

**Федеральное агентство по образованию
Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

С.Н. Охулков

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Кафедра “Теоретическая и общая
электротехника”**

**Для студентов электротехнических
специальностей всех форм обучения**

Автозаводская высшая школа управления и технологий

Очная и заочная форма обучения

- Автомобили и автомобильное хозяйство
- Автомобиле- и тракторостроение
- Технология машиностроения

г. Нижний Новгород, ул. Лескова, 68, т. (831) 256-02-10

Тема 9

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА АНАЛОГОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

КОМПАРАТОРЫ

**Компаратор –
это линейное устройство сравнения, для которого**

$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВЫХ}}^1 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} > 0 \\ U_{\text{ВЫХ}}^0 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} < 0 \end{cases}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВЫХ}}^1 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} < 0 \\ U_{\text{ВЫХ}}^0 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} > 0 \end{cases}$$

где $U_{\text{ВХ1}}$ и $U_{\text{ВХ2}}$ - сравниваемые входные напряжения,

$U_{\text{ВЫХ}}^1$ и $U_{\text{ВЫХ}}^0$ - логические уровни ("1" и "0").

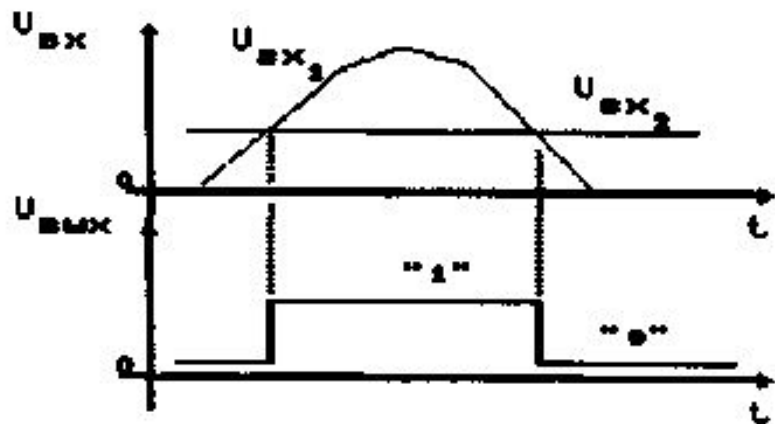
Во многих технических задачах приходится сравнивать три
входных напряжения
(функция "окна", "окошечный" компаратор).

Тогда:

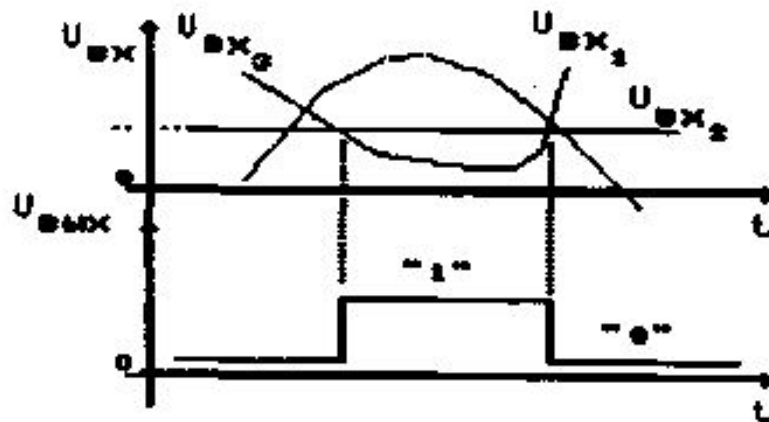
$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВЫХ}}^1 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} > 0 \text{ и } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ3}} < 0 \\ U_{\text{ВЫХ}}^0 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} < 0 \text{ и } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ3}} > 0 \end{cases}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВЫХ}}^1 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} < 0 \text{ и } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ3}} > 0 \\ U_{\text{ВЫХ}}^0 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} > 0 \text{ и } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ3}} < 0 \end{cases}$$

Графически функции компараторов представлены ниже:



а)



б)

Одно (а) и двухуровневое (б) сравнение входных напряжений

Строгое равенство разности входных напряжений нулю в технических системах нереализуемо из-за неизбежных малых флуктуации входных напряжений

Требования к компараторам

Идеальный компаратор должен обеспечивать:

1. Сравнение входных напряжений в диапазоне частот от 0 Гц до бесконечности. Это определяет требования к компаратору в части смещения нуля и рабочей полосы частот, так же как и к операционному усилителю.
2. Сравнение входных напряжений с нулевой статической погрешностью, что требует $k_u \rightarrow \infty$ (сравни с ОУ).
3. Нулевое время реакции на произвольную разность входных напряжений, что требует бесконечно большой скорости нарастания выходного напряжения и нулевых внутренних задержек компаратора.
4. Выходные напряжения должны принимать два дискретных значения.

Параметры компараторов

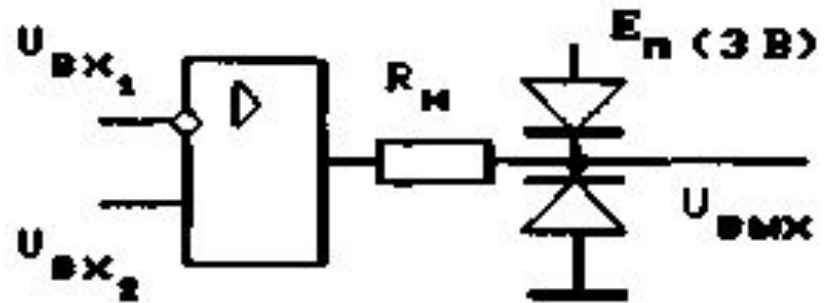
- 1. Разрешающая способность***
- 2. Напряжение смещения***
- 3. Абсолютное значение входного тока и разность входных токов***
- 4. Время отклика (время переключения, задержка распространения).***

Схемы компараторов

Достаточно часто в качестве компаратора используются ОУ. Такие схемные решения широко применяются в практике, особенно при сравнении низкочастотных сигналов.

На рисунке справа приведена типичная схема компаратора на основе ОУ.

Обратите внимание, что операционный усилитель используется без ОС.



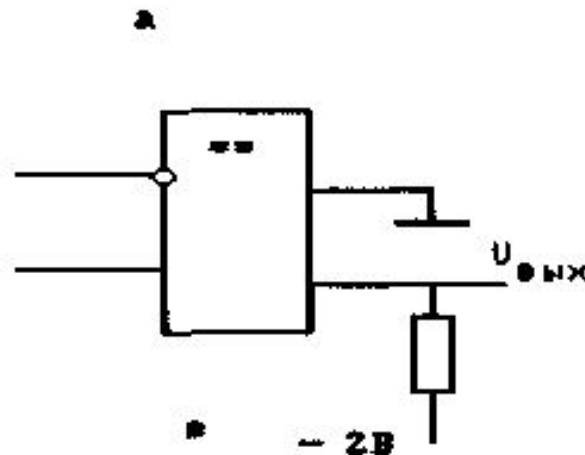
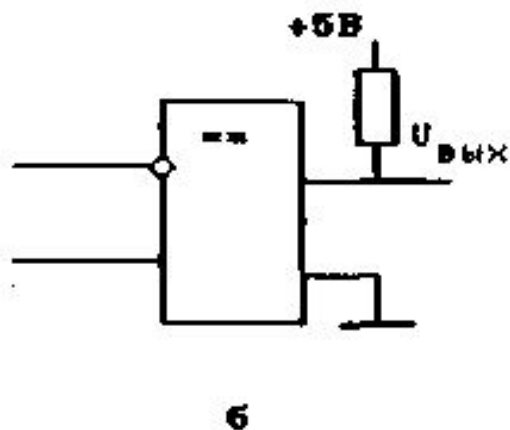
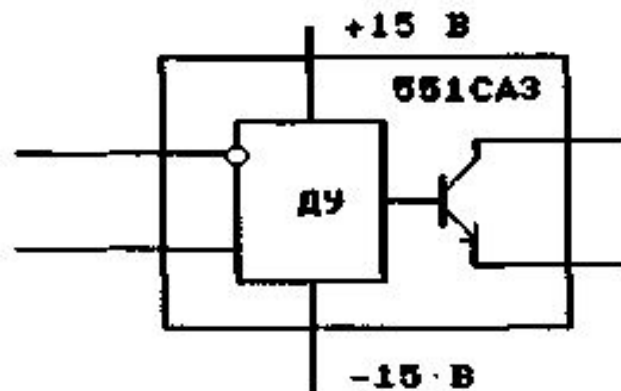
Реализация компаратора с использованием операционного усилителя

Однако в последнее десятилетие для решения задачи компарации напряжений выпускают специальные микросхемы, отличающиеся от ОУ функцией (и, конечно, схемой) выходного каскада. Монолитные компараторы обеспечивают разрешающую способность от десятков микровольт до единиц милливольт при задержке срабатывания от единиц до десятков наносекунд.

***В качестве примера рассмотрим
весьма популярный компаратор
521(554)САЗ.***

Его особенностью является весьма своеобразный выходной каскад. Этот каскад имеет открытый коллектор и открытый эмиттер, и возможна реализация различных включений выходного каскада (инвертирующего и неинвертирующего) при различных комбинациях величин положительного и отрицательного напряжений питания

(см. схему на следующем слайде)



Компаратор 521(554)СЛЗ

- а) упрощенная схема компаратора,*
- б) пример реализации выходных ТТЛ сигналов (с инверсией),*
- в) пример реализации выходных ЭСЛ сигналов (без инверсии).*

*Еще одной особенностью схем компараторов является использование так называемого **строба.***

Под стробом обычно понимают некоторый сигнал прямоугольной формы разрешающий (реже запрещающий) функционирование стробируемого устройства.

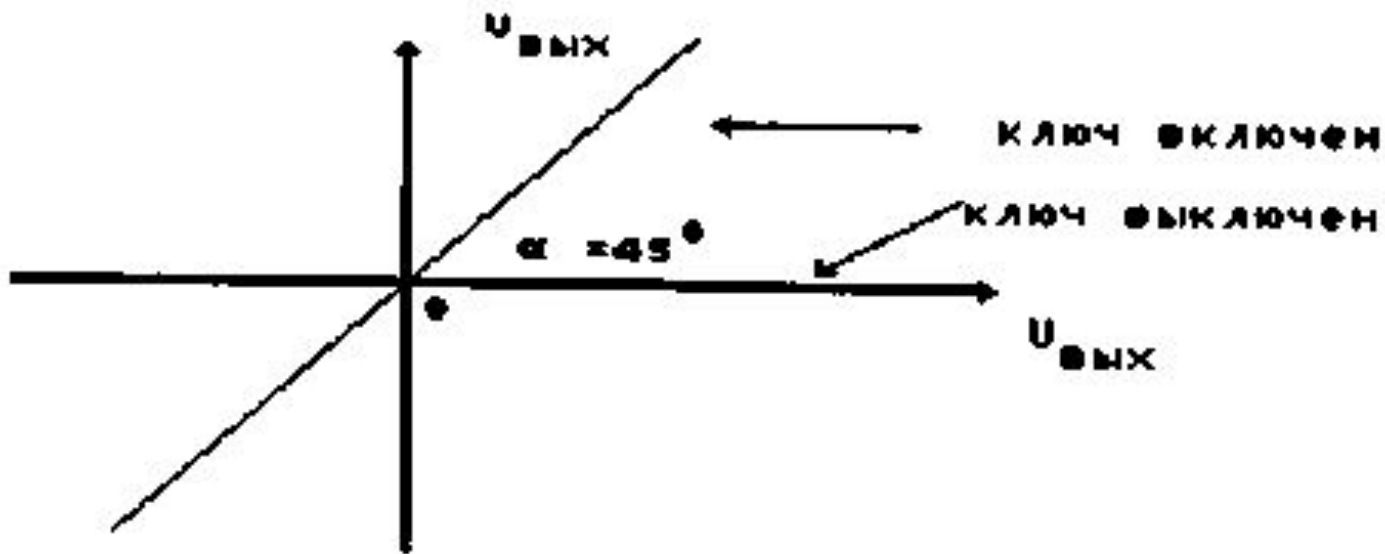
*Строб позволяет анализировать (подключать к исполнительным устройствам) состояние компаратора только **в наперед заданные моменты времени.***

АНАЛОГОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ (КЛЮЧИ)

Основным функциональным назначением **электронных аналоговых переключателей (АП)** является коммутация сигнальных цепей с коэффициентом передачи близким к 1 и минимальными фазовыми сдвигами.

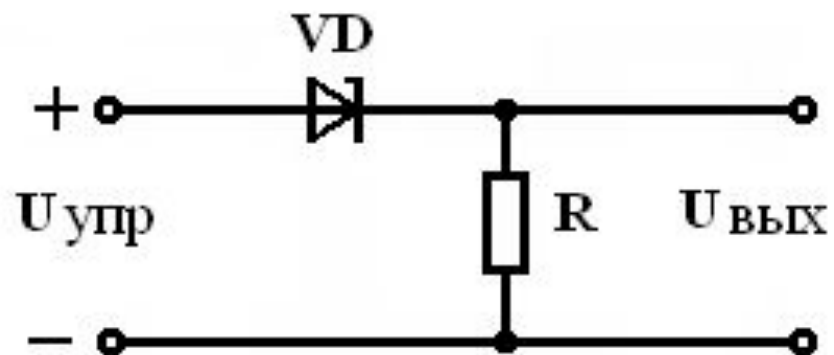
Как и широко известные механические коммутаторы электрических цепей, аналоговые переключатели могут быть **нормально замкнутыми, нормально разомкнутыми, последовательными и параллельными.**

Кроме этого, в электронных схемах различают **переключатели напряжения и переключатели тока.** Как правило, АП коммутируют слаботочные, низковольтные цепи, но существуют схемы предназначенные, для коммутации силовых аналоговых сигналов.



Передаточные характеристики идеального аналогового переключателя

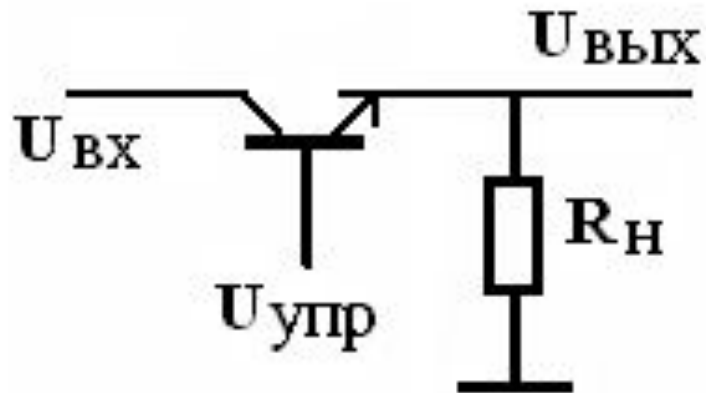
Ключ на стабилитроне



Если $U_{\text{упр}} < U_{\text{ст}}$, то $U_{\text{ВЫХ}} = 0$

Если $U_{\text{упр}} > U_{\text{ст}}$, то $U_{\text{ВЫХ}} \approx U_{\text{упр}}$

Ключ на биполярном транзисторе



$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} - U_{\text{кэ}}$$

Для кремниевого транзистора в режиме насыщения:

$$U_{\text{кэ}} \approx 0,1 \div 0,3$$

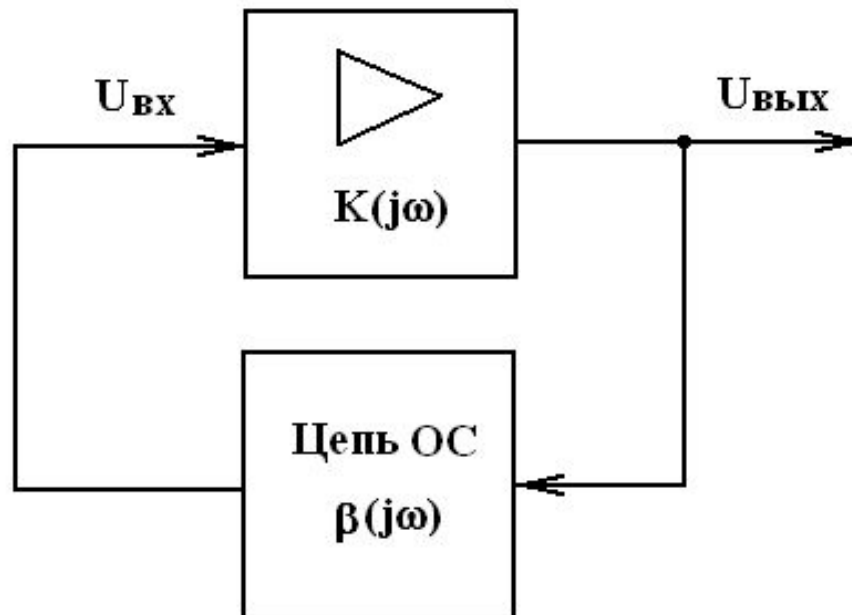
ГЕНЕРАТОРЫ

Генератором гармонических сигналов

называется устройство, которое превращает энергию источника постоянного тока в энергию электромагнитных колебаний

Все генераторы можно классифицировать:

- по форме генерированных сигналов на**
генераторы гармонических колебаний и
импульсные (релаксационные) генераторы;
- по способу возбуждения на**
автогенераторы и
звужде генераторы (генераторы с внешним возбуждением);
- по виду обратной связи на**
RC-генераторы и
LC-генераторы;
- по генерированной частоте на**
низкочастотные (до 100 кГц),
высокочастотные (0,1...100 МГц) и
сверхвысокочастотные (более 100 МГц).



**Обобщенная структурная схема
автогенератора гармонических
колебаний**

Автогенератор гармонических колебаний

– это усилитель, охваченный частотно-зависимой обратной связью

Коэффициент усиления с учетом обратной связи

$$K(j\omega)_{oc} = \frac{K(j\omega)}{1 - \beta(j\omega) \cdot K(j\omega)}$$

Коэффициент обратной связи

$$\beta(j\omega) \cdot K(j\omega) = K_{oc}(j\omega)$$

$$K_{oc}(j\omega) = K_{oc} e^{j\varphi_{JC}}$$

Если $e^{j\varphi_{OC}} = 1$ ($\varphi_{OC} = 2\pi n$, где $n = 0, 1, 2, \dots$), то обратная связь называется положительной и амплитуда напряжения на выходе усилителя нарастает

Одно из условий возбуждения усилителя:

$$\varphi_{OC}(f_{\Gamma}) = \varphi_K(f_{\Gamma}) + \varphi_{\beta}(f_{\Gamma}) = 2\pi n$$

где $\varphi_K(f_{\Gamma})$ – фазовый сдвиг усилителя на частоте генерации;
 $\varphi_{\beta}(f_{\Gamma})$ – фазовый сдвиг цепи ОС на частоте генерации.

**Это условие называется
балансом фаз**

Другим условием возбуждения усилителя является:

$$K_{OC}(f_r) = K(f_r) \cdot \beta(f_r) > 1$$

где $K(f_r)$ – модуль коэффициента передачи усилителя на частоте генерации;
 $\beta(f_r)$ – модуль коэффициента передачи цепи ОС на частоте генерации.

При выполнении этого условия амплитуда напряжения на выходе усилителя увеличивается.

Этот режим называется

режимом возбуждения генератора.

Когда на выходе усилителя устанавливаются колебания постоянной амплитуды

$$K(f_r) \cdot \beta(f_r) = 1$$

генератор переходит в стационарный режим, а это условие называется

балансом амплитуд

Пример реализации LC-автогенератора

Коэффициент передачи цепи ОС

$$\gamma = Z_1 / (Z_1 + Z_3) = -Z_1 / Z_2$$

Из условия самовозбуждения колебаний частота генерации гармонических колебаний в «индуктивной трехточке»

$$f_r = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$$

где L – полная индуктивность



Классические LC-автогенераторы имеют
нестабильность частоты

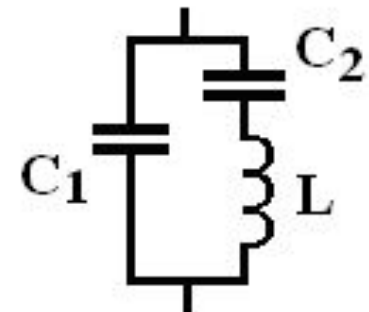
$$\delta_{\text{fr}} = \pm(10^{-4} \div 10^{-2})$$

Такая низкая стабильность
не обеспечивает решения
многих практических задач.

Для существенного
повышения стабильности
чаще всего используют
кварцевые резонаторы.



а)



б)

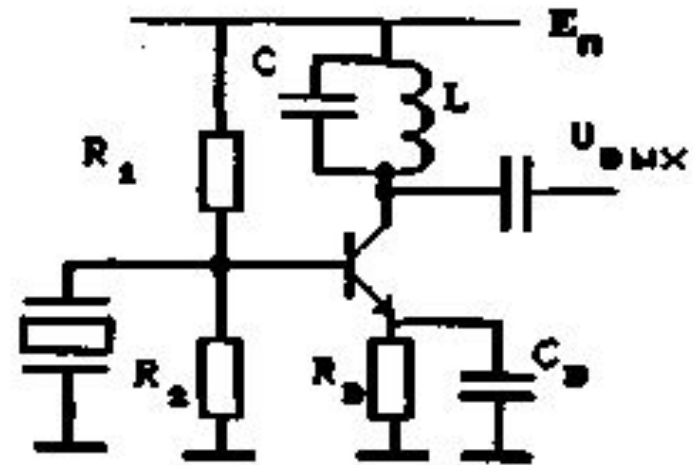
*Кварцевый резонатор:
условное графическое
изображение (а) и
эквивалентная схема (б)*

Пример реализации генератора с кварцевой стабилизацией частоты

Нестабильность частоты

$$\delta_{fr} = \pm(10^{-7} \div 10^{-6})$$

То есть
стабильность
повышается
в тысячи раз



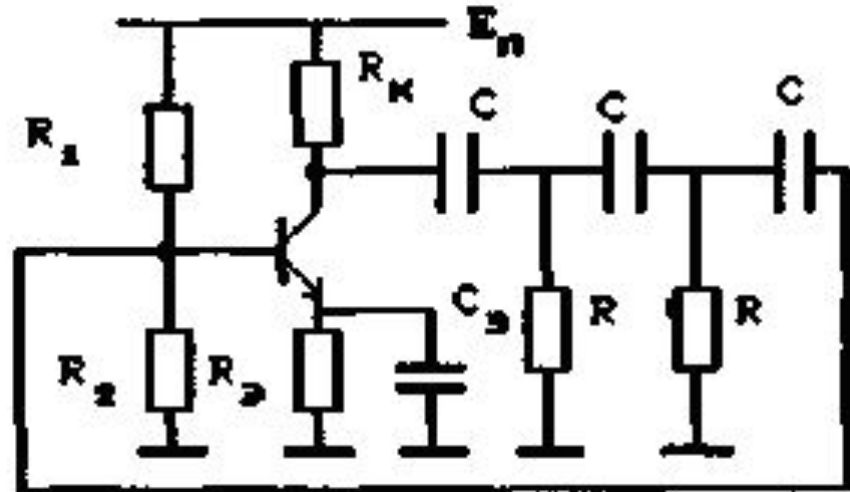
Генератор с кварцевой стабилизацией частоты

Пример реализации RC-автогенератора

На низких частотах чаще всего используются RC-автогенераторы

Частота колебаний

$$f_{\Gamma} = 1 / \left(2\pi RC \sqrt{6 + 4R_{\text{BX}} / R} \right)$$



*Схема гармонического
RC-автогенератора
с фазосдвигающей цепью
обратной связи*

Пример реализации генератора гармонических колебаний на основе операционного усилителя

Частота колебаний

$$f_{\Gamma} = 1 / \left(2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2} \right)$$

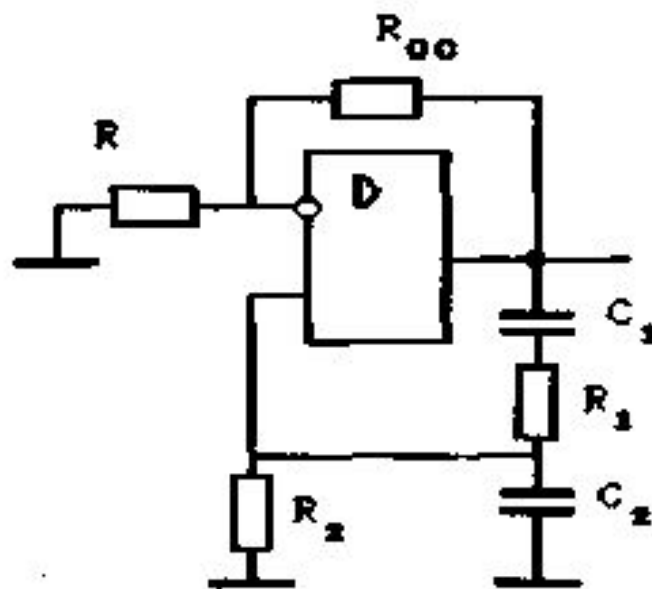


Схема генератора гармонических колебаний на основе операционного усилителя с мостом Вина в цепи обратной связи

Рекомендуемая литература

- 1. Алтунин Б.Ю., Панкова Н.Г. Теоретические основы электротехники:** Комплекс учебно - методических материалов: Часть 1 / Б.Ю. Алтунин, Н.Г. Панкова; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-130 с.
- 2. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.1/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-98 с.
- 3. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.2/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2008.-98 с
- 4. Касаткин, А.С. Электротехника** /А.С. Касаткин, М.В. Немцов.-М.: Энергоатомиздат, 2000.
- 5. Справочное пособие по основам электротехники и электроники** /под. ред. А.В. Нетушила.-М.: Энергоатомиздат, 1995.
- 6. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники.**-3-е изд., перераб. И доп.-М.: Радио и связь, 1990.-512 с.: ил.
- 7. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника:** учебник / О. П. Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.

Тема 9 Закончена

Благодарю за внимание