

**Уважаемая 45 группа у вас закончился предмет
«Электротехника»
Прошу сдать дифференцированный зачет (и долги тоже)**

Учебник:

Основы электротехники (Кузнецов М.И.) rateli.ru

Учебники | Электротехника Таблица 1.1 [booksite.ru>fulltext/sindeev/text.pdf](http://booksite.ru/fulltext/sindeev/text.pdf)

1. Прочитать и записать конспект.
2. Сделать задание и результат прислать на электронную почту

Электронный ключ.

Электронным ключом называется устройство, которое под воздействием управляющих сигналов осуществляет коммутацию электрических цепей *бесконтактным способом*.

Назначение электронных ключей.

В самом определении заложено назначение “Включение - выключение”, “Замыкание - размыкание” пассивных и активных элементов, источников питания и т.д.

Классификация электронных ключей.

Электронные ключи классифицируются по следующим основным признакам:

1. По виду коммутирующего элемента:
 - диодные;
 - транзисторные;
 - тринисторные, динисторные;
 - электровакуумные;
 - газонаполняемые (тиратронные, тигатронные);
 - оптронные.
2. По способу включения коммутирующего элемента по отношению к нагрузке.
 - последовательные ключи;
 - параллельные ключи.
3. По способу управления.
 - с внешним управляющим сигналом (внешним по отношению к коммутируемому сигналу);
 - без внешнего управляющего сигнала (сам коммутируемый сигнал и является управляющим).
4. По виду коммутируемого сигнала.
 - ключи напряжения;
 - ключи тока.
5. По характеру перепадов входного и выходного напряжений.
 - повторяющие;
 - инвертирующие.
6. По состоянию электронного ключа в открытом положении.

- насыщенный (электронный ключ открыт до насыщения);
- ненасыщенный (электронный ключ находится в открытом режиме).

7. По количеству входов.

- одноходовые;
- многоходовые.

Устройство электронных ключей.

В состав электронного ключа обычно входят следующие основные элементы:

- * непосредственно нелинейный элемент (коммутирующий элемент);
- * цепи питания;
- * нагрузка.

Основные характеристики электронных ключей.

1. Передаточная характеристика.

Это зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от входного $U_{\text{вх}}$: $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$.

Если нет внешнего управляющего сигнала, то $U_{\text{вых}}=f(E)$.

Такие характеристики показывают насколько близок электронный ключ к идеальному.

2. Быстродействие электронного ключа - время переключения электронного ключа.

3. Сопротивление в разомкнутом состоянии $R_{\text{выкл}} \text{ разом}$ и сопротивление в замкнутом состоянии $R_{\text{вкл}} \text{ зам}$.

4. Остаточное напряжение $U_{\text{ост}}$.

5. Пороговое напряжение, т.е. напряжение, когда сопротивление электронного ключа резко меняется.

6. Чувствительность - минимальный перепад сигнала, в результате которого происходит бесперебойное переключение электронного ключа.

7. Помехоустойчивость - чувствительность электронного ключа к воздействию импульсов помех.

8. Падение напряжения на электронном ключе в открытом состоянии.

9. Ток утечки в закрытом состоянии.

Применение электронных ключей.

- В простейших схемах формирования импульсов.

- Для построения основных типов логических элементов и основных импульсных устройств.

Таким образом, электронные ключи это устройства, осуществляющие коммутацию бесконтактным способом.

Схемы диодных ключей и их функционирование.

1. Последовательные диодные ключи.

Основным признаком таких схем является последовательное включение полупроводникового диода и сопротивления нагрузки.

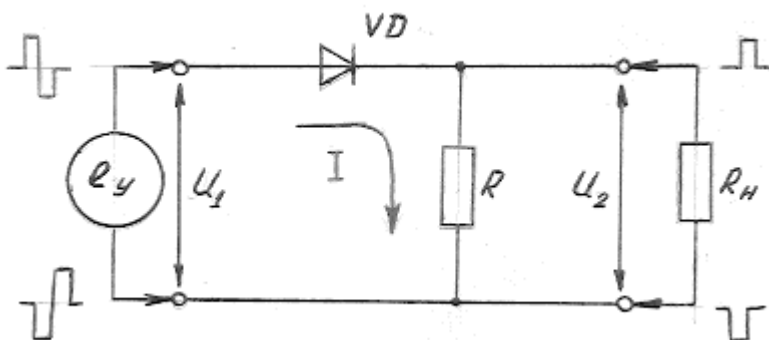


Рис. 9

Функционирование схемы рассмотрим на следующих графиках и переходных характеристиках.

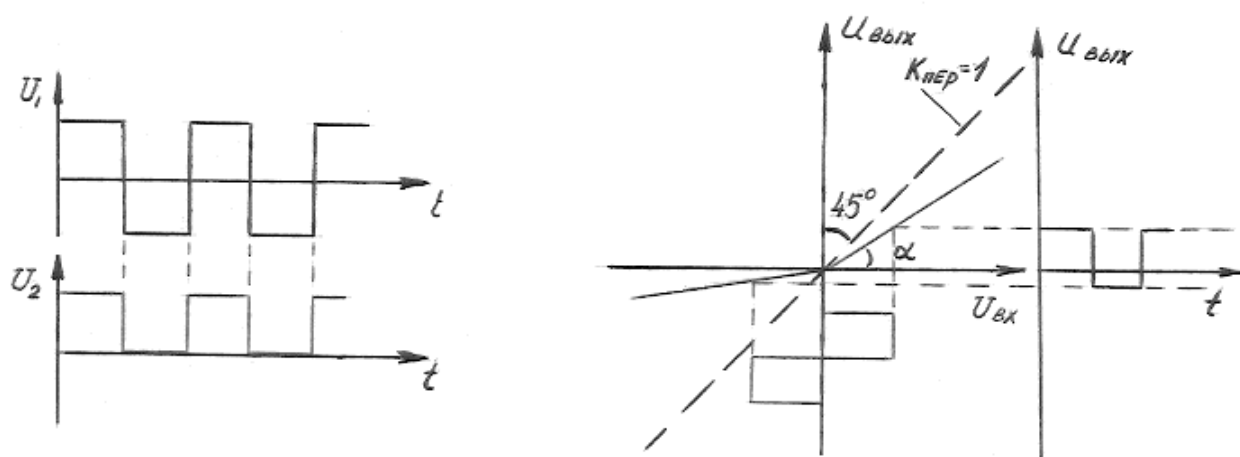


Рис. 10

Работа схемы основана на соблюдении равенства $R_n > R$ и $R_{VDпр} \ll R$, $R_{VDобр} \gg R$. Отсюда следует, что $R_{вых} = R$. Тогда напряжение на выходе определяется из следующего выражения:

$$U_2 = IR = \frac{U_1}{R_{VD} + R} R = \frac{U_1}{1 + \frac{R_{VD}}{R}}$$

При положительном знаке входного напряжения, т.е. $U_1 > 0$, сопротивление прямо смещенного p-n перехода диода будет во много раз меньше сопротивления нагрузки ключа в целом, т.е. $R_{VDпр} \ll R$. В результате, выходное напряжение будет по амплитуде практически равно входному, $U_2 = U_1$.

В случае, если $U_1 < 0$, то $R_{VDобр} \gg R$, и на выходе напряжение будет отсутствовать (величина выходного напряжения равна произведению сопротивления нагрузки на ток обратно смещенного p-n перехода диода).

Ограничители сигналов

Ограничителями называются функциональные преобразователи, у которых выходное напряжение в некотором диапазоне совпадает с входным, а при выходе за границы диапазона, называемые уровнями ограничения, остаются неизменными. Различают ограничение по максимуму («сверху»), по минимуму («снизу») и двустороннее.

Основными требованиями, предъявляемыми к ограничителям, являются стабильность положения точки излома передаточной характеристики и стабильность уровней ограничения.

Широко распространены ограничители с использованием пассивных нелинейных компонентов – диодов и стабилитронов. В зависимости от способа включения их подразделяют на схемы с последовательным и параллельным включением нелинейного элемента.

Ограничители с последовательным включением диода могут производить ограничение снизу, сверху, и двустороннее. Схемы ограничителей, их передаточные характеристики и временные диаграммы при синусоидальном входном сигнале показаны на рис. 2.3. В открытом состоянии диод подключает нагрузку к источнику входного напряжения, в закрытом состоянии напряжение на нагрузке определяется источником э.д.с.

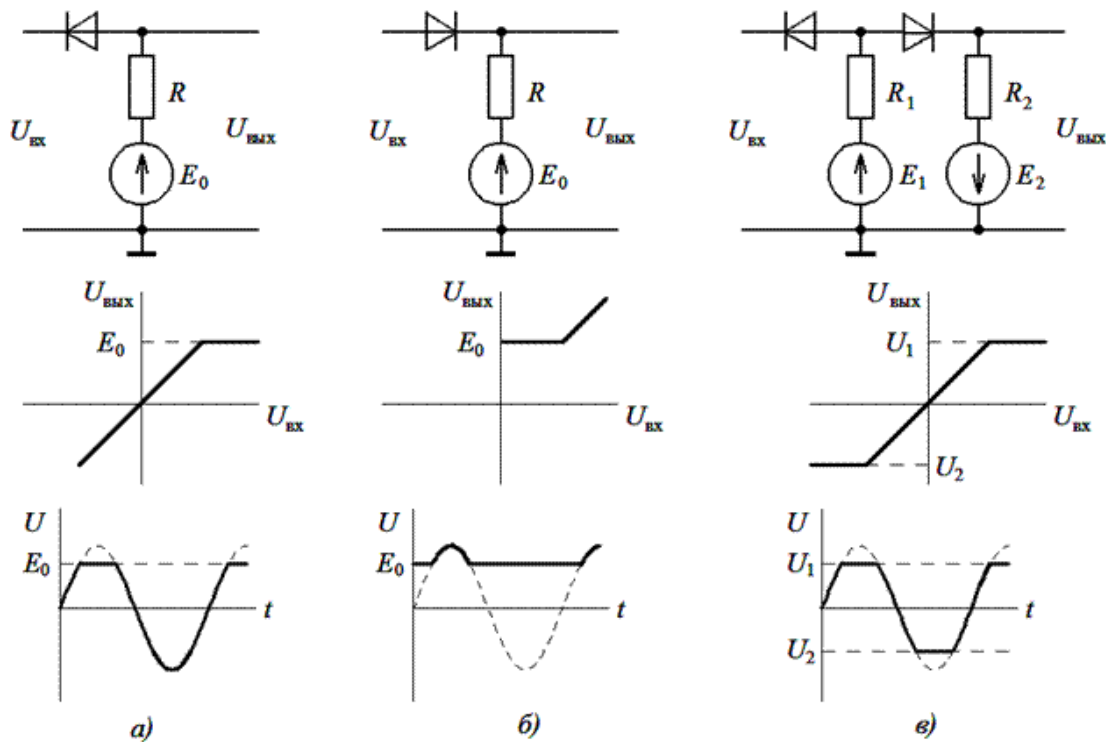


Рис. 2.3. Принципиальные схемы, передаточные характеристики и диаграммы напряжений ограничителей с последовательным включением диода:

а – ограничение сверху, *б* – ограничение снизу, *в* – двустороннее ограничение

Для схем одностороннего ограничения его уровень равен E_0 . При двустороннем ограничении в схеме рис. 2.3, *в* нижний уровень $U_2 = -E_2$, верхний уровень $U_1 = (E_1R_2 - E_2R_1)/(R_1 + R_2)$. Указанные соотношения приведены при допущении, что диоды являются идеальными. Варьируя направление включения диодов и полярности источников э.д.с., можно получать самые разнообразные вольтамперные характеристики.



В ограничителях с параллельным включением диода (рис. 2.4) ограничение на уровне, равном величине э.д.с., происходит в моменты времени, когда диод открыт. В режиме ограничения все приращения входного напряжения падают на резисторе $R_{огр}$, который иногда называют балластным.

Схемы ограничителей напряжения со стабилитронами приведены на рис. 2.5. В них ограничение обеспечивается за счет вольтамперной характеристики стабилитрона, поэтому можно обойтись без введения дополнительных источников опорного напряжения.

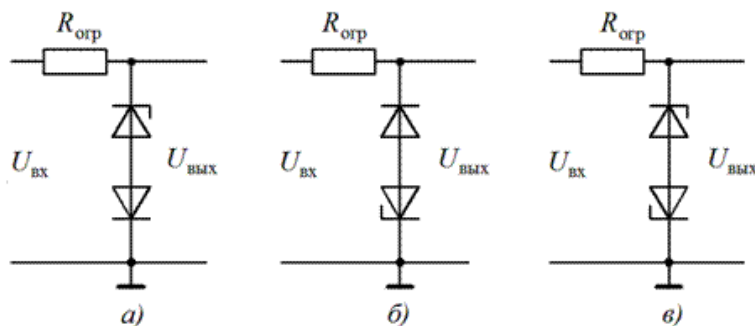


Рис. 2.5. Ограничители на стабилитронах: *а* – ограничение сверху; *б* – ограничение снизу; *в* – двустороннее ограничение

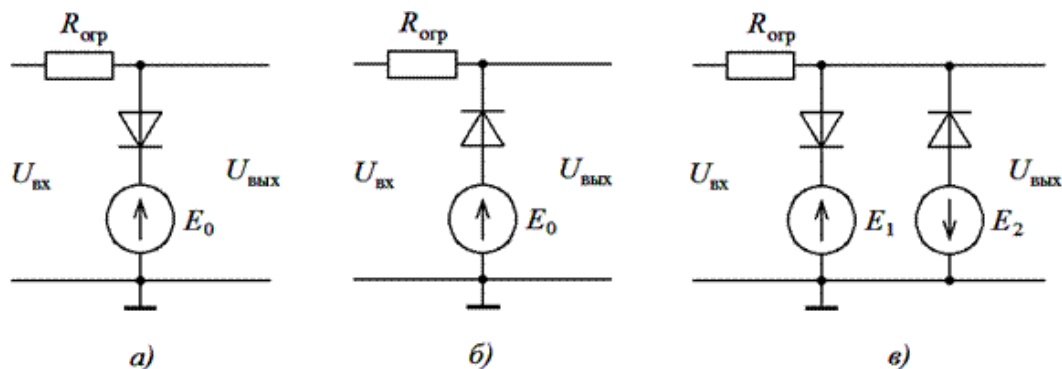


Рис. 2.4. Ограничители с параллельным включением диода: а – ограничение сверху; б – ограничение снизу; в – двустороннее ограничение

Для получения одностороннего ограничения последовательно со стабилитроном включают диод. Для той полярности входного напряжения, которая ограничивается, диод включен в прямом направлении, а стабилитрон – в обратном. Для другой полярности диод включен в обратном направлении, и ограничитель не влияет на напряжение выходной цепи. Соответствующим включением стабилитрона и диода можно получить ограничение по максимуму (рис. 2.5, а), по минимуму (рис. 2.5, б) и двустороннее (рис. 2.5, в). Для двустороннего ограничения можно использовать двуханодные стабилитроны, например, КС170А, КС182А, для которых нормирована асимметрия напряжений стабилизации.

Рассмотренные простейшие ограничители на диодах и стабилитронах имеют ряд существенных недостатков, связанных с не идеальностью вольтамперной характеристики нелинейного элемента:

- нечеткость (скругленность) передаточной характеристики вблизи точки излома;
- при последовательном включении диода выходное напряжение вне диапазона ограничения отличается от входного на величину прямого падения напряжения на диоде; при малых сигналах подобные схемы вообще неприменимы;
- ограничители на стабилитронах не могут быть выполнены с произвольными уровнями ограничения из-за ограниченной номенклатуры выпускаемых промышленностью приборов;
- температурная зависимость вольтамперной характеристики диодов и стабилитронов приводит к нестабильности порогов ограничения;
- невозможно регулировать уровень ограничения внешним электрическим сигналом;
- высокое выходное сопротивление, которое к тому же различно в разных режимах, приводит к тому, что передаточная характеристика ограничителя может существенно меняться при изменении сопротивления нагрузки. Так, например, для схем рис. 2.3 выходное сопротивление в режиме передачи сигнала равно прямому сопротивлению диода, а в режиме ограничения – сопротивлению резистора, включенного последовательно с источником э.д.с. Для схем рис. 2.4 и 2.5 выходное сопротивление в режиме передачи сигнала равно $R_{огр}$, а в режиме ограничения определяется достаточно малым дифференциальным сопротивлением полупроводниковых приборов.

Применение ОУ позволяет существенно улучшить характеристики ограничительных устройств.

Схемы ограничителей на базе ОУ весьма разнообразны. Однако все они основаны на едином принципе – введении нелинейных элементов (диодов, транзисторов или стабилитронов) в цепь обратной связи. На рис. 2.6 показано несколько вариантов построения ограничителей с улучшенными характеристиками.

Схема рис. 2.6, а обеспечивает двустороннее ограничение с низким выходным сопротивлением во всех режимах. Уровень ограничения можно настраивать, если выполнить $R2$ в виде потенциометра и подключить инвертирующий вход ОУ к средней точке потенциометра. Однако проблема нечеткости и нестабильности передаточной характеристики здесь не решена.

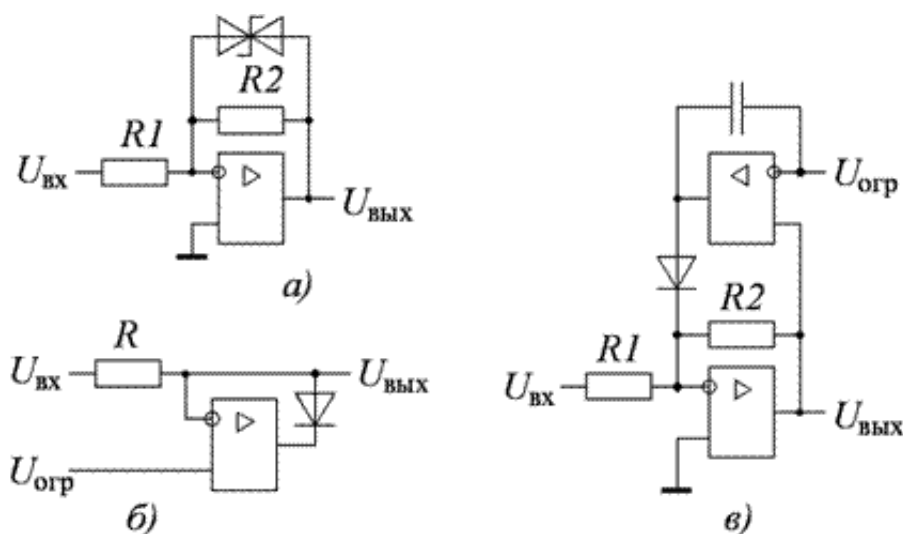


Рис. 2.6. Ограничители на операционных усилителях

Схема рис. 2.6, б выполняет прецизионное ограничение сверху. При $U_{вх} < U_{огр}$ на выходе ОУ имеет место положительное напряжение насыщения, диод заперт и не оказывает влияния на передачу сигнала. При $U_{вх} > U_{огр}$ напряжение на выходе ОУ становится отрицательным, диод открывается, замыкается цепь ООС, и в соответствии с принципом мнимой земли выходное напряжение поддерживается равным $U_{огр}$ с высокой точностью. Здесь имеется возможность электрически регулировать уровень ограничения. Изменив направление включения диода, получаем ограничение снизу. Единственным недостатком схемы является значительное выходное сопротивление в режиме передачи сигнала, равное R .

Схема рис. 2.6, в сочетает низкое выходное сопротивление во всех режимах с высокой точностью ограничения. При $U_{вх} < U_{огр}$ на выходе верхнего по схеме ОУ имеет место отрицательное напряжение насыщения, диод заперт, и схема работает в режиме инвертирующего усилителя, причем коэффициент усиления можно устанавливать выбором R_1 и R_2 . Если же $U_{вх}$ таково, что $U_{вх}$ стремится превысить $U_{огр}$, то диод открывается и за счет ООС поддерживается соотношение $U_{вх} = U_{огр}$.

Генераторы электрических сигналов на ОУ

Электронным генератором сигналов называют *устройство, преобразующее энергию источника питания в электрические колебания требуемой формы, частоты и мощности.*

Электронные генераторы входят составной частью во многие электронные устройства и системы. Так, например, генераторы гармонических колебаний, а также колебаний импульсной формы используются в универсальных измерительных приборах, осциллографах, микропроцессорных системах, в различных технологических установках и т. д. В телевизионных приемниках генераторы строчной и кадровой разверток используются для формирования раstra на экране кинескопа. Кроме этого электронные генераторы широко применяются в технике связи, в медицинском оборудовании, в бытовой технике.

Классификация генераторов выполняется по ряду признаков:

- форме колебаний,
- их частоте,
- выходной мощности,
- назначению,

- типу используемого активного элемента,
- виду частотно-избирательной цепи обратной связи и др.

По назначению генераторы делят на:

- технологические;
- измерительные;
- медицинские;
- связные.

По форме колебаний их делят на:

- генераторы гармонических сигналов;
- генераторы негармонических (импульсных) сигналов.

По выходной мощности генератора делят на:

- маломощные (менее 1 Вт);
- средней мощности (ниже 100 Вт);
- мощные (свыше 100 Вт).

По частоте генераторы можно разделить на следующие группы:

- инфранизкочастотные (менее 10 Гц);
- низкочастотные (от 10 Гц до 100 кГц);
- высокочастотные (от 100 кГц до 100 МГц);
- сверхвысокочастотные (выше 100 МГц).

С учетом используемых **активных элементов** генераторы делят на:

- ламповые;
- транзисторные;
- на операционных усилителях;
- на туннельных диодах;
- на динисторах.

Генератор электрических колебаний является нелинейным устройством. Обобщенная структурная схема генератора приведена на рисунке 1, а.

В состав генератора входят: усилитель с коэффициентом усиления K_U , частотно-избирательная цепь положительной обратной связи с коэффициентом передачи m и цепь ООС с коэффициентом передачи g .

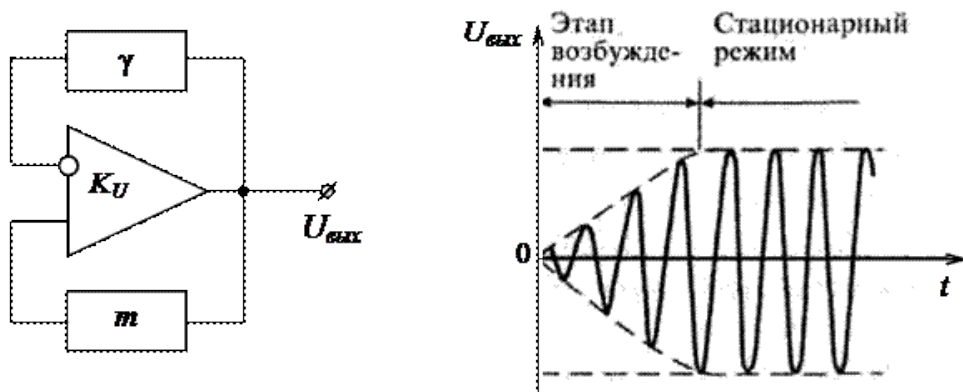


Рисунок 2 – Работа генератора на этапе возбуждения колебаний

Цепь положительной обратной связи генератора содержит емкости или индуктивности (или и то, и другое). Наличие реактивных элементов приводит к тому, что при включении питания в схеме возникают переходные процессы, имеющие колебательный характер. К таким же последствиям

могут привести переходные процессы в активных элементах (транзисторах или ОУ). Возникшие колебания поступают на вход усилителя в виде сигнала $U_{вх}$ и, пройдя через усилитель, появляются на его выходе в виде сигнала

$$U_{вых} = U_{вх} K_U. \quad (3.50)$$

С выхода усилителя колебания через цепь положительной обратной связи вновь поступают на вход усилителя, поэтому можно записать

$$U_{вх} = U_{вых} m, \quad (3.51)$$

или, с учетом (3.50) и (3.51),

$$U_{вых} (1 - mK_U) = 0, \quad (3.52)$$

где $F = 1 - mK_U$ – фактор положительной обратной связи.

Возможны различные **способы регулирования петлевого усиления**:

- изменением коэффициента усиления усилителя;
- изменением коэффициента передачи цепи положительной обратной связи;
- изменением коэффициента передачи цепи отрицательной обратной связи.

В качестве элементов, регулирующих петлевое усиление, используются или пассивные нелинейные элементы (термисторы, варисторы, позисторы, лампы накаливания и др.) или транзисторы в режиме регулируемого сопротивления (чаще всего это полевые транзисторы).

Второе условие, называемое условием баланса фаз, означает, что полный фазовый сдвиг в замкнутом контуре генератора должен быть равен $2n\pi$, где n – любое целое число. Условие баланса фаз позволяет определить частоту генерируемых колебаний. Если это условие выполняется только на одной частоте, то генерируемое колебание будет гармоническим. Если условие баланса фаз выполняется для ряда частот, то колебание будет негармоническими (то есть будет содержать высшие гармоники).

Генераторы гармонических сигналов на ОУ

Для формирования гармонических колебаний в области высоких и сверхвысоких частот широко применяют генераторы с резонансными LC-контурами. Однако их применение в области низких частот ограничивается из-за низкого качества и больших габаритов катушек индуктивности. Для повышения технологичности изготовления и уменьшения габаритов в низкочастотных генераторах в цепи положительной ОС используют различные RC-цепи. Такие цепи обычно имеют квазирезонансные характеристики со сдвигом фаз между входным и выходным напряжениями, равным нулю или 180° . В качестве примера на рисунке 3, а показана цепь на **фазосдвигающих звеньях**, а на рисунке 3, б – **мост Вина**.

Цепь на рисунке 3, а состоит из трех фазосдвигающих звеньев, каждое из которых обеспечивает сдвиг по фазе на 60° . В результате выходное напряжение будет сдвинуто по отношению ко входному на 180° . Чтобы выполнялось условие баланса фаз, усилитель также должен обеспечивать сдвиг по фазе, равный 180° , то есть должен быть инвертирующим.

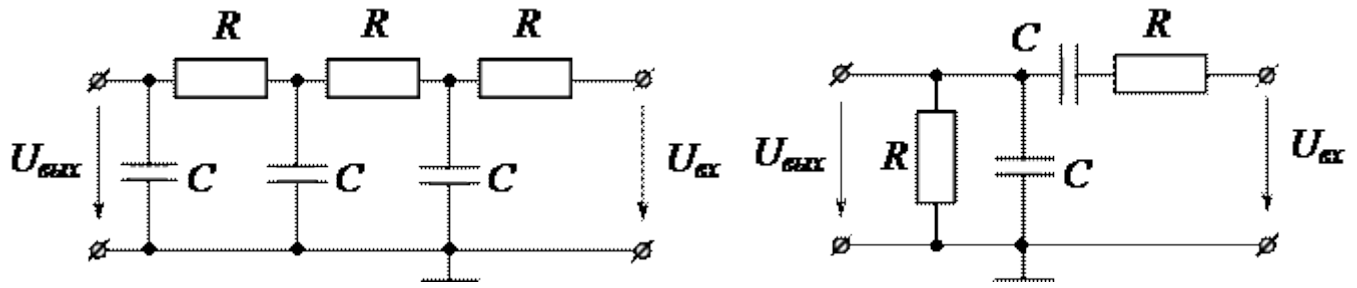


Рисунок 3– Цепь на фазосдвигающих звеньях (а) и мост Вина (б)

Мост Вина (рисунок 3.49, б) на квазирезонансной частоте обеспечивает сдвиг по фазе, равный нулю, поэтому для выполнения условия баланса фаз усилитель должен быть неинвертирующим.

Проанализируем схему моста Вина с целью выявления условий возникновения колебаний в генераторе.

Мост Вина состоит из двух RC -звеньев, первое из которых представляет собой последовательное соединение R и C элементов и имеет сопротивление

$$\dot{Z}_1 = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C}, \quad (3.56)$$

а второе – параллельное соединение таких же R и C элементов, полное сопротивление которого равно

$$\dot{Z}_2 = \frac{\frac{R}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{1 + j\omega RC}. \quad (3.57)$$

Коэффициент передачи цепи положительной обратной связи определяется выражением

$$m = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{j\omega RC}{1 - \omega^2 R^2 C^2 + 3j\omega RC}. \quad (3.58)$$

Если выполнить условие $1 - (\omega RC)^2 = 0$, то фазовый сдвиг будет равен нулю, а коэффициент передачи $m = \frac{1}{3}$. В этом случае частота колебаний на выходе генератора определяется по формуле

$$\omega = \frac{1}{RC}. \quad (3.59)$$

Для стабилизации амплитуды в генераторах гармонических сигналов используют **нелинейную** ООС. Пример схемы генератора низкой частоты с мостом Вина приведен на рисунке 3.50. Отрицательная обратная связь в генераторе выполнена в виде нелинейного делителя напряжения на сопротивлениях R_l и R_l . Сопротивление R_l – линейное, а сопротивление R_l – нелинейное. В качестве сопротивления R_l в рассматриваемой схеме используется **лампа накаливания**. При увеличении выходного напряжения генератора сопротивление металлической нити лампы накаливания увеличивается, что приводит к увеличению глубины отрицательной обратной связи и, следовательно,

к уменьшению коэффициента усиления напряжения усилителя. В результате выходное напряжение стабилизируется на определенном уровне.

Следует отметить, что коэффициент усиления усилителя в рассмотренной схеме должен быть больше трех. Именно это значение коэффициента усиления и устанавливается при помощи регулируемой цепи обратной связи.

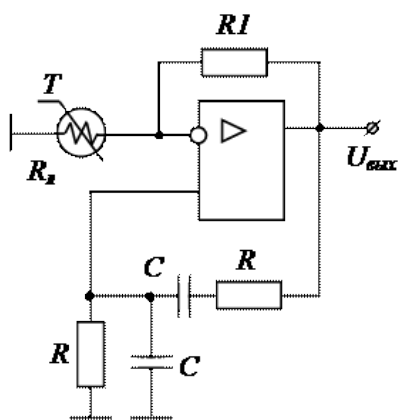


Рисунок 3.50 – Генератор синусоидального колебания с мостом Вина

Релаксационный генератор на ОУ

Принцип работы релаксационных генераторов на базе ОУ основан на использовании процессов заряда – разряда (релаксаций) конденсаторов RC-цепей. При этом заданное время релаксаций реализуется как параметрами самой RC-цепи, так и величиной порогового напряжения срабатывания, устанавливаемого на одном из входов операционного усилителя. ОУ в данном случае используется в режиме компаратора.

Релаксационный генератор (мультивибратор) формирует последовательность прямоугольных разнополярных импульсов заданной длительности и скважности. Схема мультивибратора приведена на рисунке 3.51, а временные диаграммы, поясняющие его работу – на рисунке 3.52.

Напряжение на конденсаторе U_c изменяется по экспоненте, начальный участок которой близок по форме к линейной зависимости (принято на временной диаграмме), при этом напряжение U_c стремится к $\pm E_{нас}$ (то есть к напряжению, близкому к напряжению источников питания). В момент, когда $|U_c| = |U_{пор}|$, дифференциальное входное напряжение ОУ изменяет знак на противоположный и напряжение на выходе ОУ скачкообразно (благодаря действию положительной обратной связи) изменяет полярность.

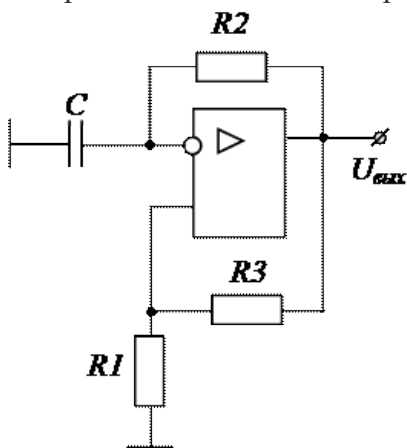


Рисунок 3.51 – Схема мультивибратора (генератора прямоугольных импульсов)

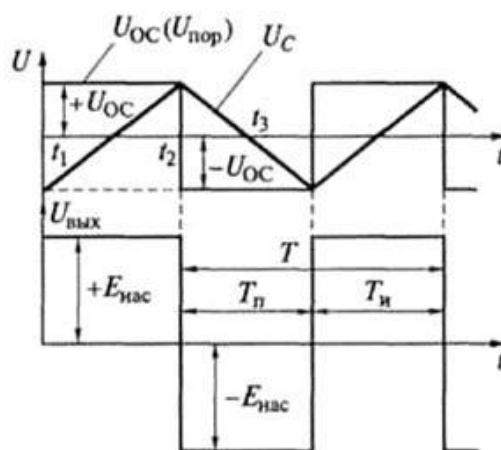
Рисунок 3.52 – Релаксационные процессы в мультивибраторе

Таким образом, мультивибратор может находиться в одном из двух квазиустойчивых состояний, в течение которых формируются длительности импульса и паузы.

Пороговое напряжение и длительности импульса и паузы выходного напряжения генератора определяются из формул:

$$U_{пор} = \left| \frac{E_{нас} R_2}{R_1 + R_2} \right|, \quad (3.60)$$

$$T_u = T_n = \tau \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_3} \right), \quad (3.61)$$



где $t = R_2C$ – постоянная времени цепи.

Если принять $R1 = R3$, то получим

$$T_{\text{з}} = T_{\text{н}} = 1,1\tau, \quad (3.62)$$

$$T = T_{\text{з}} + T_{\text{н}} = 2,2\tau. \quad (3.63)$$

При выполнении условий (3.62) и (3.63) выходное напряжение генератора представляет собой импульсную последовательность со скважностью, равной двум (то есть *меандр*).