

Прикладная электроника

Электротехника, ТОЭ

Уржумцев Олег

Занятие 5. Транзисторы. Операционные усилители

Биполярные и полевые транзисторы. Режимы. Схемы включения.

Инвертирующее и неинвертирующее включение. Двуполярное и однополярное питание. Rail-to-rail усилители. Обратная связь. Временная задержка (конденсатор) в обратной связи

Recap?

Recap?

- Конденсаторы
- RC-цепочки
- Диоды
- Основы монтажа

Здесь когда-нибудь будет дизайн

Электронные схемы и компоненты

Компоненты

- Источники тока
 - Элементы питания и батареи
- Линии связи
- Компоненты коммутации (соединения)
- Пассивные
 - Резисторы
 - Конденсаторы
 - Катушки индуктивности
- **Активные**
 - Вакуумные
 - **Полупроводниковые**
- Исполнительные устройства

Занятие 5. Усилители сигнала

Усилитель – транзистор, ОУ. Выходное сопротивление и согласование. Задержки и влияние на частоту. Работа ОУ с ОС – задержки. Триггер. Опционально - ламповый каскад и полевой транзистор

Транзистор

Основная структурная единицы полупроводниковой техники



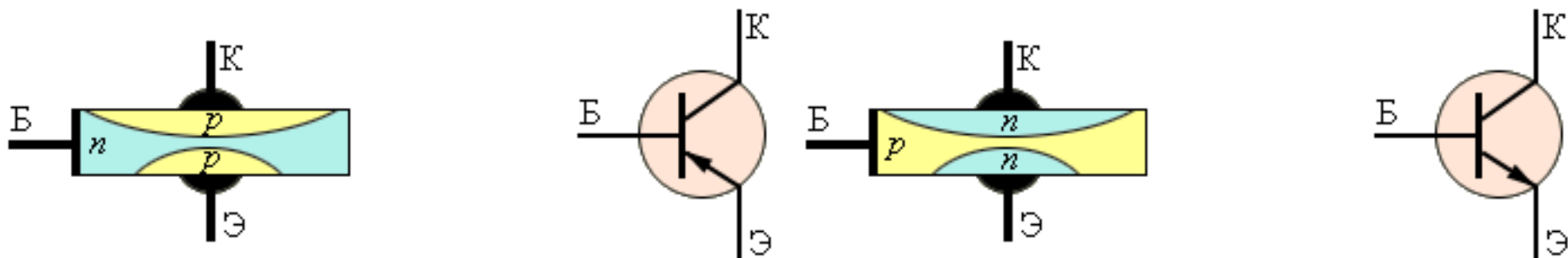
BJT-транзистор (биполярный)

Имеет три вывода: база, коллектор, эмиттер

Кристалл, содержащий два близко расположенных p-n перехода

Благодаря общему кристаллу токи через переходы связаны

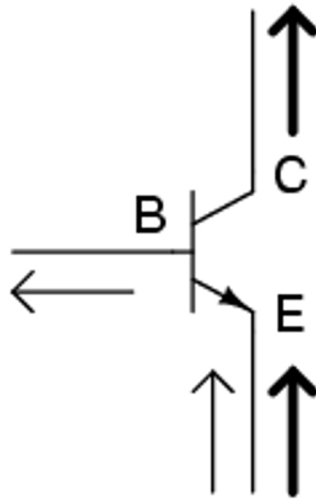
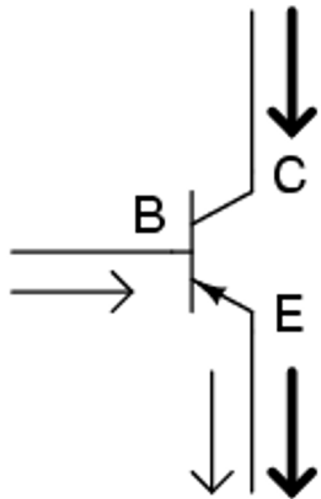
В переносе заряда участвуют **и** электроны, **и** дырки



Площадь коллекторного перехода заметно больше, чем эмиттерного

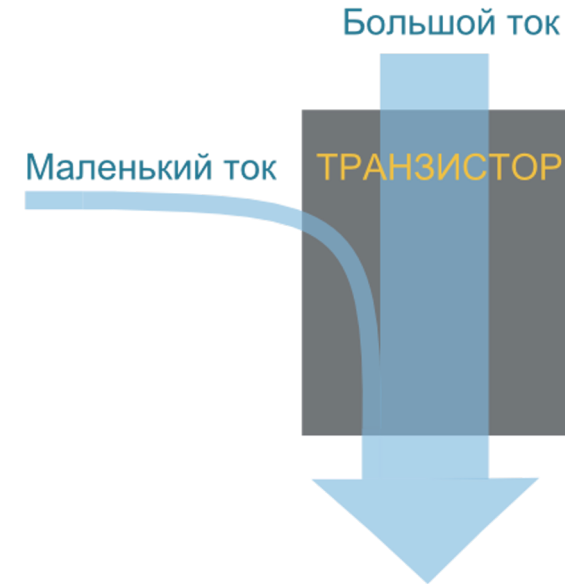
Биполярные (BJT) транзисторы

Управляется током (чаще всего - $I_{бэ}$)



→ = small, *controlling* current

→ = large, *controlled* current

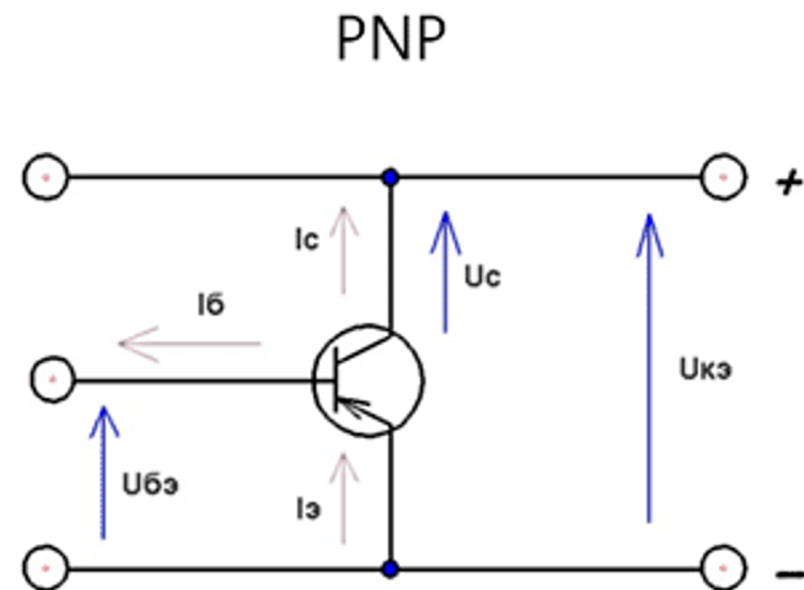
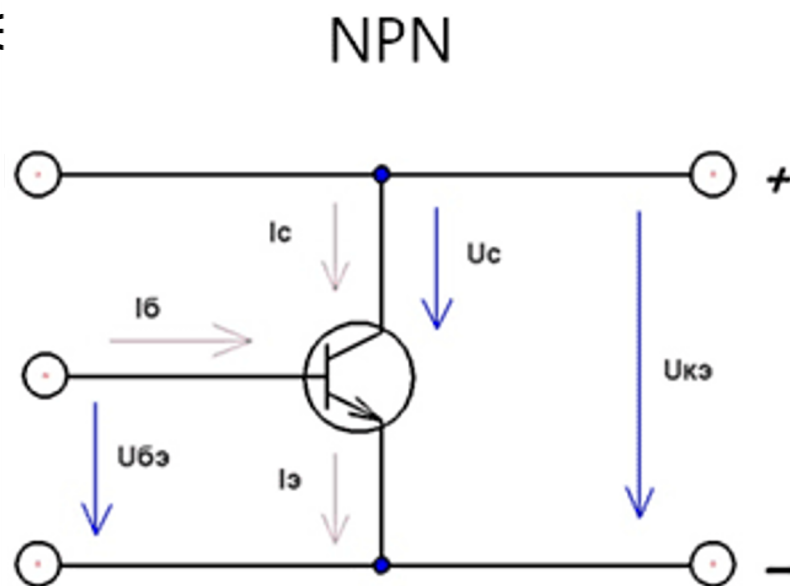


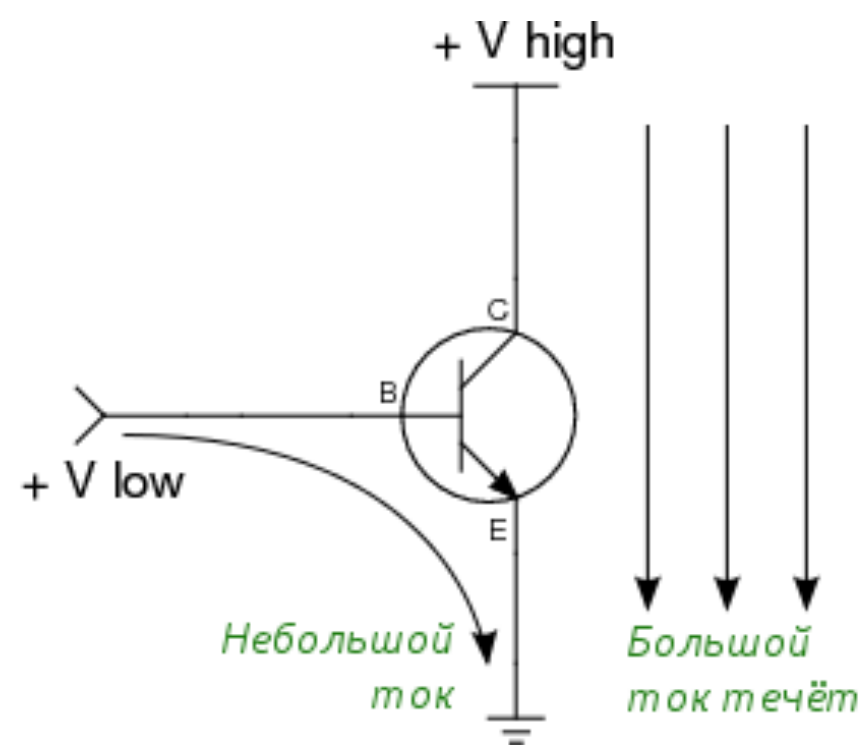
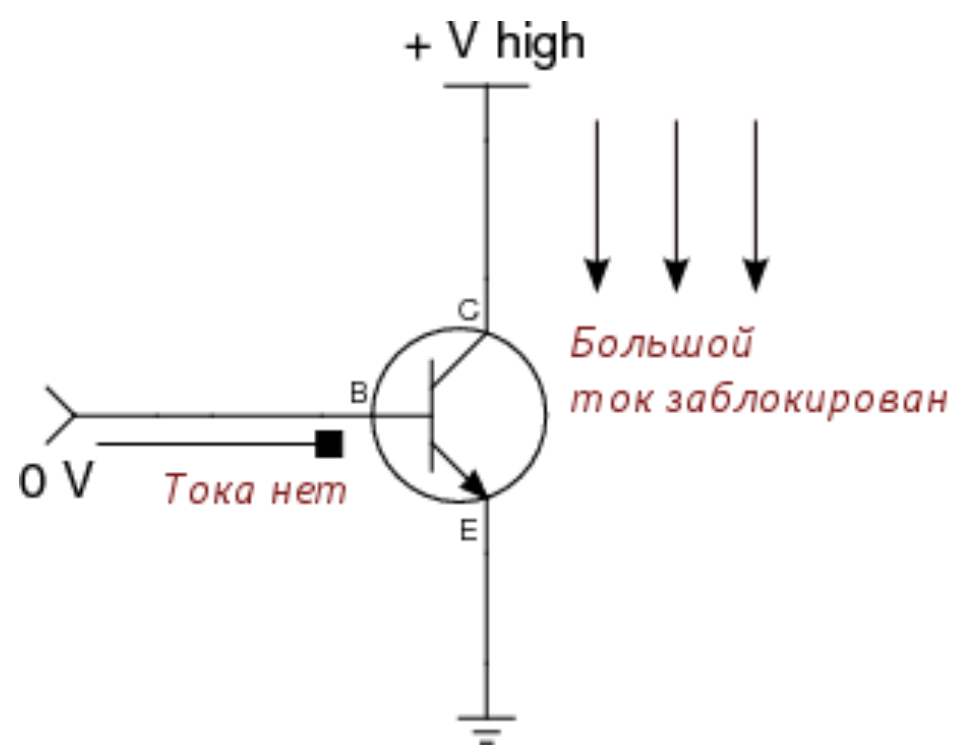
$$\text{Большой ток} = \text{Маленький ток} * \text{Коэффициент усиления}$$

Принцип действия биполярного транзистора

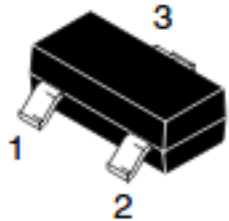
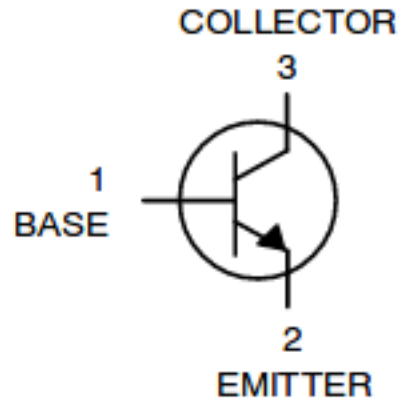
BJT-транзистор (биполярный)

- Активный режим: коллекторный pn-переход закрыт, эмиттерный приоткрыт
- Насыщение: оба пере
- Отсечка: оба закрыть



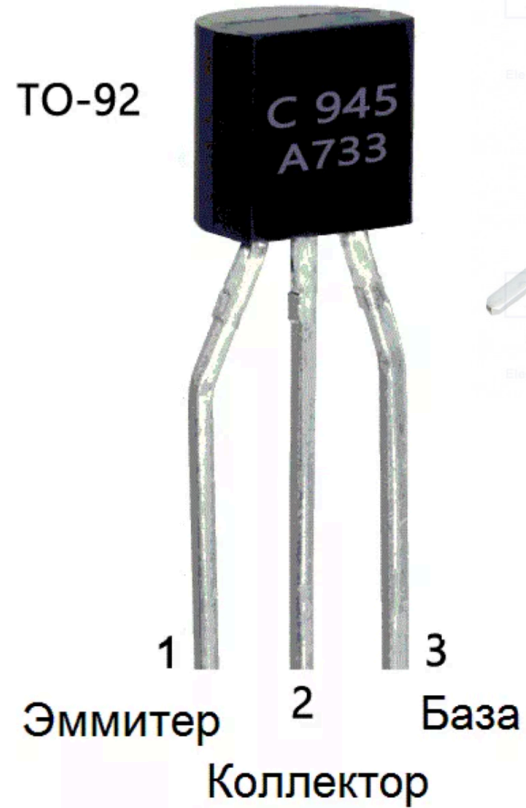


BJT-транзистор в жизни

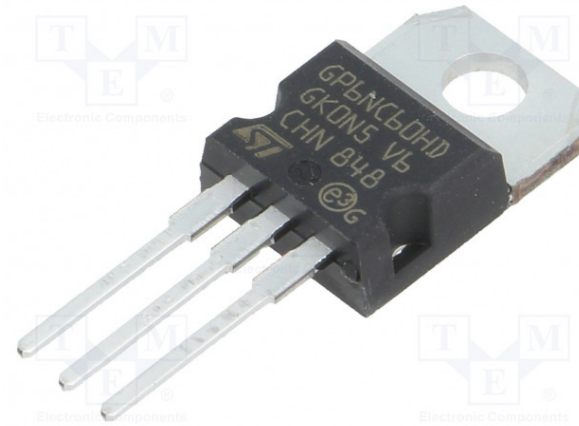


SOT-23 (TO-236)
CASE 318
STYLE 6

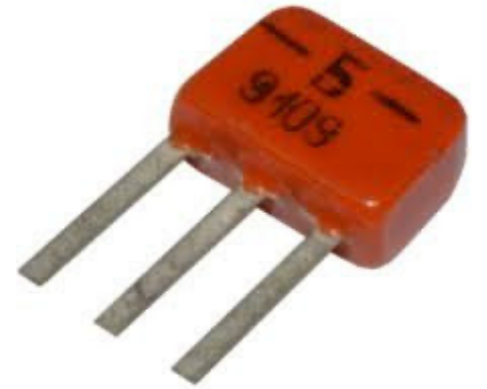
SOT-323



TO-92



TO-220



нестареющая классика

Параметры ВТ-транзисторов

Коэффициент передачи по току ($h_{21э}$)

Входное сопротивление

Рассеиваемая мощность

Предельная частотная характеристика

Постоянное/импульсное напряжение коллектор – эмиттер.

Постоянное напряжение коллектор – база.

Постоянное напряжение эмиттер – база.

Предельная частота коэффициента передачи тока базы

Постоянный/импульсный ток коллектора.

Предельный допустимый ток (I_{MAX})

Предельная температура р-п перехода (T_{jMAX})

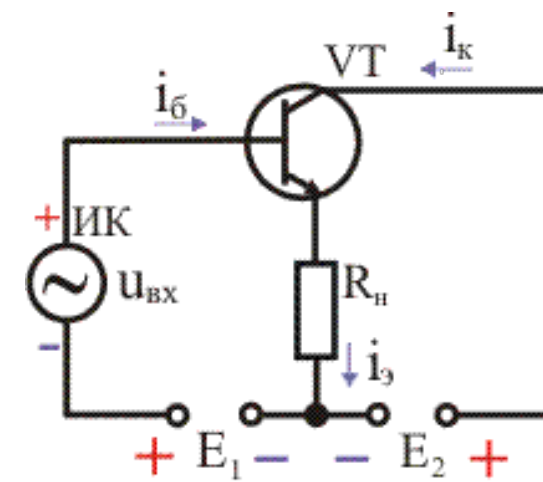
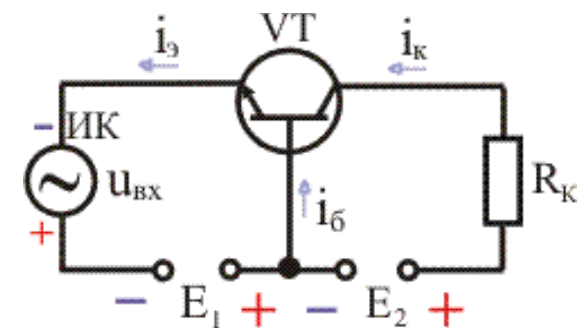
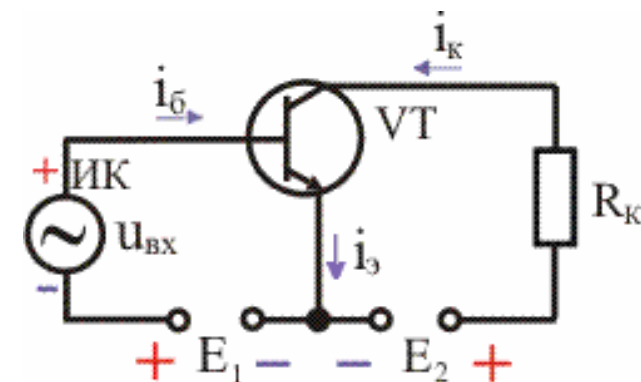
Предельная температура окружающей среды (T_{max})

Режимы работы биполярных транзисторов

- **Активный линейный режим.** Открыт переход Э-Б, коллекторный переход обычно закрыт до протекания тока через базу.
- **Инверсный активный режим.** открыт БК, а ЭБ наоборот закрыт; используется очень редко.
- **Режим насыщения.** Оба перехода открыты. Основные носители заряда с К и Э рекомбинируют на Б с основными носителями. => сопротивление базы и р-п переходов минимально.
- **Режим отсечки.** Оба перехода транзистора закрыты, т.е. ток основных носителей заряда между эмиттером и коллектором прекращается. Потоки неосновных носителей заряда создают только малые и неуправляемые тепловые токи переходов, сопротивление велико.
- **Барьерный режим** Б напрямую или через малое сопротивление замкнута с К. Ток через транзистор задаёт резистор на К или Э. Получается эквивалент схемы диода с последовательно включенным сопротивлением. Этот режим очень полезный, так как позволяет схеме работать практически на любой частоте, в большом диапазоне температур и нетребователен к параметрам транзисторов.

Способы включения биполярных транзисторов

- с общим эмиттером
 - наибольшее усиление по напряжению и току
 - U на Б и К одного знака
 - Чувствителен к частоте и температуре кристалла
- с общей базой
 - Хороша на высоких частотах
 - Не даёт заметного усиления
- с общим коллектором
 - Входное напряжение полностью передается обратно на вход: сильная отрицательная обратная связь (ОС)
 - Высокое усиление по току, единичное по напряжению



Биполярные (BJT) транзисторы

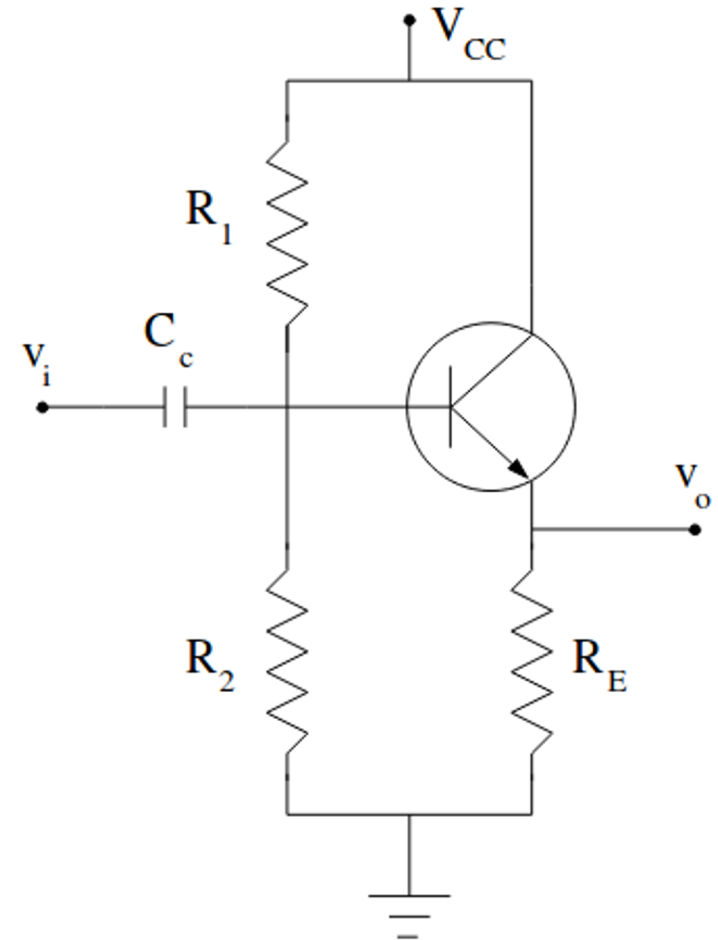
Схема с общим коллектором:

Эмиттерный повторитель

U_B - смещение

Усиление по напряжению ~ 1

Усиление по току пропорционально β



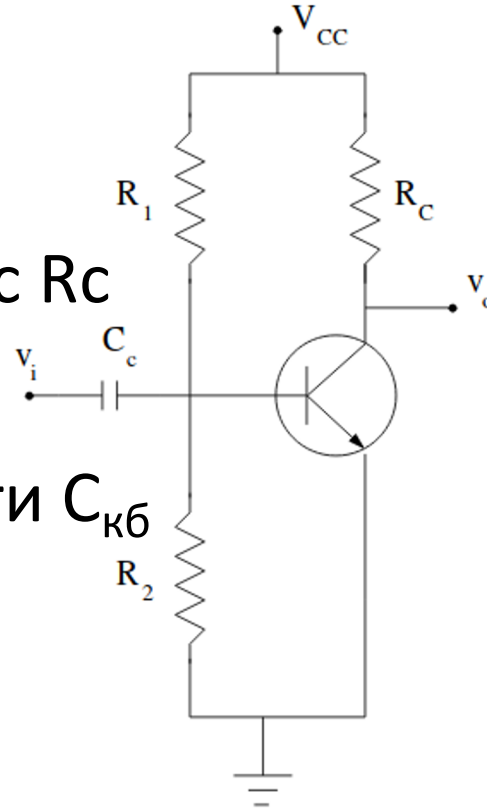
Усилитель с общим эмиттером

Классическая схема

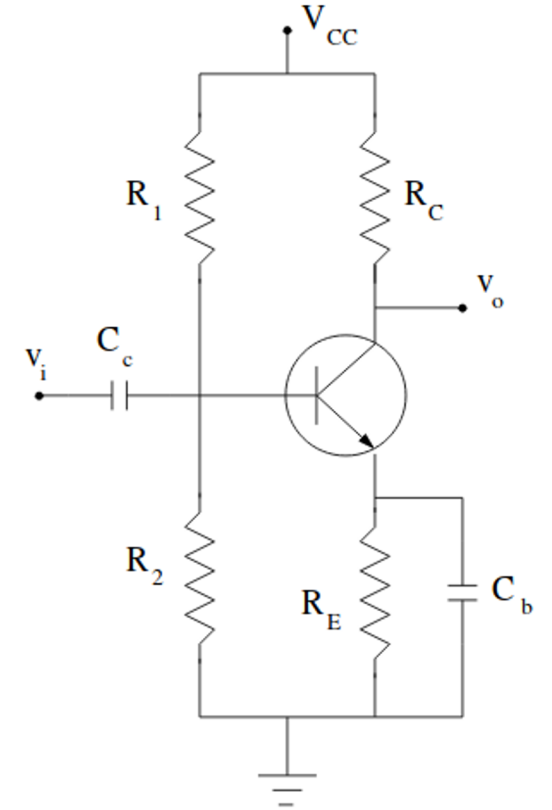
R_1/R_2 обеспечивают *смещение*

Выходное напряжение снимается с R_C

Ограничен по частоте из-за ёмкости $C_{кб}$



Poor Bias



Good Bias using a
by-pass capacitor

Линейный и ключевой режим

Вольт-амперная характеристика

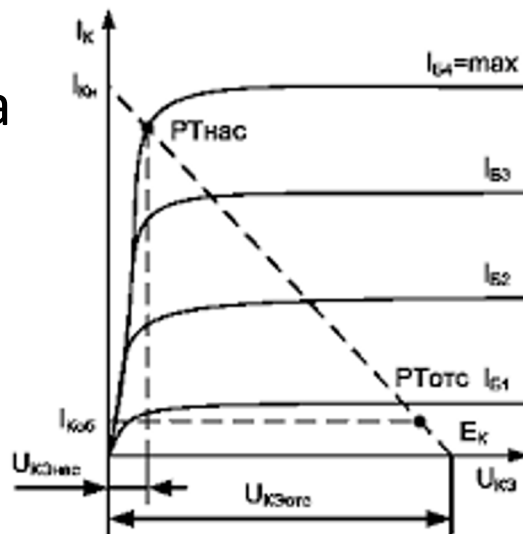
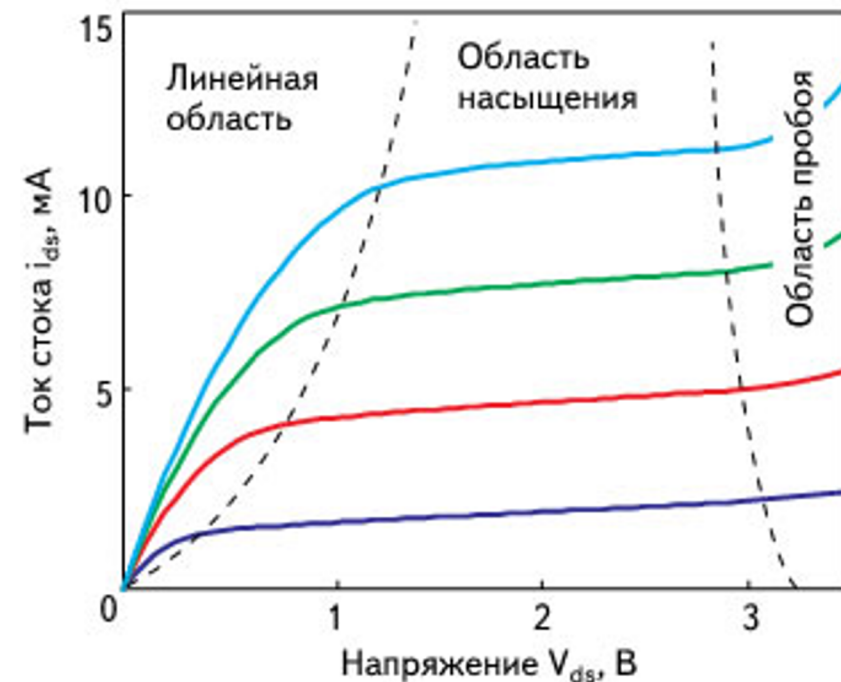


Рис. 1.14. Рабочие точки отсечки и насыщения



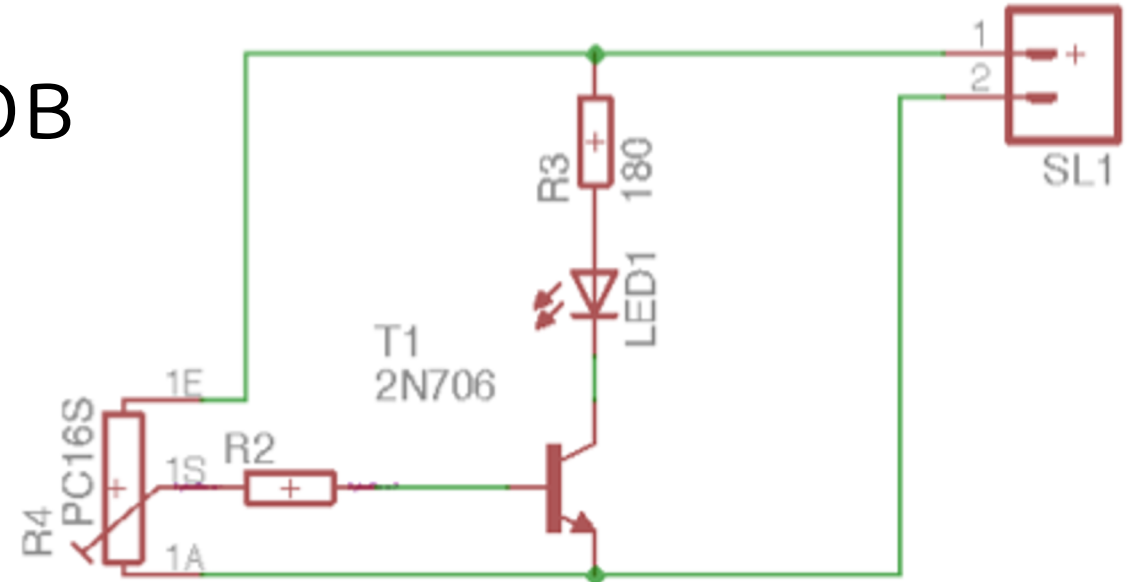
В ключевом режиме сопротивление прибора минимально

В линейном режиме сопротивление пропорционально управляющему воздействию

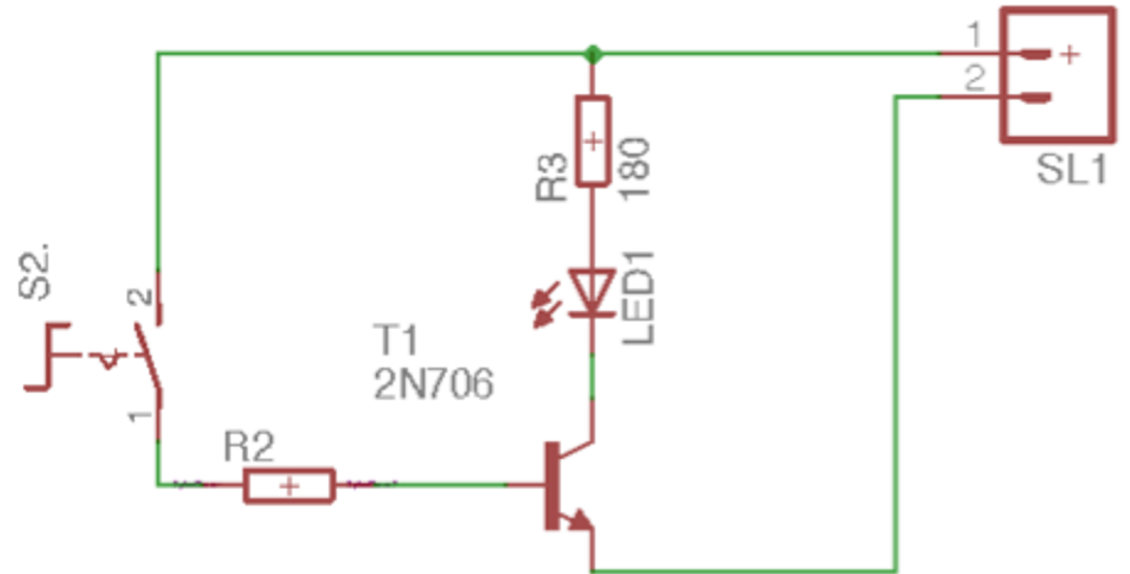
Применение транзисторов

Линейный режим

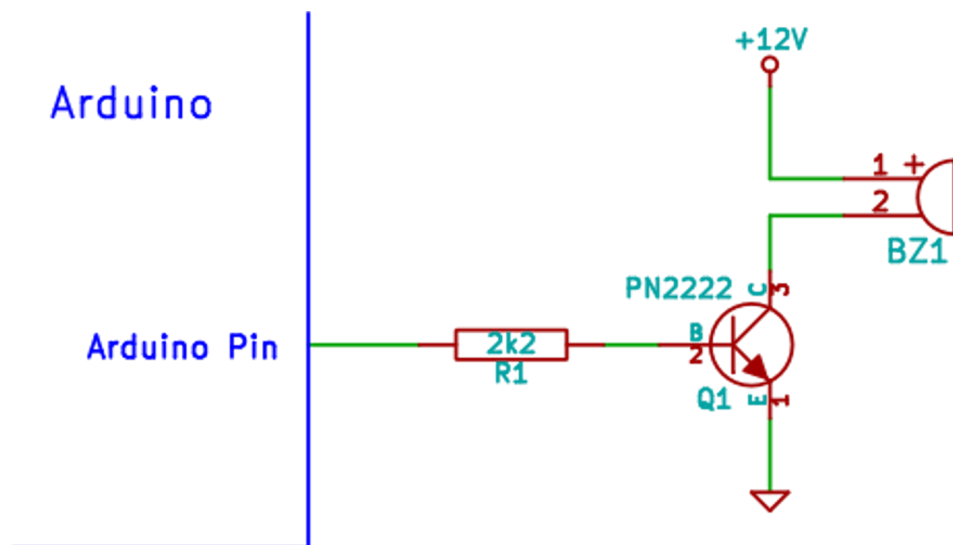
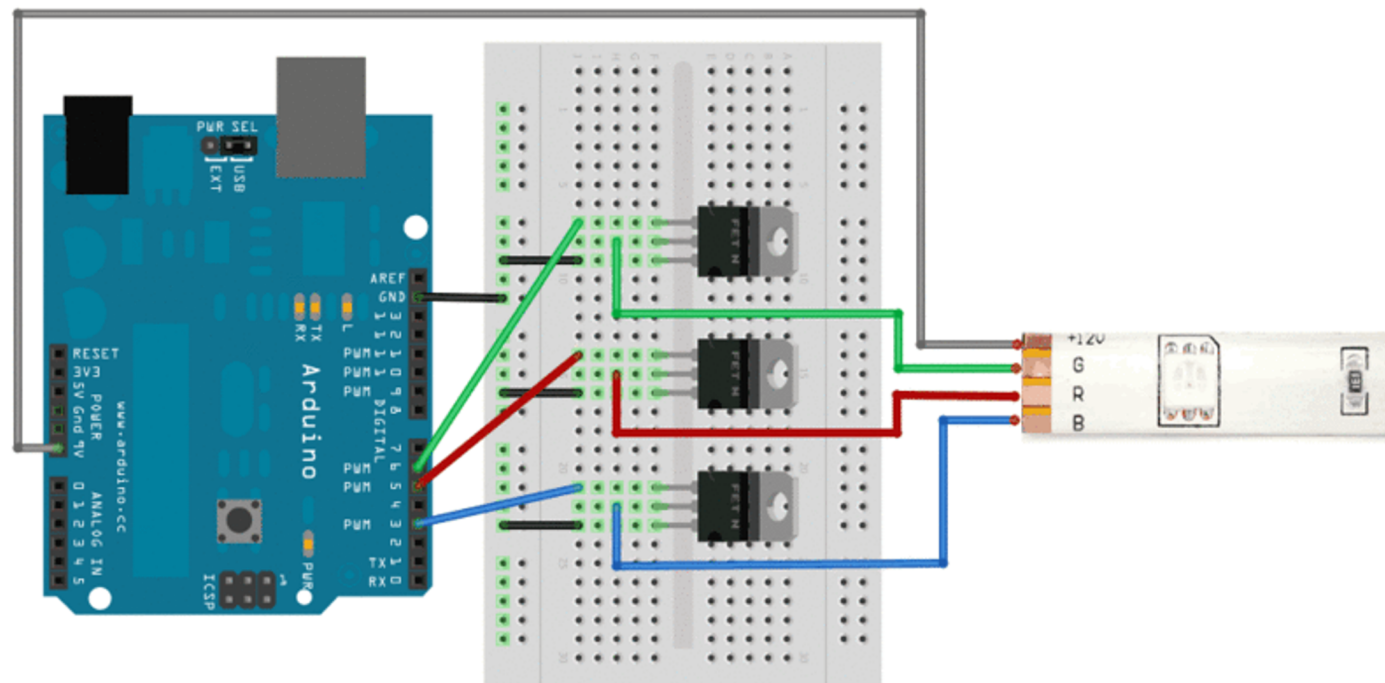
Выходной ток пропорционален
Входному ($I_{кэ} \sim I_{бэ}$)



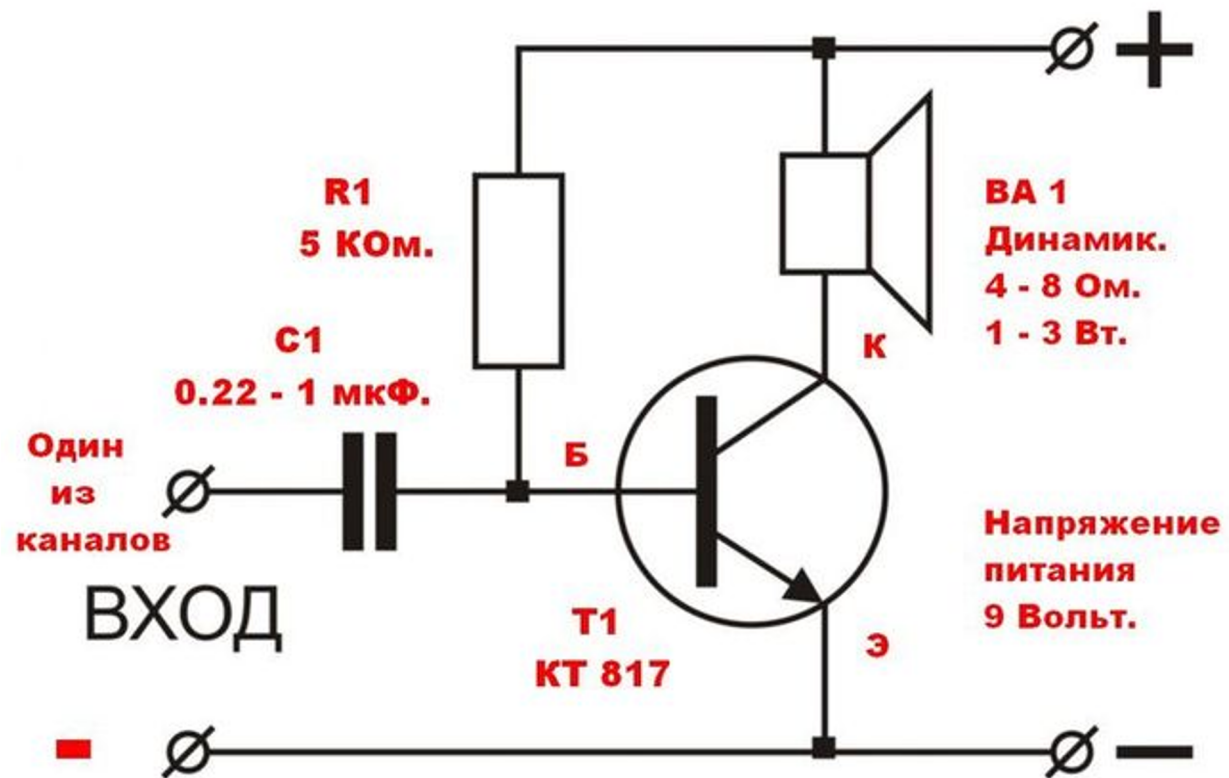
Ключевой режим



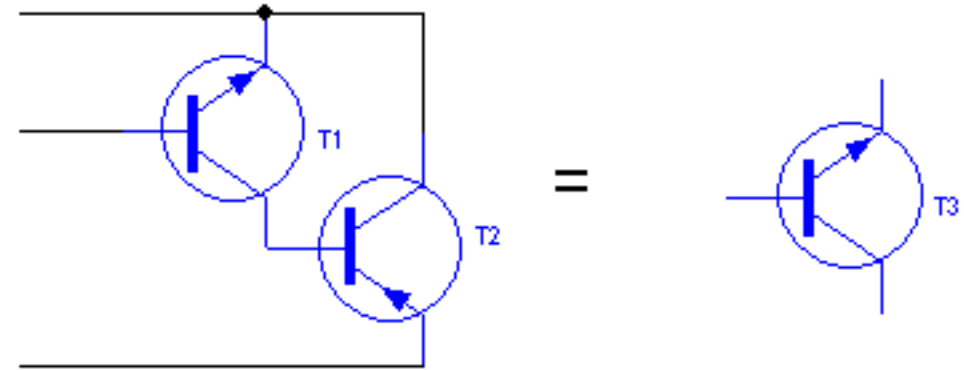
Каскад усиления



Пример усилителя

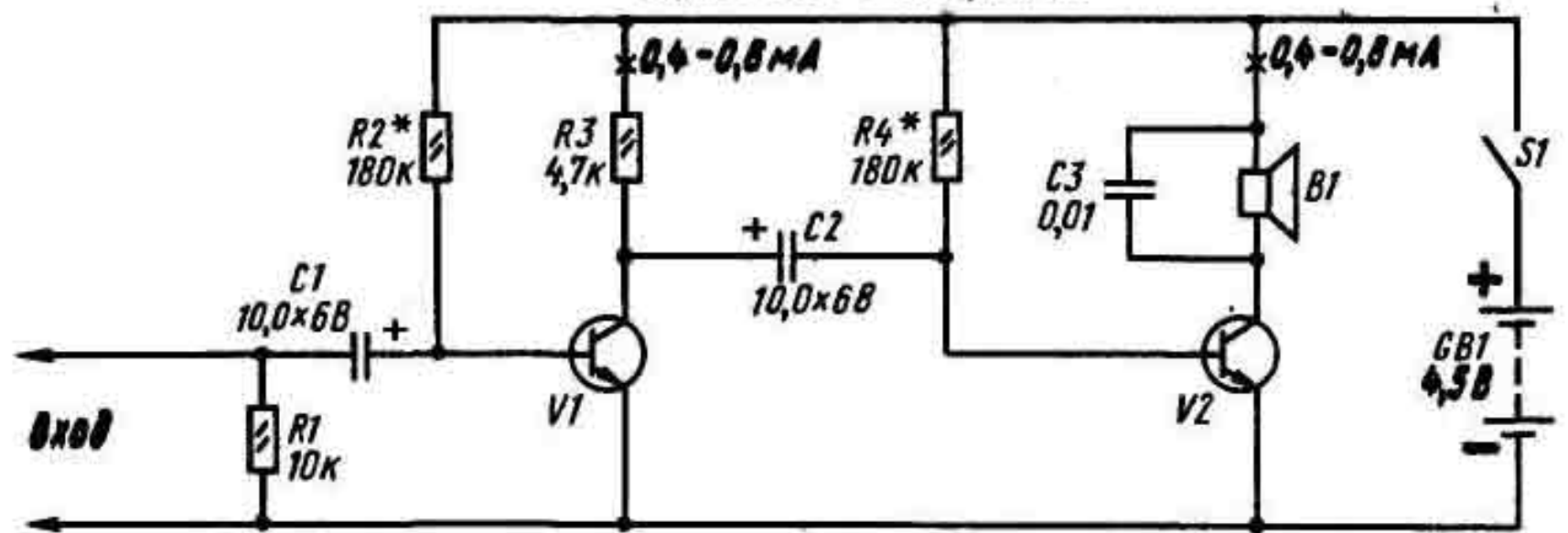


Удвоение каскадов



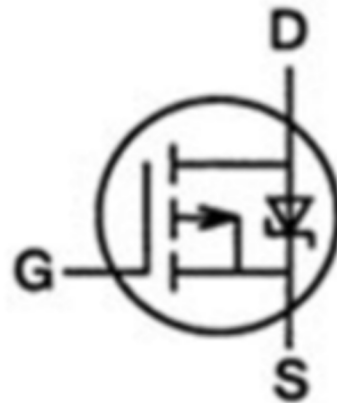
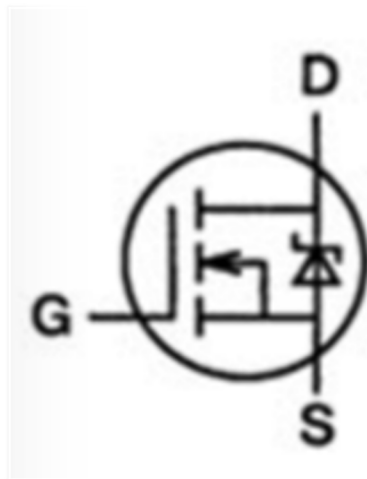
$$h_{21\Theta VT3} = h_{21\Theta VT1} \times h_{21\Theta VT2}$$

V1, V2 МП35-МП38, КТ315



Полевые (FET)-транзисторы

- Управляемый напряжением вентиль
- Резистор переменного сопротивления + конденсатор на затворе
- Три вывода: G - затвор, D - сток, S – исток



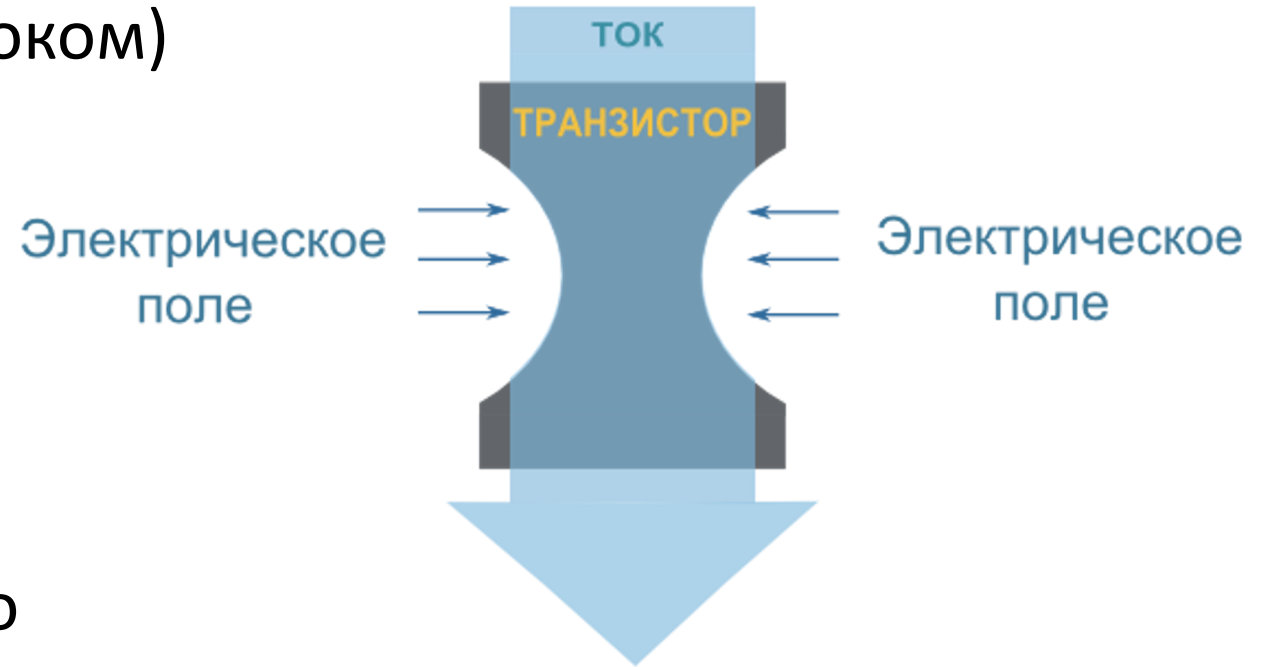
Полевой (FET) транзистор

Управляется напряжением (не током)

Ток обеспечен носителями заряда одного типа (N или P)

Ток определяется переходными процессами, сопротивление затвора практически бесконечно

Затвор имеет ёмкость

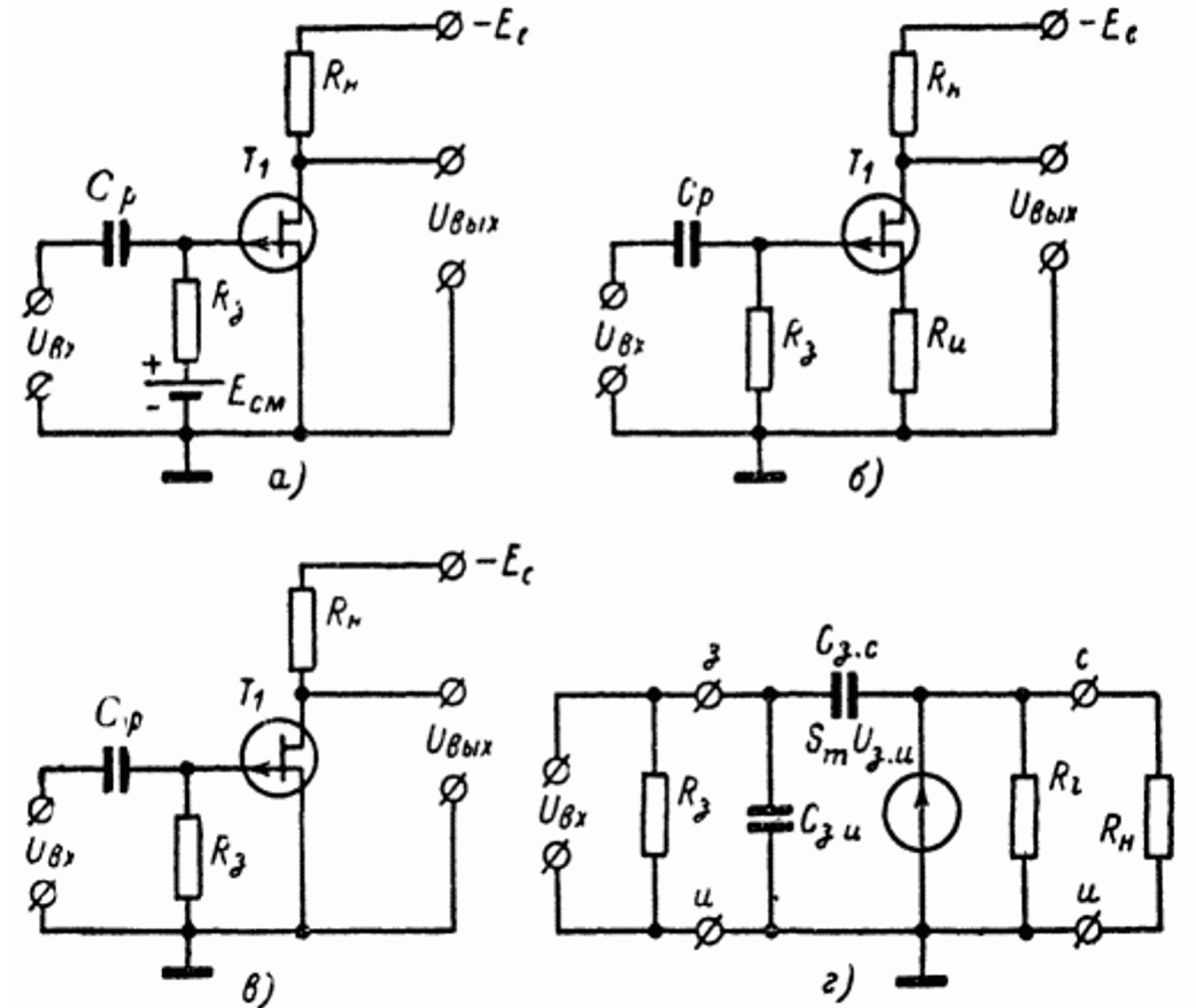


Принцип действия полевого транзистора

Усилитель на полевом транзисторе

Схемотехника аналогична ВТ

Работа в линейной зоне ВАХ



Полезные ссылки

<https://habr.com/ru/post/133136/> подробное описание работы транзистора простым языком

- <https://sesaga.ru/princip-raboty-diody-volt-ampernaya-xarakteristika-proboi-p-n-perexoda.html>
- Борисов В.Г — Юный радиоловитель. 1985г.
- История изобретения транзистора, две части
 - <https://habr.com/ru/post/448238/>
 - <https://habr.com/ru/post/448576/>
- <http://aries.ucsd.edu/najmabadi/CLASS/ECE60L/02-S/NOTES/BJT3.pdf> - схемы биполярных усилителей