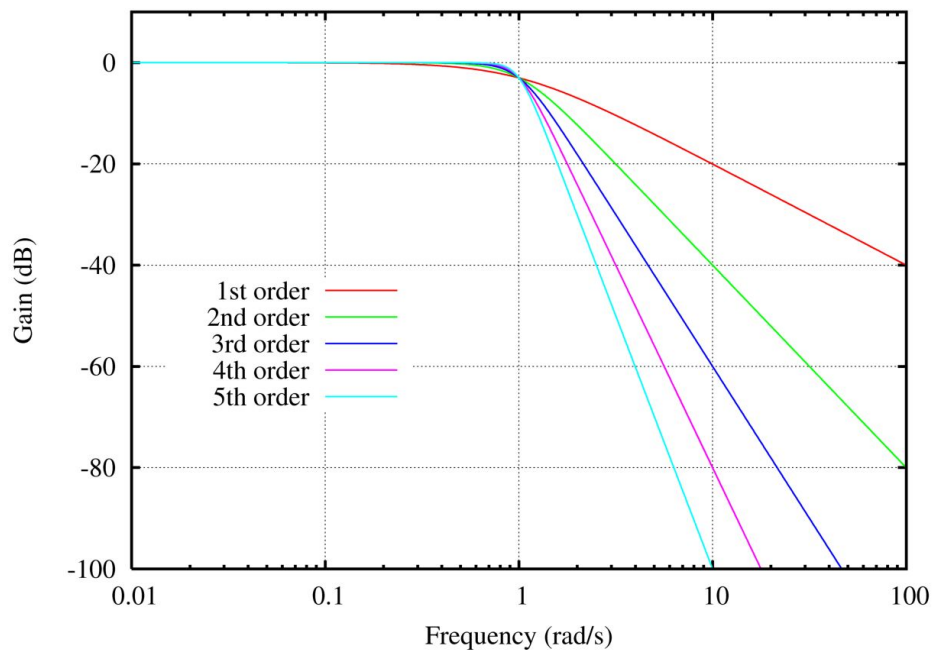
Фильтр Баттерворта

АЧХ фильтра Баттерворта максимально гладкая на частотах полосы пропускания и снижается практически до нуля на частотах полосы подавления.

АЧХ фильтра Баттерворта — монотонно убывающая функция частоты. Фильтр Баттерворта — единственный из фильтров, сохраняющий форму АЧХ для более высоких порядков (за исключением более крутого спада характеристики на полосе подавления) тогда как многие другие разновидности фильтров (фильтр Бесселя, фильтр Чебышёва, эллиптический фильтр) имеют различные формы АЧХ при различных порядках

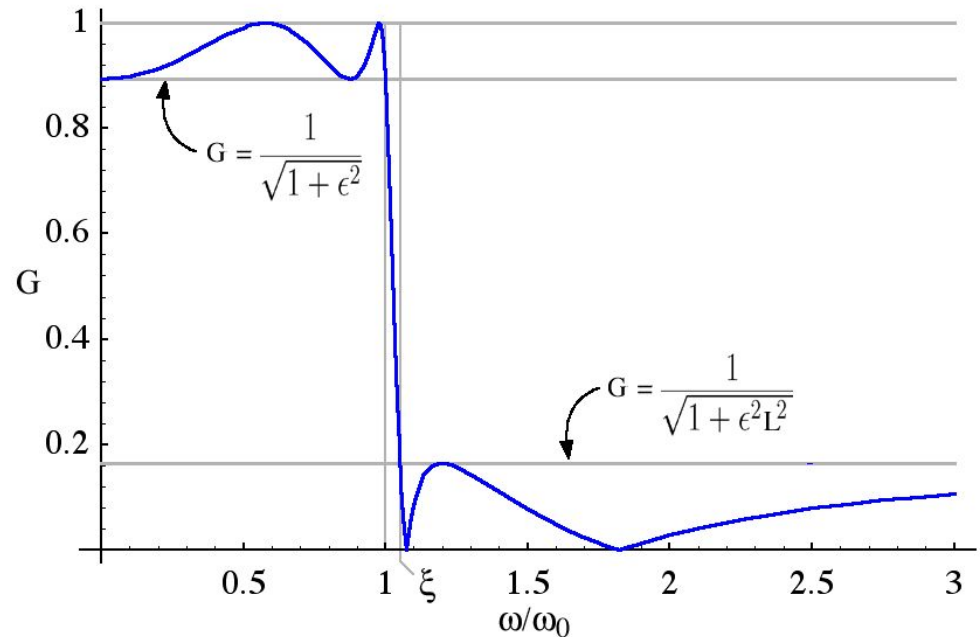
$$G^2(\omega) = |H(j\omega)|^2 = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}$$

АЧХ



Эллиптический фильтр

электронный фильтр, характерной особенностью которого являются пульсации амплитудно-частотной характеристики как в полосе пропускания, так и полосе подавления. Величина пульсаций в каждой из полос независима друг от друга. Другой отличительной особенностью такого фильтра является очень крутой спад амплитудной характеристики, поэтому с помощью этого фильтра можно достигать более эффективного разделения частот, чем с помощью других линейных фильтров.

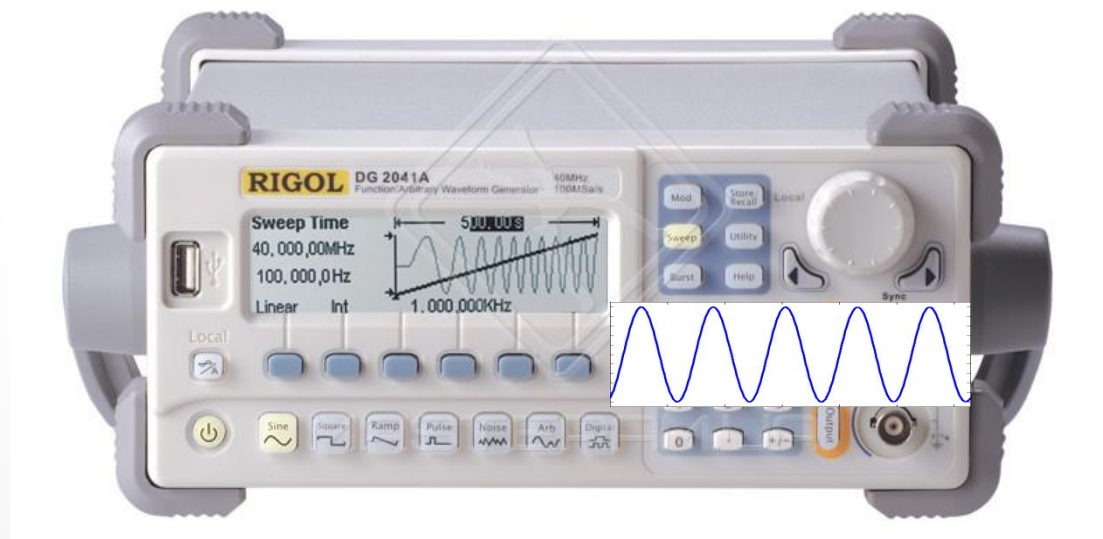


$$G_n(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 R_n^2(\xi, \omega/\omega_0)}}$$

Реакция различных фильтров на единичное ступенчатое воздействие



Генераторы синусоидальных колебаний: генераторы LC-типа, генераторы RC-типа. Переходные процессы в RC-цепях



Измерительные генераторы

Генератор - устройство, преобразующее энергию источника постоянного напряжения в энергию колебаний. Генератор, или автогенератор – это самовозбуждающаяся система, в которой энергия источника питания постоянного тока преобразуется в энергию переменного сигнала нужной формы и частоты.

Измерительные генераторы – это источники сигналов разнообразных форм и частот, предназначенные для работы с радиотехническими схемами.

Они имеют ряд принципиальных отличий от обычных генераторов :

- обладают возможностью точной установки и регулировки выходных параметров колебаний (частоты , формы , уровня напряжения или мощности) в широких диапазонах
- имеют высокую стабильность параметров и встроенные измерительные приборы , позволяющие контролировать установки сигналов
- могут работать совместно с другими средствами измерения и программного управления

Общие сведения

Измерительные генераторы относятся к приборам группы «Г». Среди них различают:

Г1- –устройства, используемые при поверке генераторов

Г2- – генераторы шумовых сигналов

Г3- – генераторы синусоидальных сигналов низкой частоты.

Предназначены для формирования сигналов в диапазоне частот (от 20 до 300×10^3) Гц. Для современных генераторов расширенный диапазон частот (от 0,01 до 10^6) Гц

Г4- – генераторы синусоидальных сигналов высокой частоты и СВЧ генераторы. Предназначены для формирования сигналов в диапазоне частот (от 50×10^6) Гц и в СВЧ – диапазоне до 40 ГГц

Г5- – генераторы импульсных сигналов

Г6- – генераторы сигналов специальной формы

Г7- – генераторы качающейся частоты (сви́пгенераторы)

Электронные генераторы

Электронные генераторы **служат для преобразования** энергии источника постоянного тока в энергию незатухающих колебаний. Генераторы включают в свой состав активный элемент и частотно-избирательный четырехполюсник.

Активные элементы:

- диоды
- транзисторы
- операционные усилители

Частотно-избирательный четырехполюсники:

- резонансные LC-контуры
- RC-, RL- и RLM-цепи
- кварцевые резонаторы

Существуют:

- *генераторы с внешним возбуждением*, в которых незатухающие колебания получают от внешнего источника,
- *генераторы с самовозбуждением (автогенераторы)*, для которых внешний источник не нужен.

По форме колебаний генераторы делятся на

- *гармонические* (синусоидальные) и
- *негармонические* (импульсные).
- *релаксационные* (несинусоидальные).

Генератор

Классификация электронных генераторов

1. По форме выходного сигнала:
 - синусоидальных (гармонических) колебаний;
 - прямоугольных импульсов.
2. По частотному диапазону:
 - низкочастотные;
 - высокочастотные.
3. По типу резонансного четырехполюсника:
 - LC-генераторы;
 - RC-генераторы;
 - кварцевые генераторы.
4. По типу возбуждения:
 - с внешним (независимым) возбуждением;
 - с самовозбуждением (автогенераторы).

Усиление

- **Усиление** – это процесс преобразования энергии источника питания в энергию выходного сигнала по закону изменения входного сигнала, а генераторы осуществляют преобразование энергии источника питания в переменный ток требуемой частоты.
- Для возникновения генерации необходимо выполнение двух условий:
- *баланс фаз* – фазовый сдвиг сигнала, создаваемый усилителем и звеном ПОС в сумме должен быть кратный 2π .
- *баланс амплитуд*. Усилитель должен компенсировать все потери – собственные и в звене ПОС.
- Эти условия должны выполняться только на одной частоте.
- Кроме того, для получения колебаний необходимо, чтобы (прогрессирующее нарастание колебаний). Если происходит затухание колебаний, если
, то амплитуда выходного сигнала достигает максимума, обусловленного напряжением источника питания, форма сигнала отлична от синусоидальной, возникают нелинейные искажения.
- Равенство соответствует установившемуся режиму и возможно только при некотором соотношении коэф. ООС и ПОС.

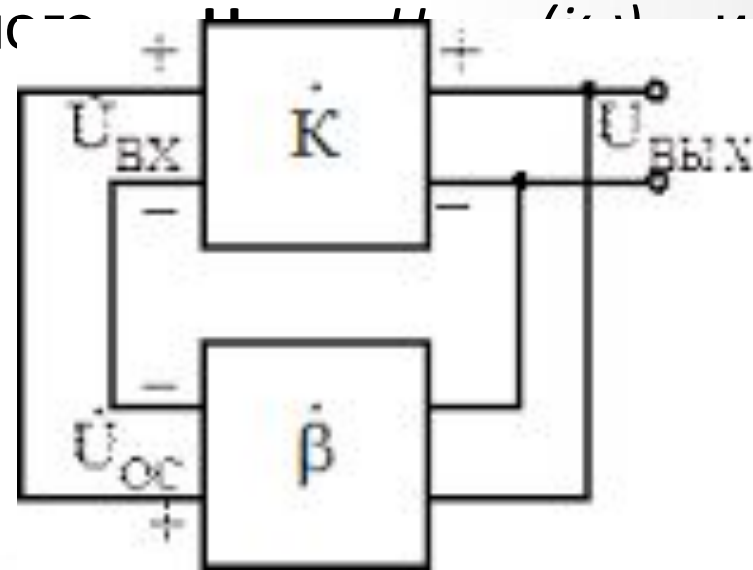
Общие сведения

Независимо от назначения , принципа действия и схемотехнического выполнения генератор любых перечисленных колебаний (кроме параметрических схем генерации) состоит из нелинейного усилителя , цепи положительной обратной связи и источника питания постоянного тока . Форма и частота выходных колебаний определяются только параметрами самого генератора. Генератор гармонических колебаний должен содержать в своем составе узкополосную колебательную систему . Принцип действия релаксационных генераторов основан на зарядно – разрядных или накопительно – поглощающих явлениях , протекающих в широкополосных энергоемких цепях положительной обратной связи .



Общие сведения

Генератор гармонических колебаний можно представить обобщенной структурной схемой, состоящей из нелинейного резонансного усилителя с комплексным коэффициентом усиления по напряжению $K = K(j\omega)$ и цепи положительной ОС с комплексным коэффициентом передачи $\beta = \beta(j\omega)$. В схеме генератора отмечены комплексные амплитуды следующих напряжений: входного — $\dot{U}_{вх} = U_{вх}(j\omega)$; выходного — $\dot{U}_{вых} = U_{вых}(j\omega)$; обратной связи — $\dot{U}_{ос} = U_{ос}(j\omega)$.



Измерительные генераторы гармонических колебаний

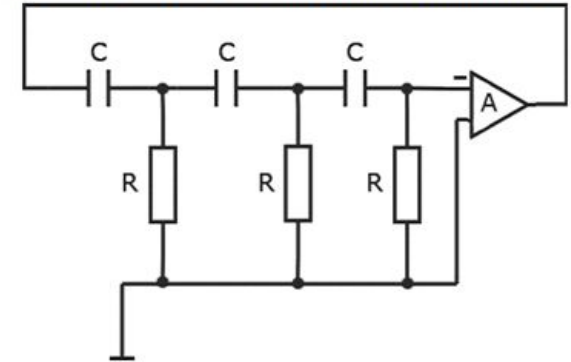
В генераторах гармонических колебаний колебательными системами являются резонансные LC -контур (в СВЧ - генераторах для этих целей используют резонаторные СВЧ – системы) и частотно- зависимые (фазирующие) RC - цепи. Генераторы гармонических колебаний с LC -контурами называют RC - генераторами, а с фазирующими RC - цепями - RC - генераторами. LC - генераторы вырабатывают колебания достаточно высокой частоты (более 100 кГц) , а RC - генераторы применяют для создания низкочастотных гармонических колебаний (до долей герц до десятков килогерц) .

Генераторы синусоидального сигнала

1. RC-генераторы

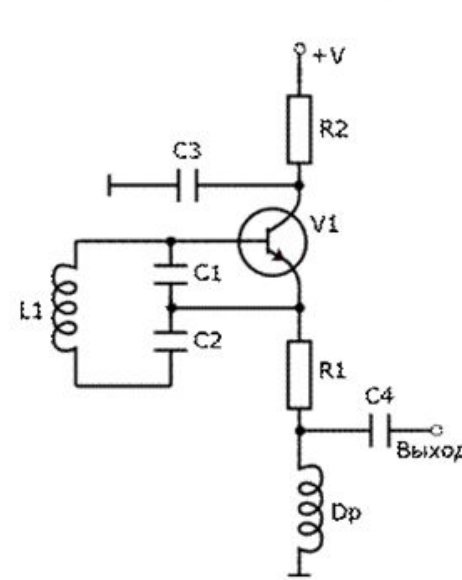
На частотах до 10 МГц обычно лучше применять RC генераторы, т.к. резисторы и конденсаторы более удобны в применении, чем катушки индуктивности и более дешевы.

RC-генератор с фазосдвигающей цепочкой

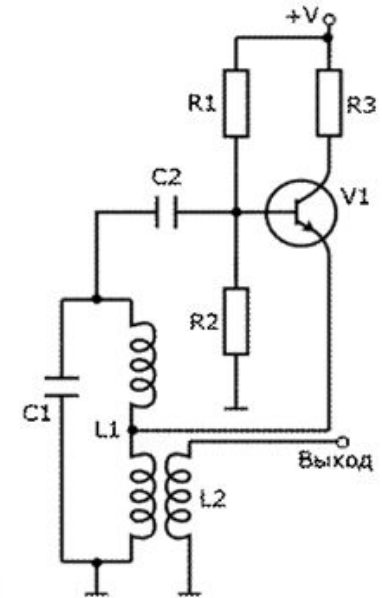


2. LC-генераторы

Основными типами LC генераторов являются генератор Хартли и генератор Колпитца.



Генератор Колпитца

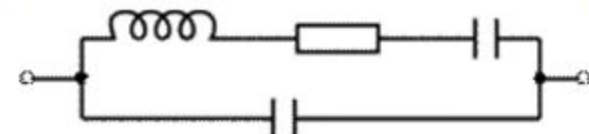


Генератор Хартли

3. Кварцевые генераторы

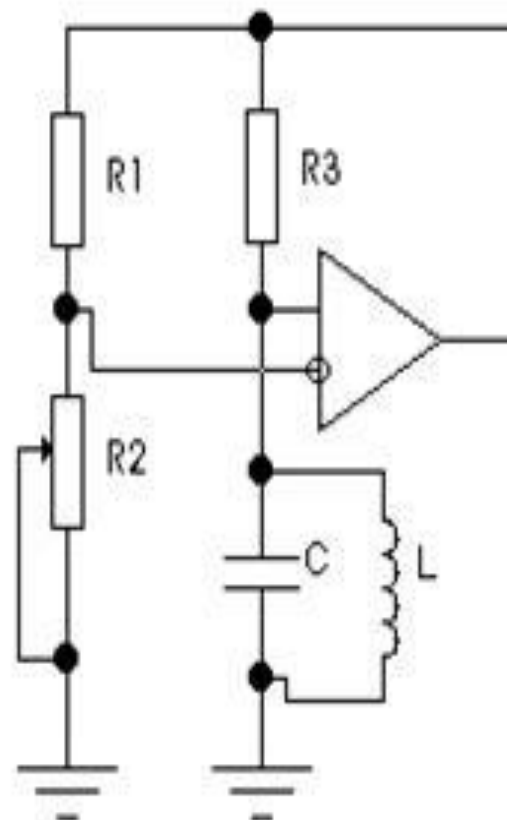
Когда требуется высокая стабильность, используются кварцевые генераторы. Каждый кристалл кварца обладает собственной частотой колебаний.

Эквивалентная схема кристалла кварца



LC-генераторы

В качестве коллекторной нагрузки используется резонансный LC-контур с высокой добротностью. Сигнал обратной связи снимается со вторичной обмотки резонансного контура и через разделительный конденсатор C_p подается на базу транзистора обеспечивая суммарный фазовый сдвиг равный (баланс фаз). Параллельный LC-контур установлен на входе и с выхода на вход через конденсатор $C_{ос}$ подается сигнал обратной связи. Частота синусоидальных колебаний напряжения на выходе генератора, как и в предыдущей схеме, обусловлена параметрами LC-контура.

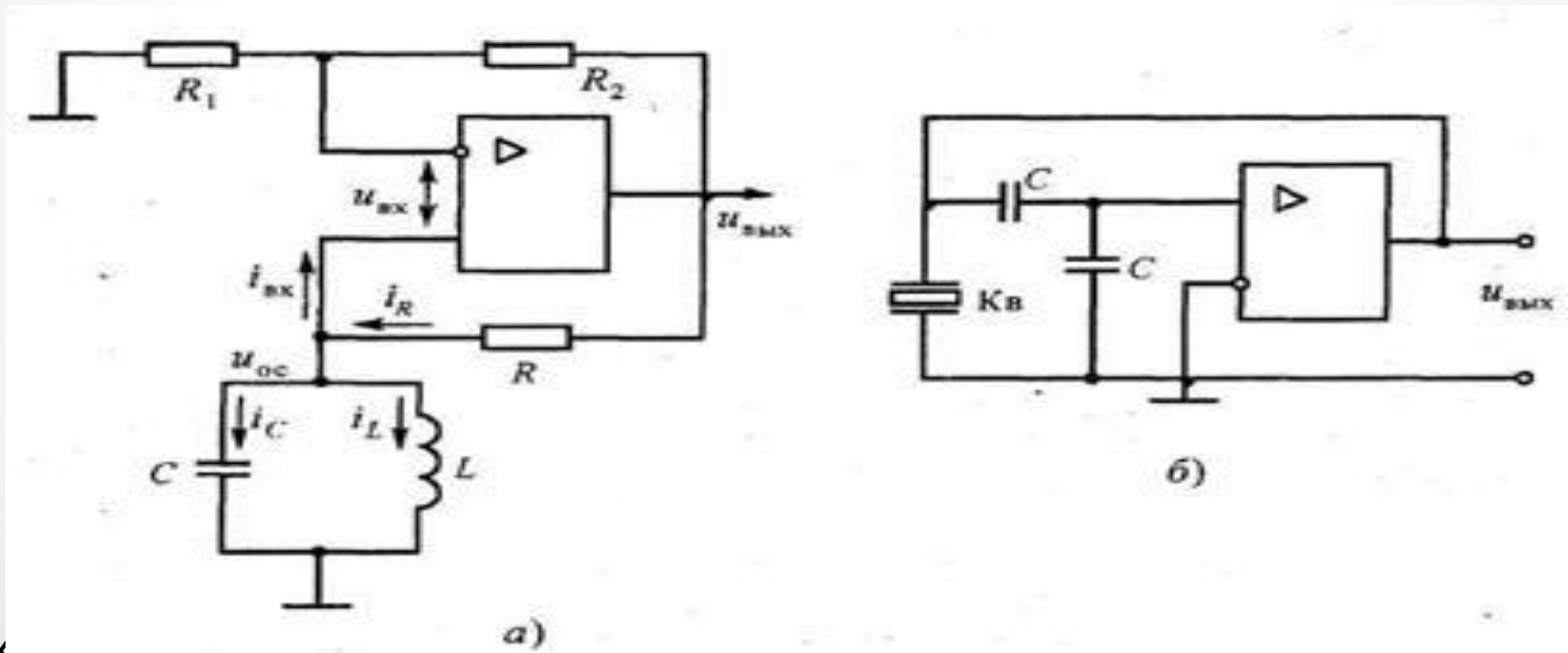


генераторы

В LC - генераторах , для которых выполняются условия балансов амплитуд и фаз , частота в основном определяются резонансом колебательного контура :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Упрощенная схема LC - генератора на операционном усилителе.



Схемы LC - генераторов на ОУ: а) упрощенная электрическая, б) с кварцевой стабилизацией .

генераторы

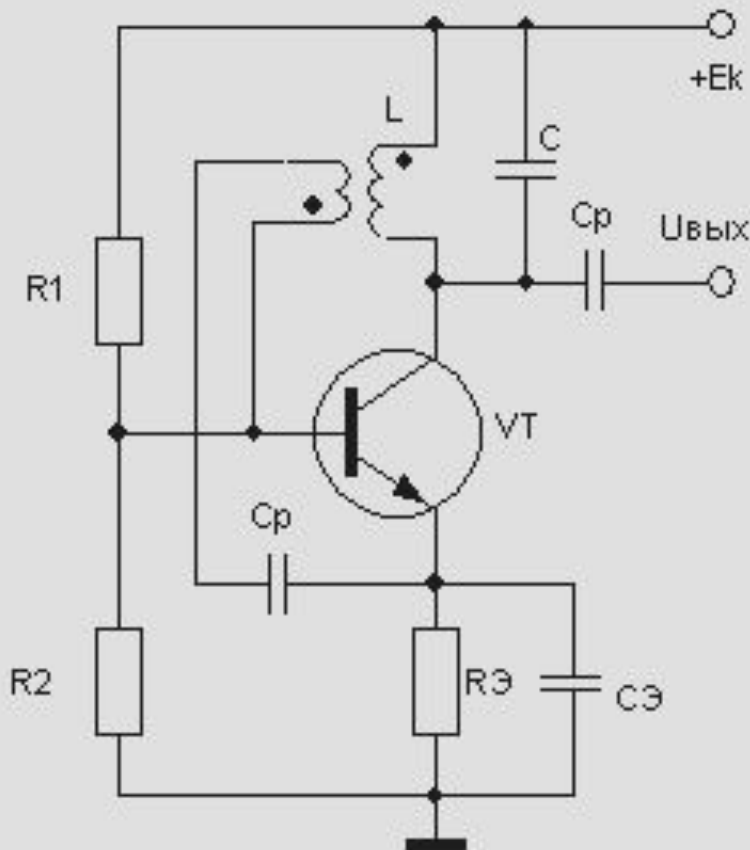
Кварцевая стабилизация частоты. К LC-генератором относят и генераторы с кварцевой стабилизацией частоты. Стабилизация основана на применении кварцевого резонатора вместо одного из элементов контура, что снижает нестабильность частоты колебаний генератора до 10^{-7} (отклонение частоты на $\Delta f = 0,1$ Гц от генерируемой $f_p = 1$ МГц). Кварцевый резонатор (сокращенно кварц) представляет собой помещенную в кварцедержатель тонкую прямоугольную пластинку минерала кварца, грани которой определенным образом ориентированы по отношению к осям кристалла. Кварц обладает прямым и обратным пьезоэлектрическим эффектом (проще, пьезоэффектом).

генераторы

Прямой пьезоэффект возникает при механическом сжатии или растяжении кварцевой пластинки и сопровождается появлением на ее противоположных гранях электрических зарядов. При воздействии на кварцевую пластинку переменного электрического поля в ней возникают упругие механические колебания (обратный пьезоэффект) приводящие в свою очередь, к появлению электрических зарядов на гранях пластинки. Кварц можно рассматривать как электромеханическую колебательную систему и сравнить ее свойства с обычным колебательным LC-контуром. Добротность кварцевого резонатора достигает сотен тысяч, тогда как у колебательного контура она не превышает 300-400. Диапазон перестройки генерируемой частоты измерительных LC-генераторов обычно лежит в пределах от 0,01 Гц до единиц мегагерц, минимальная дискретность ее установки составляет 0,01 Гц.

LC- генераторы

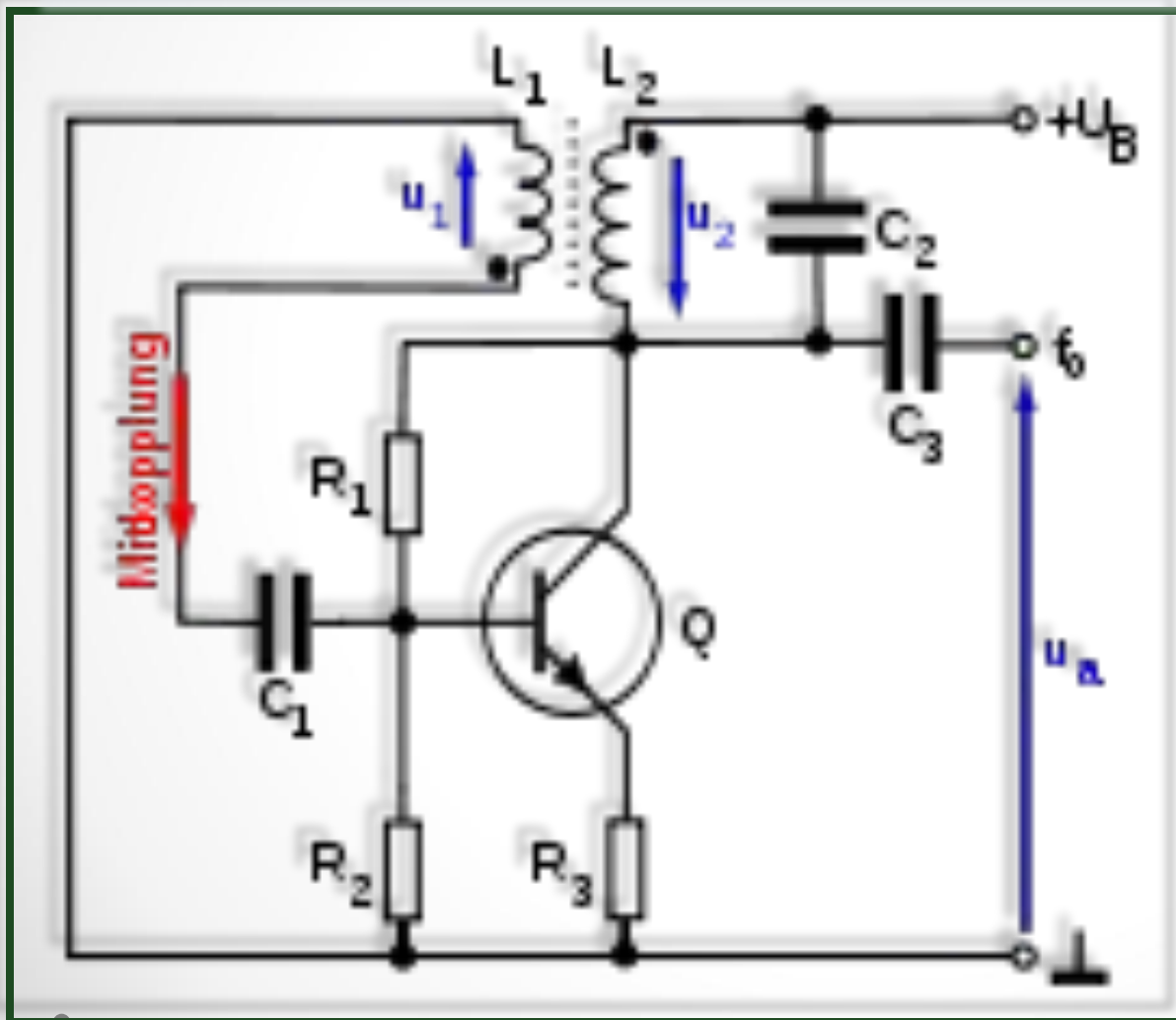
Схема генератора Мейснера с общим эмиттером: LC-генератор с трансформаторной обратной связью.



Сигнал обратной связи снимается со вторичной обмотки трансформатора резонансного LC-контура и через конденсатор Cp подается на базу транзистора, обеспечивая баланс фаз.

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Схема генератора Мейснера с общей базой
(применяется при более высоких частотах)



Баланс амплитуд достигается выбором числа витков катушки L_1 для обеспечения нужного коэффициента взаимной индукции.

LC-генераторы

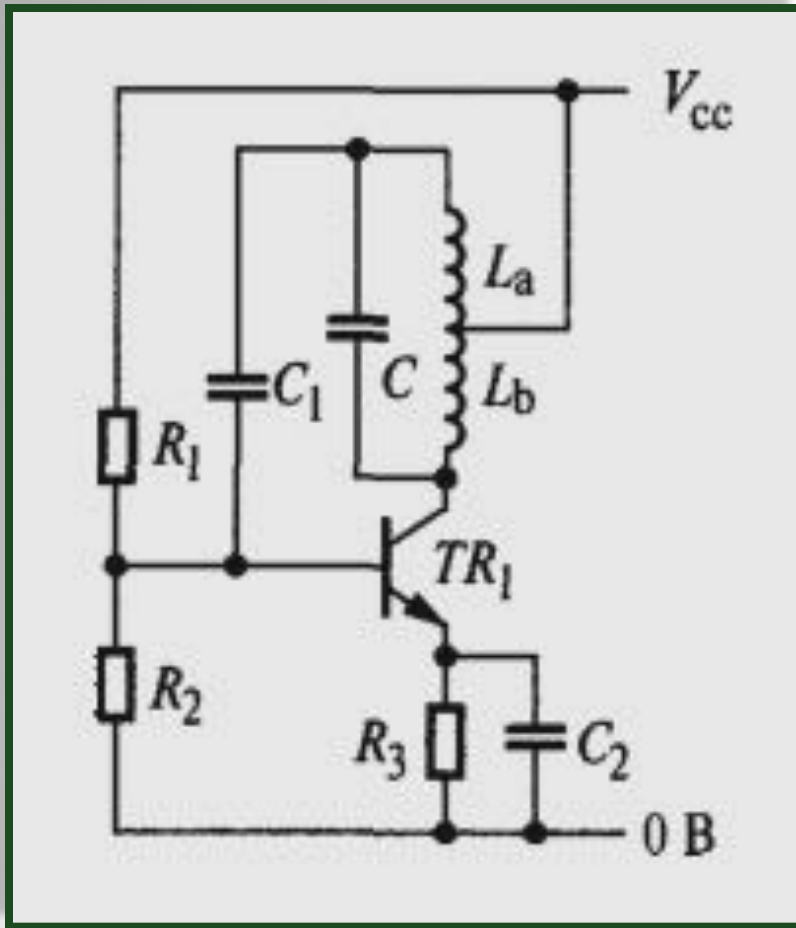


Схема генератора Хартли (трехточка с индуктивной связью): автотрансформаторная обратная связь.

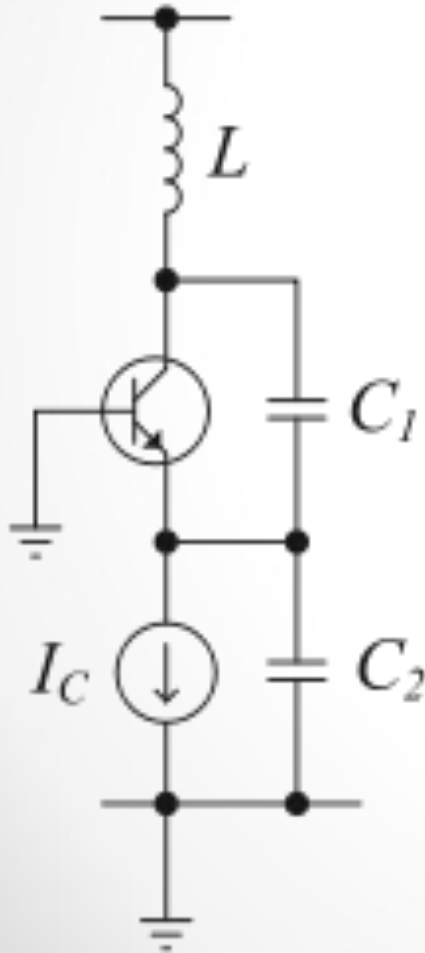
Резонансный контур состоит из конденсатора C и двух секций катушки индуктивности, L_a и L_b . Он подключается к усилителю тремя точками (третья точка – средняя точка катушки).

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_a + L_b)C}}$$

Недостаток LC-генераторов – на малых частотах требуются емкость и индуктивность больших величин.

LC-генераторы

Схема генератор Колпитца (емкостная трехточка)

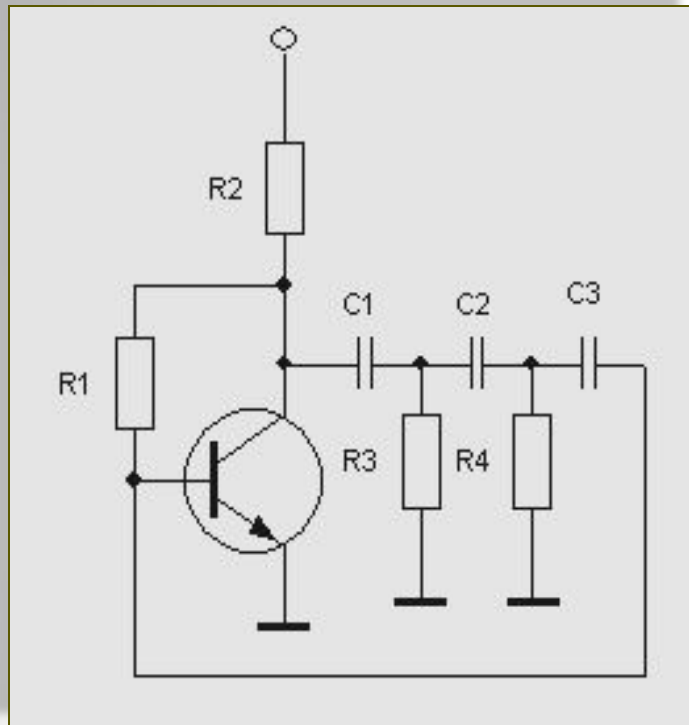


В генераторе вместо двух индуктивностей используются два конденсатора, вместо конденсатора – индуктивность. Напряжение обратной связи снимается с ёмкостного делителя напряжения.

Для построения LC-генераторов используются интегральные усилители – однокаскадные, дифференциальные, операционные.

RC-генераторы

Простейший RC-генератор на транзисторе



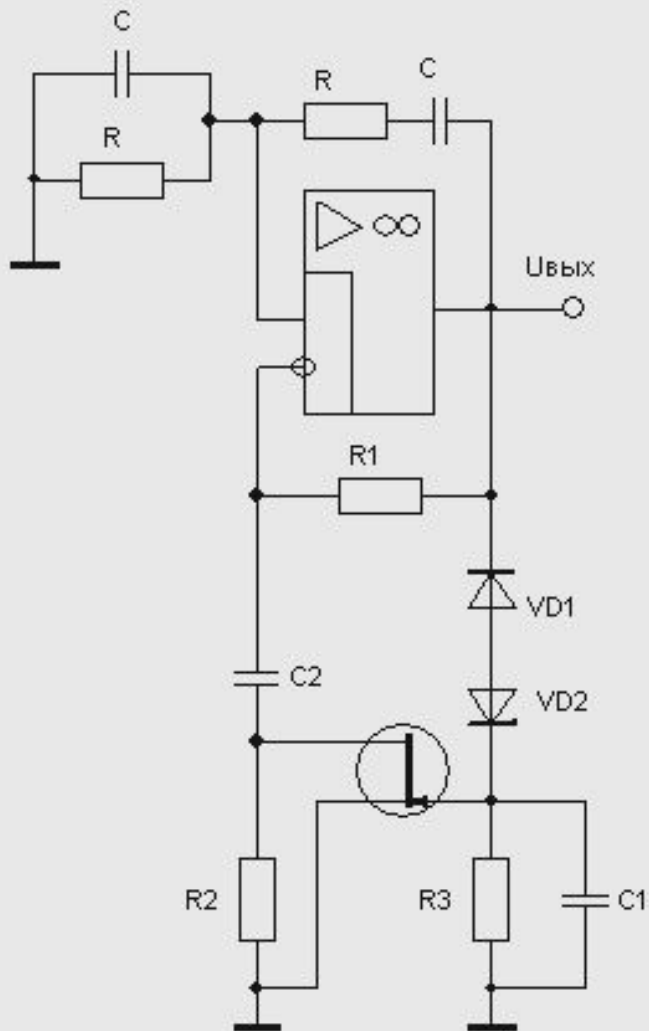
RC-генераторы используются на **низких частотах**. Баланс фаз достигается за счет специальной фазосдвигающей RC-цепи, устанавливаемой в цепи обратной связи. Обычно $C1=C2=C3=C$
 $R3=R4 = R_{вхvt} = R$

Недостаток: нелинейные искажения выходного напряжения, недостаточная стабильность частоты.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$$

RC-генераторы с мостом Вина

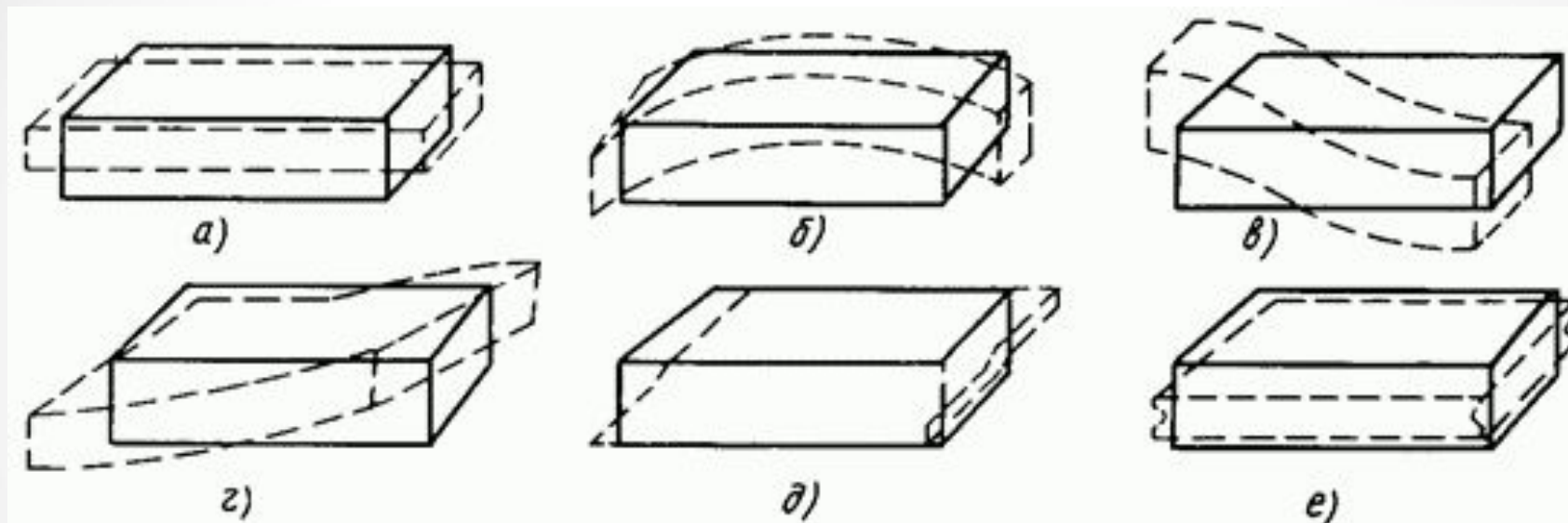
Схема генератора с мостом Вина



Состоит из неинвертирующего усилителя с коэффициентом усиления $(1+R1/R2)$, на неинвертирующий вход которого подается сигнал с **моста Вина (2 цепочки RC)**, и **полевого транзистора**, обеспечивающего синусоидальную форму $U_{\text{вых}}$. Для обеспечения баланса амплитуд коэффициент усиления неинвертирующего усилителя должен быть **$K > 3$** .

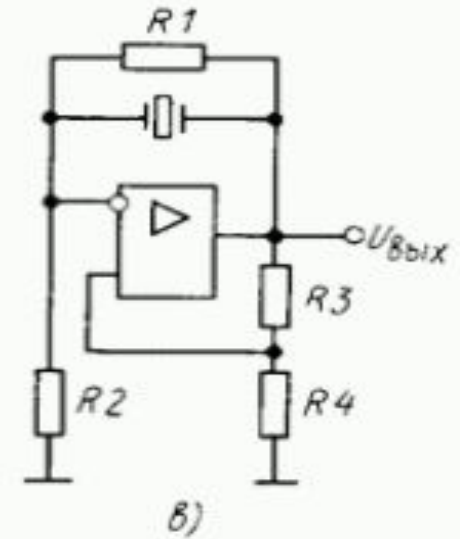
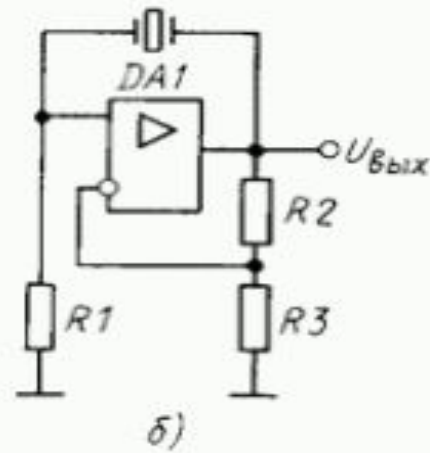
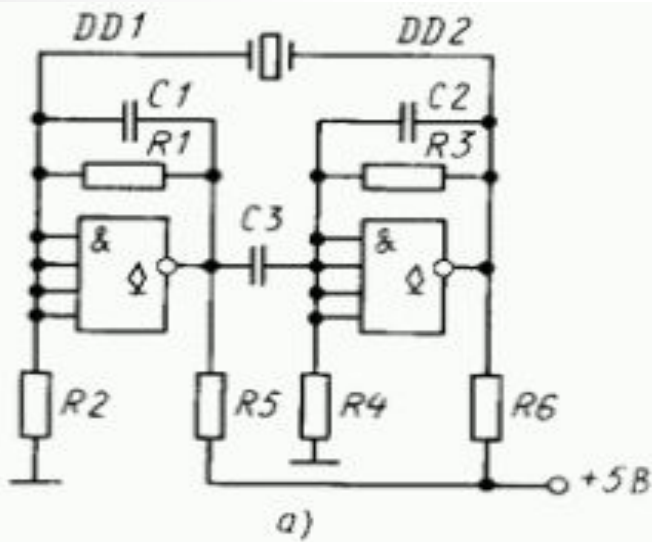
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Генераторы с кварцевыми резонаторами и электромеханическими резонансными системами.

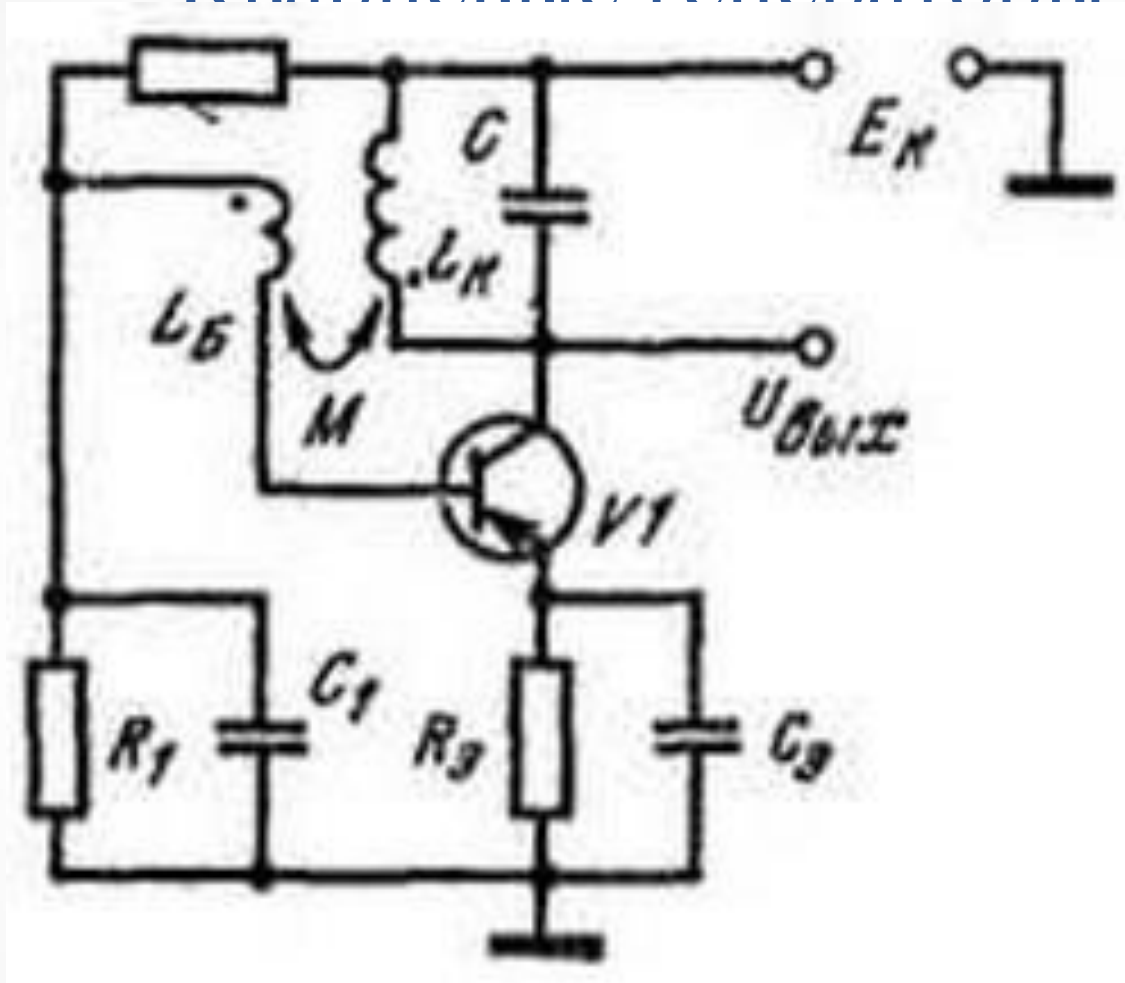


Виды колебаний кварцевых элементов: а — сжатие — растяжение; б — изгиб; в, г — кручения; д — сдвиг по контуру; е - сдвиг по толщине

Кварцевый генератор на микросхемах

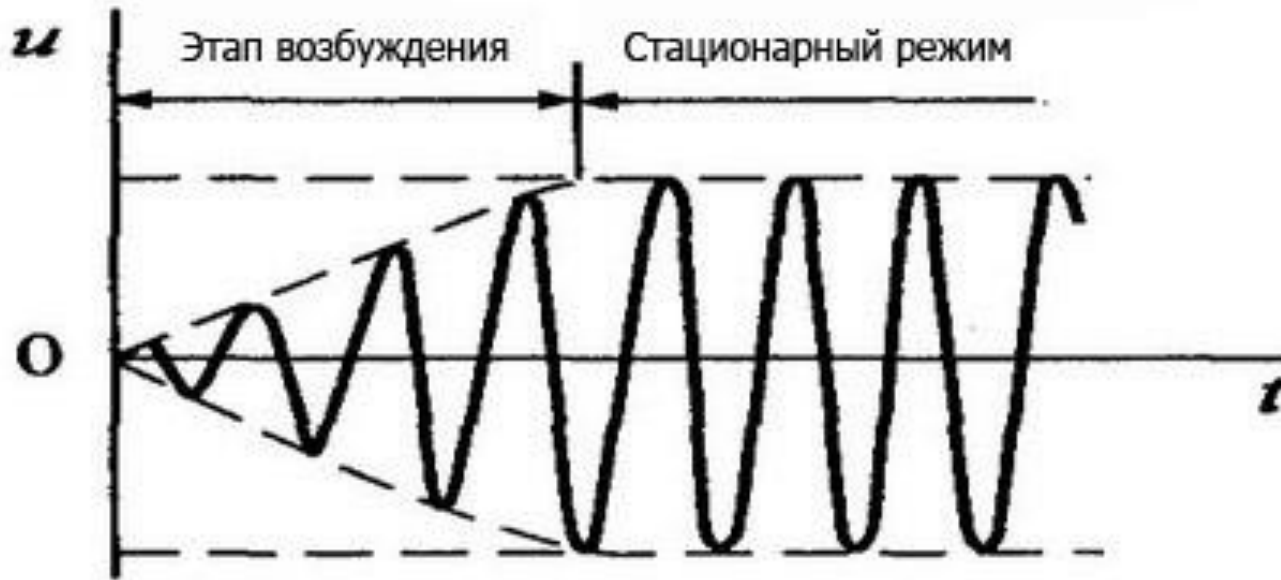


Квантовые генераторы



Автогенератор-формирователь синусоидальных колебаний с трансформаторной связью

эцессы.



- *Работа антогенератора (Рис.) начинается при включении источника E_k . Начальный импульс тока возбуждает в контуре $L_k C$ колебания с частотой ω , которые могли бы прекратиться из-за тепловых потерь энергии в активном сопротивлении катушки и конденсатора. Но поскольку между катушками L_b и L_k имеется индуктивная связь с коэффициентом взаимной индукции M , в базовой цепи возникнет переменный ток i_b , совпадающий по фазе с током коллекторной цепи (условие баланса фаз обеспечивается рациональным включением концов обмотки L_b). Усиленные колебания передаются из контура снова в базовую цепь, и размах колебаний постепенно нарастает, достигая заданного значения.*

- Формирователи синусоидальных колебаний на основе колебательного контура, собранного по трехточечной индуктивной (а) и емкостной (б) схеме.

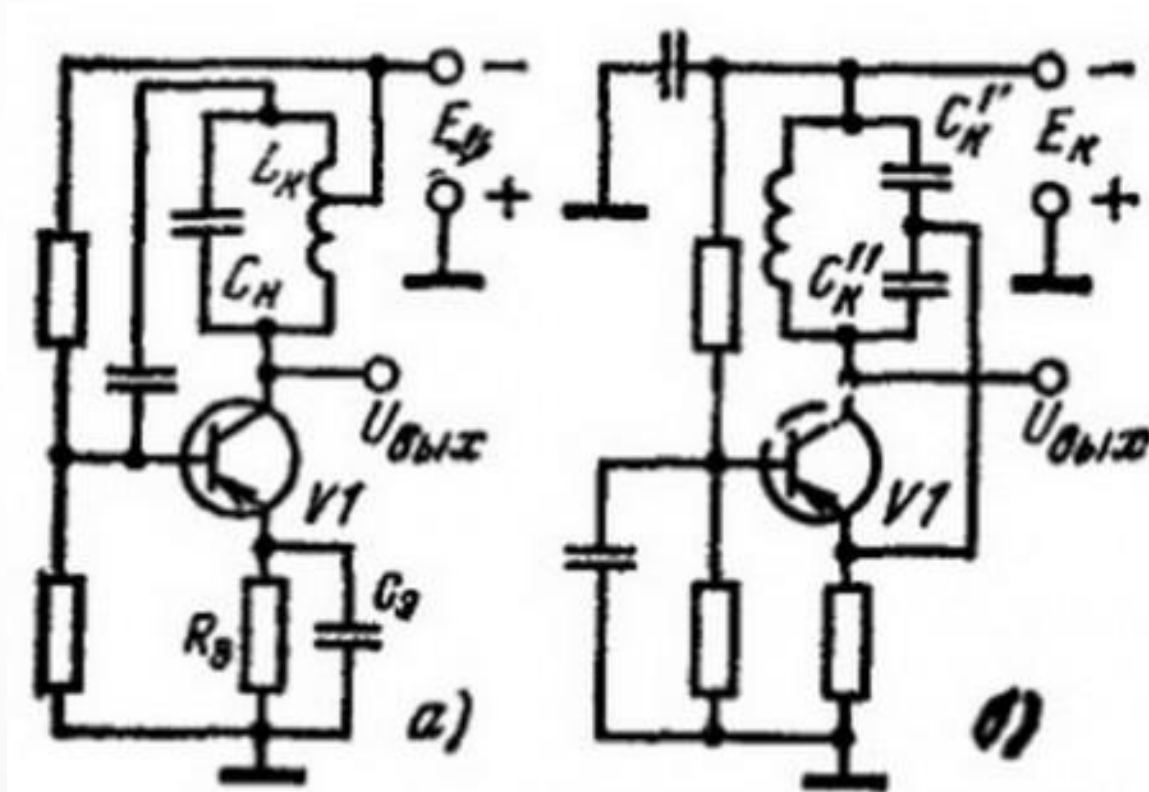
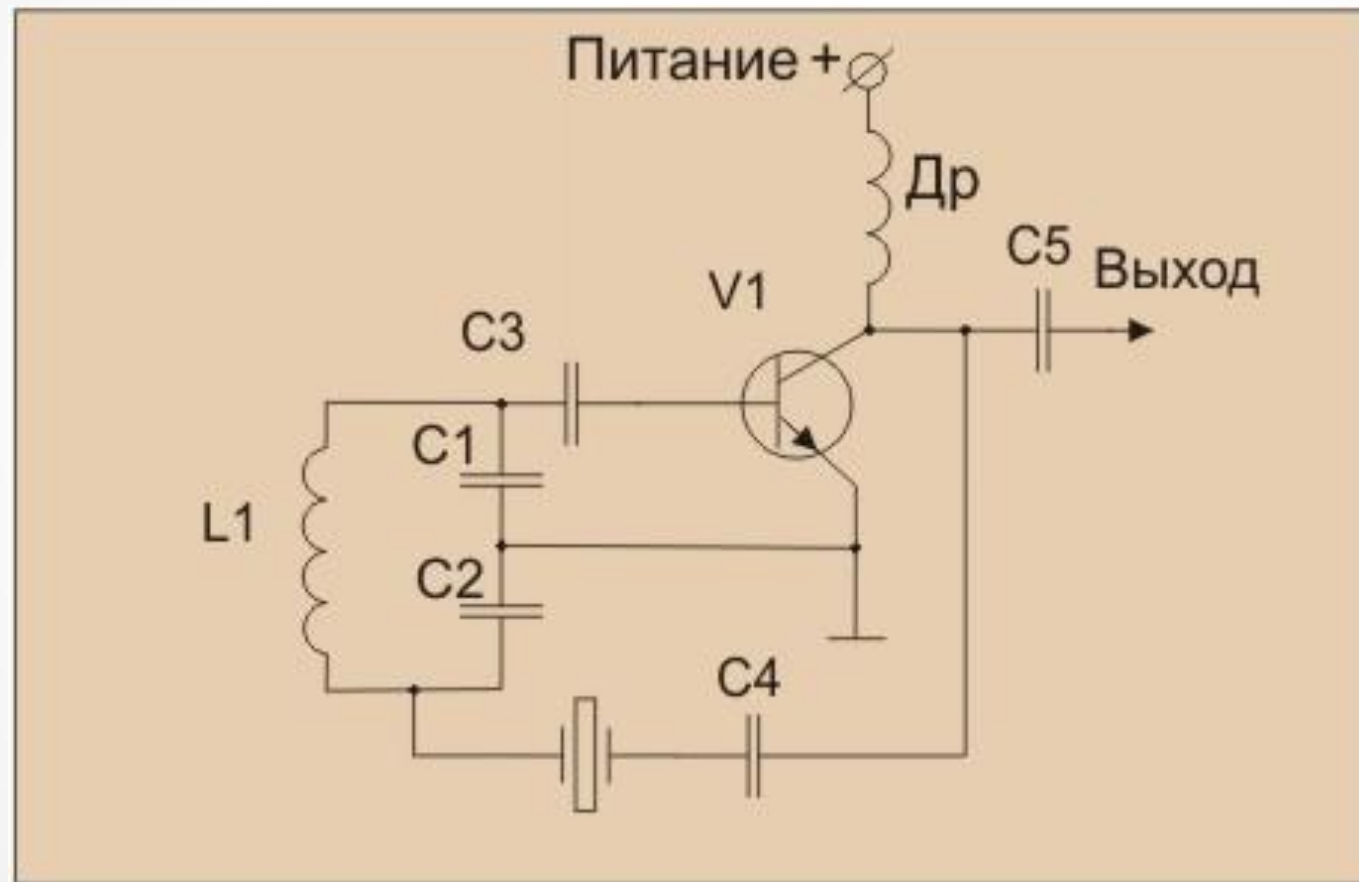
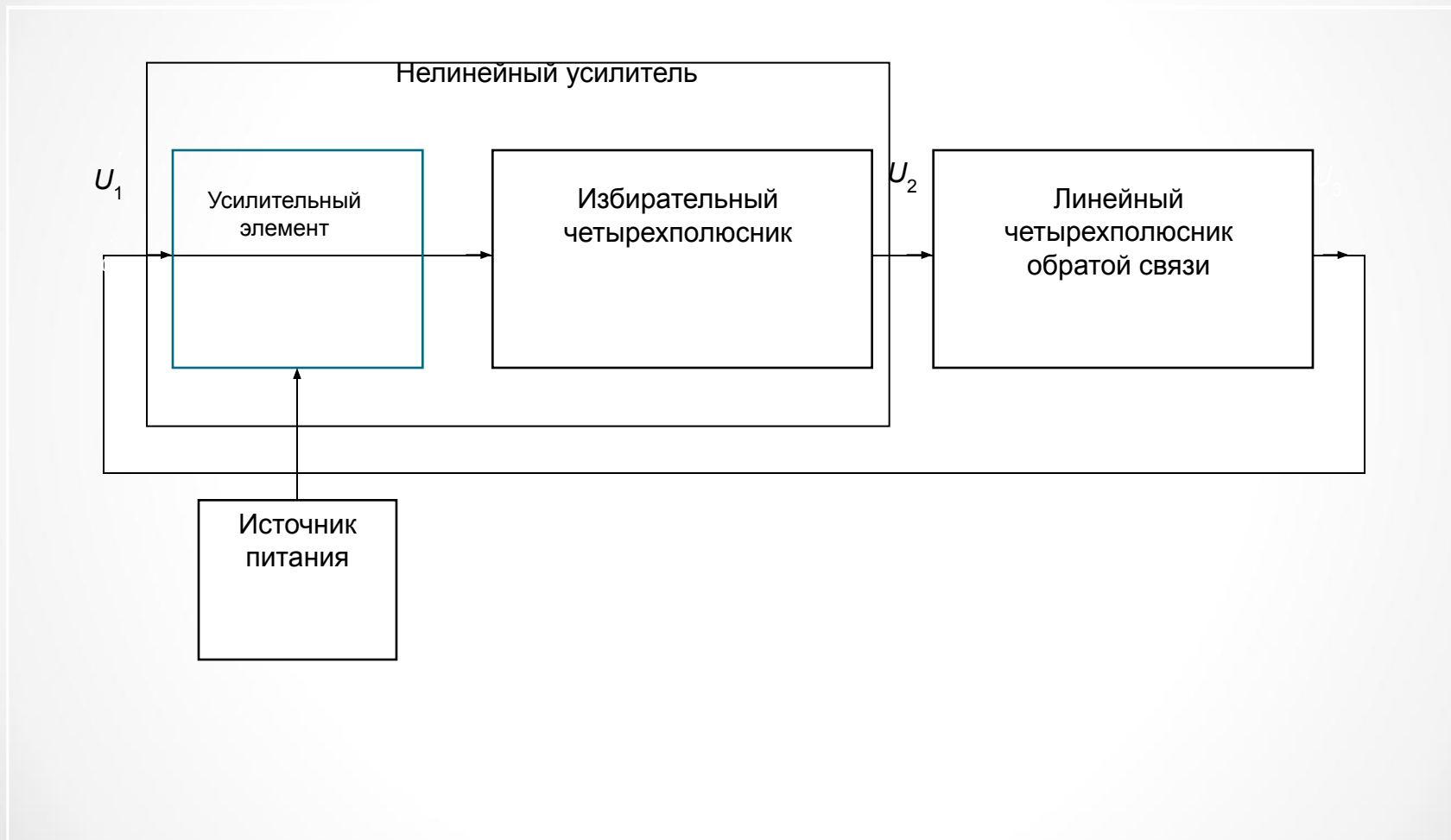


Схема кварцевого генератора Харли с

параллельной обратной связью.



Структурная схема автогенератора



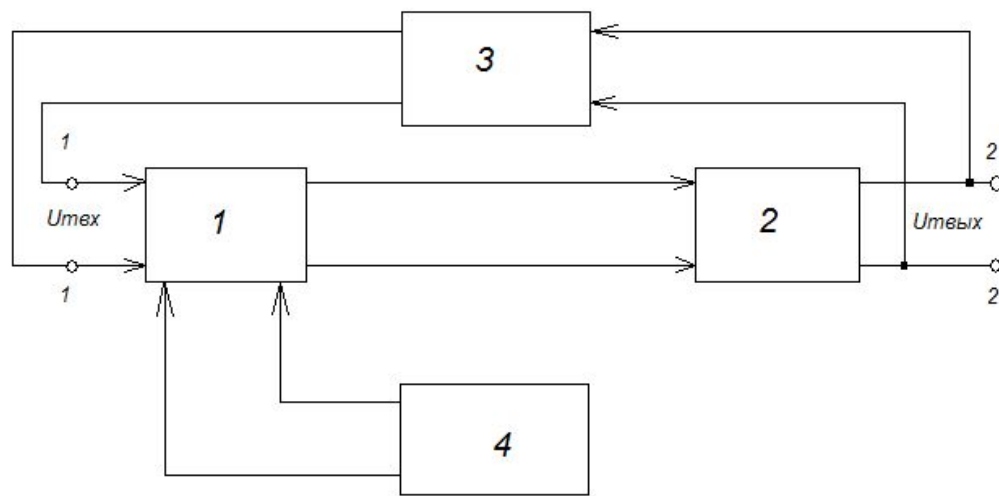


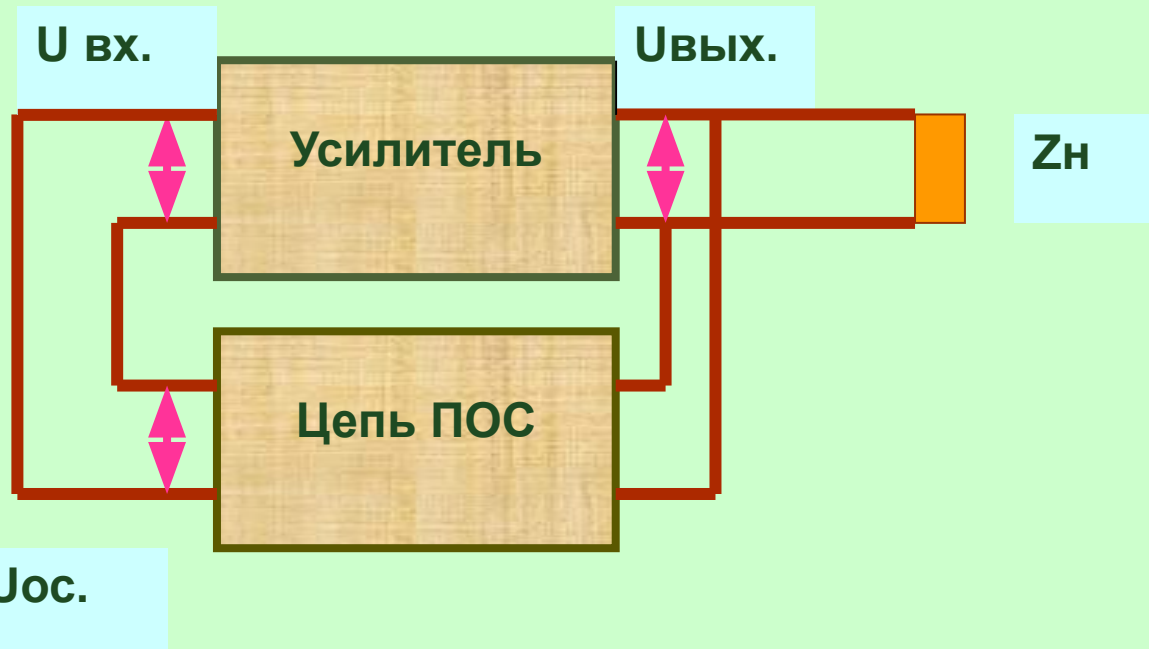
Схема содержит усилительный элемент 1 (электронную лампу или транзистор), нагрузкой которого является колебательная система 2, например, колебательный контур с сосредоточенными параметрами.

Часть напряжения с контура через цепь обратной связи 3 поступает на вход усилительного элемента. Устройство получает питание от источника напряжения 4.

Напряжение свободных колебаний, поступающих через элемент 3 на вход элемента 1, усиливается им и вновь подается на колебательную систему. Это напряжение должно быть после усиления достаточным для компенсации потерь в контуре. Кроме этого, цепь обратной связи должна вызывать такой сдвиг фазы колебаний, поступающих на вход элемента 1, при котором контур будет своевременен, т.е. в такт со свободными колебаниями в нем, получать энергию. При одновременном выполнении указанных условий данное устройство создает (генерирует) незатухающие колебания, т.е. представляет собой автогенератор.

Структурная схема LC-автогенератора

Условия самовозбуждения генератора



**Структурная
схема
авто-
генератора**

Автогенератор представляет собой усилитель, охваченный цепью положительной обратной связи (ПОС). При этом часть выходного напряжения $U_{ос}$ поступает на вход усилителя в фазе с входным напряжением, обеспечивающим заданное значение $U_{вых}$.

Условия самовозбуждения генератора

Чтобы $U_{\text{вых}}$ не изменялось, должно выполняться условие:
 $U_{\text{ос}} = U_{\text{вх}}$; $U_{\text{вх}} = U_{\text{вых}} / K_{\text{ус}}$; $U_{\text{ос}} = \beta \cdot U_{\text{вых}}$; тогда
 $\beta \cdot U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}} / K_{\text{ус}}$ или $K_{\text{ус}} \cdot \beta = 1$ – условие существования незатухающих колебаний

1. Баланс амплитуд: $K_{\text{ус}} \cdot \beta = 1$

где β – коэффициент передачи обратной связи. В усилителе должен быть такой коэффициент усиления $K_{\text{ус}}$, при котором полностью компенсируются потери напряжения через цепь ПОС.

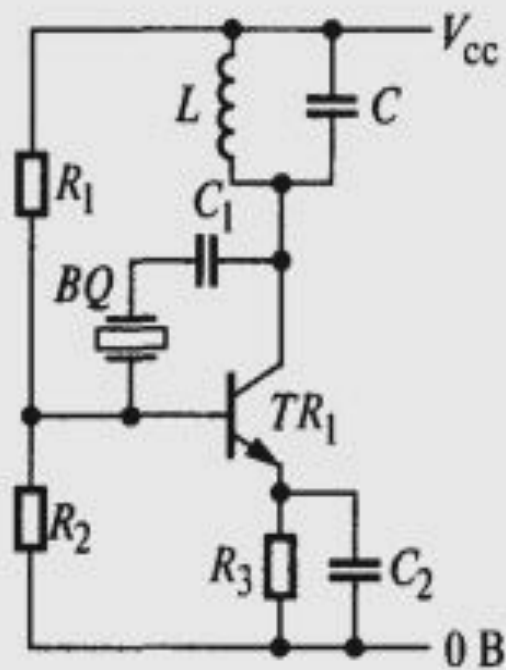
2. Баланс фаз $f_u + f_{\beta} = 2\pi n$

где $n = 0, 1, 2 \dots$

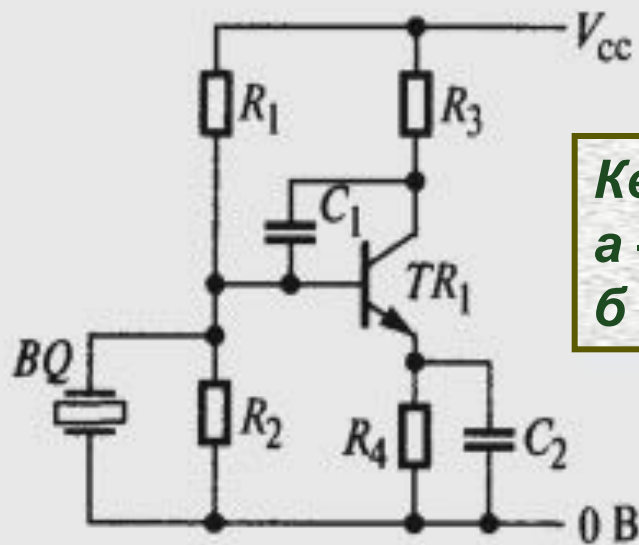
● Колебания обратной связи должны поступать в такт с колебаниями контура.

Стабилизация частоты автогенераторов

Наиболее эффективным способом стабилизации частоты автогенераторов является кварцевая стабилизация, когда в качестве колебательной системы используется кварцевый резонатор (кварц).



а)



б)

Кварцевые генераторы:
а — генератор **Пирса**;
б — генератор **Миллера**

- Частота и амплитуда автоколебания в стационарном режиме определяется только параметрами самого генератора. Схема, представленная на справедлива для систем с внешней обратной связью.
- Усилительный элемент совместно с избирательным четырехполюсником, обеспечивающим фильтрацию (или подавление) необходимых гармоник, представляет собой обычный нелинейный усилитель, развивающий на выходе гармоническое напряжение. В общем случае его усиление зависит как от частоты генерации ω из-за избирательности четырехполюсника, так и от амплитуды (из-за нелинейности усилительного элемента).
- Коэффициент усиления устройства
$$K(j\omega U_1) = \frac{U_2}{U_1}$$

- Коэффициент передачи линейного четырехполюсника обратной связи

$$K(j\omega U_1) \beta(j\omega) = 1$$

- но, поэтому в стационарном режиме автогенератора $S(t)$ Т.к. коэффициент передачи линейного четырехполюсника не зависит от амплитуды колебаний, то выражение можно использовать для определения установившейся амплитуды колебания при заданном ω . Именно, когда K , уменьшаясь с ростом амплитуды U_1 (из-за нелинейности ВАХ усилительного элемента), достигает величины $1/\beta$, дальнейший рост амплитуды прекращается. Сказанное поясняется. Стационарная амплитуда U_1 стац определяется как абсцисса точки пересечения графика K с горизонталью, проведенной на уровне $1/\beta$. С другой стороны, выражение можно использовать для поддержания определенной амплитуды при заданном $K(U_1)$.

Условия самовозбуждения генератора

В зависимости от того, выполнены или не выполнены условия самовозбуждения, начальные колебания переходного процесса, вызванного флуктуацией, могут возрасти или затухнуть.

Для работы генератора в режиме самовозбуждения необходимо выполнение следующих условий:

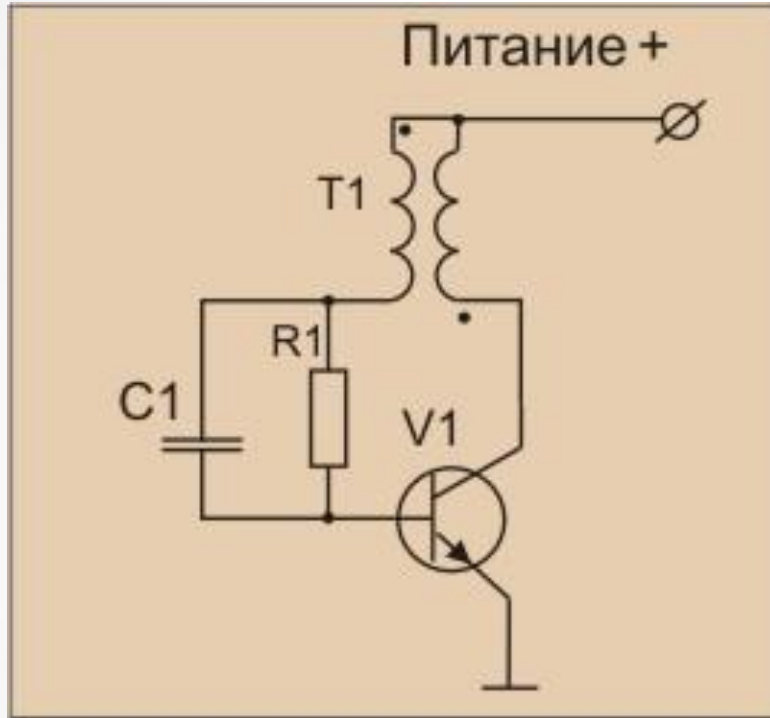
Наличие собственно положительной обратной связи (баланс фаз);

Наличие определенной величины этой положительной обратной связи (баланс амплитуд).

Это возможно, если:

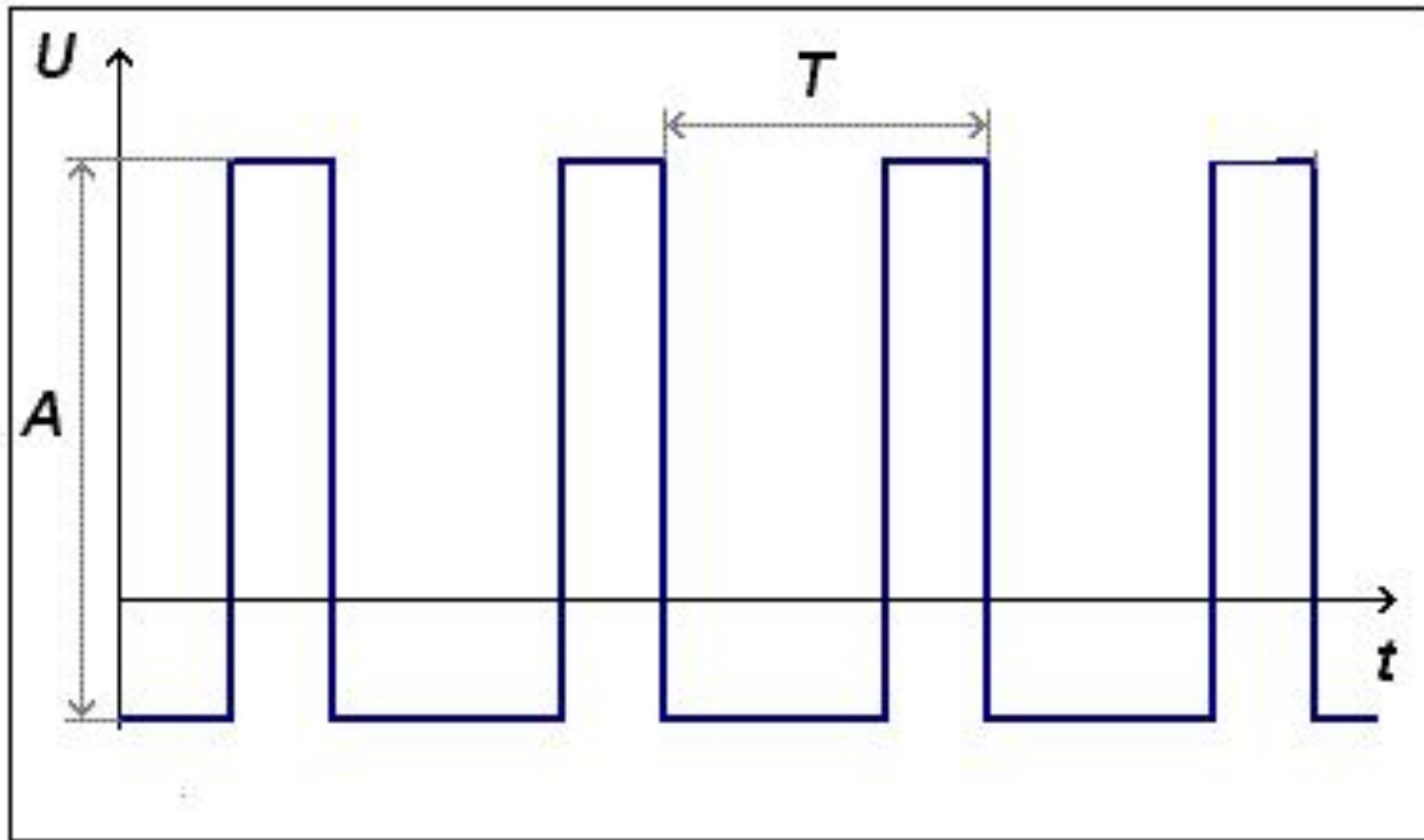
1. $j\omega b + j\omega K = 2\pi n$, $n=0, 1, 2, 3 \dots$ – условие баланса фаз;
 $bK=1$ или $b=1/K$ – условие баланса амплитуд.

Генераторы несинусоидальных колебаний.



Блокинг – генератор.

Генераторы импульсных сигналов

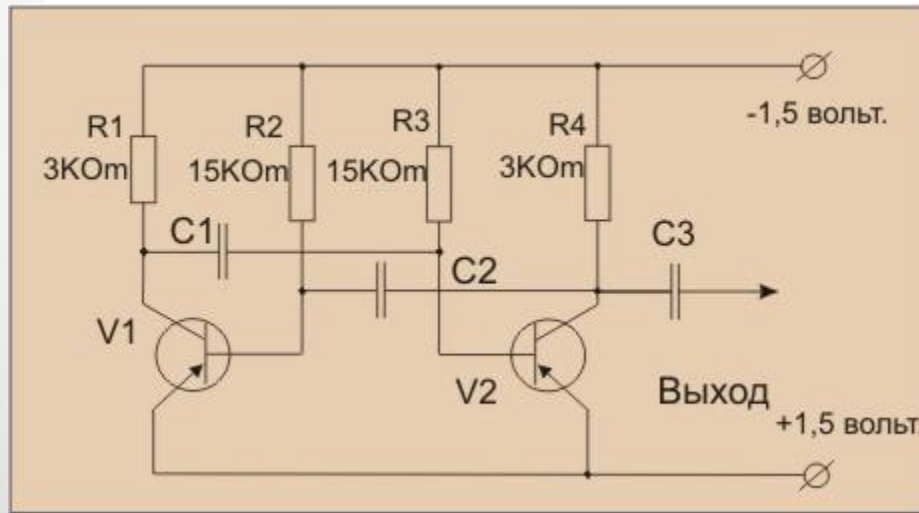
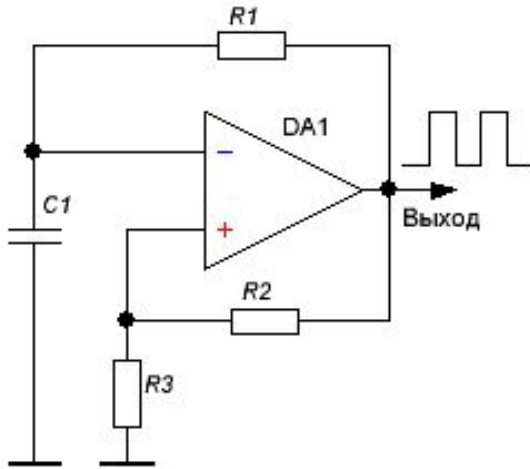


Импульсы характеризуются такими основными параметрами:

полярностью, длительностью t , амплитудой A , периодом T или частотой $f=1/T$, длительностью фронта t_{ϕ} , длительностью спада t_c , неровностью вершины δ , выбросом на вершине b_1 , выбросом в паузе b_2 .

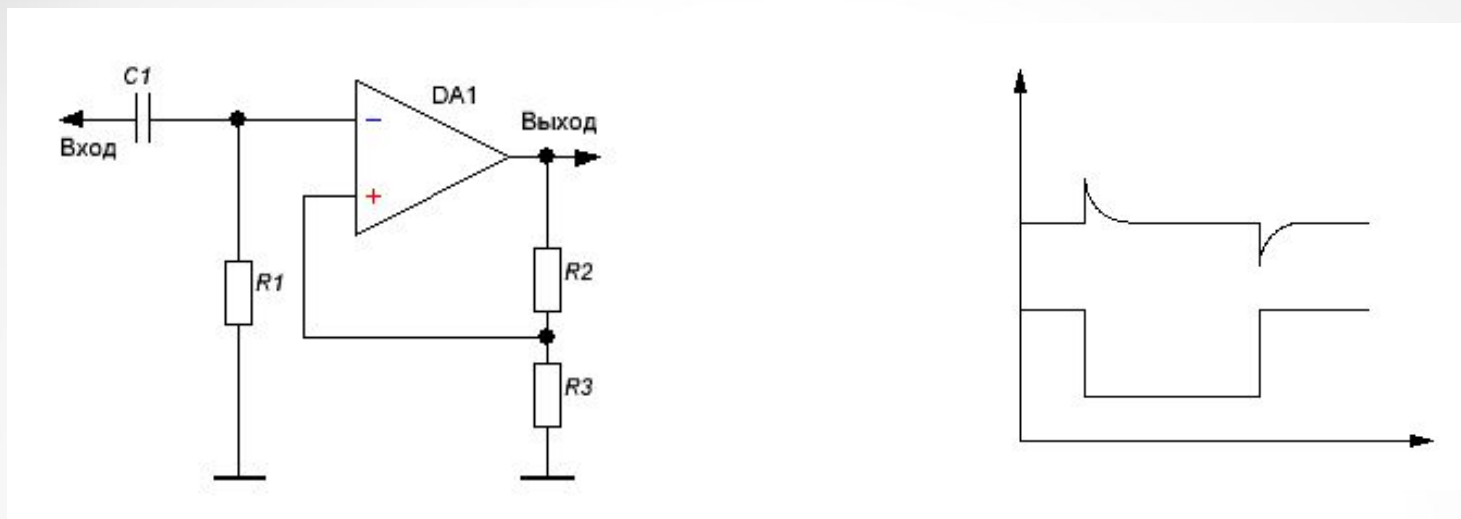
Мультивибратор генерирует

прямоугольные импульсы с частотой, который можно посчитать по формуле (вернее, посчитаем период, а частота, как известно обратна периоду):



$$T = 2C1R1 \text{Loge}\left(1 + 2\frac{R2}{R3}\right)$$

Мультивибратор



Бистабильный мультивибратор имеет два стабильных состояния, которые характеризуются разным напряжением на его выходе. Переключаются эти самые состояния входными импульсами разной полярности, примерно, как показано на рисунке.

Величина импульса, необходимая для переключения мультивибратора может быть оценена по формуле: и.

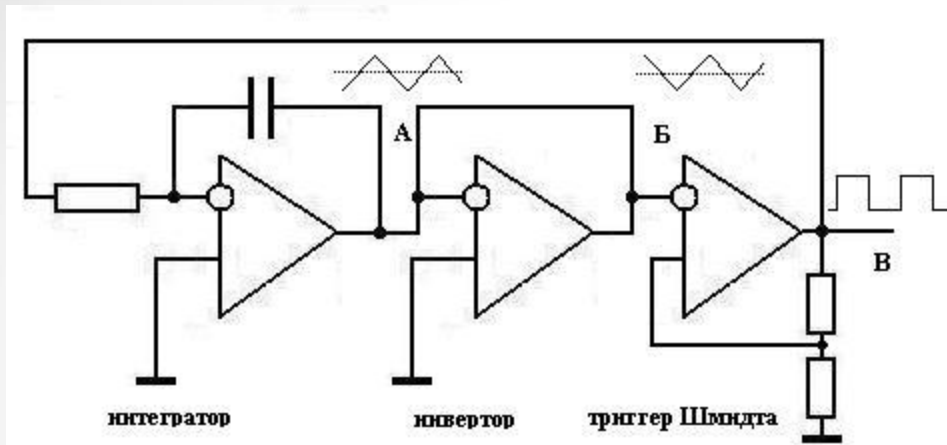
$$V = V_0 \frac{R3}{R2 + R3}$$

Где V_0 - напряжение питания.

Бистабильный мультивибратор

Схема, представленная на рисунке, состоит из интегратора, инвертора и триггера Шмидта.

Триггер Шмидта, как любой триггер, может находиться в двух устойчивых состояниях с постоянным положительным или отрицательным напряжением на выходе.



Постоянное напряжение с триггера Шмидта поступает на вход интегратора, на выходе которого мы получим линейно нарастающее напряжение. Чтобы переключить триггер Шмидта, полярность управляющего сигнала нужно поменять на противоположную. Для этого служит повторитель, который является инвертирующим усилителем с единичным коэффициентом усиления.

После перехода триггера в противоположное состояние напряжение на интеграторе будет линейно убывать до тех пор, пока опять не сработает триггер. Таким образом, данную схему можно использовать и как генератор треугольных импульсов, так и как генератор прямоугольных импульсов, в зависимости с выхода интегратора, или триггера берется сигнал.

Генератор треугольных импульсов

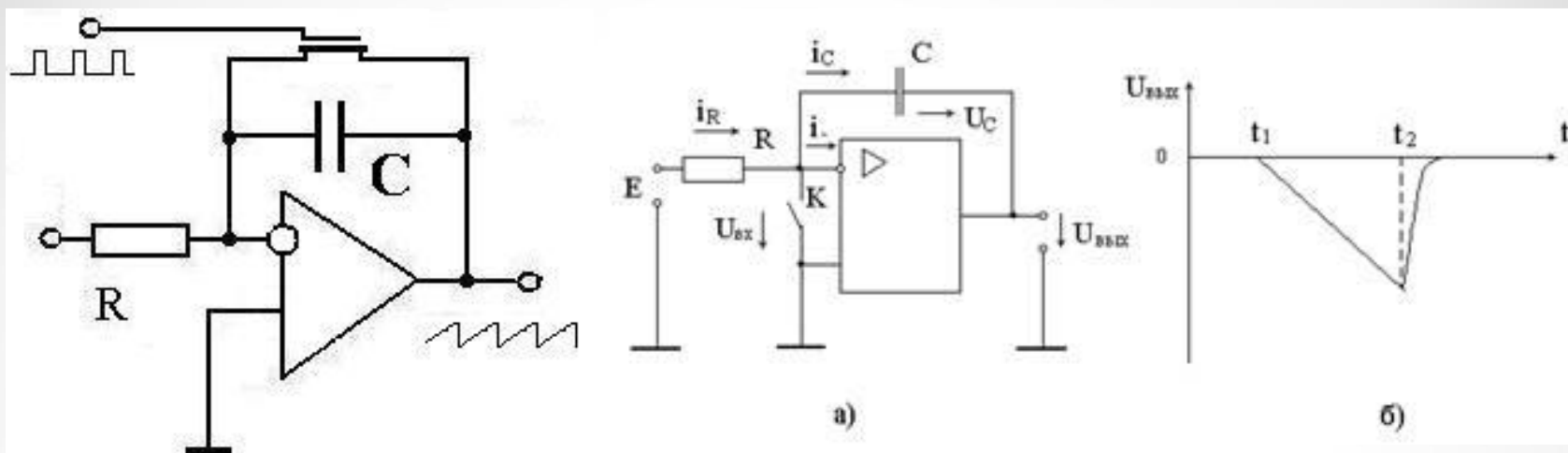


Схема генератора пилообразного напряжения создана на базе интегратора.

Постоянное напряжение на входе преобразуется в линейнонарастающее напряжение на выходе.

При замыкании электронного ключа, выполненного на основе МОП транзистора и управляемого короткими импульсами, происходит сброс выходного напряжения в нуль.

Скорость нарастания и линейность зависит от величин R и C .

Генератор пилообразного напряжения

СИГНАЛОВ

Шумовым сигналом называется совокупность одновременно существующих электрических колебаний, частоты и амплитуды которых носят случайный характер. Генераторы шума вырабатывают шумовые измерительные радиотехнические сигналы с нормированными статистическими характеристиками. Генераторы шума применяются в качестве источников флуктуационных помех при исследовании предельной чувствительности радиоприемных и усилительных устройств, в качестве калиброванных источников мощности при измерении напряженности поля или шумов внеземного происхождения, в качестве имитаторов полного сигнала многоканальной аппаратуры связи, для измерения нелинейных искажений и частотных характеристик радиоустройств с помощью анализатора спектра с постоянной полосой пропускания.

СИГНАЛОВ

Основным требованием к генераторам шума является равномерность спектрального состава шумового сигнала в возможно большей полосе частот, от 0 до ∞ («белый» шум), а практически — от единиц герц до десятков гигагерц. Такой измерительный сигнал позволяет исследовать устройство или систему одновременно во всем диапазоне рабочих частот. В реальных генераторах «белый» шум получить невозможно, но для любого устройства, полоса пропускания которого во много раз меньше спектра шумового сигнала, последний можно считать «белым». По диапазону генерируемых частот генераторы шума делятся на низкочастотные (20 Гц — 20 кГц и 15 Гц — 6,5 МГц); высокочастотные (1—600 МГц); сверхвысокочастотные (500 МГц — 12 ГГц).

СИГНАЛОВ

Основной узел шумового генератора — задающий генератор (рис.). Его сигналы должны иметь равномерную спектральную плотность мощности по всей требуемой полосе частот (теоретически это белый шум). Таким образом, в задающем генераторе используются физические явления, при которых возникают достаточно интенсивные шумы со статическими характеристиками и параметрами, поддающимися достаточно несложному математическому



Генераторы шумоподобных сигналов

В настоящее время в теоретической радиотехнике, радиолокации, системах передачи информации и, особенно, системах мобильной связи успешно используются сигналы с заданными корреляционными и спектральными свойствами. Эти сигналы имеют спектральные характеристики, близкие к белому (квазибелому) шуму в широкой полосе частот. Подобные сигналы принято называть шумоподобными (широкополосными) сигналами (ШПС), сигналами без несущей или сигналами с рассеянным спектром.

Генераторы шумоподобных

СИГНАЛОВ

Если рассматривать последовательности из $n = M$ двоичных импульсов прямоугольной формы, которые в соответствии с номером позиции M могут принимать значения ± 1 (иногда -1 и 0), то простым перебором можно найти такие последовательности, для которых

$$\frac{E}{E_1} = n,$$

где E — энергия всей импульсной последовательности, E_1 — энергия одного импульса. Последовательность класса шумоподобных сигналов повторяется через период $T = n\Delta t = (2^m - 1)\Delta t$, где $\Delta t = 1/F_c$ — интервал следования сдвигающих импульсов, или длительность одного элемента (F_c — частота следования последовательности). Например, изображенная на рис. псевдослучайная двоичная последовательность, имеет период, содержащий 8 элементов.

Генераторы шумоподобных сигналов

Наиболее распространенным примером технической реализации шумоподобных сигналов (сигнальной конструкции) могут служить сформированные определенным образом псевдослучайные последовательности прямоугольных радиоимпульсов, в частности, при манипуляции несущего колебания двоичными кодами. При этом наиболее успешно развиваются цифровые методы генерации сигналов на основе дискретных ортогональных сигналов в виде линейных M -последовательностей, функций Уолша и др.

Стандарты и синтезаторы частоты

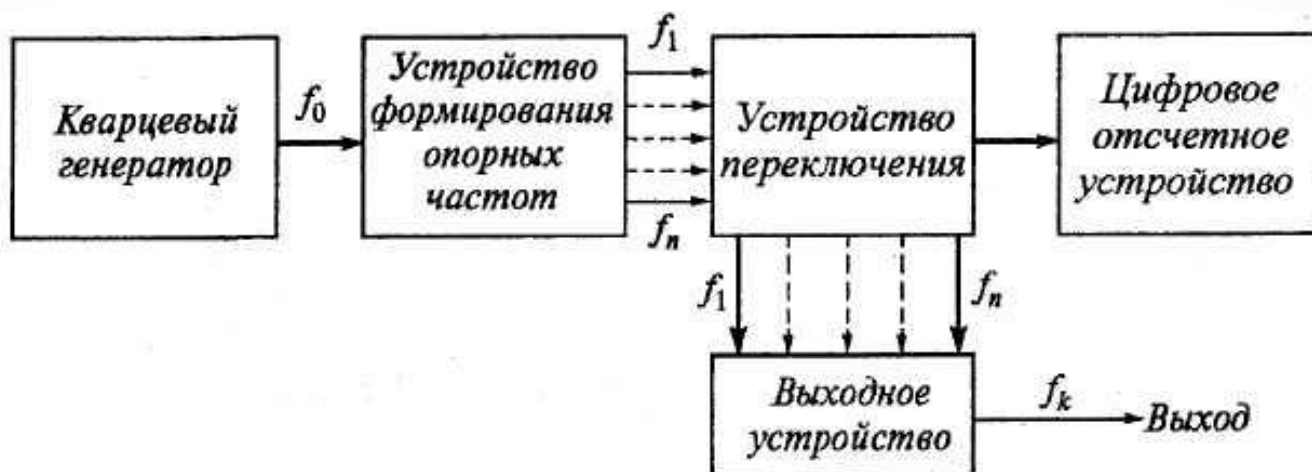
Для создания стабильного по частоте и фазе сигнала используют кварцевые генераторы, имеющие высокую стабильность частоты. Кварцевые стандарты частоты имеют более высокие показатели по стабильности и их нестабильность частоты порядка $10^{-8} \dots 10^{-9}$. Еще лучшую стабильность частоты (нестабильность порядка 10^{-12}) обеспечивают кванто-механические стандарты частоты, действие которых основано на использовании электромагнитного излучения атомов определенного химического элемента при переходе их из одного энергетического состояния в другое. На этой основе созданы водородные, цезиевые и рубидиевые генераторы. Все перечисленные кварцевые генераторы и стандарты частоты обеспечивают формирование высокостабильных сигналов только на нескольких

Стандарты и синтезаторы частоты

При необходимости иметь большой набор генерируемых частот используют кварцевые синтезаторы частот. Синтезаторами частоты называют специальные генераторы гармонических напряжений с дискретной перестройкой частоты и стабильностью, равной стабильности частоты лучших кварцевых генераторов. Они обеспечивают синусоидальную форму, высокую спектральную «чистоту», большую точность установки и возможность программной перестройки частоты. Синтезаторы позволяют получать напряжения фиксированных частот с дискретностью (сеткой частот) до сотых долей герц. По точности установки и стабильности частоты синтезаторы превосходят обычные измерительные генераторы с плавной перестройкой частоты. Они легко сопрягаются с автоматизированными информационно-измерительными системами.

Частоты

Кварцевые синтезаторы частоты — это многочастотные генераторы гармонических напряжений с дискретной перестройкой частоты. Упрощенная структурная схема аналогового синтезатора частоты дана на рис. В нее входят кварцевый генератор частоты f_0 , устройство формирования опорных частот f_1, \dots, f_n , устройство переключения, подключающее на выход сигнал нужной частоты, цифровое отсчетное и выходное устройства.



Характеристики генераторов

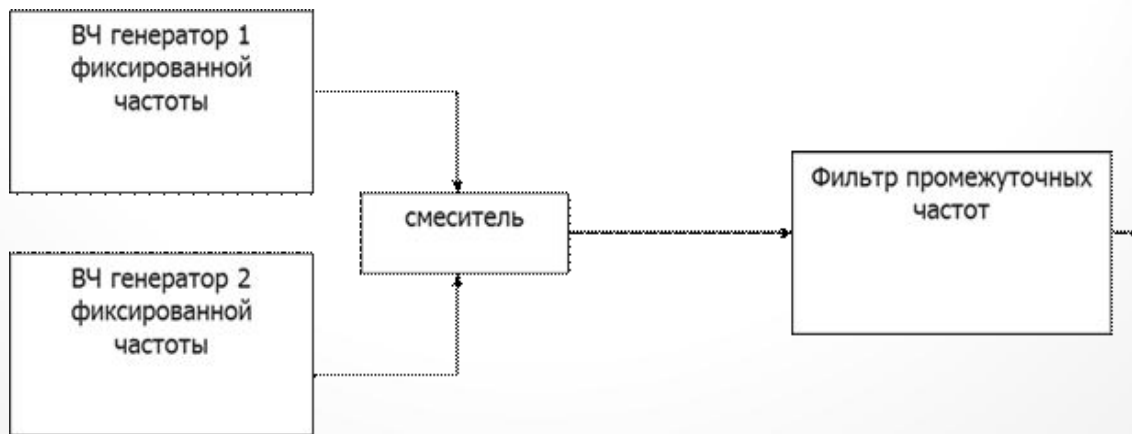
ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

Генераторы звукового диапазона частот (низкочастотные генераторы) имеют обычно значительный уровень мощности выходного сигнала – до 5 ...10 Вт. Однако такая мощность может выделяться только на согласованной нагрузке, поэтому на выходе генератора часто включают согласующий трансформатор, например на нагрузки 60, 600, 6000 Ом. Показания электронного вольтметра выходного напряжения будут правильными тоже только при согласованной нагрузке генератора. Погрешность установки частоты генератора можно снизить до значения, меньшего одного процента, ее нестабильность – того же порядка. Повышают стабильность частоты применением прецизионных внешних элементов (конденсаторов, индуктивностей и резисторов).

Характеристики генераторов

ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

В задающих генераторах звуковых частот используют три метода генерирования: прямой, метод биений, метод электронного моделирования. Для повышения стабильности частоты звуковых генераторов частот применяют задающие генераторы на биениях. Структурная схема задающего генератора содержит два первичных высокочастотных генератора фиксированных частот f_1 и f_2 , смеситель и фильтр промежуточной частоты.



Характеристики генераторов

ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

Метод биений заключается в том, что колебания звуковой частоты образуются в результате воздействия нелинейный элемент смесителя двух близких по частоте гармонических колебаний f_1 и f_2 . При этом частота f_2 может меняться в пределах от f_1 до $f_1 + F$, где F – наибольшая частота рабочего диапазона. На выходе смесителя получают комбинационные частоты, в том числе так называемую *промежуточную частоту* $F_{пч} = f_2 - f_1$. Колебание промежуточной частоты $F_{пч}$ выделяют фильтром промежуточной частоты.

Генератор инфранизких частот можно построить по схеме с электронным управлением частотой. Такие устройства принято называть *функциональными генераторами*.

-

Характеристики

ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ генераторов

В диапазоне радиочастот в средствах измерений применяют как генераторы сигналов, так и генераторы стандартных сигналов. Генераторы сигналов имеют большую среднюю выходную мощность (до 3 Вт) и их используют для питания измерительных передающих антенн и других мощных устройств. Генераторы стандартных сигналов – маломощные источники с низким уровнем выходного напряжения (до 1 В) – применяют при испытаниях и настройке узлов радиоаппаратуры. Основные требования, предъявляемые к ГСС : высокие стабильность частоты и амплитуды выходного сигнала. Малый коэффициент нелинейных искажений. В ГСС предусматривают возможность получения амплитудной модуляции за счет использования как внешнего, так и внутреннего источников напряжения. Внутренняя модуляция обычно действует на частотах 400 т 1000 Гц .

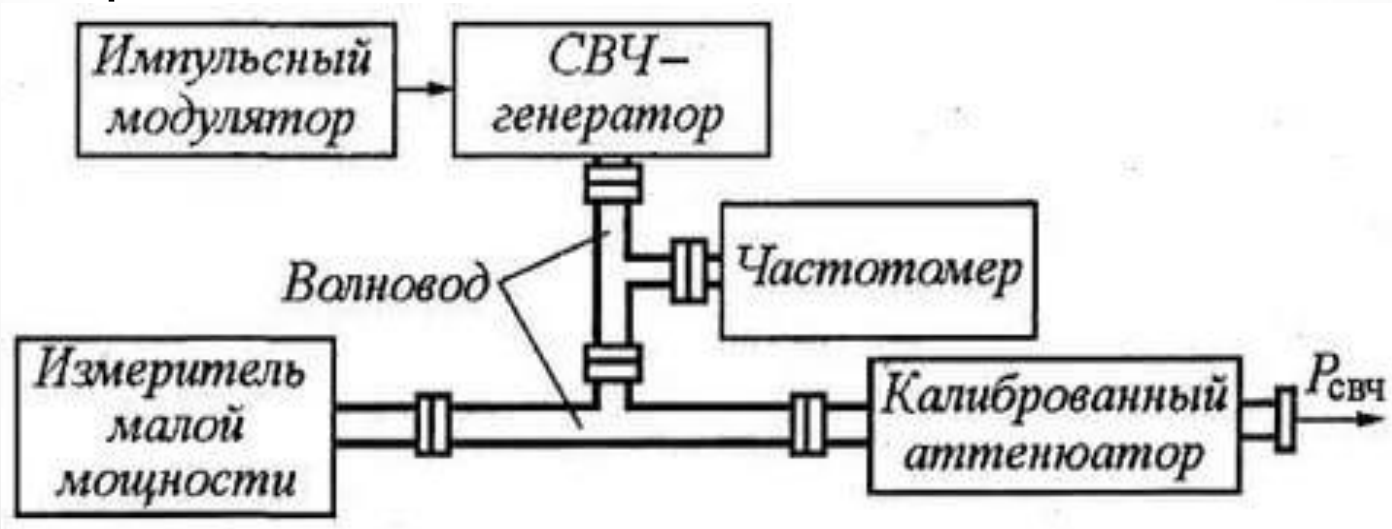
Характеристики СВЧ -

генераторов

Генераторы сверхвысоких частот (СВЧ – генераторы) работают в диапазоне частот 1...40 ГГц. По типу выходного соединителя с исследуемой схемой они делятся на коаксиальные и волноводные . Причем последние более высокочастотные . Для СВЧ – генераторов характерно однодиапазонное построение , с небольшим перекрытием по частоте (около октавы – 2 раза). Некалиброванная выходная мощность измерительного СВЧ – генератора достигает десяти ватт, а калиброванная составляет нескольких микроватт. Генераторы сверхвысоких частот используют для настройки радиоприемных устройств радиолокационных и радионавигационных станций, систем космической связи и спутникового вещания , измерения параметров различных антенн и т.д.

Характеристики СВЧ - генераторов

Особенностями измерительных генераторов этого вида являются относительная простота электронной части схемы и сложность механических узлов приборов. Схема включает собственно СВЧ – генератор, импульсный модулятор, измеритель малой мощности, частотомер и калиброванный аттенюатор. Все высокочастотные узлы генератора соединяются волноводами.



Характеристики СВЧ - генераторов

Задающие СВЧ – генераторы измерительных приборов выполняют на отражательных клистронах , диодах Ганна, магнетронах , лавинно – пролетных диодах (ЛДП), лампах бегущей (ЛБВ) и обратной волны (ЛОВ) и т.д. В измерительных СВЧ – генераторах необходима тщательная экранировка , так как утечка мощности с ростом частоты возрастает. Провода питания выполняют в виде коаксиальных кабелей со специальным наполнением , хорошо поглощающим энергию СВЧ – колебаний. Повышенные требования предъявляют и к источникам питания, так как активные элементы СВЧ – диапазона чувствительны к нестабильности питающих напряжений .

Цифровые измерительные

генераторы низких частот

Цифровые генераторы низких частот отличаются от аналоговых более эффективным метрологическим и характеристиками : высокими точностью установки и стабильностью частоты, малым коэффициентом нелинейных искажений (строго синусоидальной формы), постоянством уровня выходного сигнала. Цифровые генераторы удобнее аналоговых в эксплуатации: выше быстродействие, существенно проще установка требуемой частоты. Более наглядная индикация. Цифровые генераторы имеют возможность автоматической перестройки частоты по заранее заданно программе. Действие цифровых генераторов основано на принципе формирования числового кода с последующим преобразованием его в гармонический сигнал . При этом используют метод аппроксимации формы выходного