

Электропитание систем связи

Лекция 4 часть 2

Нетикова Л.И.

Сглаживающие фильтры

Активные фильтры





Тема: Сглаживающие фильтры

Цель лекции – изучить схемы активных сглаживающих фильтров

Содержание:

- Схемы активных сглаживающих фильтров
- Настройка активных сглаживающих фильтров

Активный сглаживающий фильтр.

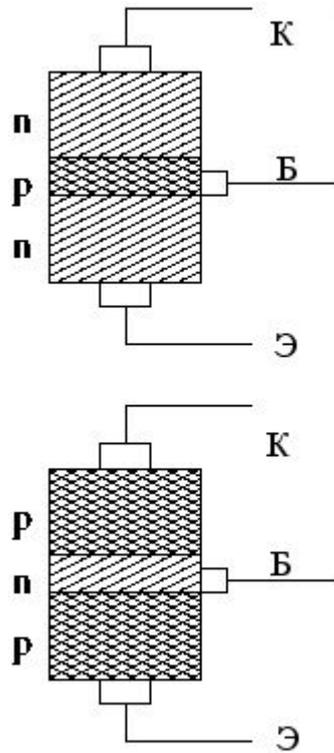
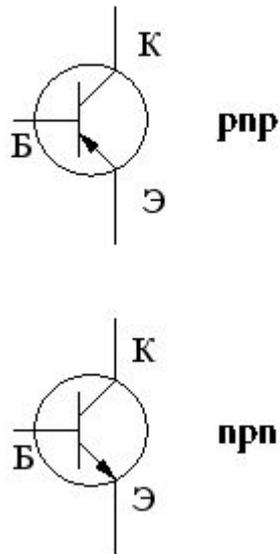
Из-за ряда достоинств активные фильтры нашли широкое распространение при небольших выходных мощностях. К таким *достоинствам* относятся:

высокие качественные и энергетические показатели;
широкий диапазон частот;
простота конструкции;
малая зависимость коэффициента сглаживания от изменений тока нагрузки;
малые магнитные поля из-за отсутствия индуктивности в схеме фильтра;
отсутствие опасных режимов при возникновении переходного процесса, т.к. нет перенапряжения при “сбросе” тока нагрузки.

К *недостаткам* схемы можно отнести: снижение к.п.д. устройства при увеличении тока нагрузки из-за увеличения потерь на транзисторе; необходимость защиты транзистора в переходных режимах.

Принцип действия активных фильтров основан на свойстве транзистора создавать различные сопротивления для переменного и постоянного токов.

Транзисторы



Фотография некоторых типов дискретных транзисторов

Обозначение биполярных транзисторов на схемах

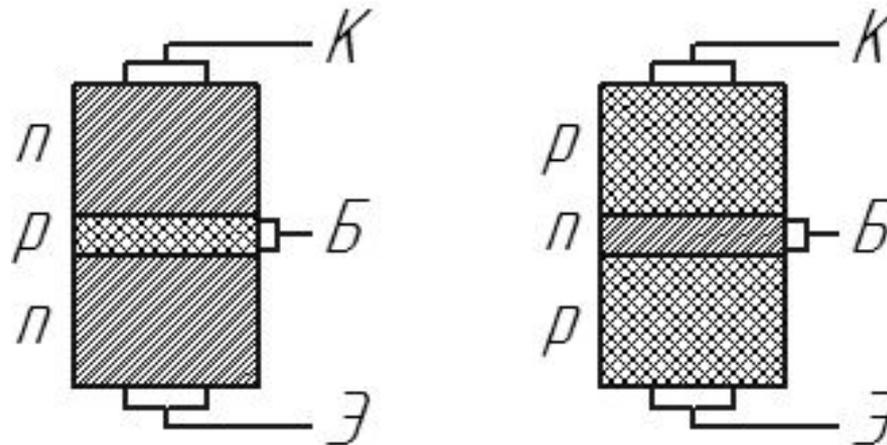
Простейшая наглядная схема устройства транзистора

Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор, который состоит из трех полупроводников с чередующимся типом примесной проводимости. К каждому слою подключен и выведен электрод. В биполярном транзисторе используются одновременно заряды, носители которых электроны (n – “negative”) и дырки (p – “positive”), то есть носители двух типов, отсюда и образование приставки названия «би» - два.

Транзисторы различаются по типу чередования слоев:

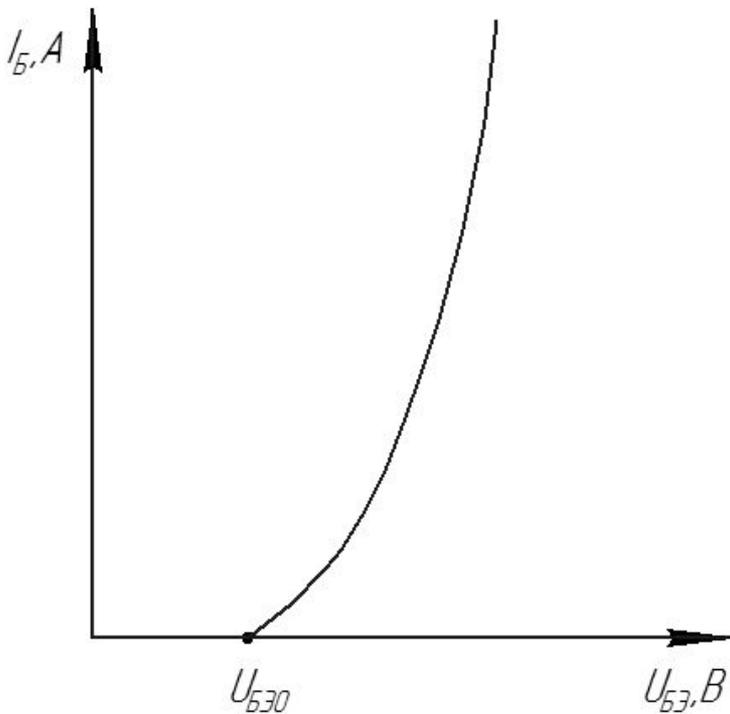
- pnp-транзистор (прямая проводимость);
- npn-транзистор (обратная проводимость).

База (Б) – это электрод, который подключен к центральному слою биполярного транзистора. Электроды от внешних слоев именуется эмиттер (Э) и коллектор (К).



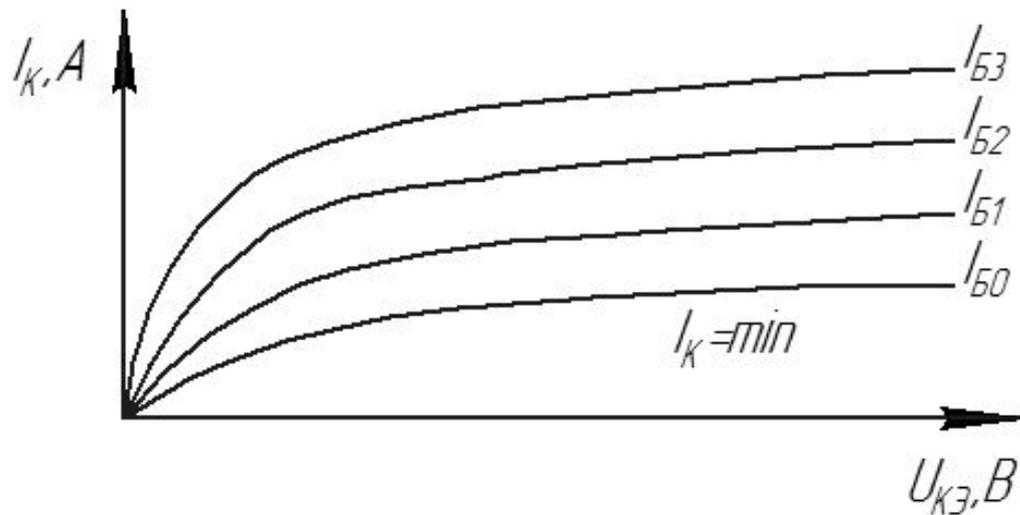
Биполярный транзистор имеет две ВАХ (вольт-амперные характеристики): входную и выходную.

Входная ВАХ – это зависимость тока базы (I_B) от напряжения база-эмиттер ($U_{БЭ}$).



Входная ВАХ транзистора

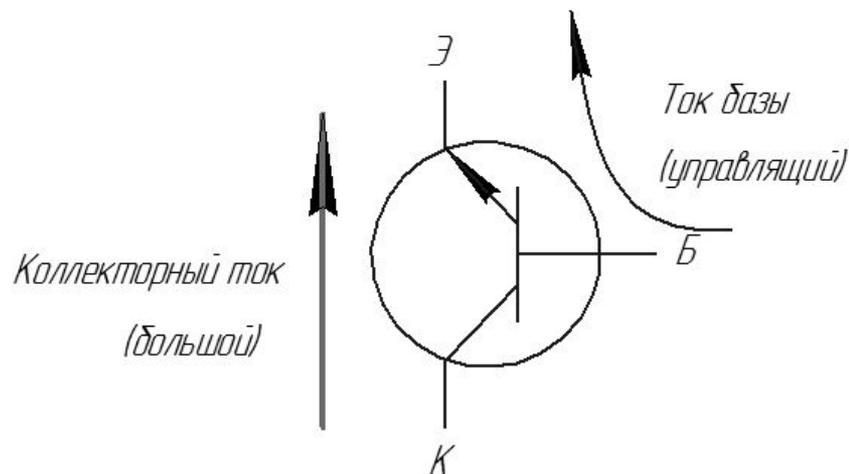
Выходная ВАХ – это зависимость тока коллектора (I_K) от напряжения коллектор-эмиттер ($U_{КЭ}$).



Выходная ВАХ транзистора

Принцип работы биполярного транзистора рассмотрим на npn типе, для pnp аналогично, только рассматриваются не электроны, а дырки. Транзистор имеет два p-n перехода. В активном режиме работы один из них подключен с прямым смещением, а другой – обратным. Когда переход ЭБ открыт, то электроны с эмиттера легко перемещаются в базу (происходит рекомбинация). Но, как говорилось ранее, слой базы тонкий и проводимость ее мала, по этому часть электронов успевает переместиться к переходу база-коллектор. Электрическое поле помогает преодолеть (усиливает) барьер перехода слоев, так как электроны здесь неосновные носители. При увеличении тока базы, переход эмиттер-база откроется больше и с эмиттера в коллектор сможет проскочить больше электронов. Ток коллектора пропорционален току базы и при малом изменении последнего (управляющий), коллекторный ток значительно меняется. Именно так происходит усиления сигнала в биполярном транзисторе.

Представьте себе, что КЭ – это водопроводная труба, а Б – кран, с помощью которого Вы можете управлять потоком воды. То есть, чем больше ток вы подадите на базу, тем больше получите на выходе.



Значение коллекторного тока почти равно току эмиттера, исключая потери при рекомбинации в базе, которая и образует ток базы, таким образом справедлива формула:

$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Б}} + I_{\text{К}}$$

Основные параметры транзистора:

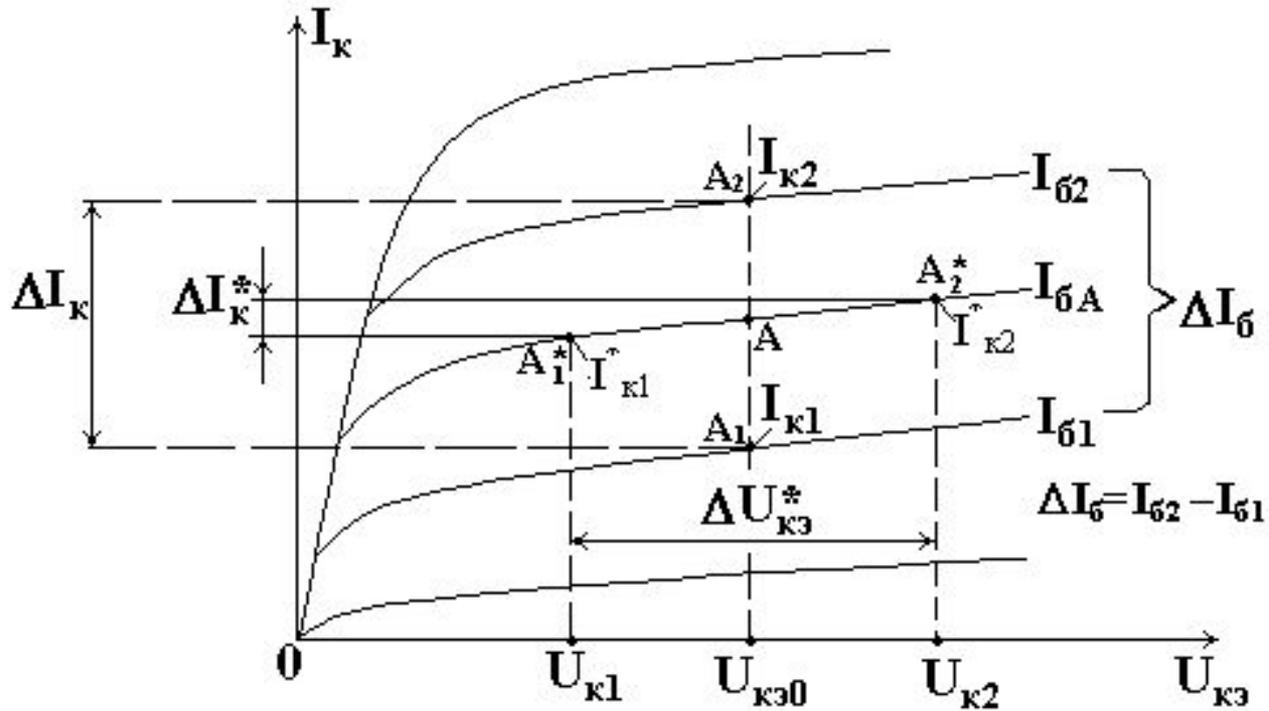
Коэффициент усиления по току – отношение действующего значения коллекторного тока к току базы.

Входное сопротивление – следуя закону Ома оно будет равно отношению напряжения эмиттер-база $U_{\text{ЭБ}}$ к управляющему току $I_{\text{Б}}$.

Коэффициент усиления напряжения – параметр находится отношением выходного напряжения $U_{\text{ЭК}}$ к входному $U_{\text{БЭ}}$.

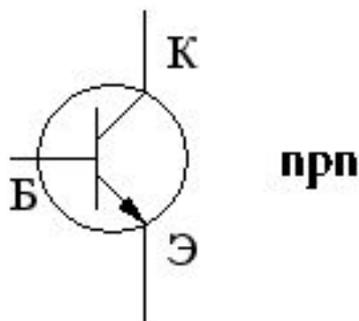
Частотная характеристика описывает способность работы транзистора до определенной, граничной частоты входного сигнала. После превышения предельной частоты физические процессы в транзисторе не будут успевать происходить и его усилительные способности сведутся на нет.

Изменяя малый ток базы, можно управлять значительно большим током коллектора

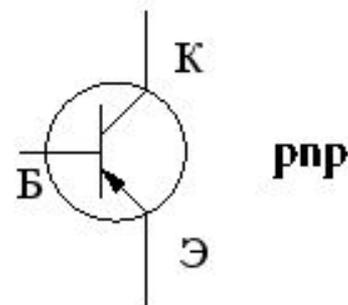


Семейство выходных характеристик транзистора

Ток коллектора практически равен току эмиттера, за исключением небольшой потери на рекомбинацию в базе, которая и образует ток базы ($I_{\text{э}} = I_{\text{б}} + I_{\text{к}}$). Коэффициент α , связывающий ток эмиттера и ток коллектора ($I_{\text{к}} = \alpha I_{\text{э}}$) называется коэффициентом передачи тока эмиттера. Численное значение коэффициента α 0.9 — 0.999. Чем больше коэффициент, тем эффективней транзистор передаёт ток. Этот коэффициент мало зависит от напряжения коллектор-база и база-эмиттер. Поэтому в широком диапазоне рабочих напряжений ток коллектора пропорционален току базы, коэффициент пропорциональности равен $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$. Таким образом, изменяя малый ток базы, можно управлять значительно большим током коллектора.



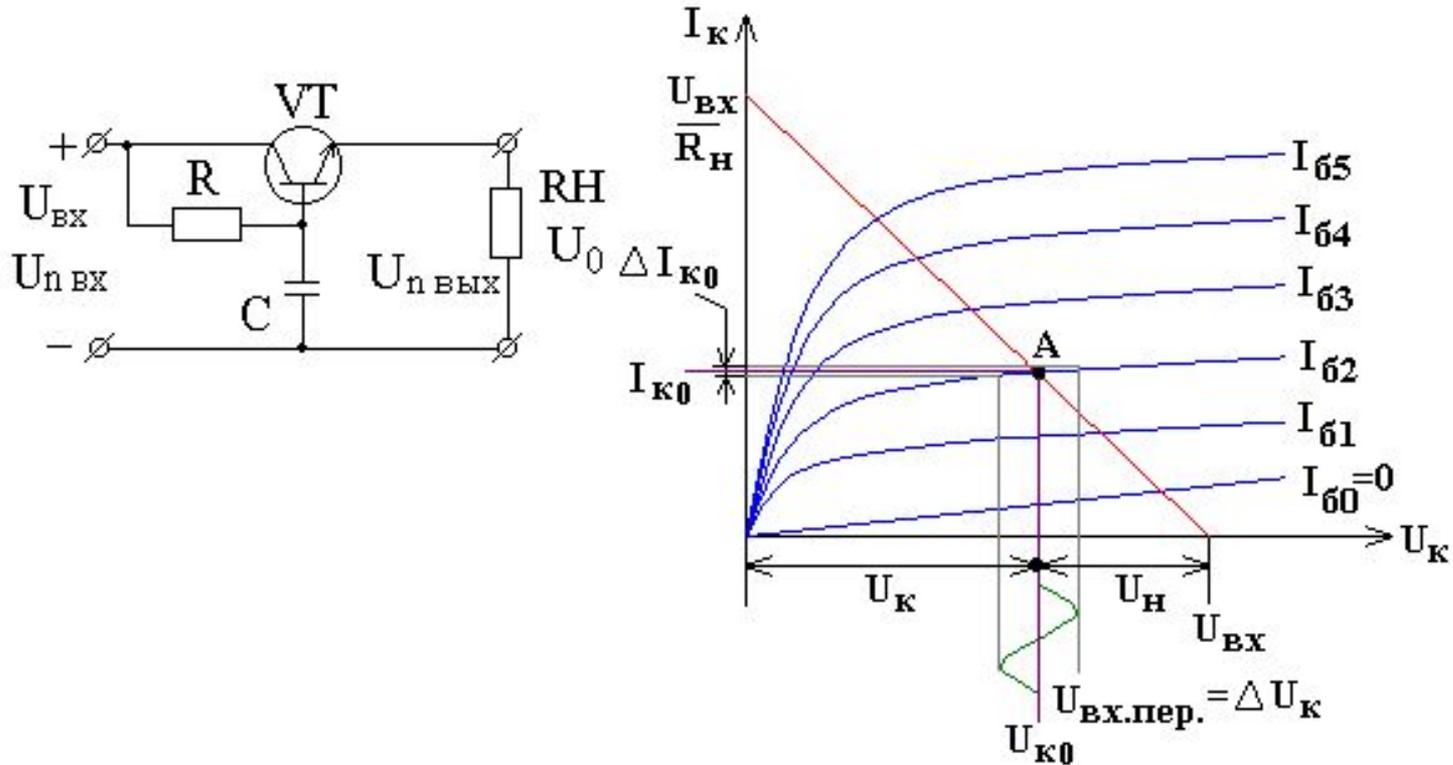
При увеличении положительного потенциала на базе транзистор n-p-n открывается («+» открывает транзистор n-p-n).



При увеличении отрицательного потенциала на базе транзистор p-p-n открывается («-» открывает транзистор p-p-n).

Характерны два способа построения фильтров. Первый способ состоит в том, что транзистор включается по схеме с общим коллектором.

Ток коллектора I_K в схеме фильтра с ОК мало зависит от величины приложенного к переходу коллектор-эмиттер напряжения U_K при постоянном значении тока базы. На рисунке приведены графики зависимости $I_K = f(U_K)$ при $I_B = \text{const}$.

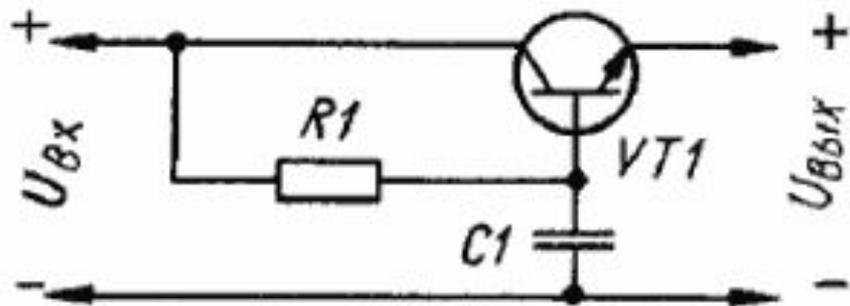


Если провести на графике нагрузочную прямую ($U_K = U_{ВХ}$ при $I_{K0} = 0$ и $I_K = U_{ВХ} / R_H$ при $U_K = 0$) и выбрать на ней рабочую точку $A \{ U_{K0}, I_{K0} \}$, то сопротивление транзистора переменной составляющей тока в точке A $R_D = \Delta U_K / \Delta I_K$ будет много больше его сопротивления постоянному току

Если провести на графике нагрузочную прямую ($U_K = U_{BX}$ при $I_{KO} = 0$ и $I_K = U_{BX} / R_H$ при $U_K = 0$) и выбрать на ней рабочую точку $A \{ U_{K0}, I_{K0} \}$, то сопротивление транзистора переменной составляющей тока в точке A $R_d = \Delta U_K / \Delta I_K$ будет много больше его сопротивления постоянному току $R_C = U_{K0} / I_{K0}$, т.е. $R_d \gg R_C$. Соответственно переменная составляющая выпрямленного напряжения $U_{B.ПЕР.}$ на входе фильтра вызывает небольшие изменения тока коллектора ΔI_K при условии, что ток базы $I_b = \text{const.}$ Переменная составляющая напряжения на выходе фильтра $U_{ВЫХ.ПЕР.} = \Delta I_K R_H$ получается значительно ослабленной по сравнению с $U_{B.ПЕР.}$

Таким образом, сглаживание пульсаций в фильтре с ОК обеспечивается R_C фильтром в базовой цепи, а транзистор V_T предназначен для усиления сигнала по мощности (эмиттерный повторитель). Резистор R задаёт режим работы транзистора по постоянному току, устанавливая ток базы.

Сопротивление транзистора переменной составляющей тока будет много больше его сопротивления постоянному току

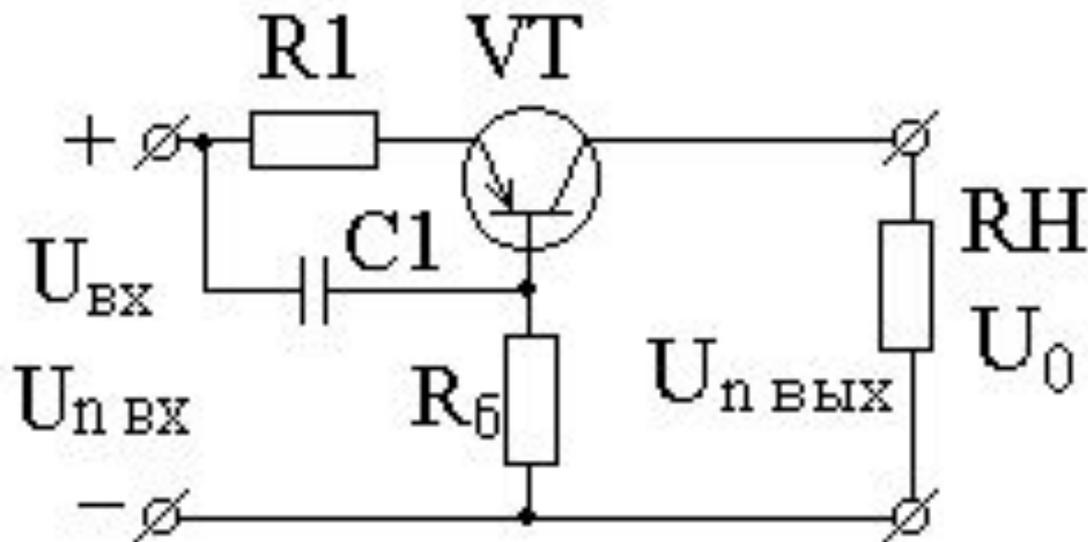


На коллектор транзистора $VT1$ поступает напряжение с большой амплитудой пульсации, а цепь базы питается через интегрирующую цепь $R1C1$, которая сглаживает пульсации напряжения на базе.

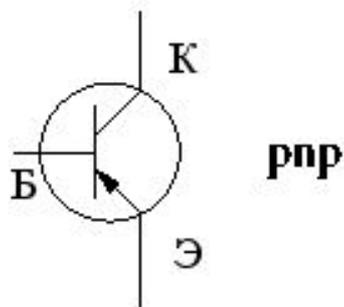
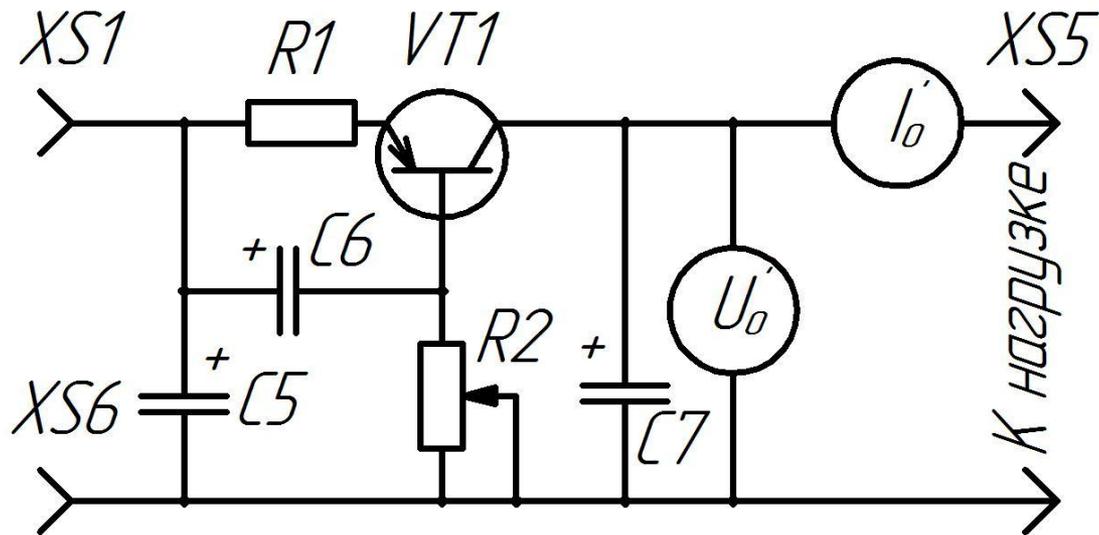
Сопротивление резистора $R1$ выбирают из условия достаточности тока базы для обеспечения заданного тока в нагрузке. Чем больше постоянная времени $T=R1C1$, тем меньше пульсации напряжения на базе. Так как устройство представляет собой эмиттерный повторитель, то на выходе фильтра пульсации будут столь же малыми, как и на базе. Емкость конденсатора $C1$ может быть в несколько раз меньше, чем у конденсатора в LC-фильтре, так как базовый ток намного меньше выходного тока фильтра (коллекторного тока транзистора) - примерно в $h_{21э}$ раз.

Преимущество этого фильтра - в простоте. К недостаткам следует отнести, во-первых, противоречивые требования к значению сопротивления резистора $R1$ (для уменьшения пульсации на выходе фильтра следует увеличивать сопротивление, а для повышения КПД фильтра-уменьшать), во-вторых, сильная зависимость параметров фильтра от температуры, времени, значения тока нагрузки, статического коэффициента передачи тока базы транзистора. В таких фильтрах обычно резистор $R1$ подбирают опытным путем.

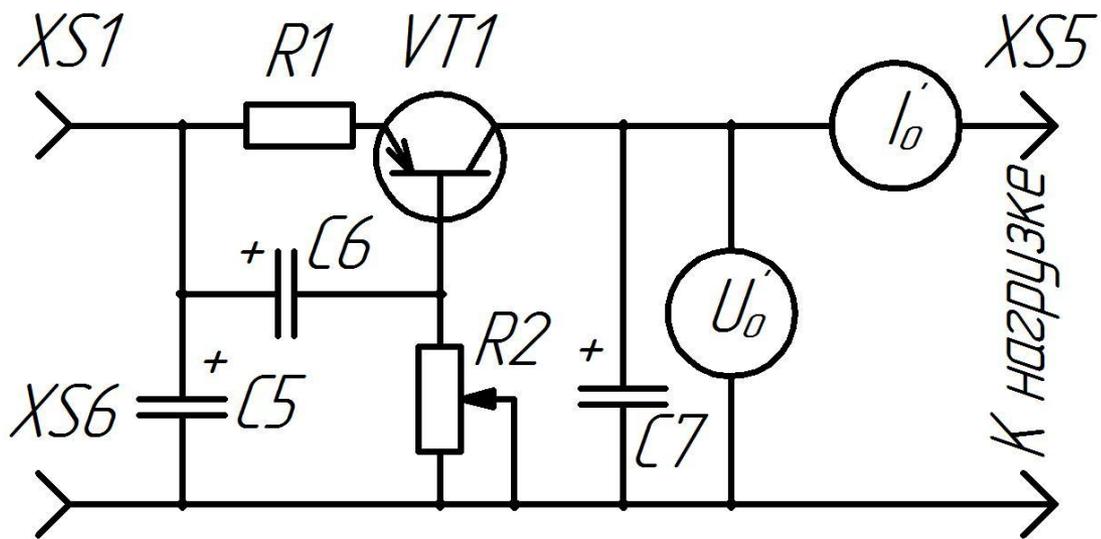
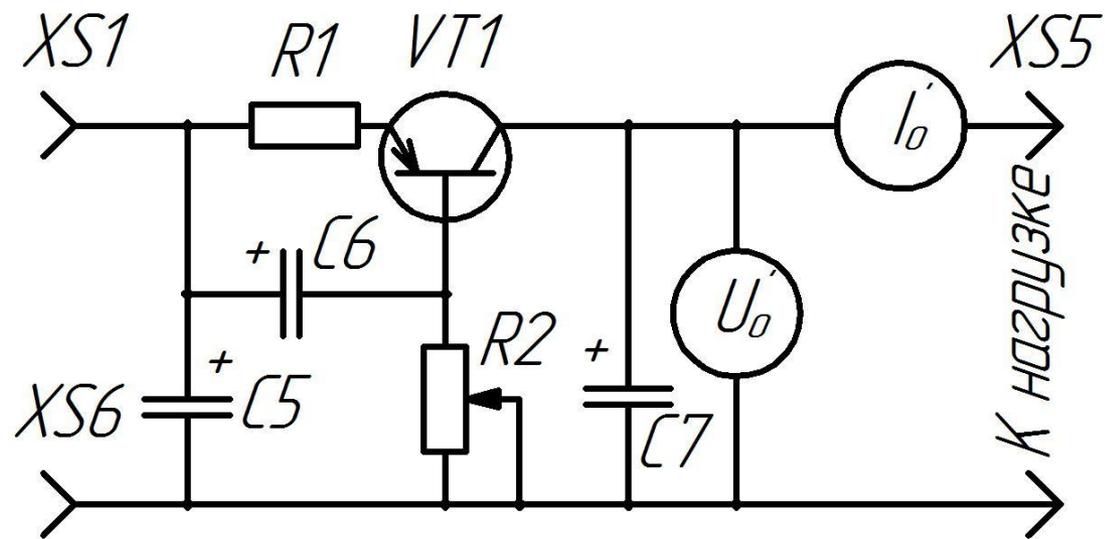
Второй способ построения активного фильтра состоит в том, что транзистор включается по схеме с общей базой:

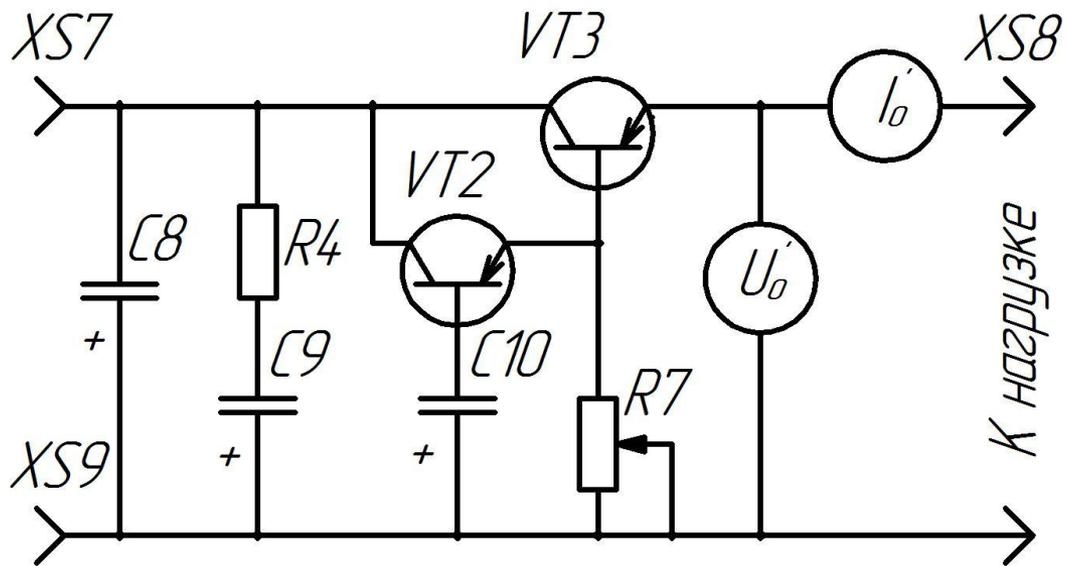
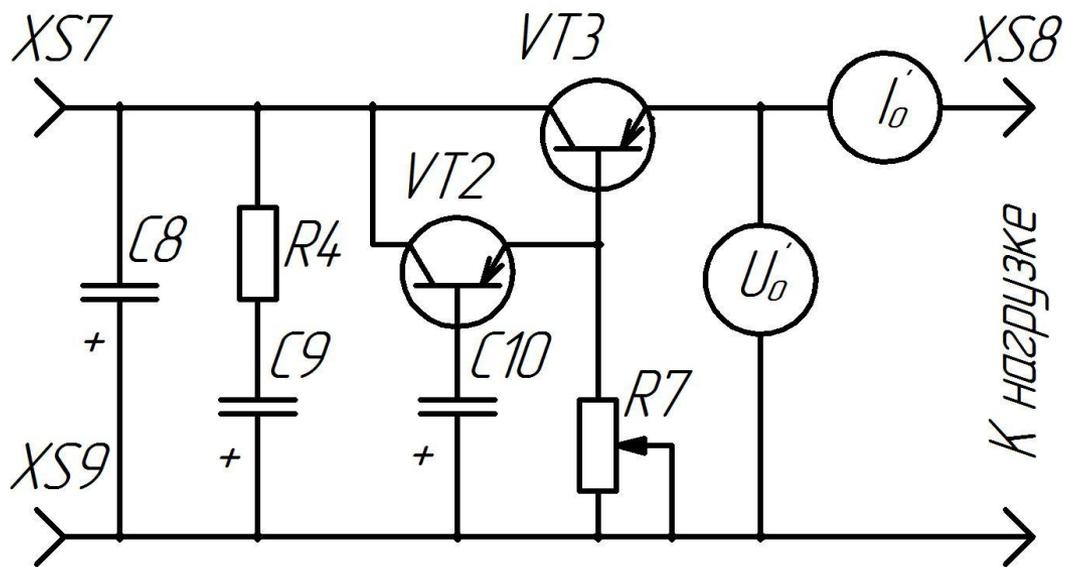


Режим работы транзистора по постоянному току определяется величиной $R_б$, а сглаживающее действие – постоянной времени цепочки R_1C_1 . Эта цепь стабилизирует ток эмиттера, если $R_1C_1 \gg T_n$, где T_n – период пульсации. В этом режиме транзистор обладает большим дифференциальным сопротивлением и малым статическим, что эквивалентно дросселю в LC-фильтрах.



При увеличении отрицательного потенциала на базе транзистор рпр открывается («-» открывает транзистор рпр).





Выводы

- С помощью активных и пассивных сглаживающих фильтров (СФ) возможно существенное снижение пульсаций на выходе ВИЭП.
- Все схемы СФ могут быть представлены четырёхполюсником, состоящим из двух эквивалентных схем по переменному и постоянному току.
- Для снижения воздействия постоянного тока, протекающего через обмотку дросселя СФ, на магнитные свойства его сердечника, вводится немагнитный зазор.

Контрольные вопросы

1. Назначение сглаживающих фильтров.
2. Классификация СФ.
3. Схемы фильтров.
4. По каким параметрам оценивается качество фильтра?
5. Чем обусловлены переходные процессы в фильтрах?
6. На чём основан принцип действия активных фильтров?