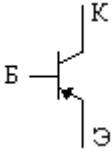
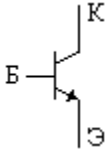


Биполярные транзисторы

1. Основные понятия

Биполярным транзистором называют трёхэлектродный полупроводниковый прибор, с двумя взаимодействующими между собой **p-n** переходами. В транзисторе чередуются по типу электропроводности три области полупроводника. В зависимости от порядка чередования этих областей различают

транзисторы p-n-p типа  и транзисторы n-p-n типа . Где, электроды Б – база, К – коллектор, Э – эмиттер.

Носителями заряда в биполярных транзисторах являются электроны и дырки, которые перемещаясь в монокристалле кремния или германия образуют токи: базы I_B , коллектора I_K , эмиттера $I_Э$. На рис. 1.1. представлена структурная схема биполярного транзистора p-n-p типа с подключением внешних источников энергии ($E_{ЭБ}$, $E_{КБ}$), на которой показаны траектории движения носителей заряда (электроны , дырки ) , токи и p-n переходы.

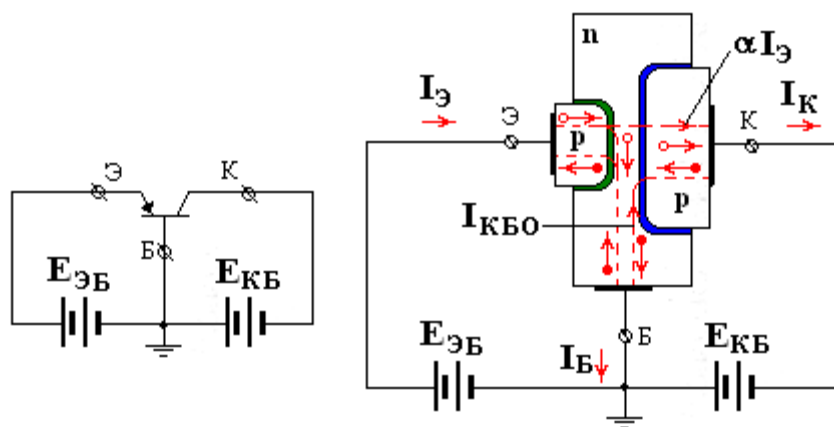


Рис. 1.1.

На эмиттер для обеспечения режима инжекции (испускание) подаётся прямое напряжения ($+E_{ЭБ}$), а на коллектор, работающий в режиме экстракции (отсасывания носителей заряда из базовой области) - обратное напряжение ($-E_{КБ}$). Полный ток коллектора $I_K \approx \alpha \cdot I_Э + I_{КБ0}$,

где: $\alpha = 0,9 - 0,995$ – коэффициент передачи тока эмиттера; $I_{КБО}$ – обратный ток коллектора.

Ток базы $I_B \approx (1-\alpha) \cdot I_E - I_{КБО}$

Ток эмиттера имеет две составляющих - дырочную и электронную.

$$I_E = I_{Ep} + I_{En}$$

В зависимости от того, какой электрод транзистора является общим по отношению к его входу и выходу, различают три типовых схемы включения (ОБ – схема с общей базой, ОЭ – схема с общим эмиттером, ОК – схема с общим коллектором). Рассмотренная схема включения транзистора носит название - *схемы с общей базой*. Наибольшее распространение получила схема с общим эмиттером т.к. в ней лучше всего проявляются усилительные свойства транзистора.

2. Статические характеристики биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

Исследуем статические характеристики биполярного транзистора **n-p-n** типа в схеме с общим эмиттером (рис. 2.1.). В качестве объекта эксперимента используется маломощный транзистор МП-14. Входной характеристикой транзистора (рис. 2.2.) называется зависимость тока базы от входного напряжения $I_B = f(U_{БЭ})$ при фиксированном напряжении выхода $U_{КЭ} = \text{Const}$. Выходной характеристикой транзистора (рис. 2.3.) называется зависимость тока коллектора от выходного напряжения $I_K = f(U_{КЭ})$ при фиксированном напряжении входа $I_B = \text{const}$. *Здесь, эмиттерный переход будет открыт, если потенциал базы будет положительным.*

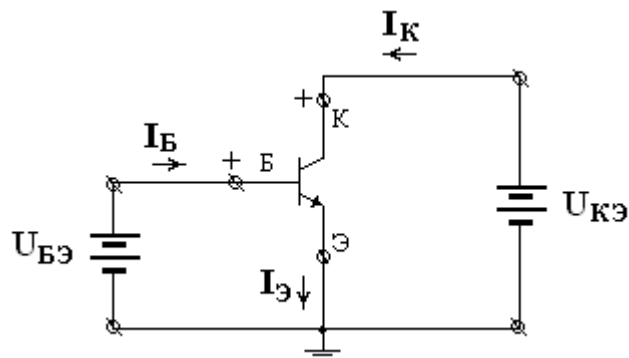


Рис. 2.1.

Для того чтобы коллекторный переход был закрыт, потенциал базы должен быть отрицательным или равен нулю. В этом случае существует очень небольшой ток коллектора, называемый током утечки (рис. 2.3.).

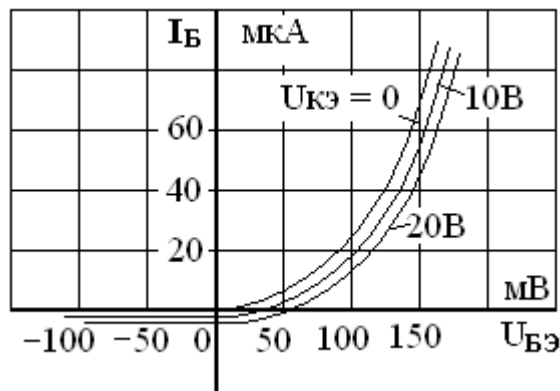


Рис. 2.2. Входные характеристики биполярного транзистора.

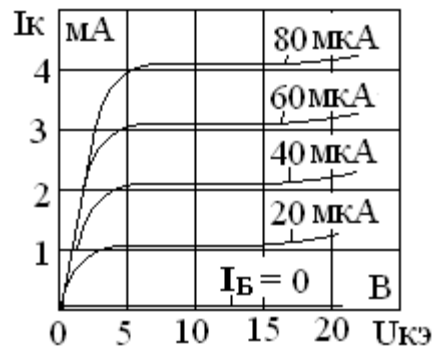


Рис. 2.3. Выходные характеристики биполярного транзистора.

При фиксированном значении тока базы, с ростом напряжения $U_{КЭ}$, в начале идёт резкое увеличение тока коллектора, затем происходит насыщение, и ток коллектора практически перестаёт увеличиваться. Далее с увеличением тока базы картина повторяется, но уже на более высоком уровне.

Анализируя рассмотренные характеристики биполярного транзистора, можно заметить его хорошие усилительные свойства, как по напряжению, так и по току.

Коэффициенты усиления биполярного транзистора

Коэффициент усиления по напряжению $\underline{K_U} = \frac{U_2}{U_1}$

Коэффициент усиления по току $\underline{K_I} = \frac{I_2}{I_1}$

Коэффициент усиления по мощности $\underline{K_P} = \underline{K_U} \cdot \underline{K_I}$

3. h – параметры биполярного транзистора

Для аналитических расчетов и анализа схем с биполярными транзисторами используются их h – параметры, составленные по уравнениям теории четырёхполюсника.

$$\underline{U_1} = A \cdot \underline{U_2} + B \cdot \underline{I_2},$$

$$\underline{I_1} = C \cdot \underline{U_2} + D \cdot \underline{I_2}$$

Или через h –параметры (h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22}):

$$\underline{U_1} = h_{11} \cdot \underline{I_1} + h_{12} \cdot \underline{U_2},$$

$$\underline{I_2} = h_{21} \cdot \underline{I_1} + h_{22} \cdot \underline{U_2},$$

где, для приращений соответствующих токов и напряжений h –параметры рассматриваемой схемы (ОЭ) могут быть получены:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \quad \text{при } \underline{U_2} = \text{const} \quad (\Delta U_2 = 0);$$

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \quad \text{при } \underline{I_1} = \text{const} \quad (\Delta I_1 = 0);$$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \quad \text{при } \underline{U_2} = \text{const} \quad (\Delta U_2 = 0);$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \quad \text{при } \underline{I_1} = \text{const} \quad (\Delta I_1 = 0).$$

С учетом того, что: $U_1 = U_{БЭ}$; $U_2 = U_{КЭ}$; $I_1 = I_Б$; $I_2 = I_К$ полученные h –параметры можно определить по кривым входных и выходных характеристикам транзистора.

Параметр h_{11} соответствует входному сопротивлению транзистора (схема рис. 2.1.).

Параметр h_{12} соответствует безразмерному коэффициенту внутренней обратной связи по напряжению.

Параметр h_{21} соответствует коэффициенту усиления по току.

Параметр h_{22} соответствует выходной проводимости транзистора.

По h –параметрам можно построить *схему замещения* биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (рис. 3.1.).

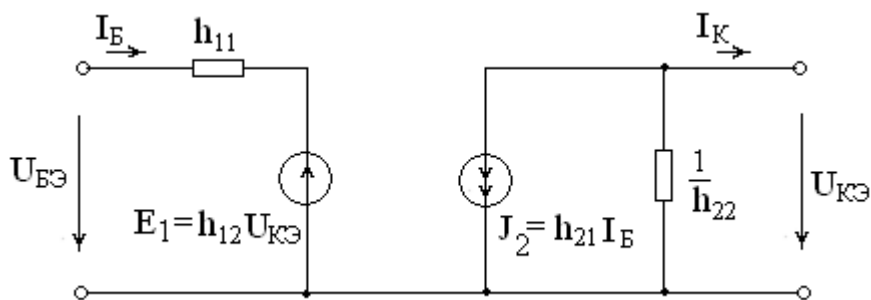


Рис. 3.1.

4. Температурный дрейф статических характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

Характеристики транзистора подвержены сильному влиянию изменения температуры окружающей среды (рис. 4.1. и рис. 4.2., транзистор МП-14) поэтому электронные схемы, использующие биполярные транзисторы, снабжены специальными устройствами для температурной коррекции.

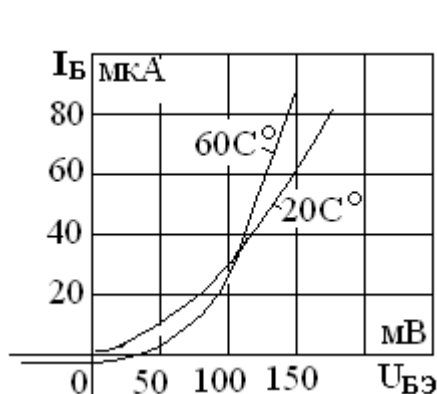


Рис. 4.1. Входные характеристики.

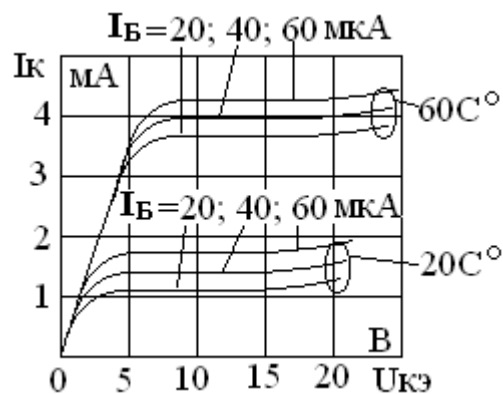


Рис. 4.2. Выходные характеристики.

1. Усилитель переменного напряжения на биполярном транзисторе в схеме с общим эмиттером

На рис. 1.1. представлена принципиальная схема усилителя на биполярном транзисторе п-р-п типа включенного по схеме с общим эмиттером. Здесь: U_1 , U_2 – соответственно напряжение входа и выхода; $+E_K$ – источник питания усилителя (источник постоянного напряжения); C_1 – конденсатор входа, предназначен для разделения по постоянной составляющей входного источника U_1 и источника питания усилителя $+E_K$; R_{B1} и R_{B2} – делитель напряжения, предназначен для формирования рабочей точки усилителя; T – биполярный транзистор п-р-п типа; R_K – резистор, предназначен для ограничения тока коллектора и формирования выходного потенциала в точке «К»; R_E и C_E – резистор и конденсатор, предназначены для температурной стабилизации усилителя; C_2 – выходной конденсатор, предназначен для выделения переменной составляющей выходного сигнала; R_H – нагрузка.

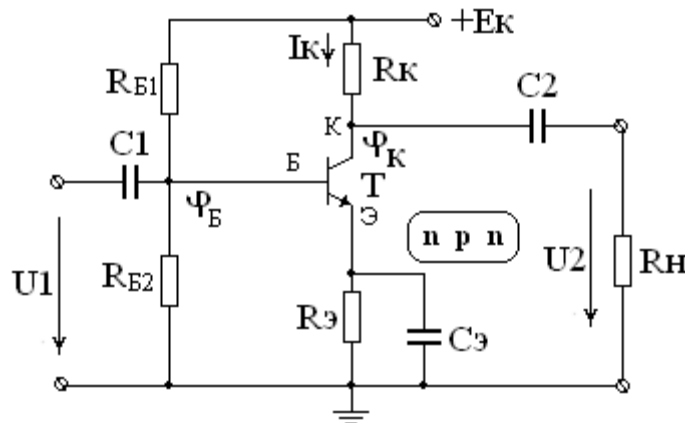


Рис. 1.1. Схема усилителя на биполярном транзисторе.

Принцип работы усилителя.

Процесс усиления заключается в преобразовании энергии постоянного источника питания $+E_K$ в энергию переменного выходного сигнала U_2 повторяющего форму входного сигнала U_1 . При этом выходной сигнал находится **в противофазе** по отношению к входному сигналу.

Основное уравнение усилителя, записанное, с учетом 2-го закона

Кирхгофа имеет вид
$$U_2 = E_K - I_K \cdot R_K.$$

На рис. 1.2. представлена схема усилителя на биполярном транзисторе в конфигурации лабораторной установки редактора Multisim.

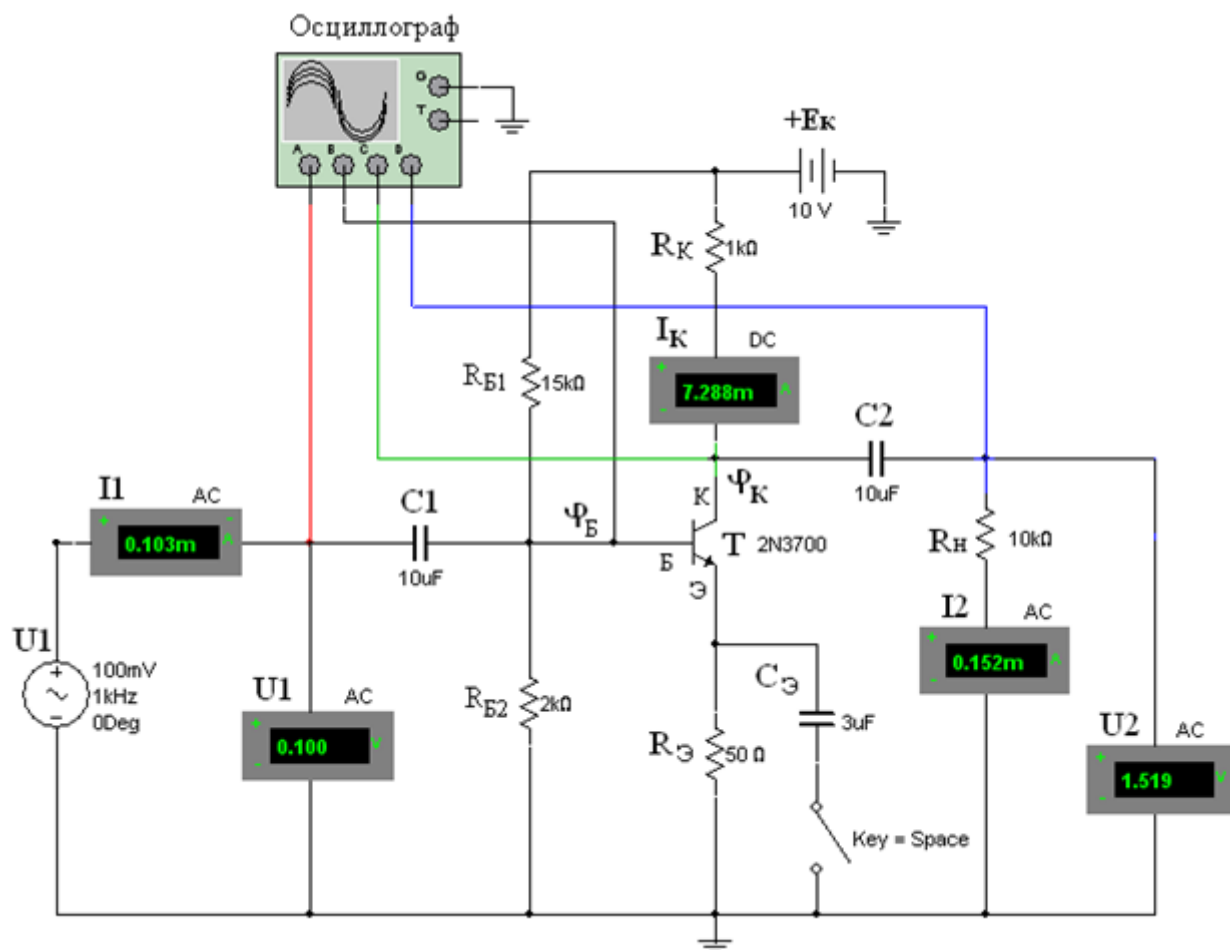


Рис. 1.2. Схема усилителя на биполярном транзисторе в редакторе Multisim.

При подаче на вход переменного напряжения U_1 (рис. 1.2.) (кривая U_1 рис. 1.3.), потенциал базы Φ_B в соответствии с характеристикой «входа» транзистора будет иметь постоянную и переменную составляющие (кривая Φ_B рис. 1.3.). Под воздействием изменяющегося потенциала базы изменяется ток коллектора I_K вследствие чего в точке «К» будет сформирован потенциал выходного сигнала (постоянную и переменную составляющие, кривая Φ_K рис. 1.3.). С помощью конденсатора C_2 происходит выделение переменной составляющей выходного сигнала (кривая U_2 рис. 1.3.).

По показаниям приборов можно рассчитать коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности соответственно:

$$K_U = 15.19; \quad K_I = 1.475; \quad K_P = 22.42.$$

Примечание. В представленной на рис. 1.2 схеме усилителя, его параметры подобраны с расчетом графической соразмерности кривых рис. 1.3.

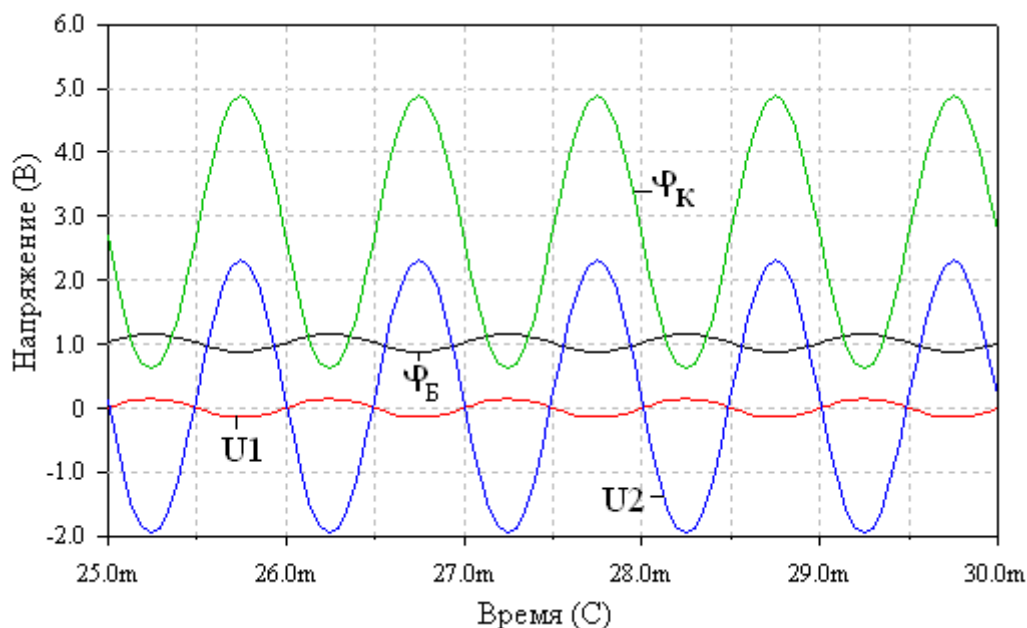


Рис. 1.3. Осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы усилителя на биполярном транзисторе в редакторе Multisim.

Как было сказано ранее делитель напряжения - $R_{Б1}$ и $R_{Б2}$, предназначен для формирования рабочей точки усилителя. Попробуем изменить *рабочую точку усилителя* за счет изменения сопротивления с $R_{Б1} = 15 \text{ кОм}$ на $R_{Б1} = 4 \text{ кОм}$ и проследим за реакцией электронного устройства (схема рис. 1.4.).

- Изменилась величина и форма кривой потенциала базы Φ_B ;
- Изменилась величина и форма кривой выходного потенциала Φ_K за счет изменения тока коллектора I_K ;
- Изменилась величина и форма кривой выходного напряжения U_2 ;
- Изменились коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности усилителя.

На рис. 1.5. представлены осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы усилителя. Здесь можно заметить качественное и количественное изменение рассматриваемых характеристик биполярного транзистора. По показаниям приборов можно рассчитать коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности $K_U = 3.64$; $K_I = 0.024$; $K_P = 0.089$, которые резко отличаются от первоначальных соответствующих параметров.

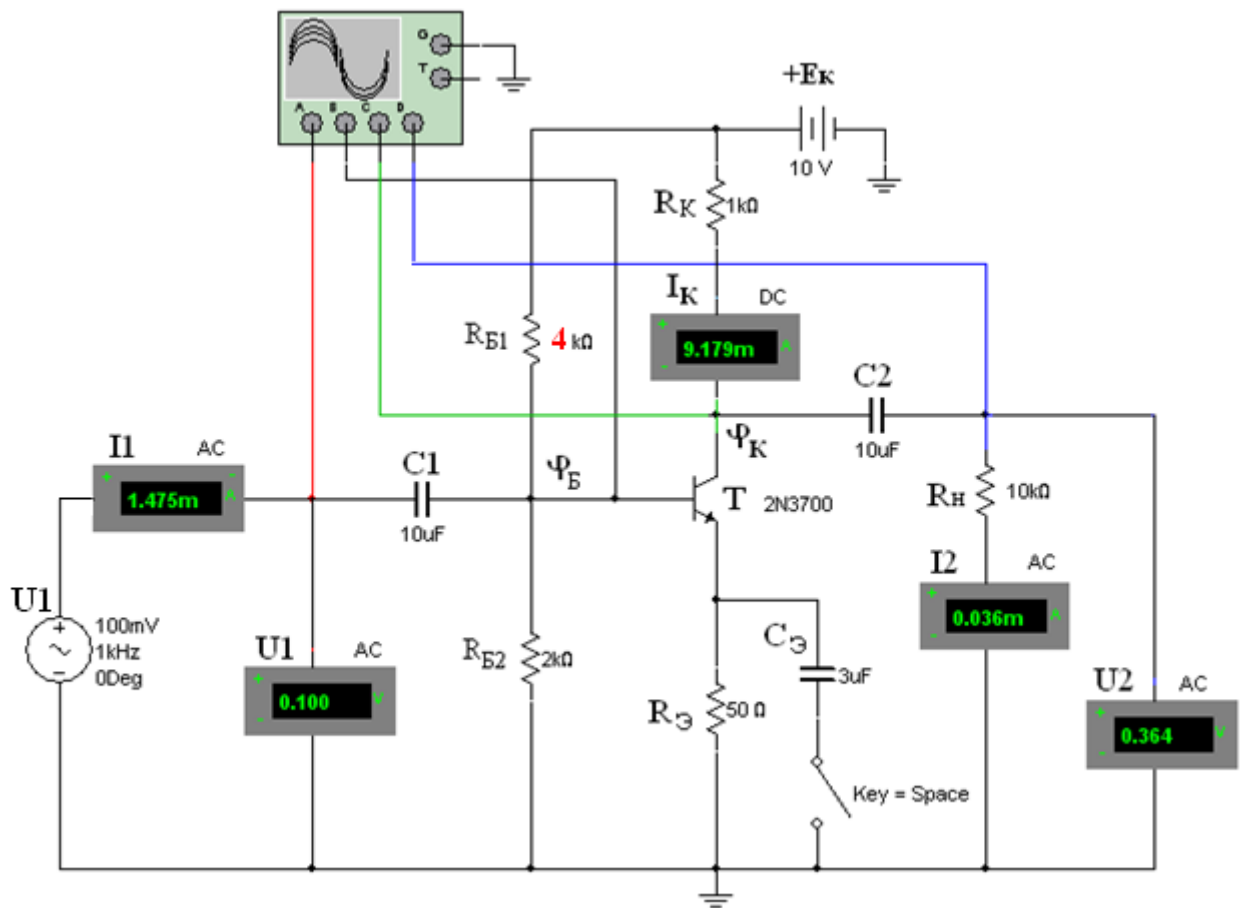


Рис. 1.4. Схема усилителя на биполярном транзисторе при изменении режима его работы, в редакторе Multisim.

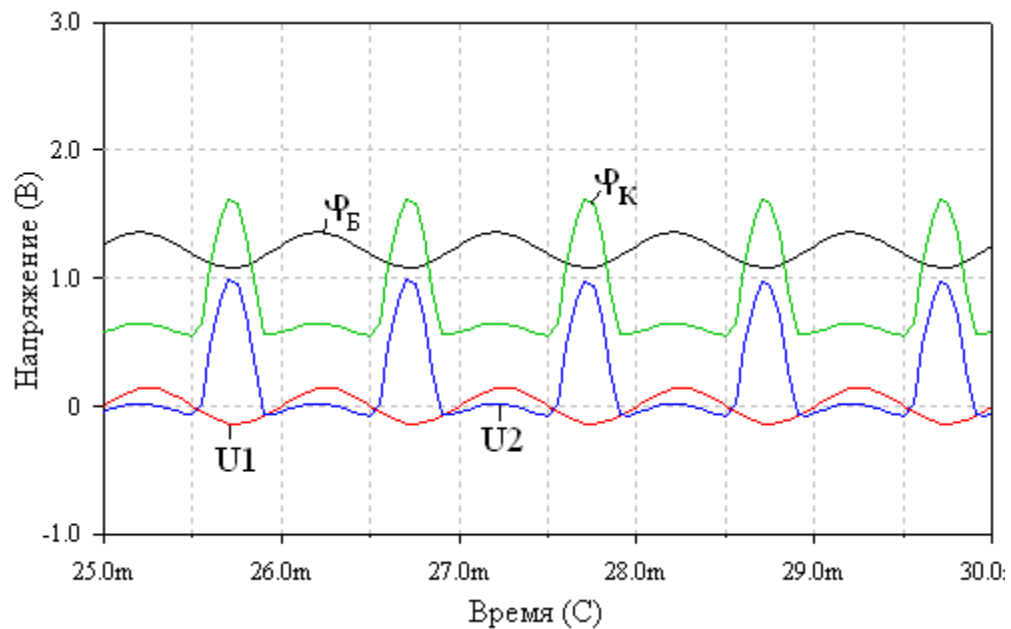


Рис. 1.5. Осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы усилителя на биполярном транзисторе при изменении режима его работы, в редакторе Multisim .

2. Температурная стабилизация усилителя на биполярном транзисторе в схеме общим эмиттером.

Для уменьшения влияния температуры окружающей среды на характеристики усилителя на биполярном транзисторе, в его эмиттерную цепь включают резистор $R_Э$ и конденсатор $C_Э$ (рис. 2.1.).

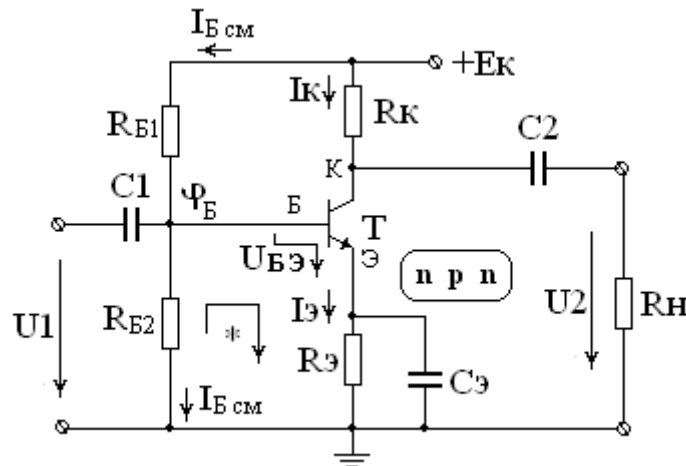


Рис. 2.1. Схема усилителя на биполярном транзисторе в режиме температурной стабилизации.

С увеличением температуры, возрастает ток коллектора, что приводит к снижению выходного напряжения ($U_2 = E_K - I_K \cdot R_K$). Задача схемы температурной стабилизации обеспечить постоянство напряжения выхода при изменении температуры окружающей среды.

В качестве схемы температурной стабилизации является цепь отрицательной обратной связи, состоящая из элементов ($R_{Б2}$; $U_{БЭ}$; $R_Э$) контур(*).

При отключенном входном источнике для контура (*), цепи обратной связи, получим уравнение Кирхгофа.

$$0 = U_{БЭ} + I_Э \cdot R_Э - I_{Б см} \cdot R_{Б2}, \quad \text{откуда с учетом, что } I_{Б см} = E_K / (R_{Б1} + R_{Б2})$$

получим уравнение цепи отрицательной обратной связи

$$U_{БЭ} = \frac{E_K \cdot R_{Б2}}{R_{Б1} + R_{Б2}} - I_Э \cdot R_Э. \quad (1)$$

Механизм действия цепи отрицательной обратной связи.

Обратной связью называют часть электрической цепи, которая связывает выход четырехполюсника с его входом. Положительная обратная связь увеличивает параметра выхода четырехполюсника, отрицательная – уменьшает.

При наличии входного сигнала, с увеличением температуры, возрастает ток эмиттера $I_{\text{Э}}$, что приводит к снижению напряжения $U_{\text{БЭ}}$ (см. формулу (1)). В свою очередь понижение потенциала базы приводит к снижению тока коллектора, а следовательно к повышению выходного напряжения.

Но в рассматриваемой цепи существует и переменная составляющая тока эмиттера, которая при отсутствии конденсатора $C_{\text{Э}}$ вызывает большое падение напряжения на резисторе $R_{\text{Э}}$, что в свою очередь вызывает уменьшение выходного напряжения, т.е. снижение коэффициента усиления.

Конденсатор $C_{\text{Э}}$ предназначен для ослабления действия отрицательной обратной связи за счет чего повышается коэффициент усиления (рис. 2.2.).

С конденсатором $C_{\text{Э}}$ - $K_U = 20.28$; $K_I = 1.253$; $K_P = 25.41$.

Без конденсатора $C_{\text{Э}}$ - $K_U = 15.19$; $K_I = 1.475$; $K_P = 22.42$.

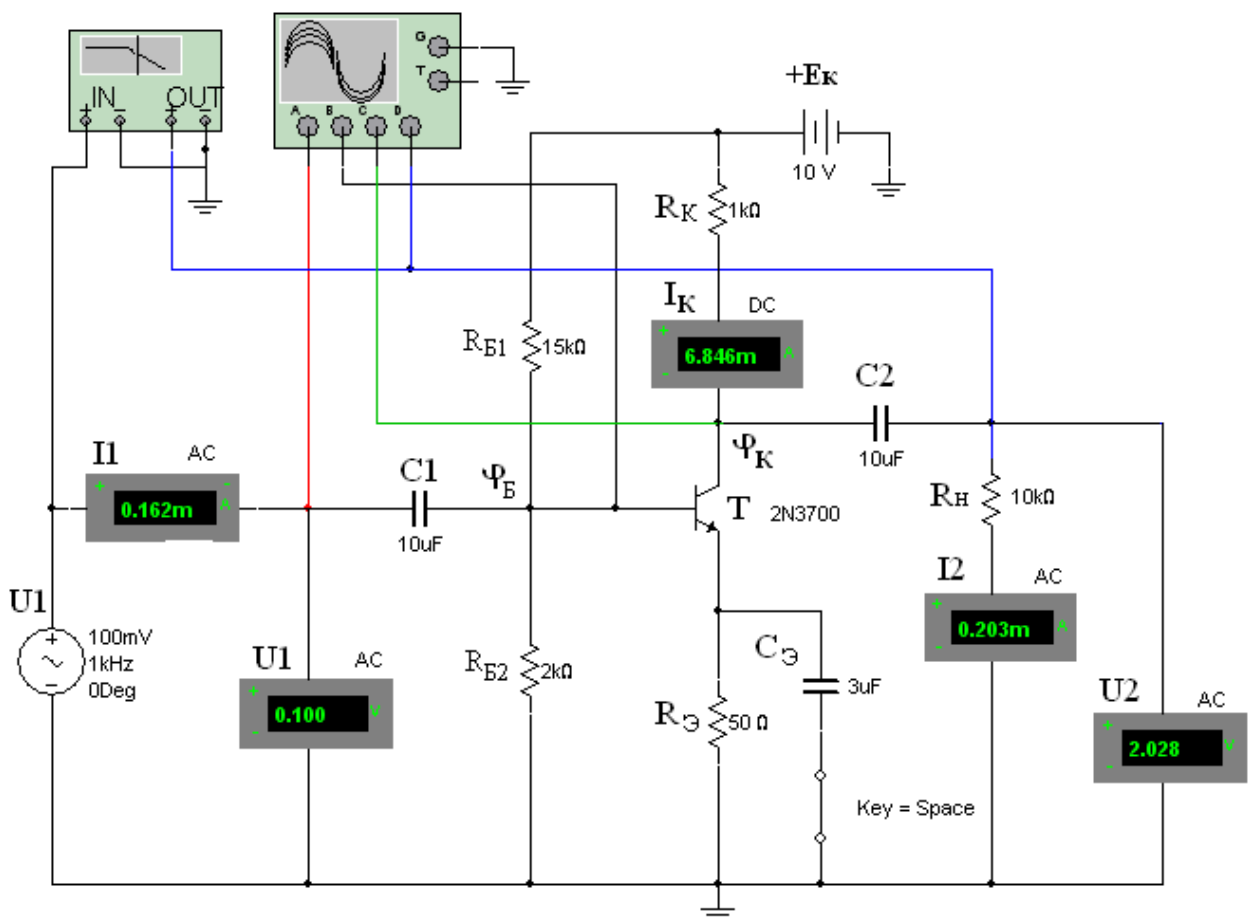


Рис. 2.2. Схема усилителя на биполярном транзисторе в редакторе Multisim.

Ёмкость конденсатора выбрана т.о. чтобы для всех частот усиливаемого напряжения его сопротивление было во много раз меньше сопротивления $R_{\text{Э}}$ ($X_{\text{Э}} \ll R_{\text{Э}}$). Другими словами необходимо, чтобы температурная стабилиза-

ция выполняется в основном по постоянной составляющей напряжения $U_{БЭ}$, что не приводит к существенному снижению коэффициента усиления.

Рассмотренный способ эмиттерной температурной стабилизации имеет недостатки:

- необходимо иметь завышенное напряжение источника питания E_K т.к. часть этого напряжения падает на $R_Э$.
- при многокаскадном исполнении усилителя ёмкость конденсатора $C_Э$ может вызывать фазовый сдвиг выходного напряжения.

Существуют и другие способы температурной стабилизации характеристик усилителя.

1. Усилители напряжения с RC – связью на биполярных транзисторах

С целью получения больших коэффициентов усиления, например $K_U > 100$, применяются многокаскадные схемы усиления. На рис. 1.1. представлена двухкаскадная схема усилителя переменного напряжения с RC – связью на биполярных транзисторах (T1 и T2).

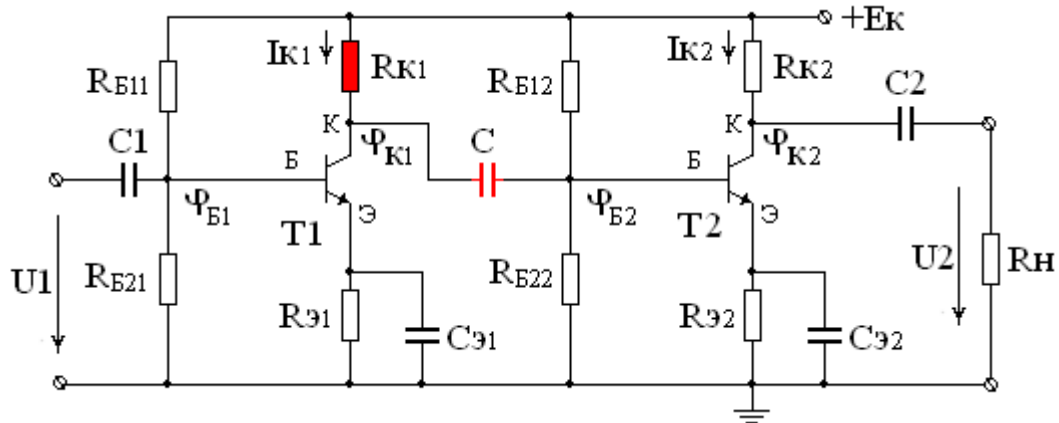


Рис.1.1. Двухкаскадная схема усилителя переменного напряжения на биполярных транзисторах.

Схема выполнена из двух одинаковых транзисторных каскадов усилителей с общим эмиттером. RC - связь между двумя каскадами осуществляется при помощи резистора $R_{К1}$ и конденсатора C . Принцип работы каждого из каскадов рассмотрен ранее.

Усиленный входной сигнал U_1 передается на вход второго каскада, где еще раз усиливается до уровня выходного сигнала U_2 . При этом общий коэффициент усиления всей схемы определяется произведением соответствующих коэффициентов каждого из каскадов.

Коэффициент усиления по напряжению

$$\underline{K_U} = \frac{U_2}{U_1} = |\underline{K_U}| \cdot e^{\pm \varphi},$$

где: $|\underline{K_U}|$ - модуль коэффициента усиления, зависящий от частоты входного сигнала, элементов RC- связи и других параметров схемы;

φ – аргумент представляет собой угол сдвига между выходным и входным сигналами ($\varphi = \widehat{U_2 U_1}$).

На рис. 1.2. представлена двухкаскадная схема усилителя переменного напряжения на биполярных транзисторах, в редакторе Multisim, где по показаниям приборов можно рассчитать необходимые коэффициенты усиления.

$$K_U = 21.82; \quad K_I = 3.84; \quad K_P = 83.835.$$

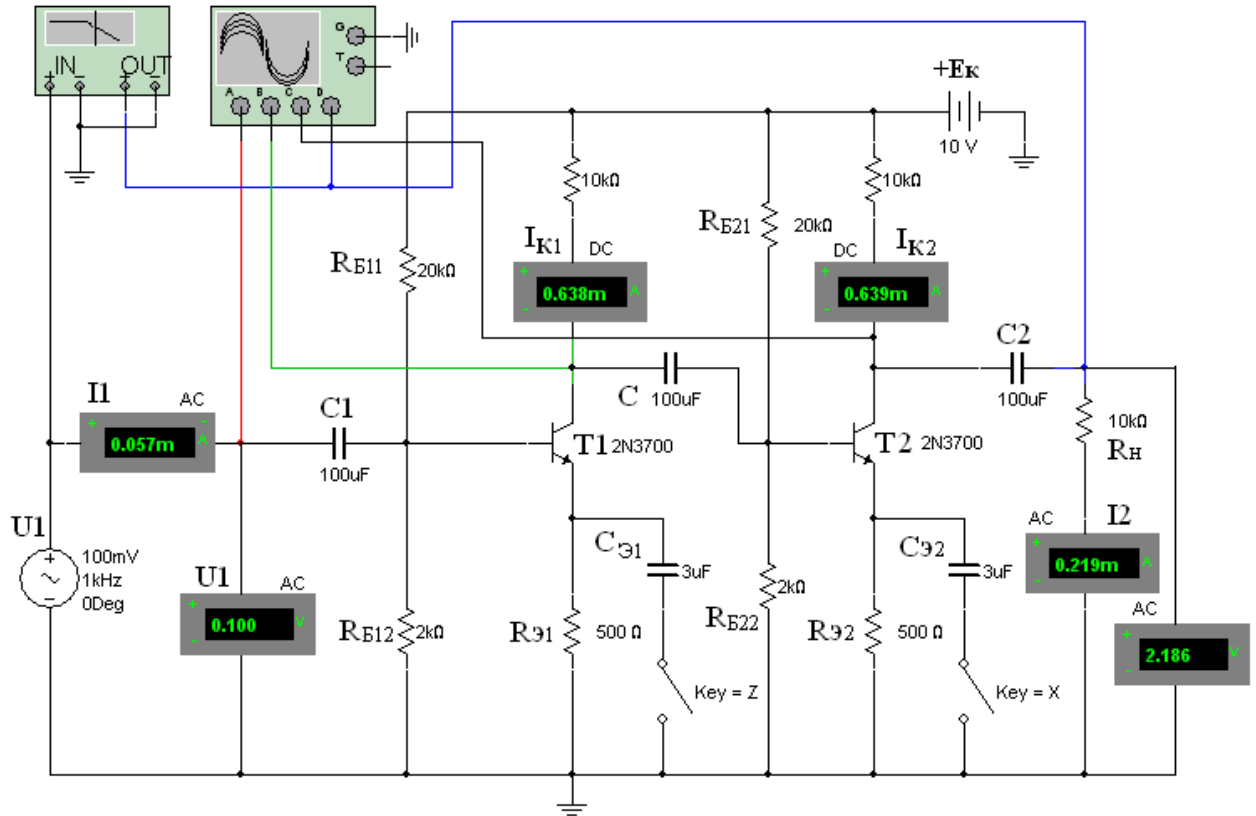


Рис. 1.2. Двухкаскадная схема усилителя переменного напряжения на биполярных транзисторах, в редакторе Multisim.

На рис. 1.3. представлены графики входного U_1 и выходного U_2 напряжений, а также уровень потенциалов коллекторов первого и второго каскадов. Здесь не трудно заметить, что напряжение выхода U_2 находится в той же фазе, что и напряжение входа U_1 .

Примечание. В представленной на рис. 1.2 схеме усилителя, его параметры подобраны с расчетом графической соразмерности кривых рис. 1.3.

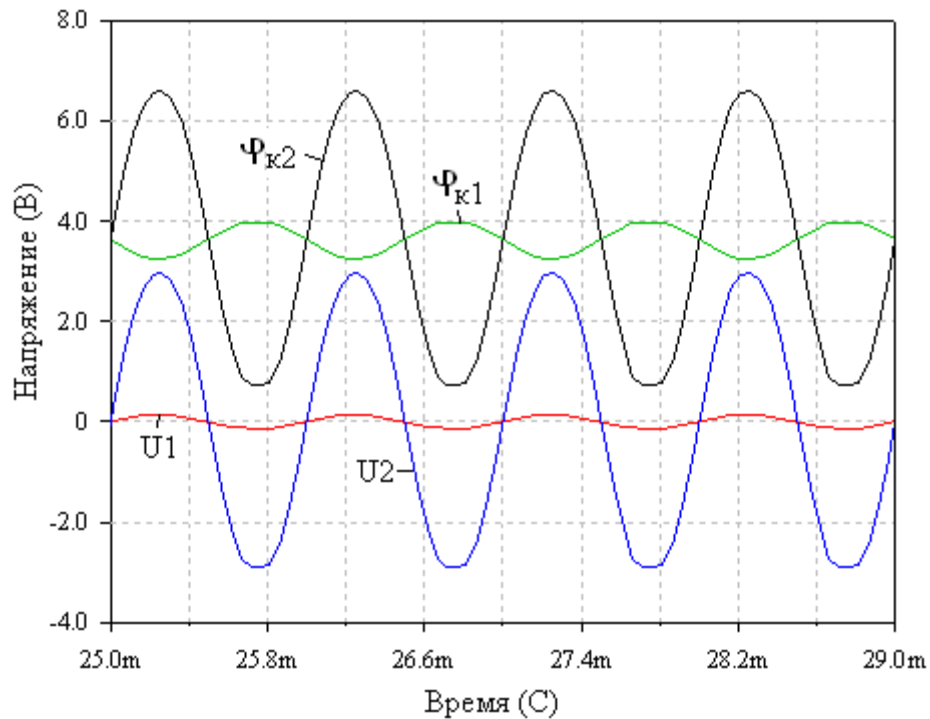


Рис. 1.3. Осциллограммы напряжений в контрольных точках схемы двухкаскадного усилителя на биполярном транзисторе в редакторе Multisim.

На рис. 1.4. и рис. 1.5. представлены амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) ($K_U = f(f)$) и фазо-частотная характеристика (ФЧХ) ($\varphi = f(f)$) усилителя на биполярном транзисторе в редакторе Multisim. Здесь, f - частота входного сигнала. Характеристики сняты с помощью графопостроителя в редакторе Multisim. В схеме используются биполярные транзисторы 2N3700 производства США.

Часть кривой АЧХ и ФЧХ, лежащая между точками А и Б называется **полосой пропускания**, которая отмечена на уровне $1/\sqrt{2} = 0,707$ по шкале $|K_U|/K_{Um}$.

Считается, что в этой области частот усилитель *работает с постоянным коэффициентом усиления*. Все остальные частотные области считаются **частотами искажения**, где усилитель имеет не только пониженный коэффициент усиления, но и искаженную форму выходного сигнала. В этих областях изменяется и фазовый угол между сигналами входа и выхода усилителя (рис. 1.5.).

$f_{НГ}$ – нижняя граничная частота. $f_{ВГ}$ – верхняя граничная частота.

Следует отметить, что рассматриваемая схема усилителя с использованием транзисторов 2N3700 *имеет широкую полосу пропускания*, что является, *весьма положительным фактором*.

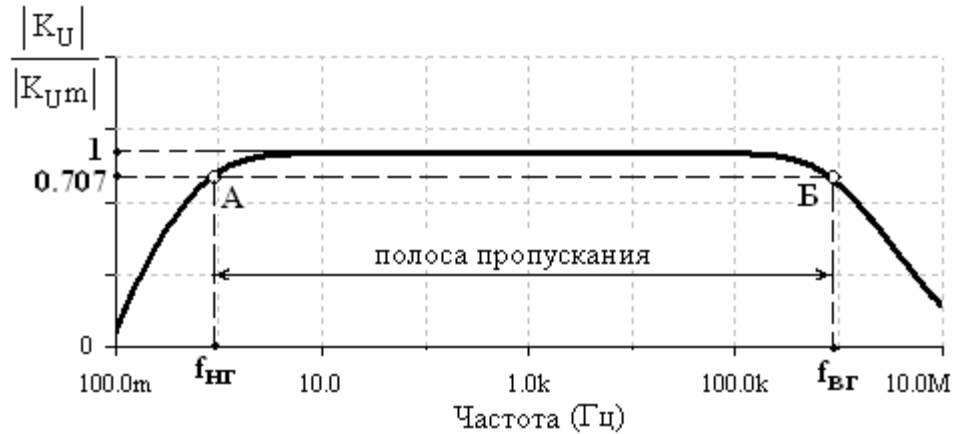


Рис. 1.4. Амплитудно-частотная характеристика усилителя на биполярном транзисторе в редакторе Multisim.

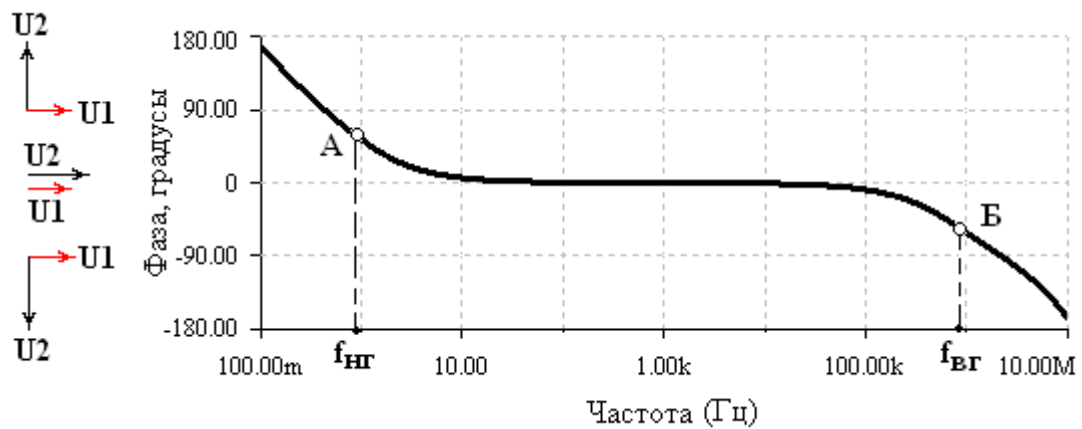


Рис. 1.5. Фазо-частотная характеристика усилителя на биполярном транзисторе в редакторе Multisim.

2. Ключевой режим биполярного транзистора

Биполярный транзистор широко используется в электронных устройствах в качестве ключа. *Электронный ключ это бесконтактное устройство с функцией замыкания и размыкания электрических цепей.* Имея малое сопротивление во включенном состоянии и большое сопротивление в выключенном состоянии, биполярный транзистор хорошо работает в ключевом режиме. Специально предназначенные для работы в ключевом режиме биполярные транзисторы называются ключевыми. Такие транзисторы имеют специфические характеристики, удобные для коммутирующих эл. цепей (высокое быстродействие, слабое влияние ключа на характеристики цепей и т. д.).

На рис. 2.1. представлена простейшая схема транзисторного ключа. Здесь, E_K – источник питания; U_1 – входной сигнал малой мощности, в виде одиночного импульса или пачки импульсов; U_2 – выходной сигнал, мощность которого значительно превышает мощность входного сигнала; R_0 – резистор предназначен для ограничения тока базы транзистора; R_B – резистор смещения предназначен для выбора рабочей точки транзистора; R_K – резистор предназначен для ограничения тока коллектора и формирования выходного сигнала; R_H – сопротивление нагрузки; T – биполярный транзистор n-p-n типа.

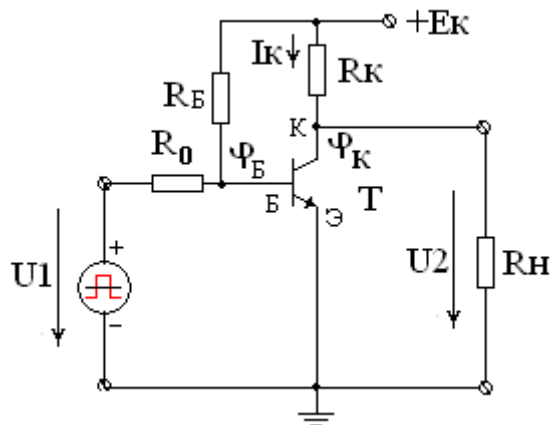


Рис. 2.1.

Принцип работы.

- Когда входной сигнал отрицательный или равен нулю, транзистор закрыт результирующим потенциалом базы (за счет смещения с помощью R_B). Ток коллектора минимален и равен току утечки ($I_K = I_{yT} \approx 0$), а напряжение выхода максимально ($U_2 = U_{2_{\max}} \approx E_K$).

$$U_2 = E_K - I_K \cdot R_K$$

Этот режим называется *режимом отсечки* (точка **A** на характеристике рис. 2.2.).

- При подаче на вход положительного импульса (сигнала) транзистор открывается (точка **B** на характеристике рис. 2.2.). Транзистор работает *в режиме насыщения*. Ток коллектора максимален, а напряжение минимально ($U_2 = U_{2\min}$). Прямая **A-B** характеризует *активный режим* работы ключа, т.е. режим включения и выключения.

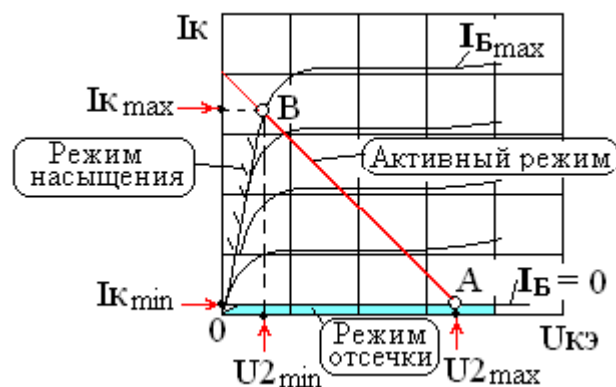


Рис. 2.2. Процесс ключевого режима транзистора.

На рис. 2.3. представлены характеристики входа и выхода электронного ключа на биполярном транзисторе BC817-16 (Generic) (рис. 2.4.) в редакторе Multisim.

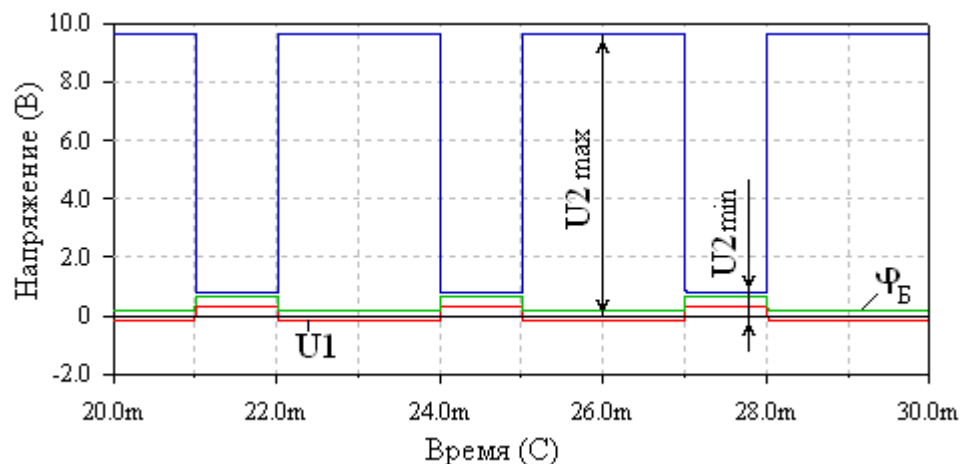


Рис. 2.3.

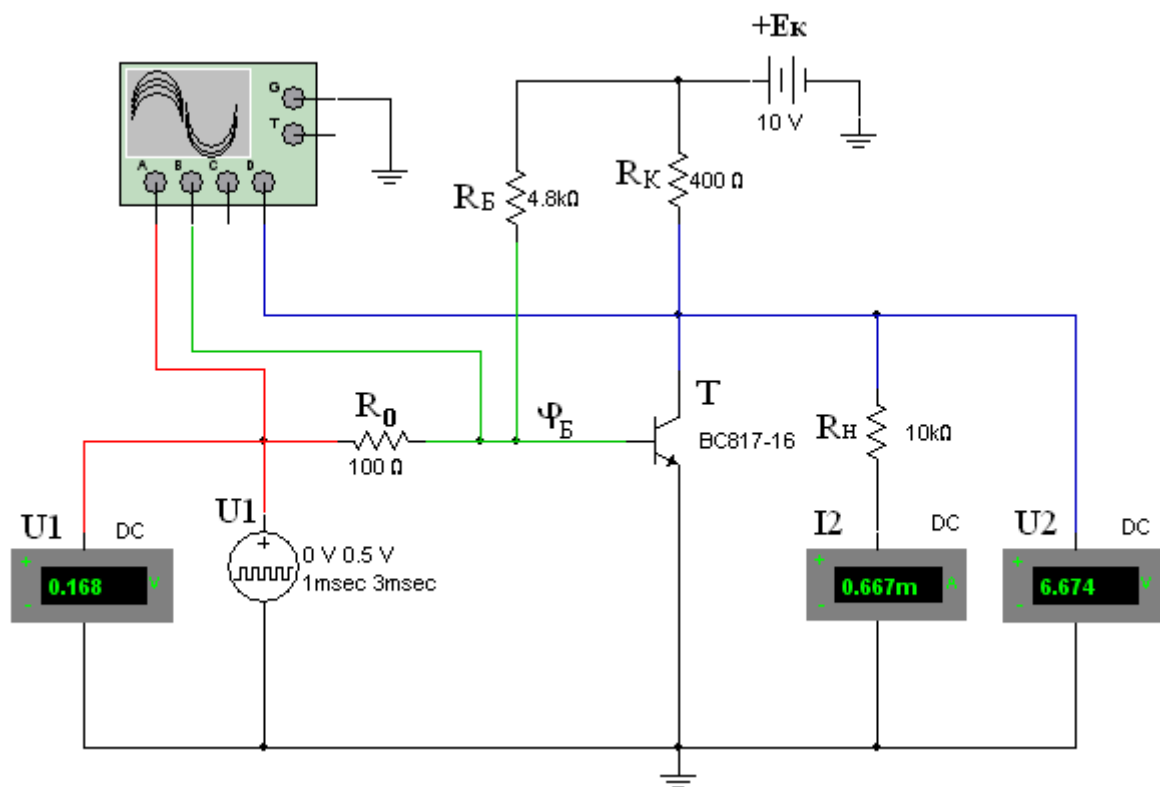


Рис. 2.4.

3. Полевые транзисторы

Основные понятия

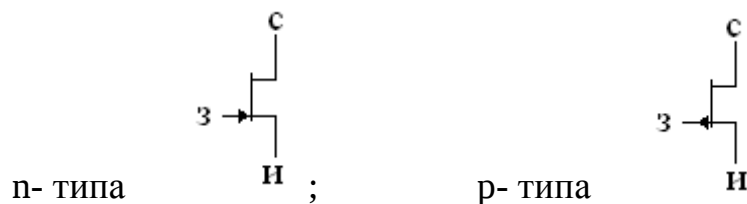
Полевыми (униполярными) транзисторами называют полупроводниковые приборы, у которых для управления током используется зависимость электрического сопротивления токопроводящего слоя от напряженности поперечного электрического поля.

*Слой полупроводника, в котором регулируется поток носителей заряда, называется **каналом**.*

Электрическое поле, воздействующее на сопротивление канала, создается с помощью расположенного над каналом металлического электрода, *называемого **затвором**.*

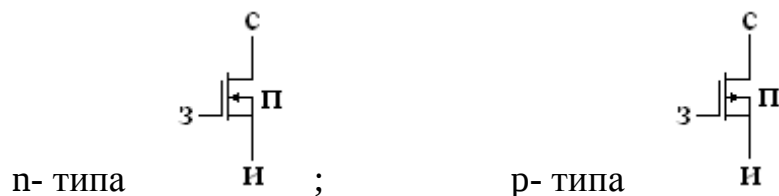
Затвор должен быть изолирован от канала. В зависимости от способа изоляции различают:

- *Транзисторы с р-п затвором* (изоляция осуществляется обедненным слоем р-п перехода)

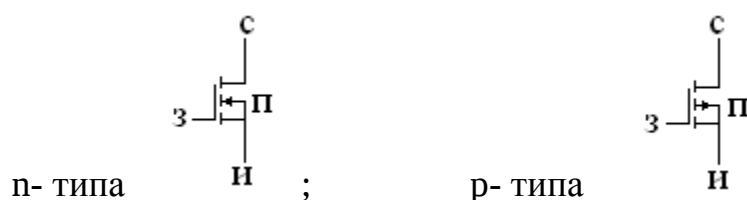


- Транзисторы, у которых затвор изолирован от канала диэлектриком, - *транзисторы с изолированным затвором*. Транзисторы МДП или МОП (МДП – металл, диэлектрик, полупроводник; МОП – металл, окисел, полупроводник)

Транзисторы со встроенным каналом



Транзисторы с индуцированным каналом



Есть еще одна разновидность полевых транзисторов – транзисторы с металлополупроводниковым затвором (*затвором Шоттки*). Изоляция затвора от канала, таких транзисторов осуществляется обедненным слоем m - n или m - p типа (m - металл). Обозначаются как транзисторы с p - n затвором.

Исток «и» - электрод, из которого в канал входят основные носители заряда.

Сток «с» - электрод, через который из канала уходят основные носители заряда.

Затвор «з» - электрод, предназначенный для регулирования структуры поперечного сечения канала с целью изменения его сопротивления.

Подложка «п» - дополнительный электрод.

В качестве примера, рассмотрим принцип действия транзистора с p - n затвором

На рис.3.1. представлен полевой транзистор n -типа. На рис.3.2. представлена структура полевого транзистора, где на подложке из p – кремния создается тонкий слой полупроводника n - типа, выполняющий функции канала, т.е. токопроводящей области, сопротивление которой регулируется электрическим полем.

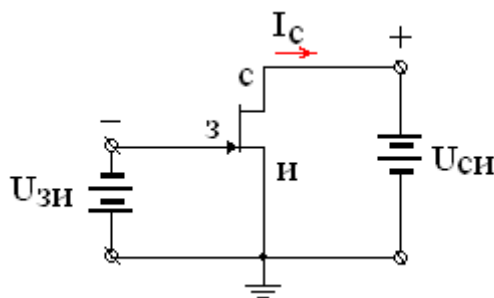


Рис. 3.1.

Канал изолирован p - n переходами от подложки и от затвора.

Прикладывая к затвору отрицательное (обратное) напряжение $U_{зи}$, можно изменять толщину верхнего p - n перехода. При этом p - n переход, проникает на большую или меньшую в канал $2y$ (рис. 3.3.), а следовательно, изменяет его электрическое сопротивление (проводимость). В результате будет изменяться величина тока стока протекающего по каналу.

При некотором напряжении $U_{зи}$, равном напряжению отсечки канал полностью перекрывается.

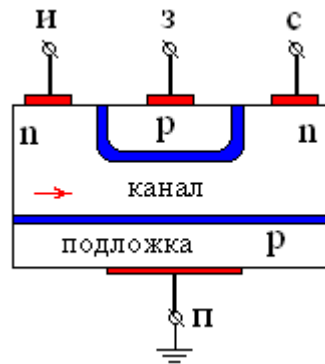


Рис. 3.2.

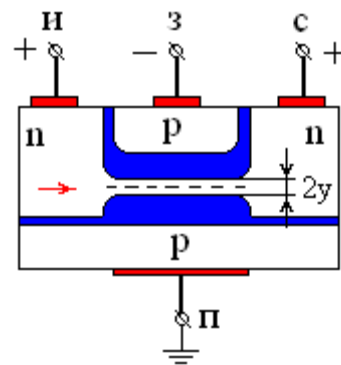


Рис. 3.3.

Нижний **p-n** переход (канал-подложка) служи для изоляции канала от подложки и установки начальной толщины канала. *Подложка может служить вторым управляющим электродом либо подключаться к затвору.*

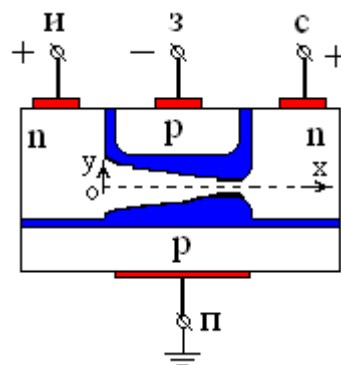


Рис. 3.4.

При подаче на *сток положительного напряжения* $U_{си}$ (в транзисторе **p** - каналом – отрицательного напряжения) в канале возникает ток I_C (рис. 3. и рис. 3.4.) и вдоль канала появляется падение напряжения, величина которого

зависит от координаты «х», т.е. от расстояния до области истока. При некотором значении напряжения $U_{си}$, равном *напряжению насыщения*, канал у области стока полностью перекрывается (рис. 3.4.). Сопротивление канала в этом случае, не равно бесконечности и по каналу протекает *максимальный ток* (режим насыщения).

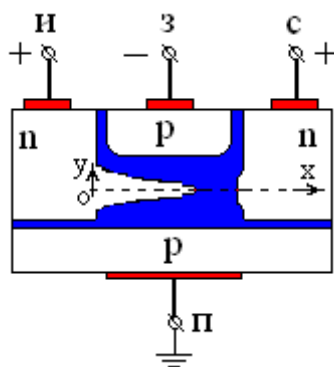


Рис. 3.4.

Входные ($I_3 = f(U_{зи})$, при $U_{си} = \text{const}$) и выходные ($I_c = f(U_{си})$, при $U_{зи} = \text{const}$) характеристики полевого транзистора качественно мало отличаются от соответствующих характеристик биполярного транзистора. Однако входные сопротивления полевых транзисторов значительно превышают соответствующие сопротивления биполярных транзисторов.

Полевые транзисторы получили широкое применение в электронной технике. В качестве примера на рис. 3.5. приведена схема усилителя на полевом транзисторе **n** – типа, включенного с общим истоком.

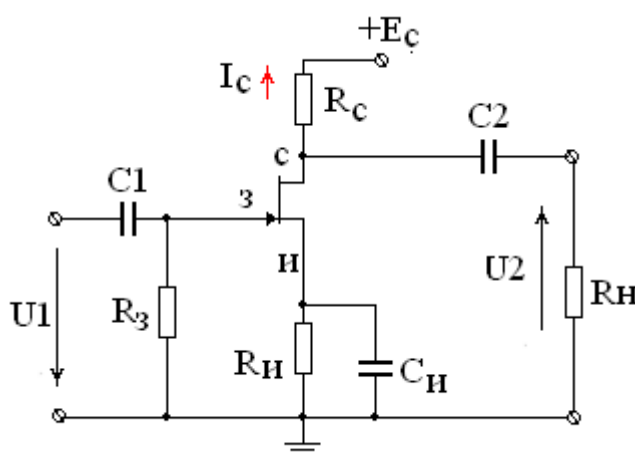


Рис. 3.5.

Как в случае усилителя на биполярном транзисторе, включенного в схеме с общим эмиттером, усилитель на полевом транзисторе (рис. 3.5.) инвертирует входной сигнал (меняет его знак на противоположный).