

## Лекция 2. Генератор с внешним возбуждением (усилитель мощности) и режимы его работы

*Радиочастотный усилитель мощности (УМ)* представляет собой устройство, в котором мощность постоянного тока, потребляемая от источника питания, преобразуется в мощность радиочастотных (РЧ) колебаний в соответствии с законом изменения во времени входного усиливаемого колебания, поступающего от предыдущего менее мощного каскада.

**Он же** *Генератор с внешним возбуждением (ГВВ)*

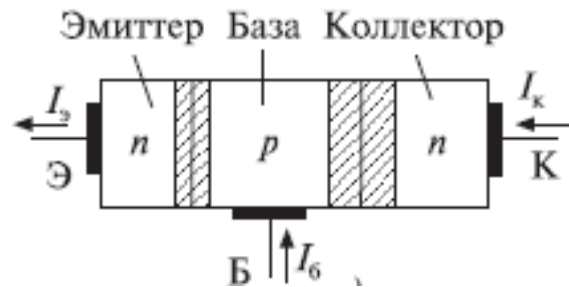
Термин «усилитель» изначально предполагает, что форма колебаний на входе и выходе одинакова, входная и выходная амплитуда пропорциональны, входная и выходная частоты равны. В ГВВ форма входного и выходного колебаний могут существенно различаться (например, при входном гармоническом колебании форма выходного колебания может быть прямоугольной), соотношения между входными и выходными амплитудами могут быть нелинейными, а выходная частота может быть как равна входной, так и превышать ее в 2...4 раза

**УМ реализуются на электровакуумных или полупроводниковых приборах**

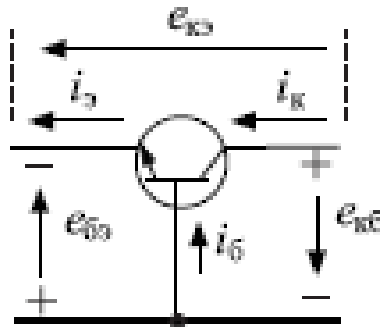
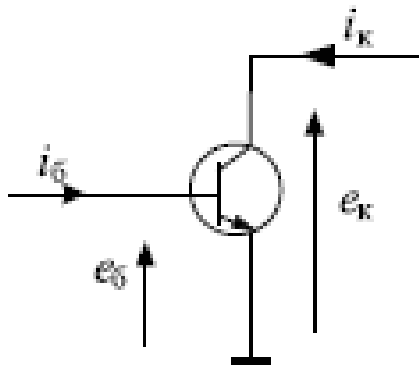
**Обобщённо – ЭП – электронные приборы**

**Для СМС применяются исключительно полупроводниковые приборы**

# Биполярные транзисторы



В УМ используют n-p-n транзисторы с многоэмиттерной структурой (до сотен и тысяч)

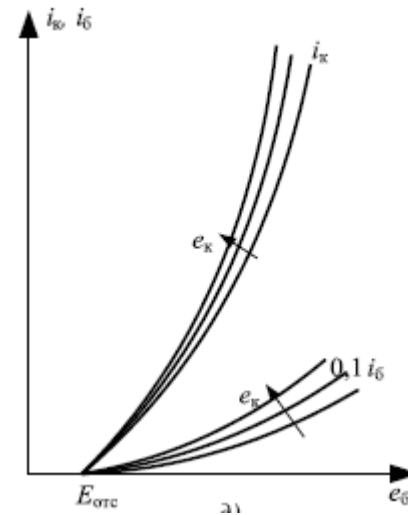
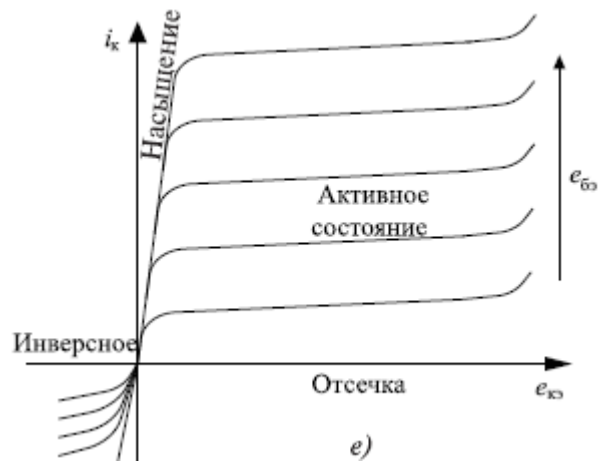


Схемы с ОЭ или ОБ (на частотах близких к граничной). Растёт  $K_p$  из-за +ОС на  $L_6$

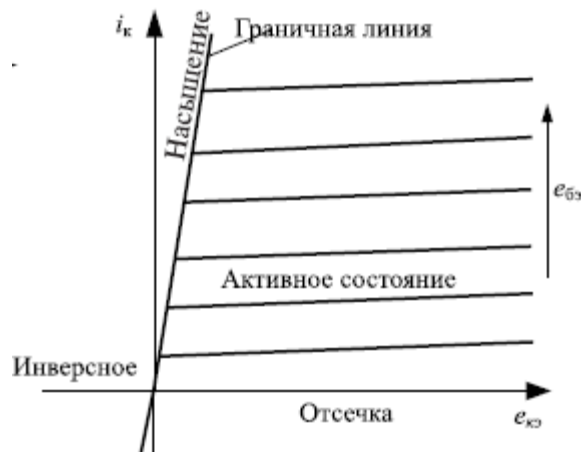
Мощности до 500Вт и выше, граничные частоты – до единиц ГГц,  $t$  – 150°C

# Биполярные транзисторы

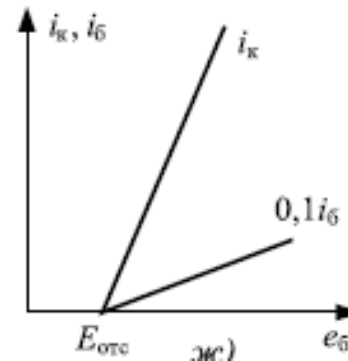
## Статические ВАХ (реальные)



## Выходные



## Входные и проходные



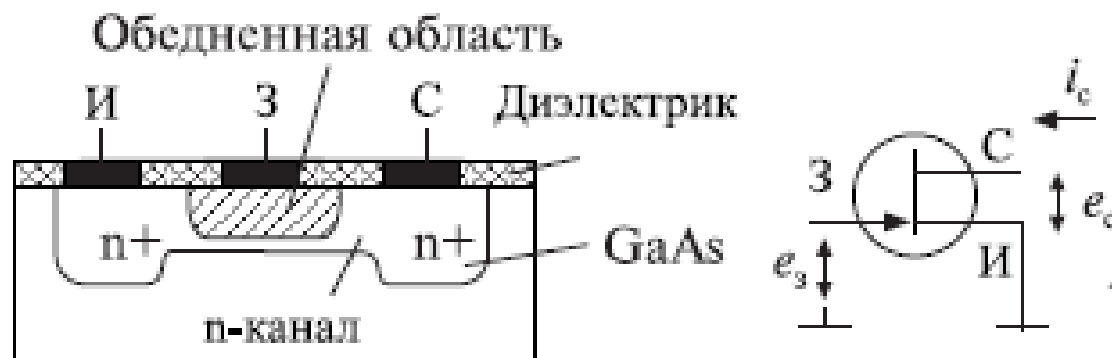
## Статические ВАХ (идеализированные). Кусочно-линейная аппроксимация

$E_{отс} \approx 0,7 \text{ В}$  в схеме с ОЭ  $h_{21э0} = I_{к0}/I_{б0}$ .  $S = \Delta i_K / \Delta e_б$

# Полевые транзисторы

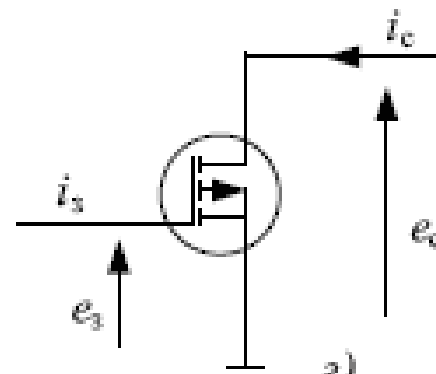
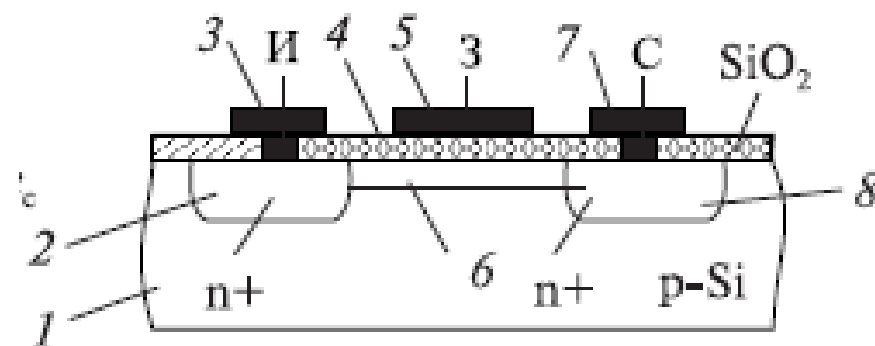
В настоящее время при построении УМ радиопередатчиков практическую значимость имеют полевые транзисторы с барьером Шоттки (ПТШ) и полевые транзисторы структуры металл–диэлектрик (окисел)–полупроводник, обозначаемые аббревиатурами МДП или МОП\*.

Полевые транзисторы с барьером Шоттки с самого начала (с 1970 г.) стали делать на основе арсенида галлия (GaAs)



# Полевые транзисторы

структура МДП (МОП)-транзистора с каналом  $n$ -типа [1.12]. Такой транзистор создается на слаболегированной кремниевой подложке  $p$ -типа. У поверхности подложки 1 методом диффузии донорных примесей или ионного легирования созданы сильно легированные истоковая 2 и стоковая 8 области  $n$ -типа. Расстояние между областями истока и стока называют *длиной канала*  $L$ , которая составляет от десятых долей до нескольких микрометров.



На поверхности полупроводника создается тонкий слой диэлектрика 4 толщиной  $0,05 \dots 0,1$  мкм, в качестве которого обычно используют двуокись кремния  $\text{SiO}_2$  (что и заложено в основу аббревиатур MOS и МОП). На слой диэлектрика нанесен металлический электрод — затвор 5. Металлические слои 3 и 7 образуют выводы истока и стока. В приповерхностный слой 6 толщиной  $\approx 0,1$  мкм методом ионного легирования вводят примесь, тип и концентрация которой определяет тип канала транзистора.

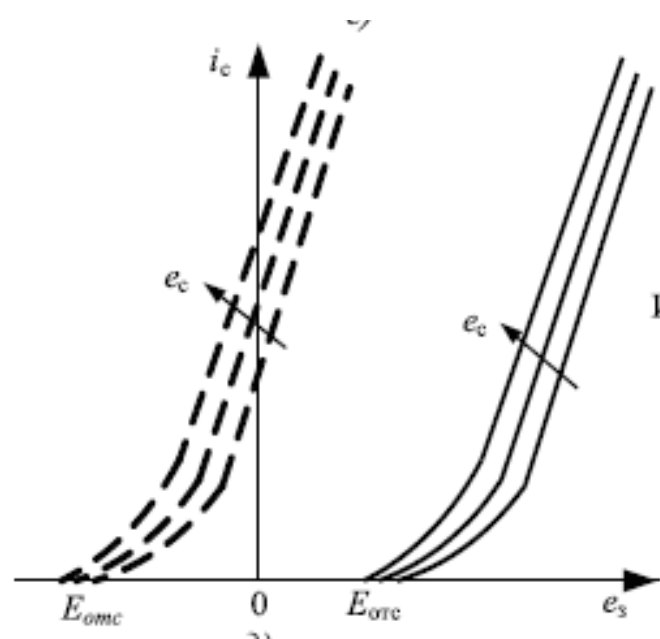
**С индуцированным или  
встроенным каналом**

# Полевые транзисторы

Полевые транзисторы с барьером Шоттки и МДП (МОП)-транзисторы в радиочастотных схемах УМ включают только по схеме с общим истоком (ОИ).

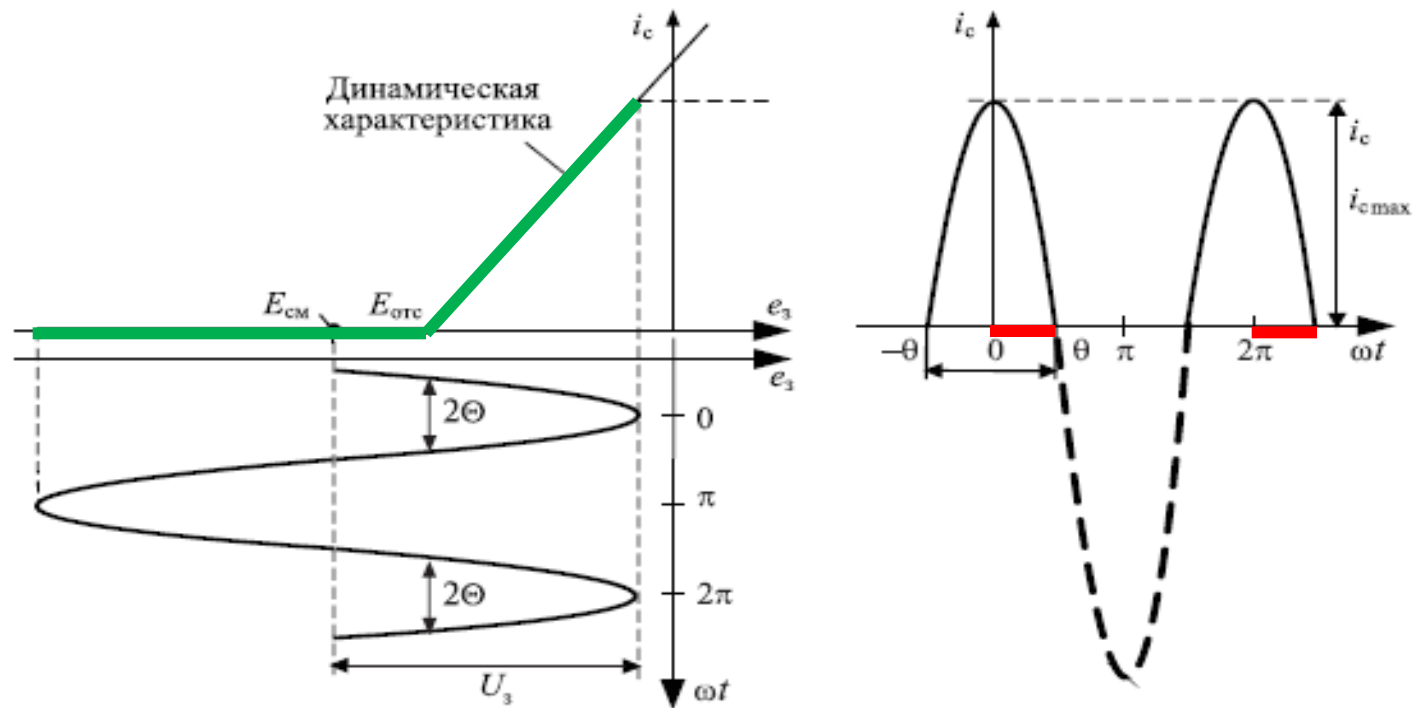
У полевых МДП (МОП)-транзисторов напряжение отсечки тока стока  $E_{отс}$  может быть как положительным, так и отрицательным, а его величина  $E_{отс}$  может составлять от долей до нескольких единиц вольт. Поэтому говорят о «правых» и «левых» проходных статических ВАХ.

подавляющее большинство мощных МДП (МОП)-транзисторов делают (это более технологично) с индуцированным каналом, и у них проходная статическая ВАХ — «правая», напряжение  $E_{отс} \approx 3 \dots 4$  В.



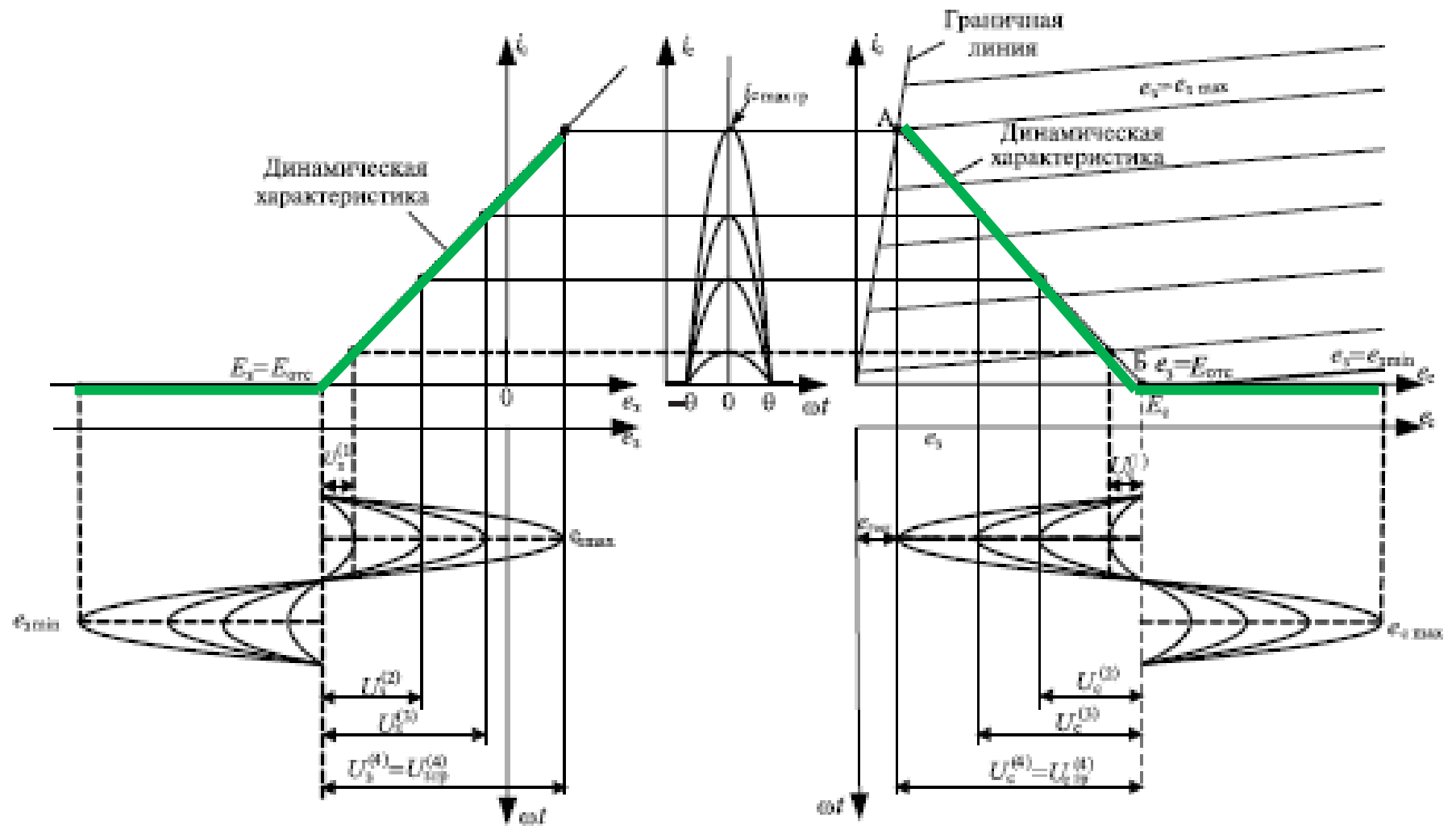
# Динамические характеристики

динамическая характеристика (ДХ) — кривая, отражающая траекторию движения рабочей точки  $i(e)$  в течении периода РЧ колебаний на плоскостях статических входных, проходных или, в первую очередь, выходных  $i_{\text{вых}}(e_{\text{вых}})$  ВАХ.



Длительность этих импульсов принято оценивать *углом отсечки*  $\theta$  в градусах, который характеризует половину «угловой» длительности косинусоидального импульса, который длится от  $-\theta$  до  $+\theta$ . При этом периоду РЧ колебаний  $T$  в радианах  $2\pi$  соответствует  $360^\circ$ .

# Динамические характеристики



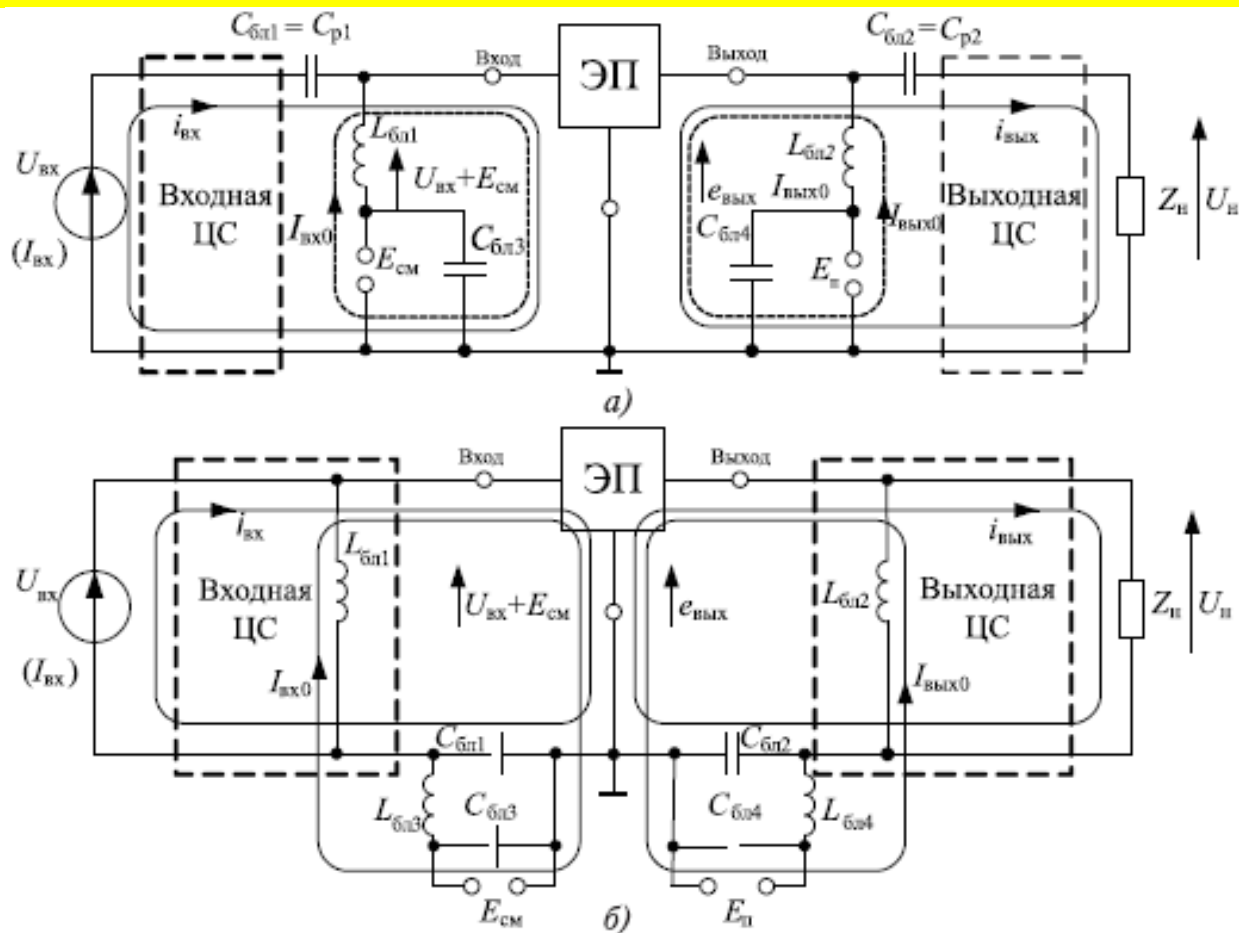


## Классификация режимов работы ЭП по углу отсечки

- класс А, при котором  $\theta = 180^\circ$  соответствует работе ЭП без отсечки тока, когда весь период РЧ колебаний он находится в активном состоянии;
- класс АВ, при котором  $\theta$  может быть в пределах от  $< 180^\circ$  до  $> 90^\circ$ , при этом длительность активного состояния больше, чем длительность закрытого состояния;
- класс В, при котором  $\theta$  точно равна  $90^\circ$  и длительности активного состояния и отсечки точно равны по полпериода РЧ колебаний;
- класс С, при котором  $0 < \theta < 90^\circ$  и длительность активного состояния меньше, чем закрытого состояния.

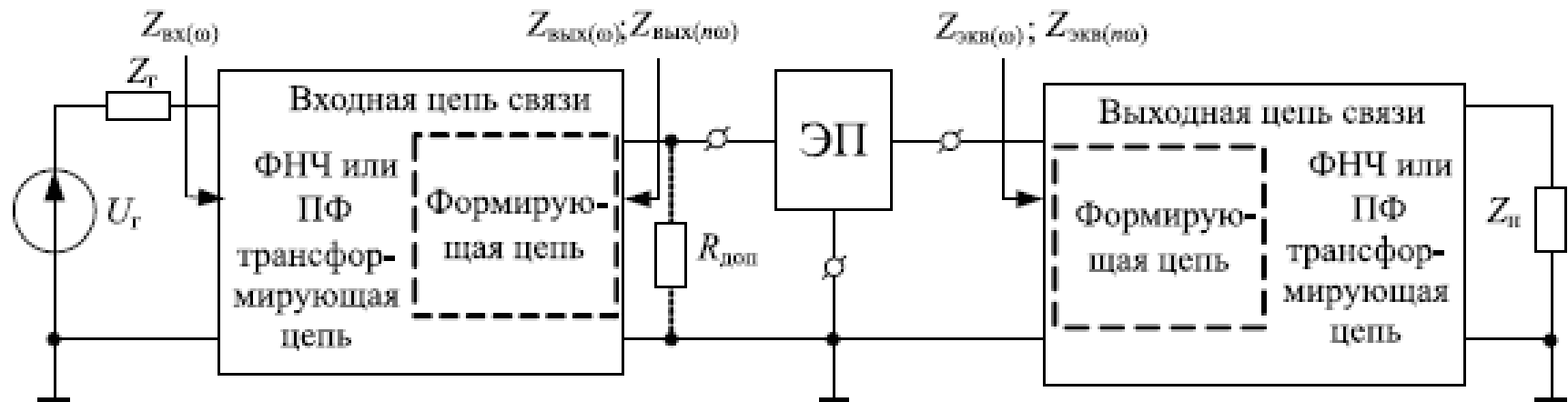
**Ключевые режимы – ЭП находится преимущественно в состоянии отсечки и насыщения. Время в активном состоянии  $\ll T$ . Класс D, E, F и др.**

# Схемы включения ЭП в УМ



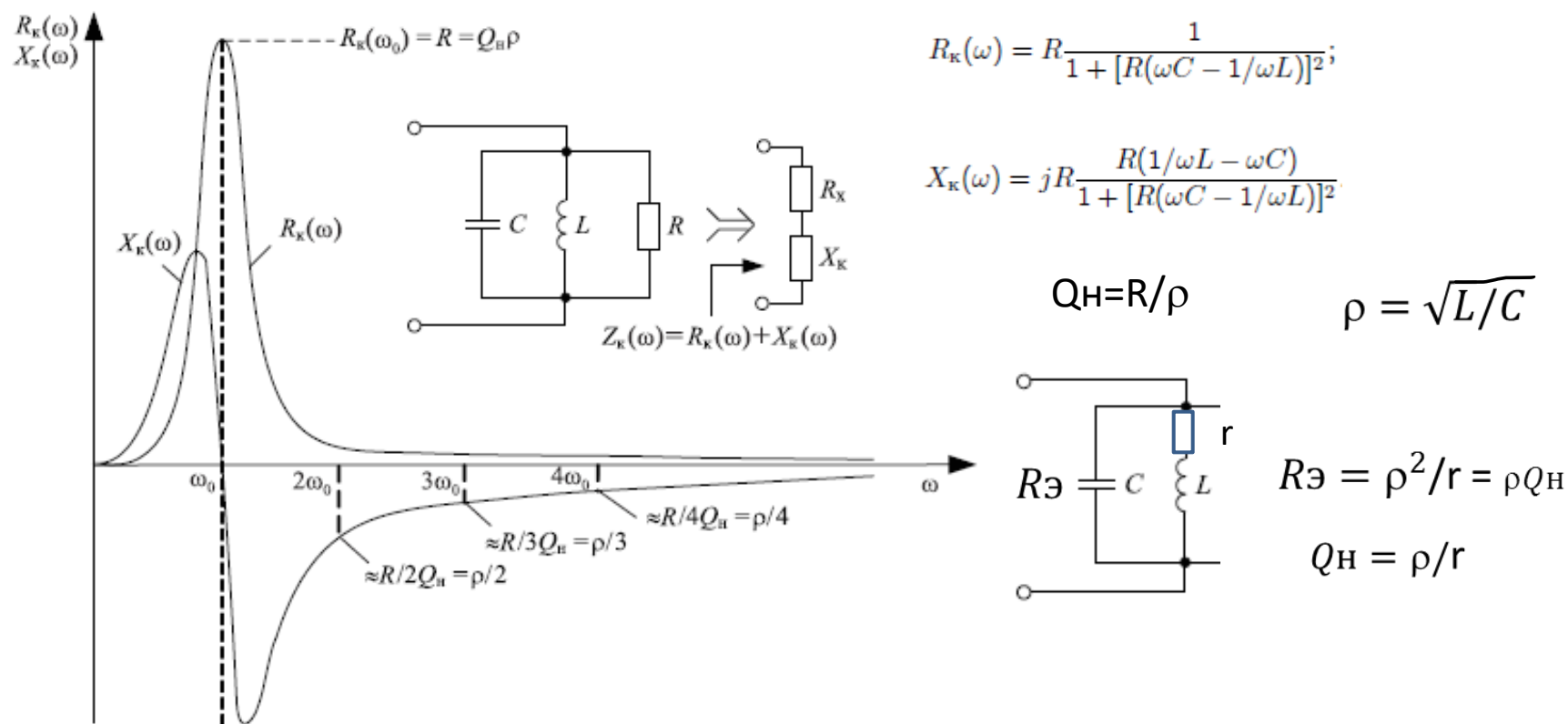
Упрощенные электрические схемы усилителя мощности на трехэлектродном ЭП: *а* — с параллельным подключением источников напряжений смещения и питания; *б* — с последовательным подключением источников напряжений смещения и питания

## Схемы включения ЭП в УМ с согласующими и трансформирующими цепями



### Функциональная схема усилителя мощности

# Колебательный контур - пример согласующей и фильтрующей цепи



трансформация сопротивления нагрузки  $r$  в  $R_{\text{Э}}$  и  
 ослабление гармоник  $n\omega_0$  примерно в  $nQ_H$  раз