



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. БАУМАНА

# Учебное пособие

Курс лекций

**«Электроника и микроэлектроника»**

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. БАУМАНА

Курс лекций

**«Электроника и микроэлектроника»**

Москва  
**МГТУ имени Н.Э. Баумана**

**2012**

УДК 681.3.06(075.8)  
ББК 32.973-018  
И201

Курс лекций «Электроника и микроэлектроника» / Коллектив авторов –  
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 91 с.: ил.

В курсе лекций рассмотрены основные этапы курса «Электроника и микроэлектроника».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

## АННОТАЦИЯ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Электроника и микроэлектроника» понятие диода, транзистора и составление электрических принципиальных схем с их использование, разновидности диодов и транзисторов, их технические параметры, разновидности и способы решения электротехнических задач при отсутствии необходимые электронных радио элементов.

## ANNOTATION

The course of lectures addressed the main themes of the course "Electronics and Microelectronics" concept of the diode, transistor and electrical schematic drawing of their use, types of diodes and transistors, their specifications, varieties and methods of solving electrical problems in the absence of radio neobhodimye electronic elements.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОЭЛЕКТРОНИКА.....	7
1.1 Лекция 1.....	7
1.2 Лекция 2.....	13
1.3 Лекция 3.....	18
1.4 Лекция 4.....	28
1.5 Лекция 5.....	32
1.6 Лекция 6.....	41
1.7 Лекция 7.....	47
1.8 Лекция 8.....	54
1.9 Лекция 9.....	55
1.10 Лекция 10.....	62
1.11 Лекция 11.....	68
1.12 Лекция 12.....	75
1.13 Лекция 13.....	84
ВЫВОДЫ.....	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	91

## ВВЕДЕНИЕ

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Аристов Б. К. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Электроника и микроэлектроника».

1 ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО КУРСУ ЭЛЕКТРОНИКА И  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Лекция №1

(08.09.2007)

"Электроника и микроэлектроника" 70.3а

1. Диоды в ист. кит. Акимов Борис Константинович.
2. 3 схемы выключ. триодов. Экземп.
3. Импульсн. (ключев.) режим раб. 2 КД (40 Билалов)
4. ПТЛД ключи.

Мр в ауу 503.

лит.-ра:

1. Анагий Н.Ф. Буркин, Туров "Аналог и цифр электроника"
2. Раменко "Трубовод приборы и основы самолета"
3. Забродин "Транз. электр."
4. Ровко "А-п диоды и схемы однополупериод."

Электроника - раздел эл. техн. изуч. устр. основ. на криво-  
э-кого тока в вакууме, газе тв.т.

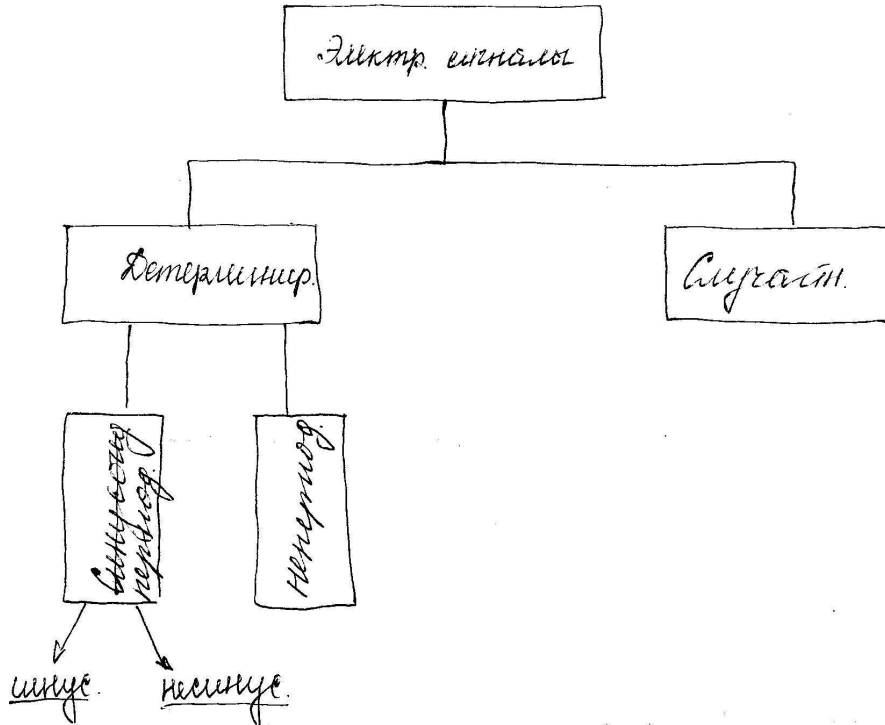
Классиф. эл.

- 1) Аналоговые.
- 2) Дискретные.
- 3) Интегральные.

Этапы развития электр.

- 1895г. - перед. инф. без провод.
- 1906г. - вакуумн. метод
- 1947г. - Транзистор
- 1952г. - Интегр. микросхема
- 1997г. - Intel CPU р2  $750 \times 10^4$  транзист. П/л 0,35 мкм

# Классификация сигналов.



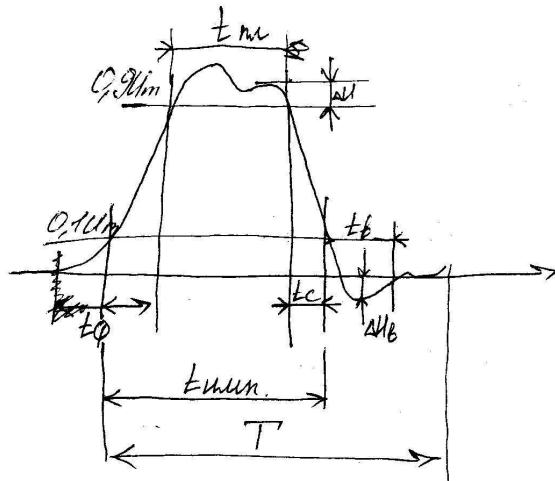
Синусоид:  $u(t) = U_m \sin(\omega t + \Psi);$   
 $i(t) = I_m \sin(\omega t + \Psi);$

## Характ. числ. сигнала.

- 1) Форма числ.
- 2) Амплитуда числ.  $U_m$
- 3) Фронт числ.
- 4) Длит. импульс.  $t_u$
- 5) Длит. спад.  $t_c$
- 6) Длит. поск. части сигнала  $t_m$

7) Время обр. выбр.  $t_b$

8) Коэффициент  $Q = \frac{T}{T_{имп.}}$

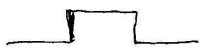


Ал - вел. спада верш. числ. (амплитуда)



## Несинусоид. ситт.

1) Трэм. ситт.



2) Трэнсизинг.



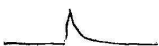
3) Трөгүлэйн. ситт.



4) Тилсөөбр.



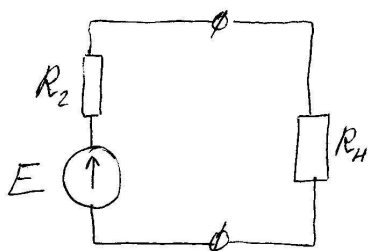
5) Экспон.



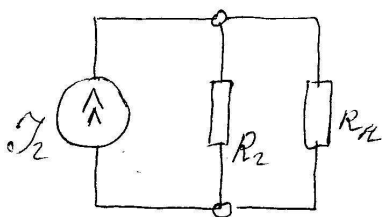
6) Килокалообр.



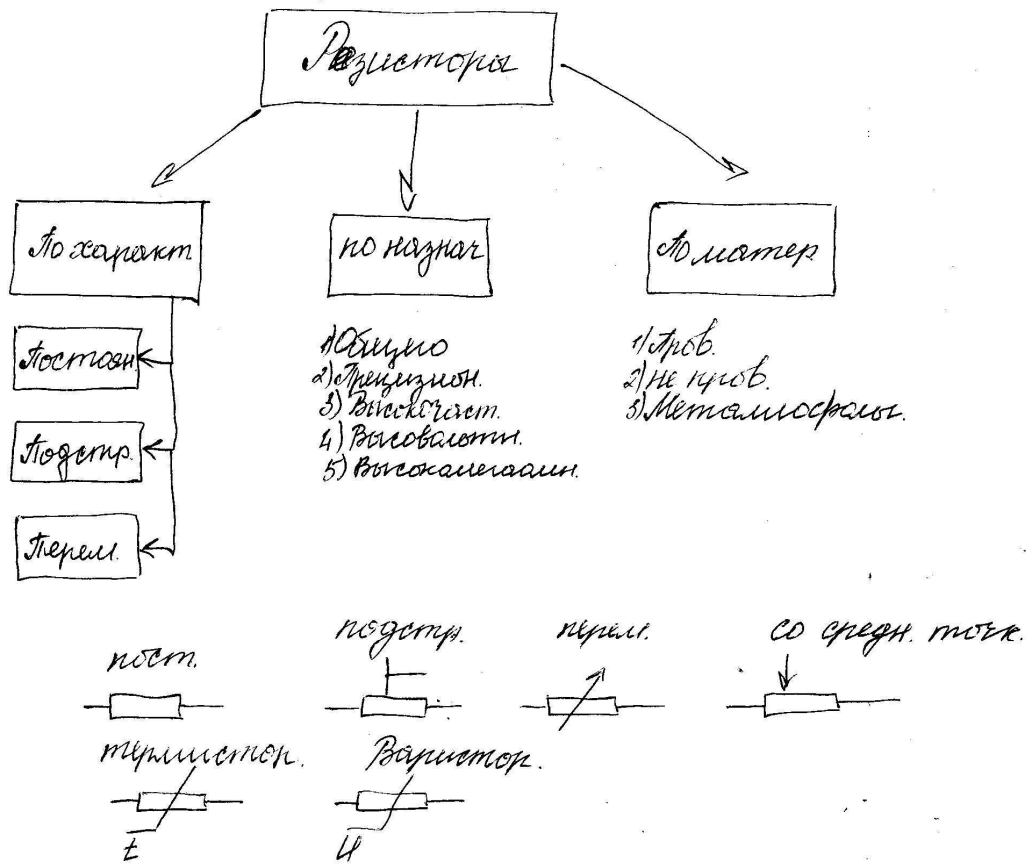
7) С черед полярн



$$P_{\max R_2} \rightarrow R_2 = R_H$$



# Резисторы.



## Свойств. и-ры:

- 1) Номинал. сопротив. ГОСТ 2825-07
- 2) Отклон. сопр. от ном. вел.
- 3) Номинал. макс. рассеив.  $0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0;$
- 4) Тригг. напр. напряж.
- 5) Темпер. коэф. отклон. (ТТКС) - изм. сопротив. на  $1^\circ\text{C}$
- 6) Уровень собствен. шумов
- 7) Макс. температур. стр. среды
- 8) Влажность и термостойк.

Тепловые шумы:

$$P_{th} = 4kT\Delta f$$

$k = \text{const}$  Больцмана  $k = 1,38 \times 10^{-23}$

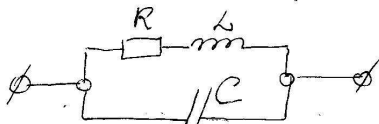
$T$  - абсолютная температура.

$\Delta f$  полоса частот, в кот. изм. шум.

Действ. значения напряж. шумов:

$$P_{th} = \frac{U_m^2}{R} \rightarrow U_m = \sqrt{4kT\Delta fR}$$

Эквив. схема резист.

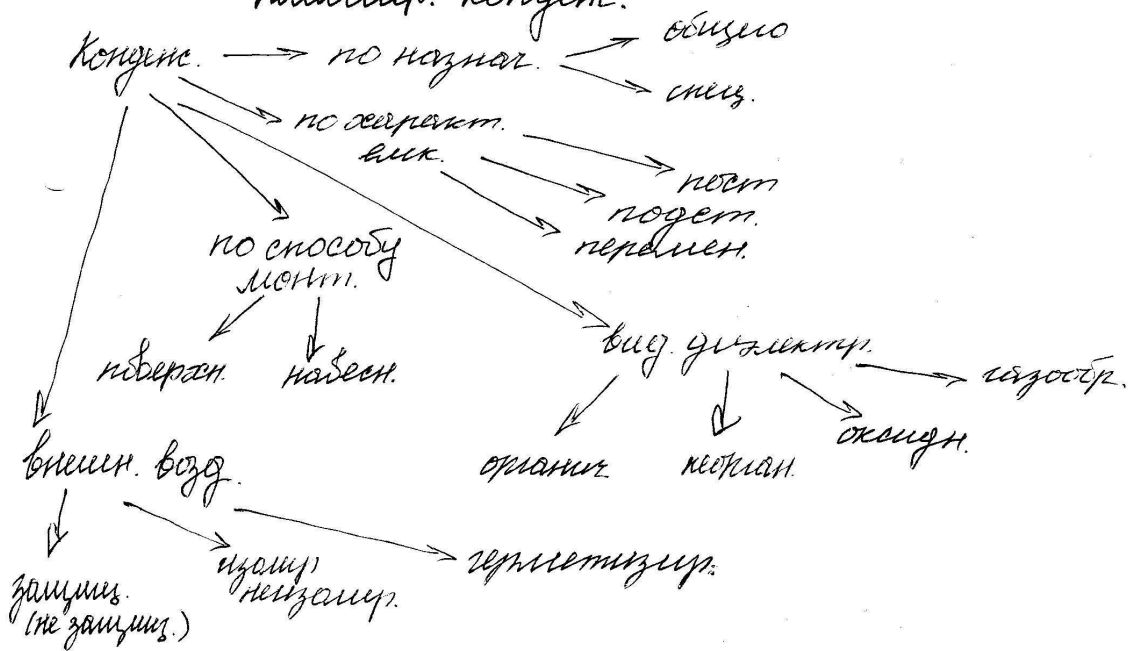


$L$  - индукт. выводов

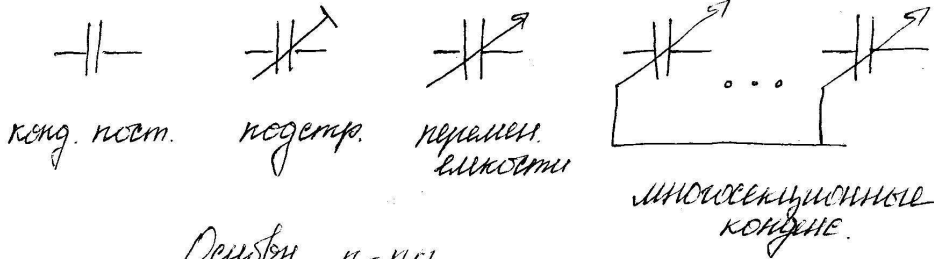
$C$  - емкость между выводов.

$L$  и  $C$  учит. на высоких частотах.

Классиф. конденс.



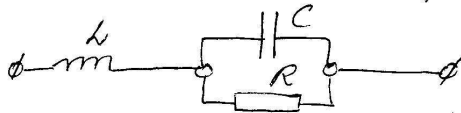
УС конденст.



Основн. п-ры

- 1) емкость (номинал)
  - 2) Допустимое отклон. емк. от ном.
  - 3)  $\tan \alpha$ ,  $\alpha$  - угол потерь
  - 4) Ток утечки (для электролит. конденст. 1 ~ 1000 мкФ)
  - 5) Сопротив. изоляции
  - 6) ТКЕ
  - 7) Максимальное напряжение
- Электр. конт. поляризов.

Экв. схема конт.

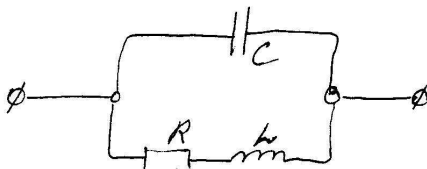


L - инд. выводов

R - омическое сопротив. швел. конт.

C - емкость конт.

Экв. схема инд.



L - инд. катушки

R - сопротив. катушки

C - емкость между вывод.

6

Рег В24

(отклон. от номинала 5%)

10	30	82	Номинал резисторов (конденсаторов) $\times 10^k$
11	33	91	
12	36		
13	39		
15	43		
16	47		
18	51		
20	56		
22	62		
24	68		
27	75		

Лекция №2

(15.09.2007)

### Полупроводники.

Классификация:

- 1) По физическим
- 2) По электрическим
- 3) По конструкт.-технологич.
- 4) По полупроводниковому материалу.

### П/п диоды

П/п прибор с одним электр. переходом и 2-мя выводами.  
Проводит ток в 1 направлении.

Область с меньш. наибольш. концентрацией примесей назыв. эмиттер, область с меньш. - база

$$P_p > n_n$$

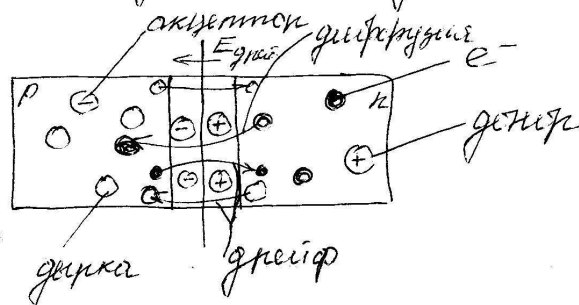
$P_p$  - обознач. дырок в p-обл.,  $n_n$  - конц. дырок в n-обл.  
Федерен носит заряд, преоблад. в p/n наз. своб. П.е.

Носит заряд, которое навод в меньш. кат-ве,  
наз. несвоб.

Средняя скорость движения носителей зарядов в поле един. напряж. поле повышена.

~~Красная точка в поле, в поле диффузии ток~~

Электр.-донорн. переход



На гран. p-n перехода имеет место скачок измен. конц. прили и принос. диффуз.  $e \rightarrow$  рола а дир в n, созду  $I_{дифф.}$

Если  $\oplus$  иет. подк. к обл. n, а  $\ominus$  к n, то будет протекать электр. ток и такое включение будет наз. прямым, при обр. обратн. вклюе

### Разновидности

1) Выпрямит.

- Выпрям.
- Выпрям. стабы
- Диодн. сборки
- Мостов. схемь

2) Диоды СВЧ: подк. к антенам, проводу, плавк. мнью

3) Туннельные диоды (с участк. отриц. сопротив.)

4) Стабилитроны

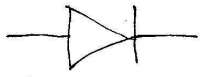
5) Варикапы (емкость p-n перехода сильно зависит от прилож. напр.)

- Тодетр.
- Иостресска.

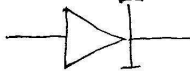
6) Излучат. (Видим. и инфракрасн.).

7) Фотоприемники.

УГО



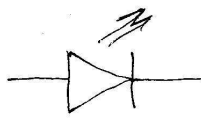
выпрям.



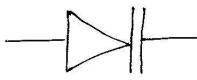
туннельн.



стаб. выпр.



СИД

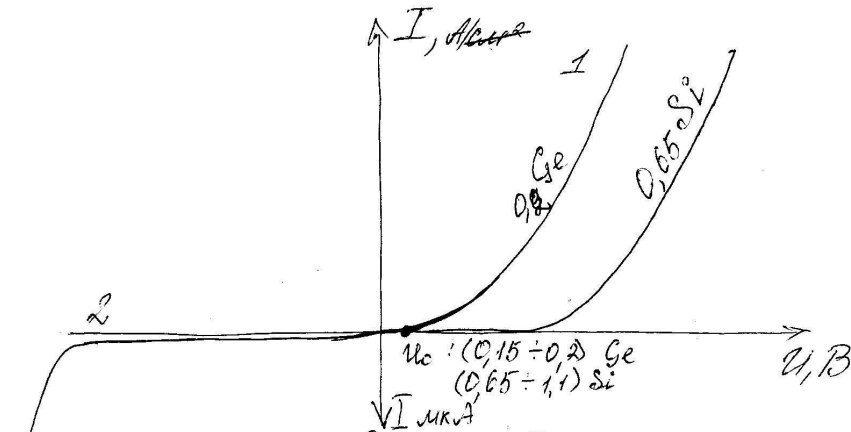


варикап.



фотодиод

ВАХ



$$I = I_0 \exp\left[\frac{qU}{kT} - 1\right]$$

где  $I$  - ток диода

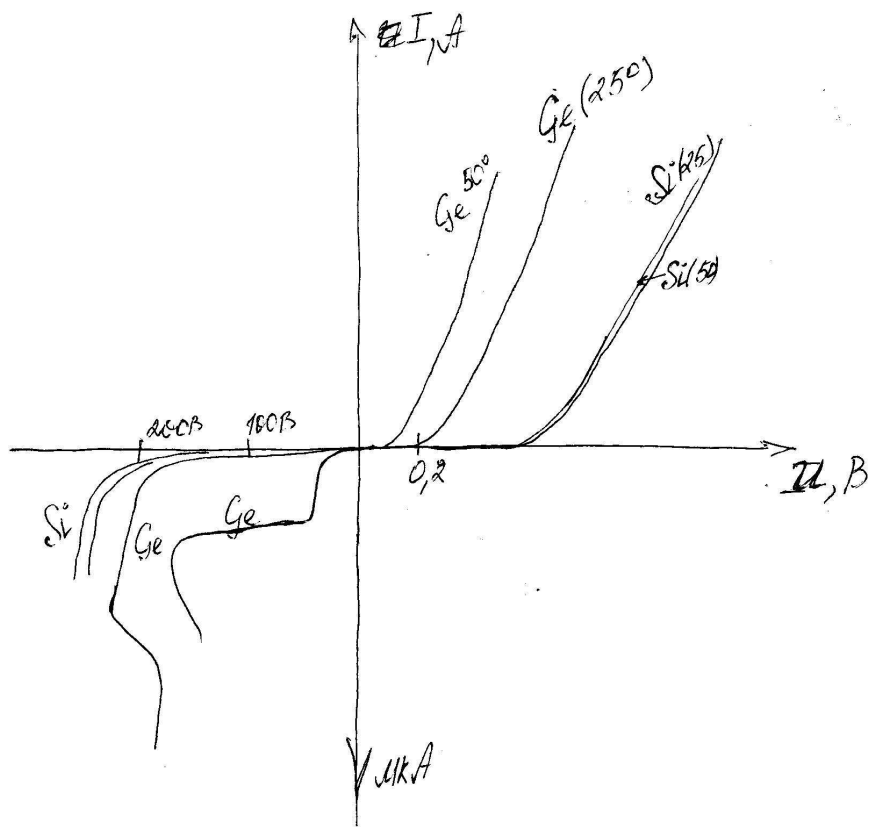
$U$  - напр. на  $p-n$  переходе

$\varphi$  - темп. потенциал  $\frac{kT}{q}$ ,  $\varphi = 0,025 В$

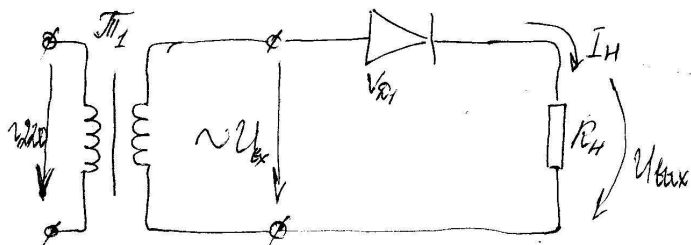
$I_0$  - ток насыщ.

$I_0$ : Ge  $\rightarrow 10^{-6}$

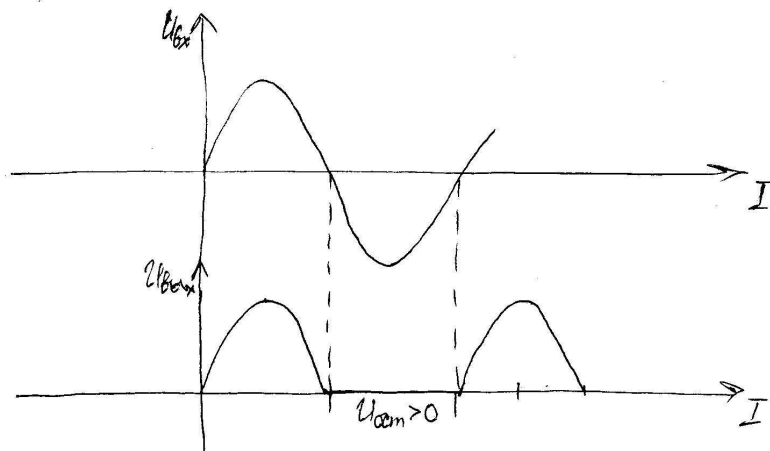
Si  $\rightarrow 10^{-12} \sim 10^{-14}$



Вспрямитель



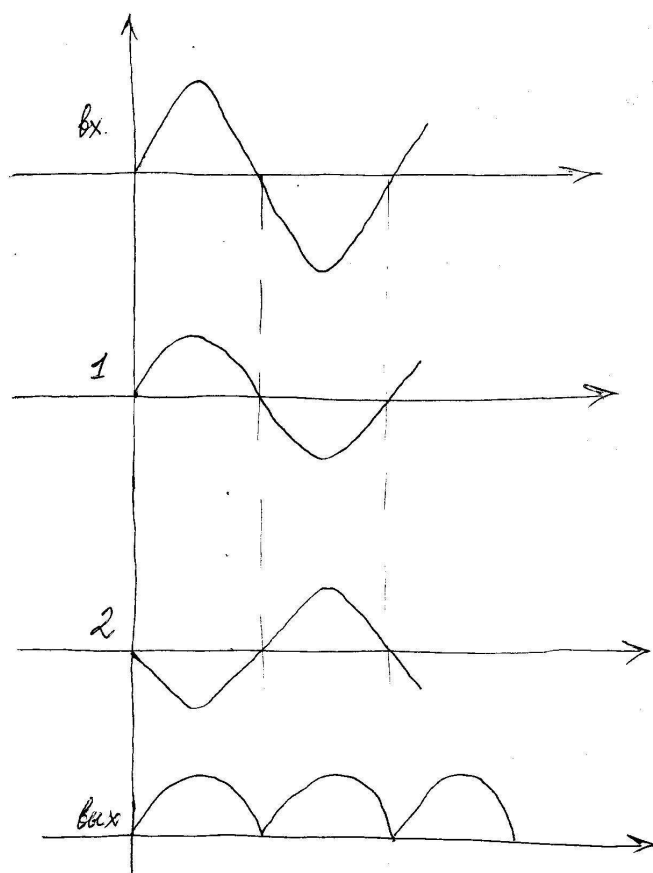
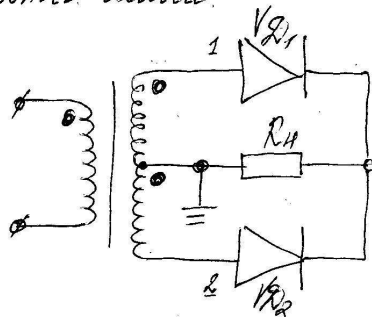
Односторонний  
вспрямитель





2а н/н выпр.:

- 1) Отправды. со средн. точкой
- 2) Момент сема.



### Источники питания РА.

- 1) Первичные источники (аккумуляторы, батареи)
- 2) Вторичные — преобр. энергии первичного источника.
  - устр. преобр. энергии — наз. выпрямител.
  - устр. преобраз. в перем. — инвертер.
  - Выпрямит — однофазн, трехфазные.
  - $< 10 \text{ Вт}$  — маломощн.
  - $< 200 \text{ Вт}$  до  $1 \text{ кВт}$  — средн.
  - $> 1 \text{ кВт}$  — большая.

### Источники питания электронных устройств (ОСТ № 336.919-81)

- I.
- Г или 1 — германиевый
  - К или 2 — кремниевый
  - А или 3 — свод. диоды
  - И или 4 — индий.
- II.
- Д — диоды германиев.
  - Т — транзист.
  - И — индий-диод
  - А — СВЧ
  - Ц — выпрямитель
  - В — варикап
  - С — стабилизатор, стабилизатор (суперинит)
  - Т — терм. диод

### III. Опред. функц. возм. диода (транзист.)

- 1 — для выпрям. диод  $I_{\text{max}} = 0,3 \text{ А}$ ;
- 2 —  $I_{\text{max}} \in [0,3; 10] \text{ А}$ ;
- 3 — Машинно, термис-диод

4 — для выпр. с вращ. вост. ~~150~~ 500 нс и более

5 — 30..150 нс 150..500 нс

- 6 - 30..150 нс
- 7 - 5..30 нс
- 8 - 1..5 нс
- 9 - имеет вид с эффектом времен. задержки нессн.  
носит задержка менее 1 нс

Подкласс И - туннельный диод:

- 1) - усилит. туннельный.
- 2) - инверт. туннельный.
- 3) - переключае. туннельный диод.
- 4) - обратенных. туннельный.

Подкласс А - СВЧ диоды:

- 1) диоды.
- 2) диоды.

Подкласс К - выпрямлит. столбы и блоки:

- 1) - 0..0,3 А столбы в повт. и средн. зн. (высокие выходы)
- 2) - 0,3..10 А ————— || ————— (Анод → кремн. сетка)
- 3) - 0..0,3 А блоки в повт. и средн. зн.
- 4) - 0,3..10 А ————— || —————

Подкласс В - варикапы:

- 1) для построения.
- 2) частоты.

Подкласс С - стабилитроны:

- 1)  $P \leq 0,3 \text{ Вт}$  и  $U \leq 10 \text{ В}$
- 2)  $P \leq 0,3 \text{ Вт}$  и  $U = 10 \text{ В}..100 \text{ В}$
- 3)  $P \leq 0,3 \text{ Вт}$  и  $U > 100 \text{ В}$
- 4)  $P = 0,3..5 \text{ Вт}$ ,  $U < 10 \text{ В}$
- 5)  $P = 0,3..5 \text{ Вт}$ ,  $U = 10..100 \text{ В}$

Логичнее  $T$  - интер. дисод:

IV Число обзвн. порядк. номер.  $z$  разраб.

V Обзвн. массифр. дисода по параметрам,  
для бескорпусных приборов в состав обзвн. <sup>снимая</sup> ~~обзвн.~~  
дисод. через дырку в вод. цифра.

1 - икше вод. без крест. дырка.

2 - з.в. с крест. дырка.

$\Phi$  буква  $P$  после последи. элемента обзвн. дис. СВЗ  
дисода с нарн. подбери.

### Общие св-ва дисод

1) Итатив - опио. работу на пост теке.

2) Финанлиз - характер. частотн. - время св-ва.

3) Триумфо - экстремаль. параметра приборов  
отред. область надтн. и уст. работ.

Разлик. общие параметра дисод:

характ. все  $n$  / проб. дисод. и специальн. парам.  
дисод характ. только стод. дисод.

Общие:

1) Рассид. мощн.

$P_{пр}$  - мощн. впрям.

$P_{обр}$  - мощн. вобр.

$P_{ср}$  - средняя

$P_{шип}$  - импульсное

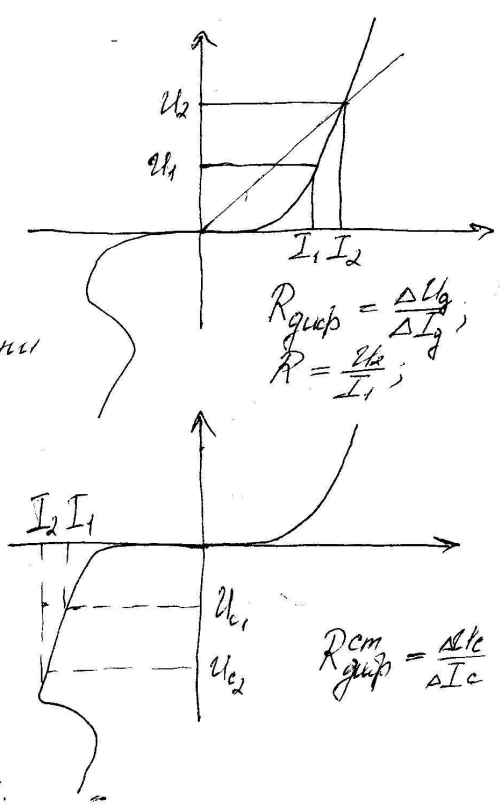
- $U_{пр}$  - пред. предл. напряжение.
- $U_{пр.и}$  - наибольш. предл. сминувшен. напряжение.
- $U_{обр}$  - пост. обратное напряжение.
- $U_{пр.ср}$  - средн. предл. напр.
- $U_{пр.об}$  - пробивное напряжение.
- $I_{пр}$  - постоян. предл. ток.
- $I_{пр.и}$  - наиб. предл. ток
- $I_{пр.ср}$  - средн. предл. ток.
- $I_{обр}$ ,  $I_{обр.и}$  - обратн. и обратн. смин.

- $C_k$  - общ. емкость
- $C_{пр}$  - емк. перехода
- $C_{конт}$  - емк. контура.
- $R_{диф}$  - дифф. сопр.
- $R$  - послед. сопр. петля.
- $\tau_{диф}$  = эф. время жизни носч. носит. зар.
- $k_v$  - инт. вывод.
- $\tau_{дф} \approx \frac{1}{\beta \omega_p}$

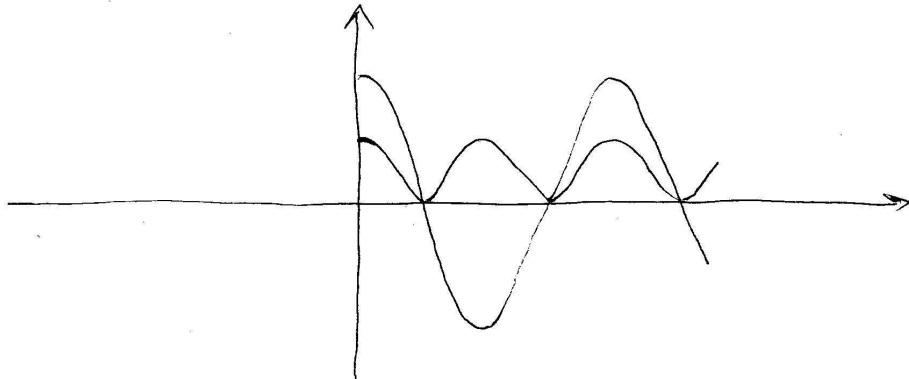
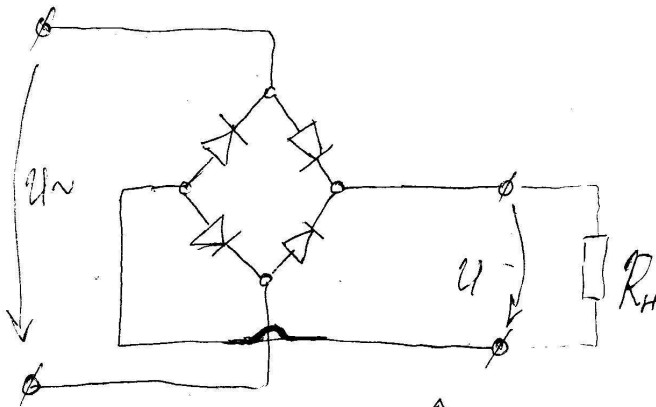
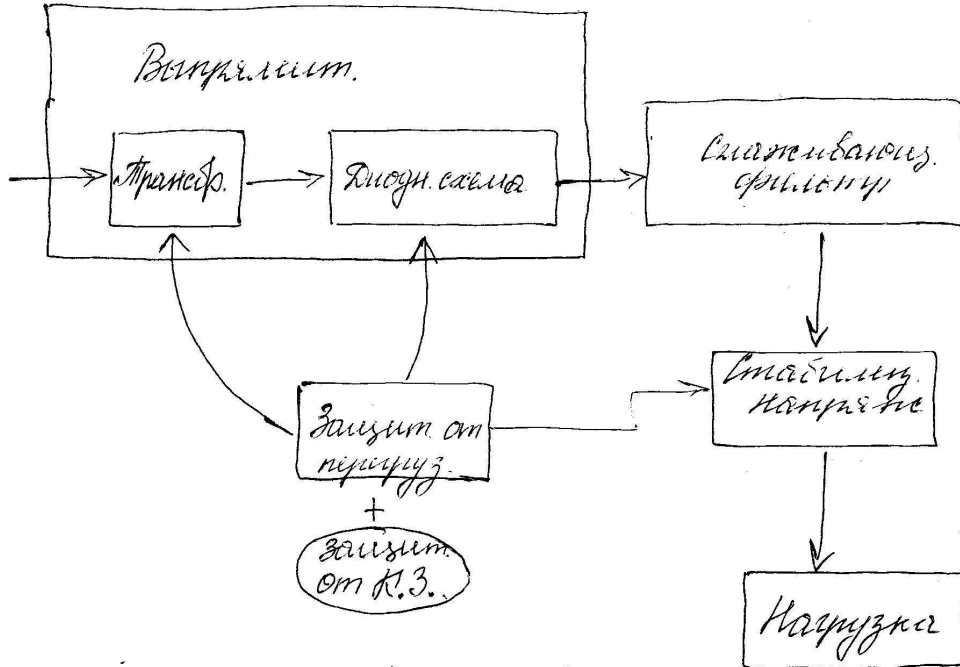
$Q_{ин}$  - накопл. заряд  
 электр. и дырок в базе,  
 при протек предл. тока.

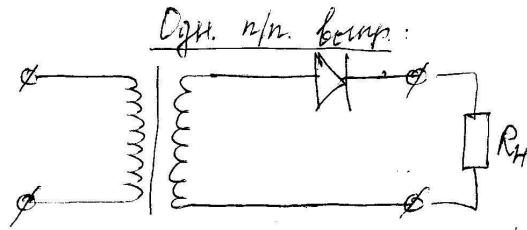
$Q_{вс}$  - накопл. заряд вытк.  
 во внеш. цепи

$I_{вс.обр}$  - время обратн. вост. Время переключ.



Структура цепи блока питания





Средн. знач. напр. на  $R_n$ :

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} U_{\text{вх}} dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} U_{\text{max}} \sin(\omega t) dt =$$

$$= -\frac{U_{\text{max}}}{T\omega} \cos(\omega t) \Big|_0^{\frac{T}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{\text{вх}};$$

$$I_{\text{ср}} = 0,318 I_{\text{max}};$$

$$I_{\text{н.г}} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin^2(\omega t) dt} = 0,5 I_{\text{max}};$$

Коэф. выпрямления:

$$K_n = \frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{\frac{1}{\pi} U_{\text{вх}}}{\frac{1}{\sqrt{2}} U_{\text{вх}}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \approx 0,45$$

$$K_n = \frac{U_{\text{н.г}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{0,5 I_{\text{max}}}{\frac{1}{\sqrt{2}} I_{\text{max}}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,707$$

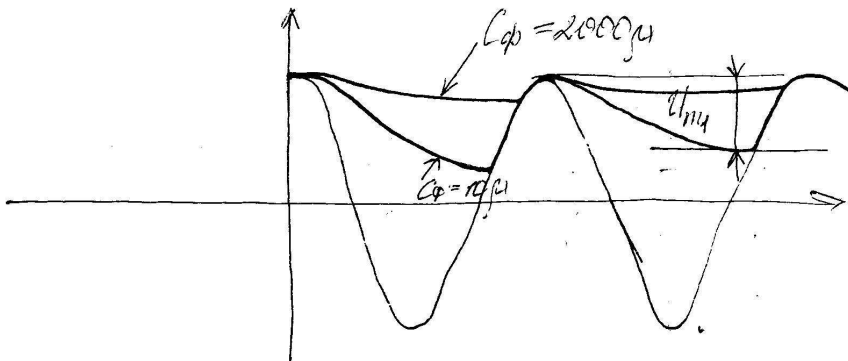
$U_{\text{н.г}}$  - средн. выпрям. напряжение

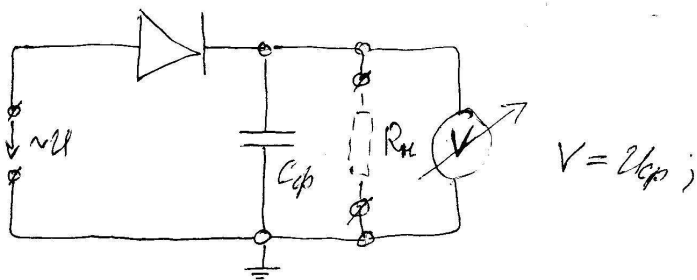
Х.н/н. выпрям.

$$U_{\text{н.ср}} = \frac{2 U_{\text{вх}}}{\pi} = 2 \sqrt{2} \frac{U_{\text{вх}}}{\pi} = 0,637 U_{\text{вх}}$$

$$I_{\text{н.ср}} = \frac{2 I_{\text{вх}}}{\pi} = 2 \sqrt{2} \frac{I_{\text{вх}}}{\pi} = 0,637 I_{\text{вх}}$$

$$K_n = 0,637$$





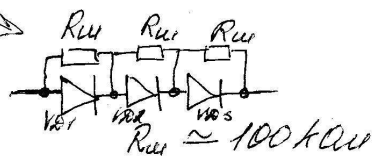
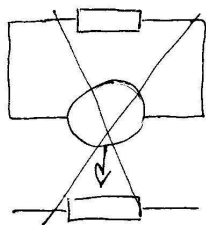
$$K_1 = \frac{U_{m1}}{2 U_{cp}} ; K_1 = 0,3$$

$$K_2 = \frac{U_{m1}}{2 U_{cp}} = \frac{12}{139,6} = 0,086$$

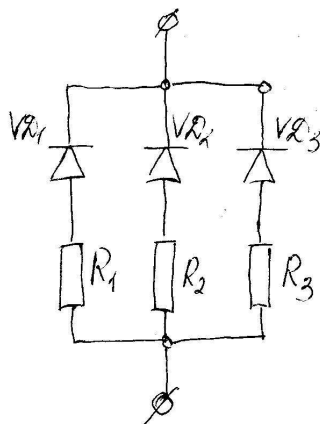
AC - открытый вентиль;  
AC - закрытый вентиль;

ВАХ магнитного

Транз. вентилей.



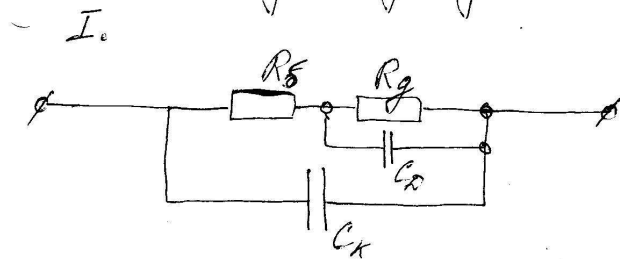
Трёхфазное включение:



$$R_{1,2,3} \approx 0,1 \dots 10 \text{ Ом}$$

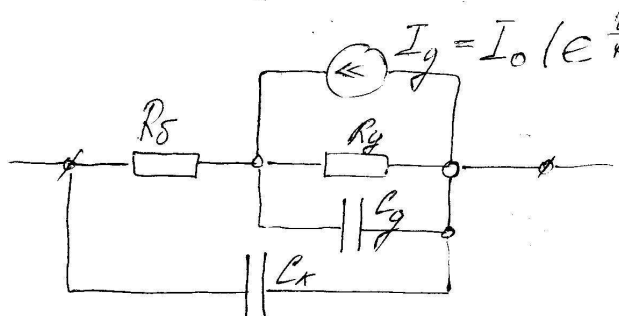


Модель гледа



$C_x$  - емк. корпуса,  
 $C_g$  - емк. перехода,  
 $R_5$  - сопротив. биполя

II.

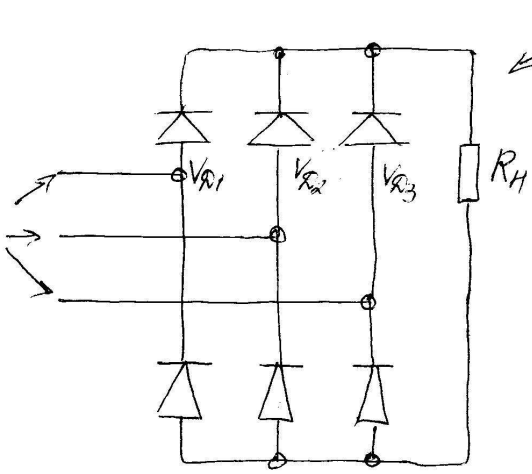


$I_y = I_o (e^{\frac{U_g}{R_m}} - 1)$   
 $I_o = 10^{-6}$  (Ампл)  
 $I_o = 10^{-14}$  (Кулон)  
 $\psi_m = 0,025$  В

Фильтры

$K_H \approx \frac{1}{2m \cdot C_F R_H}$  ;  $f$  - част.;  
 $R_H = E_{act} \Rightarrow R_H = R_{min}$  ;  $m$  - число фаз (1, 2)  
 $C_F$  - емк. фильтра  
 $R_H$  - сопр. нагрузки

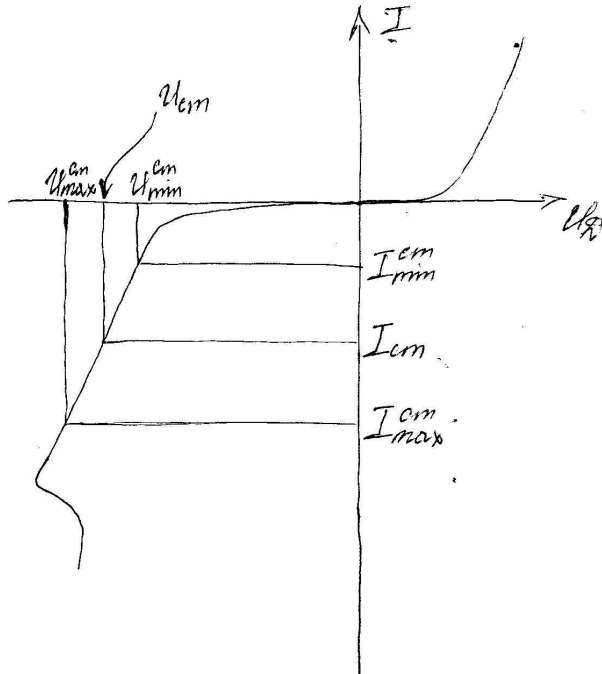
3-х фазн. выпрям.



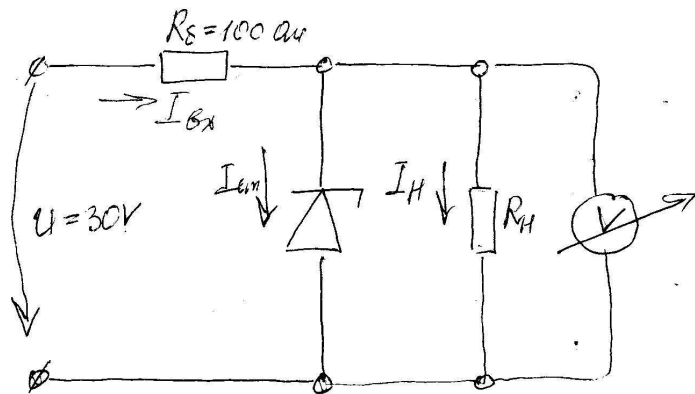
← Схема Ларионовца

$U_{RH} = 2U \cdot \sin(\omega t + \varphi)$   
 $K_H = 0,24$

# ВАХ стабилизатора



- //— генерат. напр. упр. ток*ам*
- //— напр упр напр
- //— тока упр напр.
- //— тока упр ток*ам*



$$I_{Lx} = I_H + I_{cm};$$

$$U_{RS} = \frac{(I_H + I_{cm}) R_S}{R_S}$$

$$I_{cm} = \frac{U_{Lx} - U_H}{R_S} - \frac{U_H}{R_S}$$

$$R_S = \frac{U_{Bmin} - U_H}{I_{cmmin} + \frac{U_H}{R_{Hmin}}}$$

$$R_S = \frac{U_{RS}}{I_S} = \frac{U_{Lx} - U_H}{I_{cm} + I_H} = \frac{U_{Bmin} - U_H}{I_{cmmin} + I_H}$$

$$P_{cm,max} = U_{cm} I_{cm,max}$$

$$P_{RS} = \frac{(U_{max} - U_{cm})^2}{R_S}$$

$$K_{cm} = \left( \frac{\Delta U_{Lx}}{U_{Lx}} \right) / \left( \frac{\Delta U_H}{U_H} \right)$$

$$\Delta U = U_{max} - U_{min}$$

$U$  - номинал.

$$R_{Lx} \approx Z_g; \quad Z_g - \text{гудф. сопр. эмб.}$$

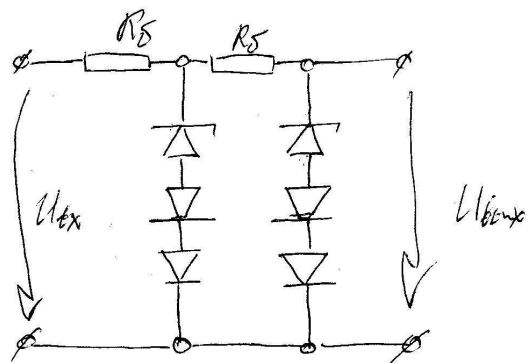
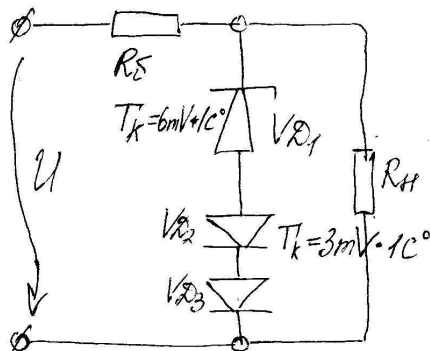
$$K_{cm} \approx 20 \div 50;$$

$$\Delta U_H = \frac{\Delta U_{Lx} (Z_g // R_H)}{R_S + (Z_g // R_H)}$$

$$R_H \gg Z_g \quad R_S \gg Z_g;$$

$$\Delta U_H = \frac{\Delta U_{Lx} Z_g}{R_S};$$

$$K_{cm} = \frac{U_H}{U_{Lx}} = \frac{R_S}{Z_g};$$

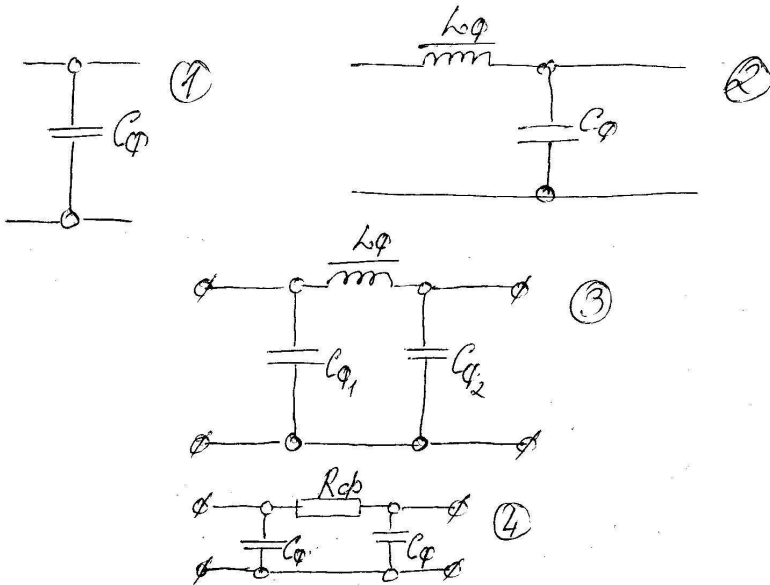


Нужнее RSTR.

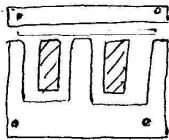
$$P < 10 \text{ Вт};$$

Максимум изм. ток, изм. опорной напряжения.

Омкомп



$$K_{em} = \frac{K_{\text{ex}}}{K_{\text{вх}}}$$



— Аккумулятор NH —

29.09.2007

$$U_{\text{вх}}^{\text{max}} = 2,5 \text{ В} \quad U_{\text{вх}}^{\text{min}} = 2,0 \text{ В} \quad I_{\text{H}}^{\text{max}} = 50 \text{ мА}; \quad I_{\text{H}}^{\text{min}} = 5 \text{ мА}$$

$R_S; P_{RS}; K_{em}; R_{\text{вх}}; P_{em} = ?$

$$R_S = \frac{U_{RS}}{I_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{ex}} - U_{\text{RH}}}{I_{\text{em}}^{\text{min}} + I_{\text{RH}}^{\text{max}}} = \frac{U_{\text{ex}} - U_{\text{RH}}}{I_{\text{em}}^{\text{min}} + \frac{U_{\text{RH}}}{R_{\text{H}}}}$$

$$I_{\text{em}} \approx 9 \quad R_S = \frac{2,0 - 1,2}{5 + 50} = \frac{0,8}{55} = 145,5 \text{ Ом}$$

E24 150 Ом

$$P_{RS} = 167 \text{ мВт} \quad P = 0,25 \text{ Вт}$$

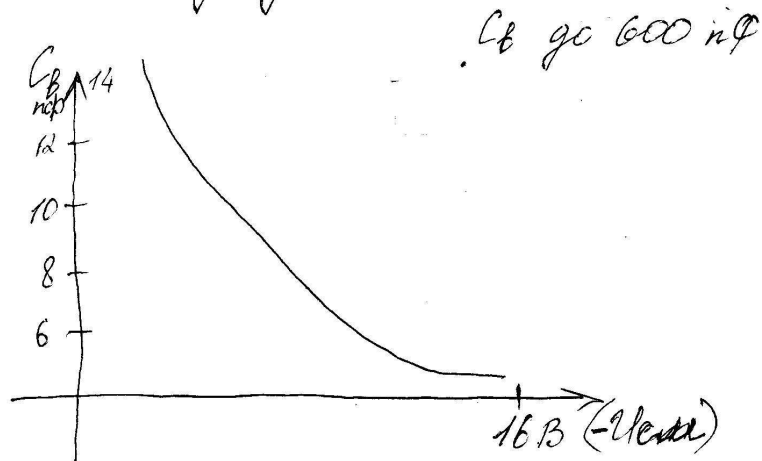
$$P_{RS} = 1,12 \text{ Вт}$$

$$K = \frac{5}{22,5} \cdot \frac{0,07}{6,6} = 20$$

22

## Варикап

Работает на обратной ветви, ёмкость меняется в некот. предел. при подаче напряжения на диод.



Параметры:

Качество  $Q$ : Отнош. реакт. сопротив. при опред. частоте к оло потерям.

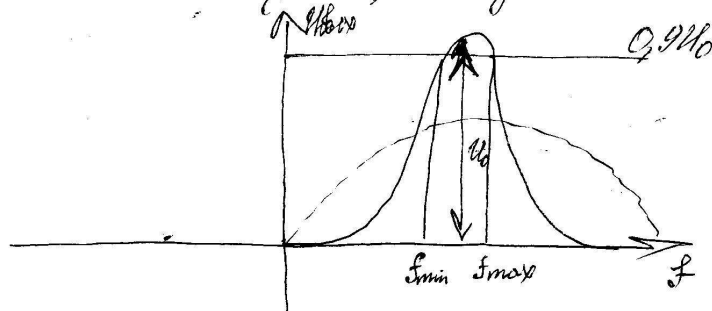
ТКЕ (тем. коэф. ёмкости): Отн изм. ёмкости к изм. темпер.

(тем. коэф. добротн.)  $\alpha_Q = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$ ;

$f_{пред}$  - предельн. значение частоты.

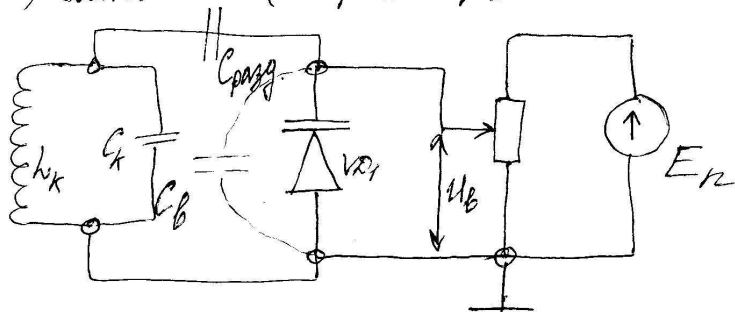
$k_c$  - коэф. перекрыт.  $k_c = \frac{C_{max}}{C_{min}}$ ;

$C_{max}$ ,  $C_{min}$  - макс. знач., мин. знач. ёмкости.



$$Q = \frac{f_0}{f_{max} - f_{min}}$$

- 1) Подстроечный
- 2) Умножит. (варежтор)



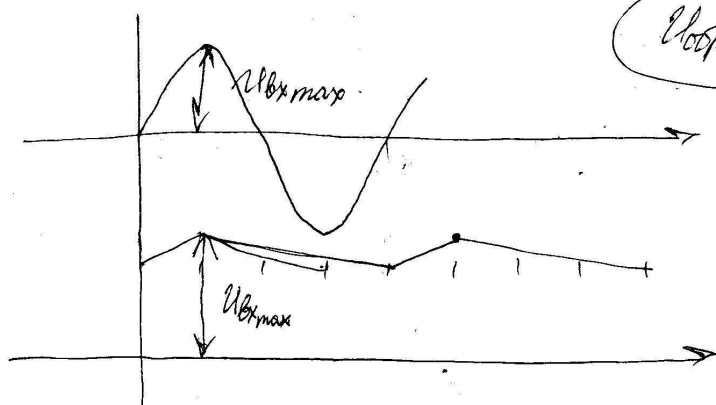
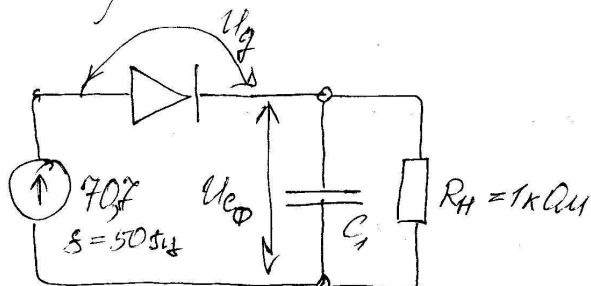
$$S_{разг} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} ;$$

$$C = C_k + C_B + (C_{разг})$$

Однополупериодное выпрямление.

Определение обратного пробивного напряжения.

$$C_{об} = C_1 = 1000 \mu F$$

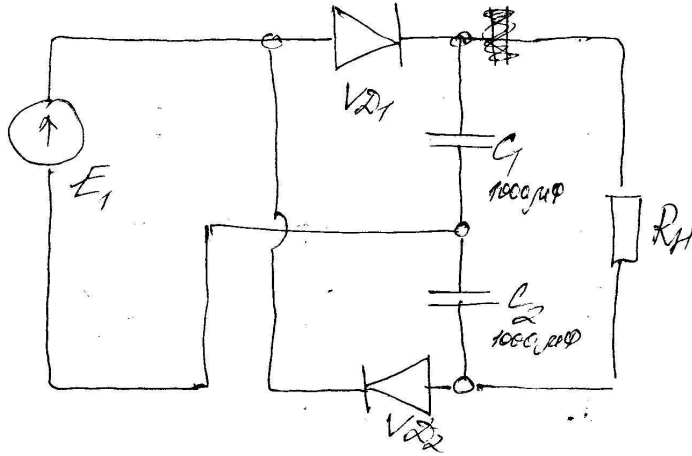


$$U_{обпроб} = 2 U_{вх max}$$

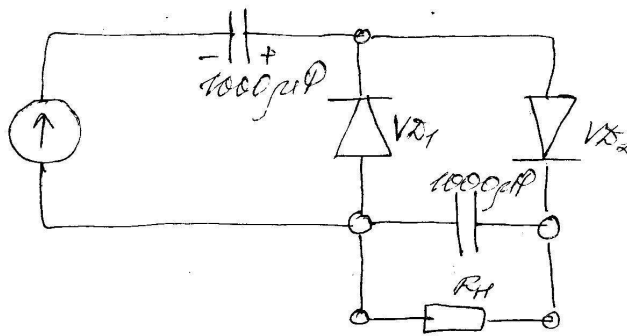
$$\sqrt{2} = 1,41$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

Симметр. урбоит. напняте (метурел.)

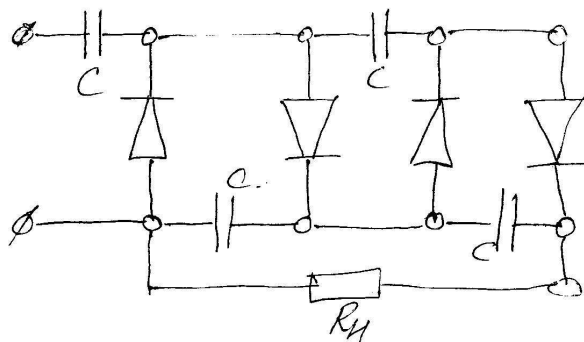


Несимметр. схема урбоит. накр.

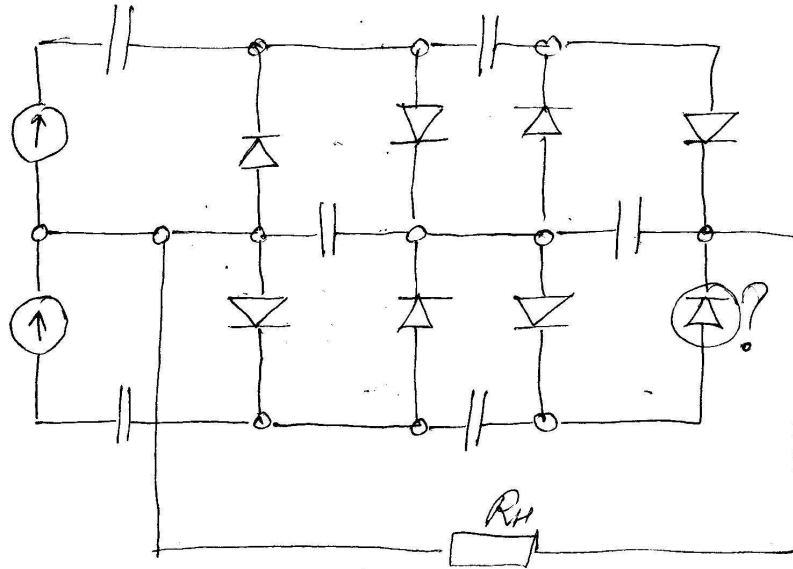


На диоде  $V_{1\pm}$  урб. напняте

n - збенной (4)  $n < 10$



$C = 1000 \mu F$



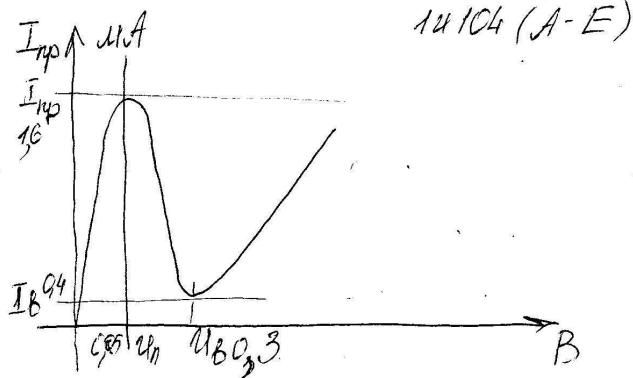
повыш. коэф. пульс.; повысим  $R_n$  (выскальная нагр.)

Лекция №5

06.10.07

Пунный диод.

Назад. диод при диод на осн.  $p^+-n^+$  перех. с сильноток. обл.





ВАХ имеет участок с отриц. сопротивл.:

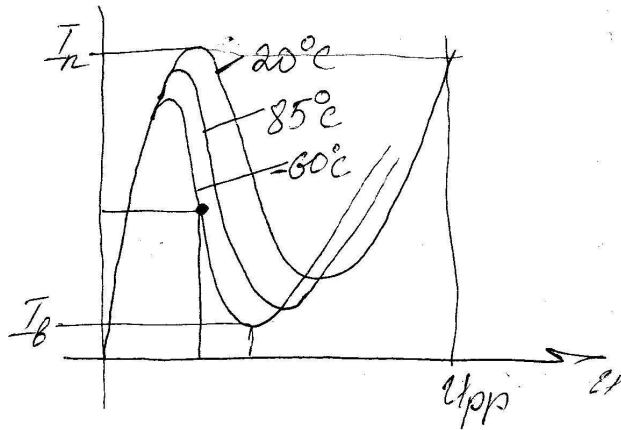
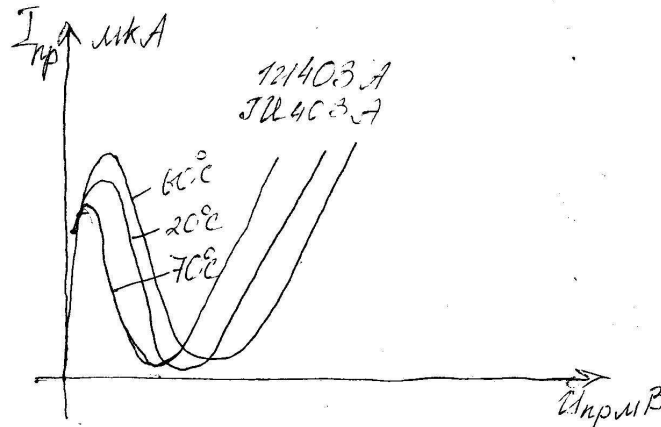
- Фазы:

1. Усилит.

2. Генер. (выбир. диод с мин. ур. отри. сопротивл.)

3. Переключ. (участ. отри. сопротивл. был как можно меньше)

ТТД могут работ. при высоких температ. 400°C



Лавинный ток  $I_n$ ; - Знач. предл. тока в точке максим. ВАХ, при кот. диод. акт. пров. = 0.

Ток впадин  $I_B$

Напр. насыщения  $U_{пр}$

Отнош. токов  $\frac{I_n}{I_B}$

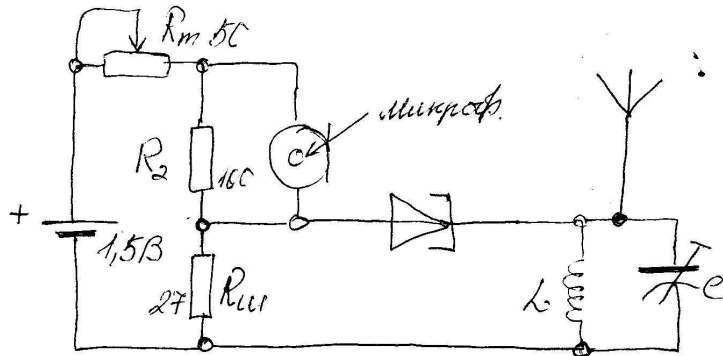
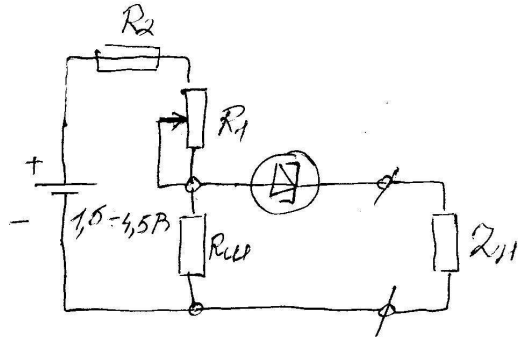
Отриц. пров.  $g$  (на скрещ. ур.)

Напряж. пика  $U_n$

Предельн. полезн. частот.  $f$

Напр. впадин.

(знач. частот, на кот. акт. соот. обратн. в 0)



### Светодиод

Лазуров. светоусл. прибор. Сл. непосред. преобр. электр. энергию в энергию некогерент. излуч.

- 1) в видим. части спектра
- 2) ИК-диоды

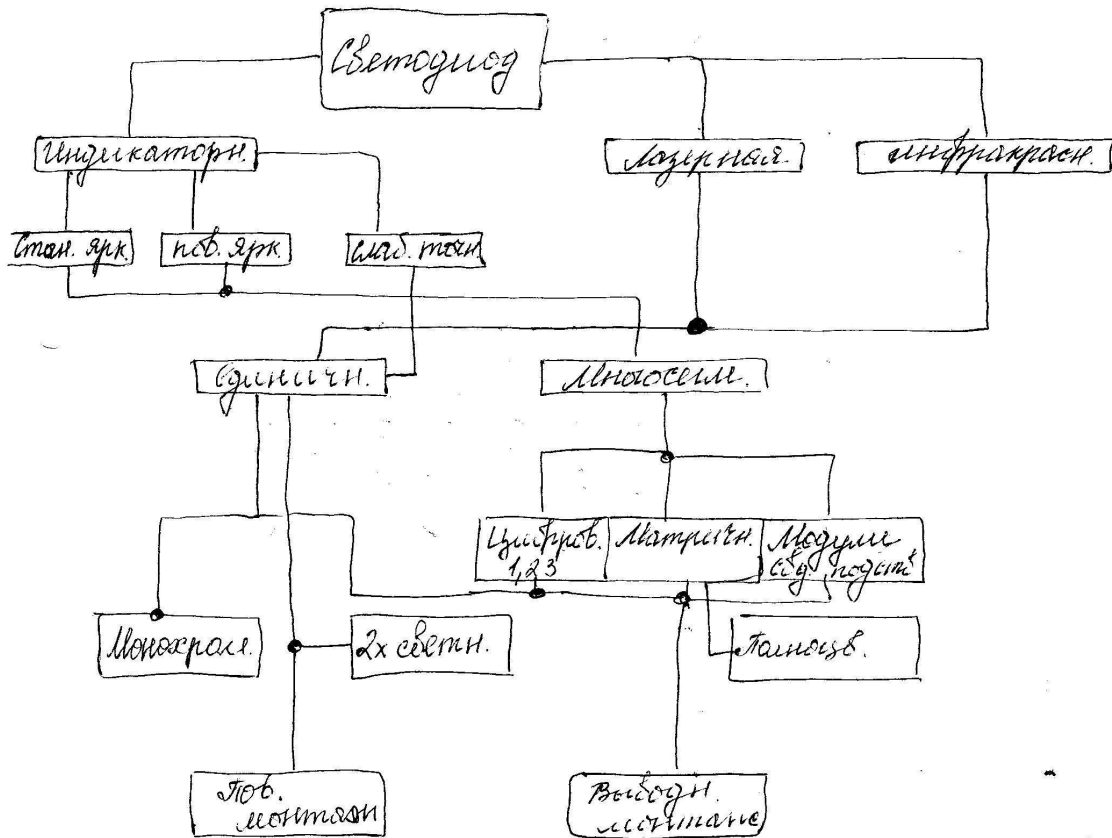
В заб. от назн:

- 1) Иазур
- 2) Индик.

≠

По способу излуч:

- 1) Излучение светового диода с несп. излуч.
- 2) Диоды с антиотраж. мультифракц.



Параметры светодиода

Яркость:  $L_0$  : Вт.  $[ \frac{кв}{м^2} ]$   $\frac{\text{Сила света}}{\text{метр кв.}}$

Сила света  $I$ ;

Мощн. излуч.  $P$ ;

Максимальн. спектр. раск.  $\lambda$

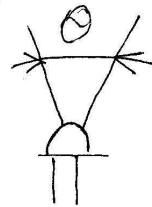
Время нараст. излуч.  $t_{нар}$ .

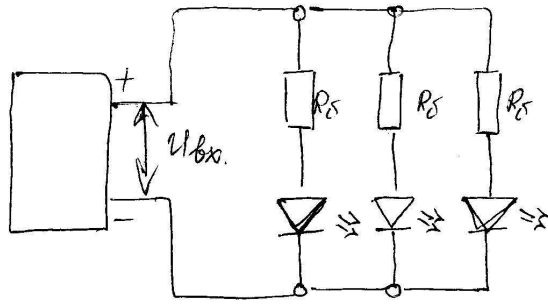
Время спада излуч.  $t_{спад}$ .

Угол раскрытия диод. напр.  $\theta$ ;

$$\eta_p = \frac{P_{фот.}}{P_{эл.}}$$

$$\eta = \frac{\text{светов. поток}}{\text{потенциальн. свет. отдача}}$$

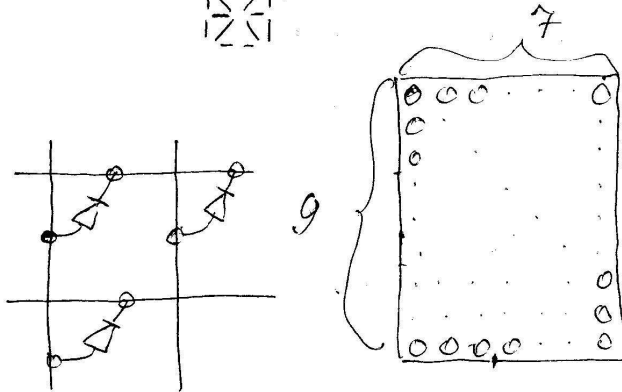
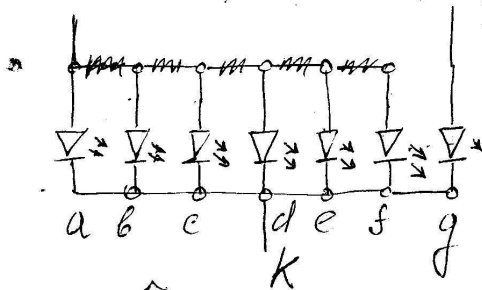




$$R_c = \frac{U_{вх} - U_{г}}{I_{г}}$$

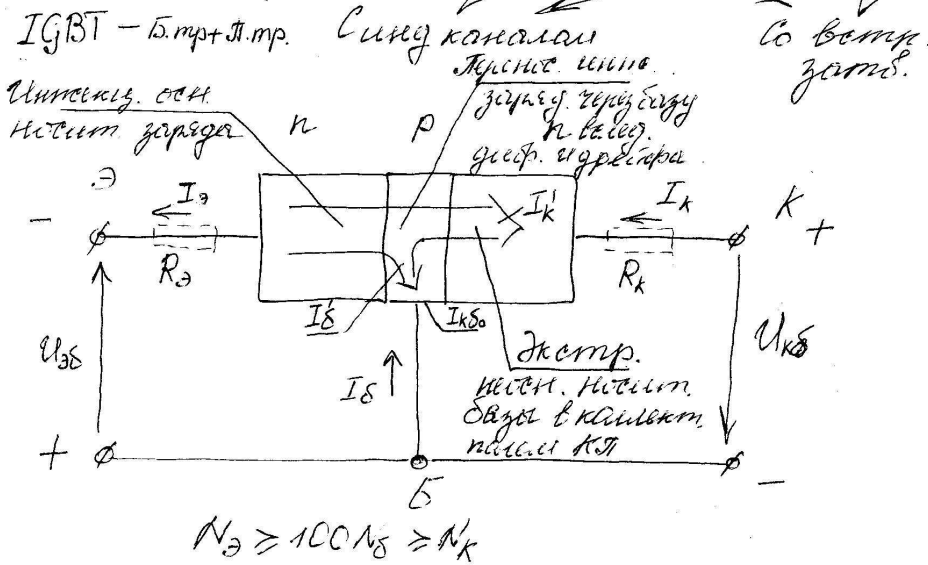
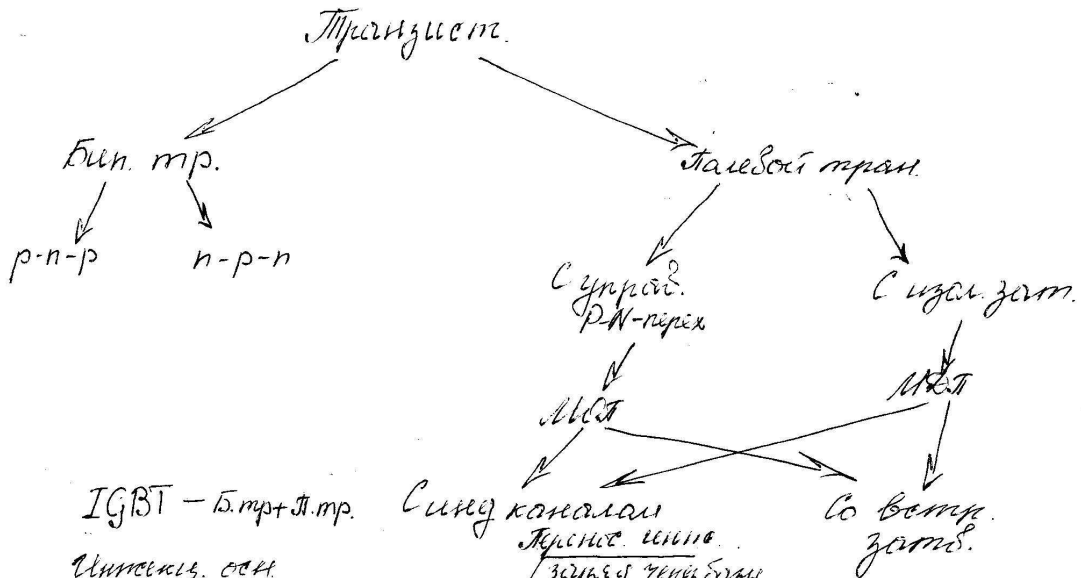
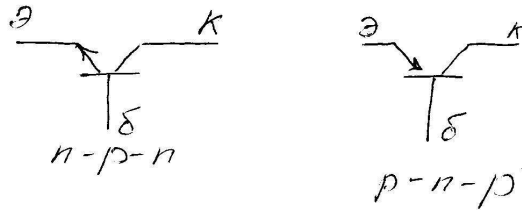
Самостоятельно:

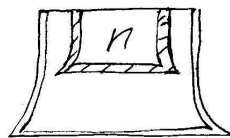
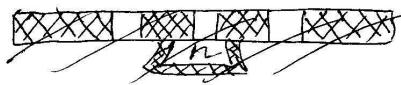
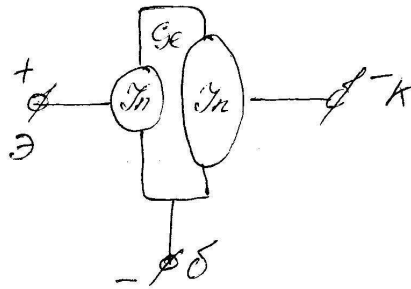
а  
г  
с  
е



# Биполярный транзистор

- Наз. трехэлектродн. прибор с 2-мя или более р-п переход. Увелич. свойства кот. образуются интенси. и экстренж. основан. носит. транзист.





- © Усп. одноф. для типа носит. зарядки  
 © Работа. сн. на взаимн. в р-п переход, для усил. необход. чтобы обл. базис был меньше дин. свд. проб. ~~и~~ носит зар.

$$I_{\delta} = I_{\delta}' - I_{k\delta}$$

$$I_k = \alpha I_{\delta} + I_{k\delta};$$

$$I_{\delta} \gg I_{k\delta}$$

$$I_k \approx \alpha I_{\delta}$$

$$I_{\delta} = I_{\delta} - I_k;$$

$$I_{\delta} = \frac{I_k}{\alpha} - I_k;$$

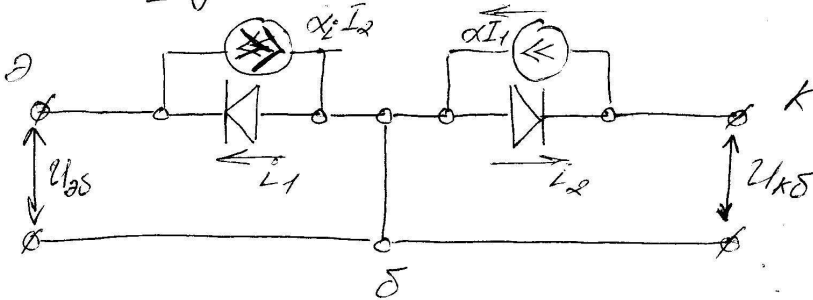
$$I_{\delta} = \frac{1-\alpha}{\alpha} I_k;$$

$$\frac{I_K}{I_S} = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \beta;$$

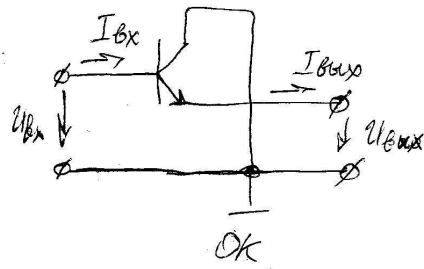
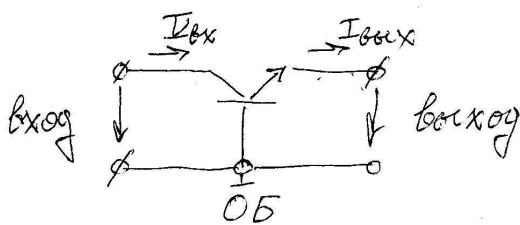
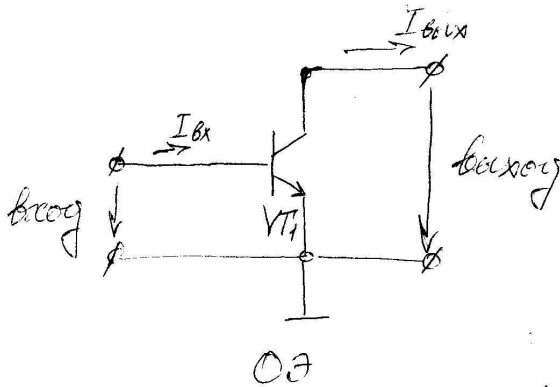
$$I_K = \beta I_S;$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha};$$

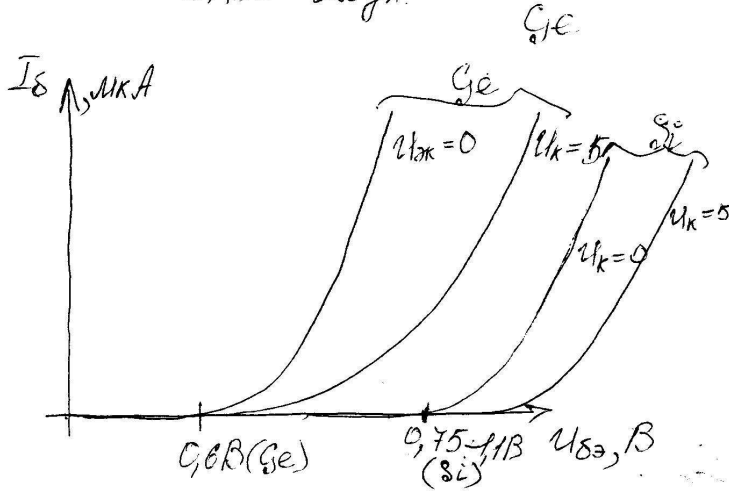
Модель Эберса-Молла



$\alpha_i$  - инверсный коэф. перед. тока.

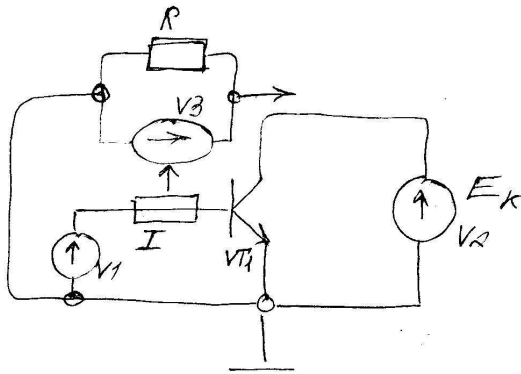


ВАХ вогни.



$I_{CK} = const$

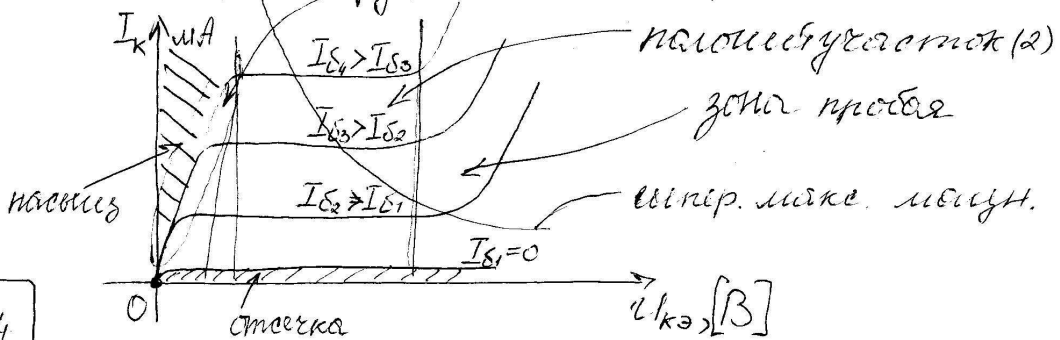
Схема для чим. ВАХ



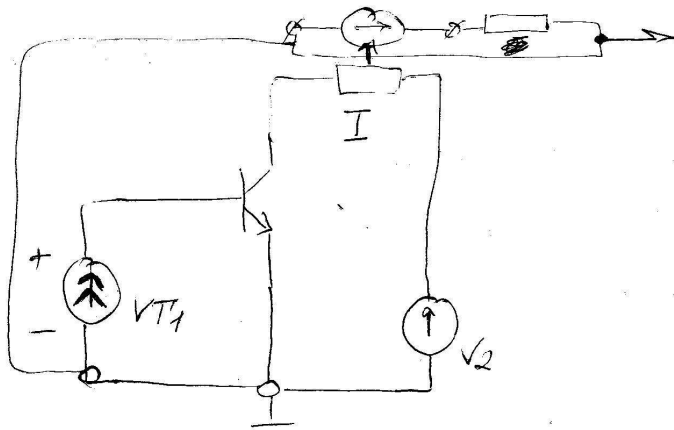
ВАХ вогни

$I_C = const ;$

$I_K = f(U_{K0}) ;$   
критичні оди. ВАХ (1)







Результаты работы

	n-p-n	p-n-p
Норм. акт. процесс	$U_{\delta\delta} > 0$ $U_{k\delta} > 0$	$U_{\delta\delta} < 0$ $U_{k\delta} < 0$
Рег. насыщ.	$U_{\delta\delta} > 0$ $U_{k\delta} < 0$	$U_{\delta\delta} < 0$ $U_{k\delta} > 0$
Рег. отсеч.	$U_{\delta\delta} < 0$ $U_{k\delta} > 0$	$U_{\delta\delta} > 0$ $U_{k\delta} < 0$
Удобен. акт. процесс	$U_{\delta\delta} < 0$ $U_{k\delta} < 0$	$U_{\delta\delta} > 0$ $U_{k\delta} > 0$

Усилит. каскад

$C_1, C_2$  - разд. конд.

$R_1 = \frac{U_{\delta\delta} R_2}{E_2 - U_{\delta\delta}}$

$I_{R1} = I_{\delta\delta pm}$

$I_{\delta\delta pm} = \frac{I_k}{\beta}$

$I_{k pm} = -\frac{E_k}{2R_k}$

$I_{\delta\delta}$

$U_{\delta\delta pm}$

$U_{\delta\delta}$

$I_k$

$\frac{E_k}{R_k}$

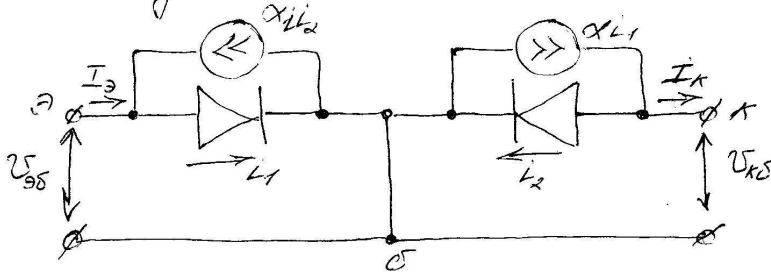
$\frac{E_k}{2}$

$E_k$

$U_{k\delta}$

P5

Модель Бертса - Манни.



$$I_0 = I_1 - \alpha I_2;$$

$$I_K = \alpha I_1 - I_2;$$

$$I_1 = I_{00E} \left( e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right)$$

$$I_2 = I_{K0K} \left( e^{\frac{qU_K}{kT}} - 1 \right)$$

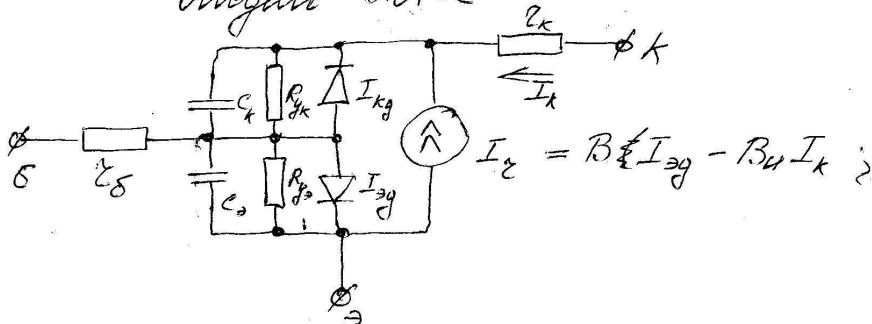
где  $I_{00E}$  и  $I_{K0K}$  - обратные эмиттерного и коллект.  
 Уточнение: последние два парамет. зависят от температуры.

$$I_0 = I_{00E} \left( e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) - \alpha_L I_{K0K} \left( e^{\frac{qU_K}{kT}} - 1 \right)$$

$$I_K = \frac{\alpha I_{00E}}{1 - \alpha_L} \left( e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) - \frac{I_{K0K}}{1 - \alpha_L} \left( e^{\frac{qU_K}{kT}} - 1 \right)$$

$$I_0 = \frac{(1 - \alpha) I_{00E}}{1 - \alpha_L} \left( e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) + \frac{(1 - \alpha_L) I_{K0K}}{1 - \alpha_L} \left( e^{\frac{qU_K}{kT}} - 1 \right)$$

Модель ЛАЭ



$$\frac{dU_0}{dt} = \frac{I_0 - I_{a0}}{C_0}, \quad \frac{dU_K}{dt} = \frac{I_K - I_{aK}}{C_K};$$

$$\text{где } I_{a0} = (B+1)I_{0y} - B_{u\#}I_{Ky} + \frac{U}{R_{y0}};$$

$$I_{aK} = (B_{u\#} + 1)I_{Ky} - B I_{0y} + \frac{U_K}{R_{yK}};$$

$$I_{0y} = I_{00} \left\{ \exp \left\{ \frac{U_0}{m_0 \varphi_2} \right\} - 1 \right\} \quad \varphi_2 = 25 \mu B$$

$$I_{Ky} = I_{K0} \left\{ \exp \left\{ \frac{U_K}{m_K \varphi_2} \right\} - 1 \right\} \quad m = 1, 2, 5$$

$$C_0 = C_{00} + \tau (I_{0y} + I_{00}) m_0 \varphi_2 \quad \tau = \frac{10^{-3} \dots 10^{-12} \text{ c.}}{\beta_{\text{эфф.}} \rightarrow \beta = 1}$$

$$C_K = C_{K0} + \tau m (I_{Ky} + I_{K0}) m_K \varphi_2$$

$$\tau = \frac{1}{2\pi \beta_{\text{эфф.}}};$$

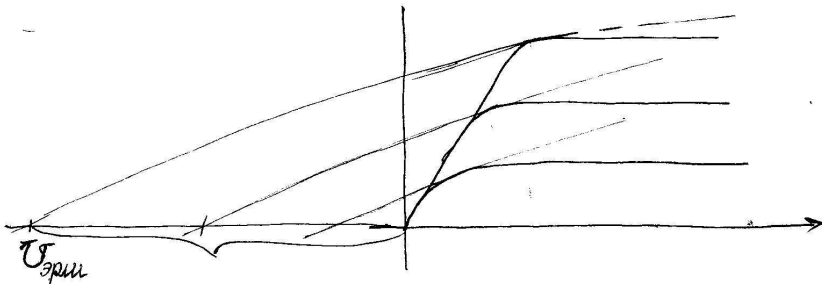
### Модель Гунлине-Гунли

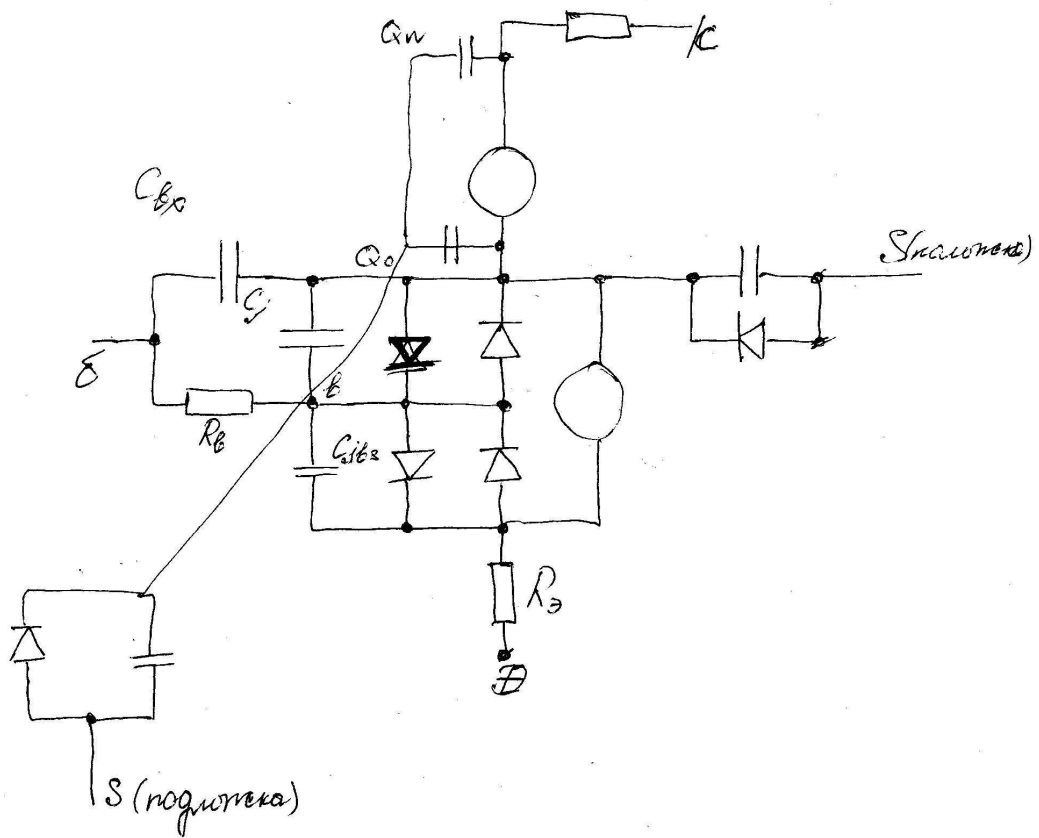
Модель Г-Г - это модель Бун.  
тр. основ. на 2-мод. Э-М, учит.  
до 25 парам. (мод. т.м. базы,  
Эффект Эрли, уровень инжекции на  
коэф. усил., эффект Киркя - расщ. базис в обл.  
коллектора)

$$\beta_{u\#} = 1, 5;$$

$$I_{m0} = 10^{-6} \text{ Ge};$$

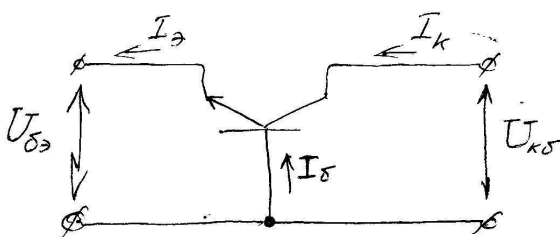
$$I_{m0} = 10^{-10} \text{ Ge};$$





Типа схема выпрямителя

Схема с обдувом диодов



$$I_{\text{э}} = I_{\text{к}} + I_{\text{б}}$$

$$K_{\text{ос}} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{э}}}$$

$$R_{\text{бэ}} = \frac{U_{\text{эб}}}{I_{\text{э}}}$$

$$K_{\text{и}} > 1;$$

$$K_{\text{I}} \ll 1;$$

Малочисное  $R_{\text{бэ}} = 10 \div 50 \text{ Ом}$

$$K_{\text{иос}} = \frac{\Delta U_{\text{бэос}}}{\Delta U_{\text{кз}}} = \frac{\Delta I_{\text{к}} R_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{э}} R_{\text{бэ}} \delta} = \alpha \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{бэ}} \delta}$$

$$U_{\delta 3} \approx 0,2 B \text{ Ge};$$

$$U_{\delta 3} = 0,75 \text{ SL};$$

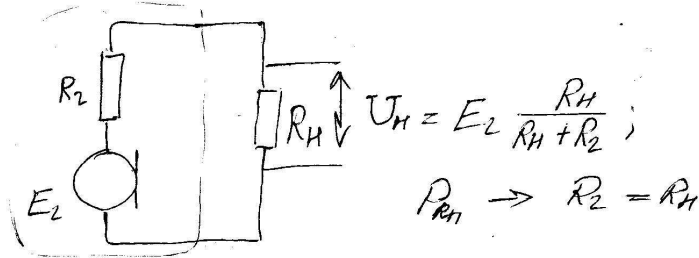
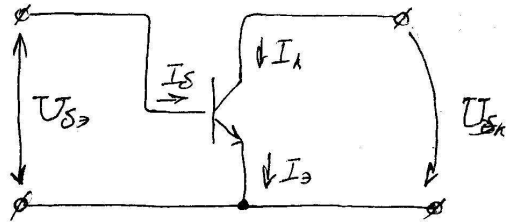


Схема с облученной эмиттерной



$$K_{\delta 3} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \approx \beta$$

$$R_{\delta 3, \delta 3} = \frac{U_{\delta 3}}{I_B} = \frac{U_{\delta 3} I_C}{I_B I_C} = R_{K, \delta 3} (\beta + 1)$$

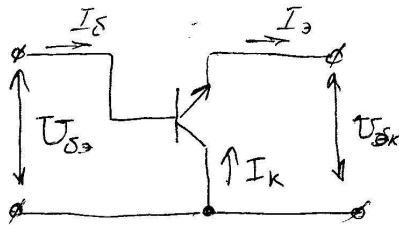
$\beta$ -статич. коэф. передачи тока эмит. с гвем.

стационарного режима можно считать  $\beta = \beta$ ,

$$R_{\delta 3, \delta 3} \approx R_{K, \delta 3} (\beta + 1) \approx R_{K, \delta 3} = \beta;$$

$$K_{\delta 3} = \frac{\Delta U_H}{\Delta U_{\delta 3}} = \frac{\Delta I_K \cdot R_H}{\Delta I_B \cdot R_{\delta 3, \delta 3}} = \beta \cdot \frac{R_H}{\beta R_{K, \delta 3}} = \frac{R_H}{R_{K, \delta 3}};$$

Схема с облученной коллекторной

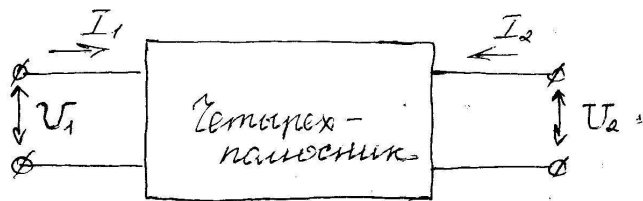


$$K_{I_{\delta K}} = \frac{\Delta I_E}{\Delta I_B} = \frac{\Delta I_C + \Delta I_B}{\Delta I_B} = \beta + 1;$$

$$R_{\delta 3, \delta K} = \frac{U_{\delta 3}}{I_B} = \frac{U_{\delta 3} + U_H}{I_B} = \frac{U_{\delta 3} I_E}{I_B I_E} + \frac{U_H}{I_B} =$$

$$= R_{K, \delta 3} (\beta + 1) + R_H (\beta + 1) = (\beta + 1) (R_{K, \delta 3} + R_H)$$

$$K_{U_{\delta K}} = \frac{\Delta U_H}{\Delta U_{\delta 3}} = \frac{\Delta U_H}{\Delta U_{\delta 3} + \Delta U_H} = \frac{\Delta I_E R_H}{\Delta I_E R_H + \Delta I_B R_{K, \delta 3}} = \frac{R_H}{R_H + R_{K, \delta 3}}$$

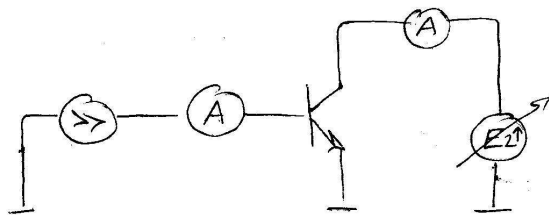
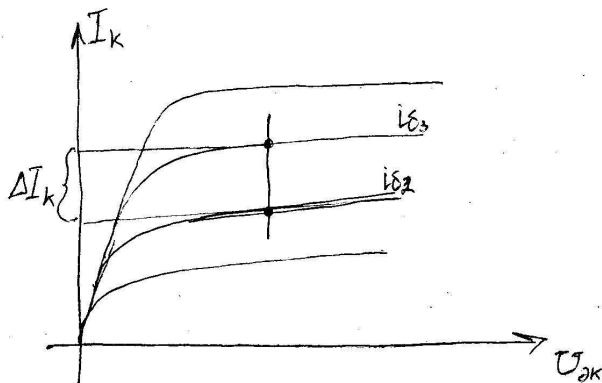


$$h_{11} = \frac{U_1}{I_1} \Big|_{U_2=0} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \Big|_{\Delta U_2=0} \leftarrow \text{входн. сопр.}$$

$$h_{21} = \frac{U_1}{I_1} \Big|_{U_2=0} \quad h_{21} = \frac{I_2}{I_1} \Big|_{U_2=0} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \Big|_{\Delta U_2=0} \leftarrow \beta$$

$$h_{12} = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{I_2=0} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \Big|_{\Delta I_2=0} \leftarrow \text{КОС (коэф. обратной связи)}$$

$$h_{22} = \frac{I_2}{U_2} \Big|_{I_1=0} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \Big|_{\Delta I_1=0} \leftarrow \text{высочн. проводим.}$$



$$\Delta I_S = \Delta I_{S3} - I_{S2}$$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_S}$$

$$H_{11e} = \frac{H_{21b}}{1+H_{21b}}$$

$$H_{11b} = \frac{H_{11e}}{1+H_{11e}}$$

$$H_{21e} = \frac{H_{21b}}{1+H_{21b}}$$

$$H_{21b} = \frac{H_{21e}}{1+H_{21e}}$$

$$H_{11k} = H_{11e}$$

$$H_{22e} = \frac{H_{11b} \cdot H_{22b}}{1+H_{22b}}$$

$$H_{21k} = H_{21e} + 1$$

$$H_{21e} = \frac{H_{21b}}{1+H_{21b}}$$

$$H_{11k} = 1 + H_{21e}$$

$$H_{22k} = H_{21e}$$

$$H_{12b} = \frac{H_{11e} \cdot H_{22e} \cdot H_{21e}}{1+H_{21e}}$$

$$H_{22b} = \frac{H_{22e}}{1+H_{21e}}$$

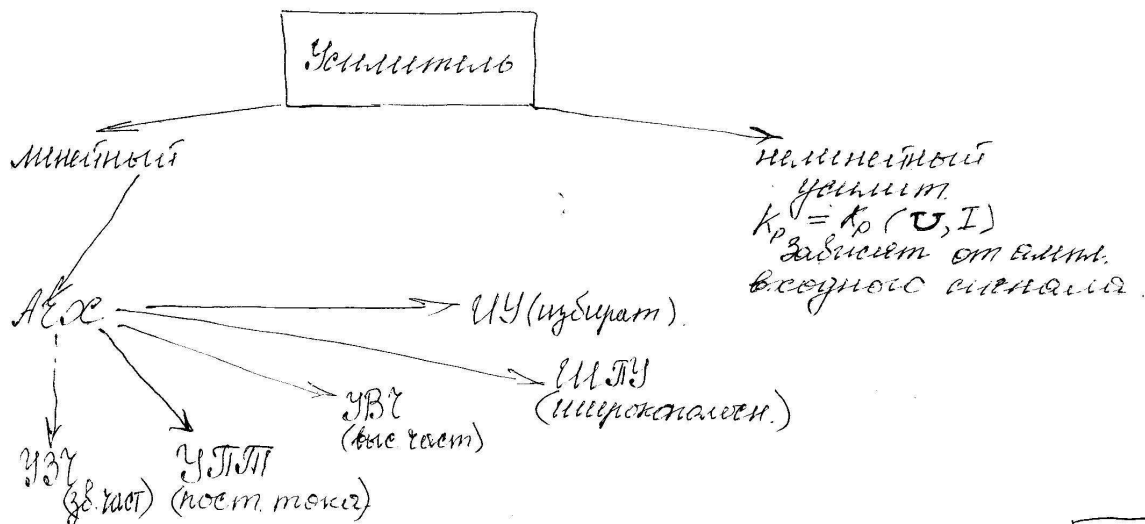
Учитывать - предп. для упр. и-рав входного сигнала.

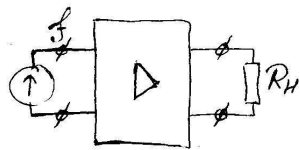
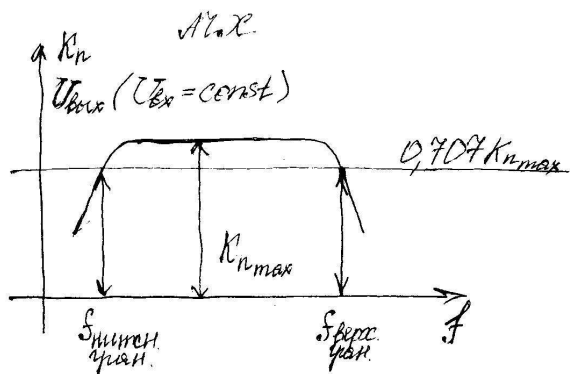
коэф. упр. по напряж:  $K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$

~~Kp > 1~~  
 $K_p > 1$

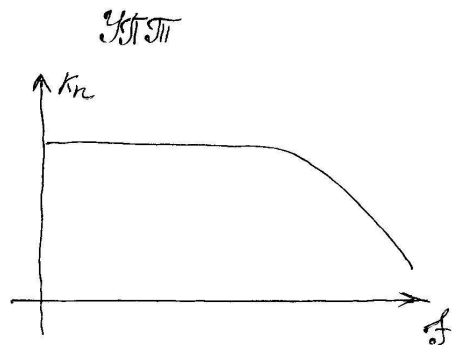
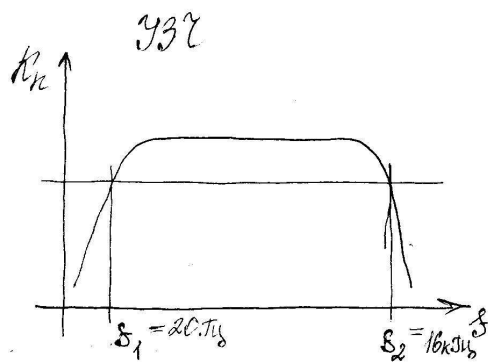
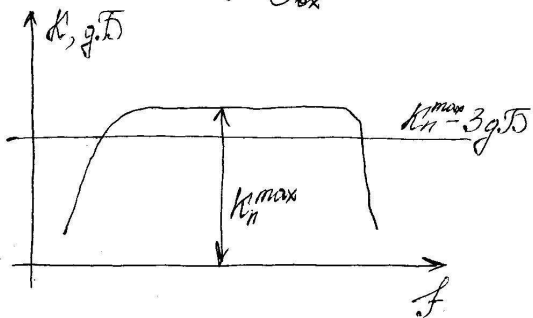
коэф. упр. по току:  $K_I = \frac{I_{вых}}{I_{вх}}$

коэф. упр. по мощности:  $K_p = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}$



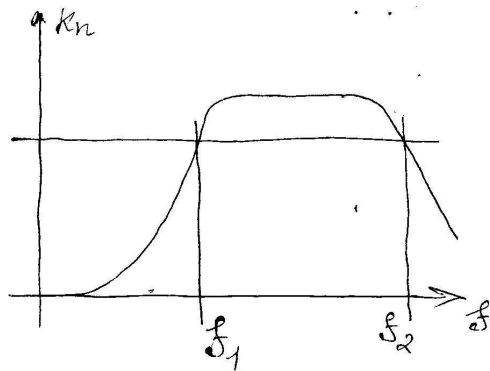


$$K_n = 20 \lg \frac{U_{вх}}{U_{вх}}$$

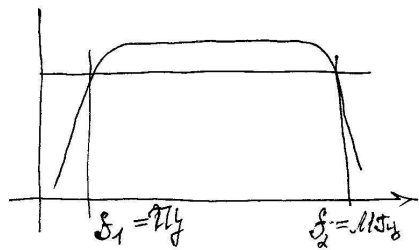




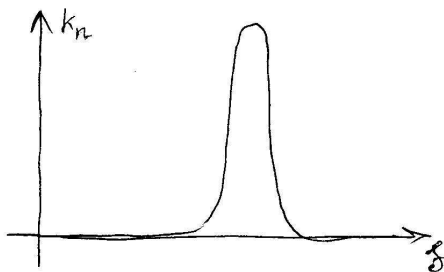
УВЧ



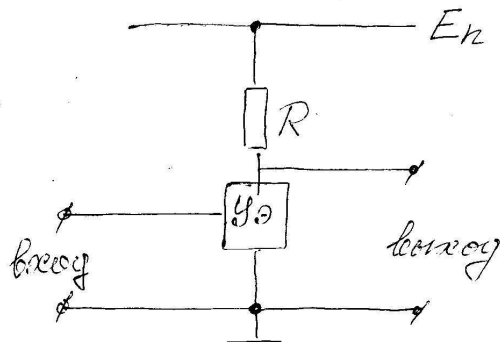
УЛ.ТЧ



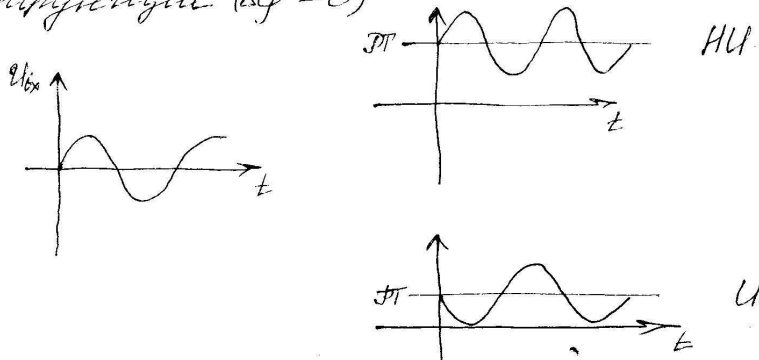
УЧ



Принцип построения усилителя.

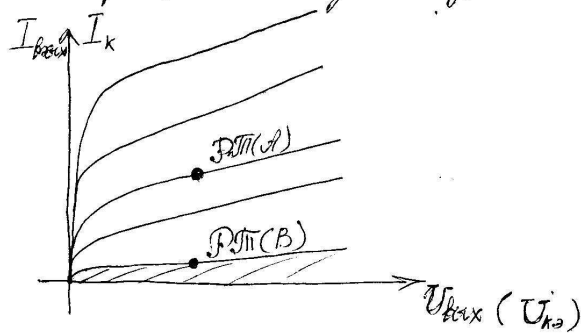


Усилит. действует на инвертирующие ( $\Delta\varphi = 180^\circ$ ) и  
 неинвертирующие ( $\Delta\varphi = 0$ )

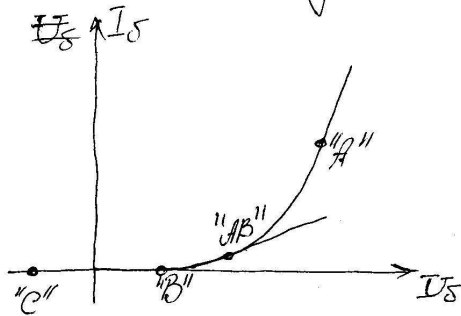


класс усил. А: одинак. усил. полого и отриц. полуцикла  
 входного сигнала.

класс усил. В: работ. на границе отсечки

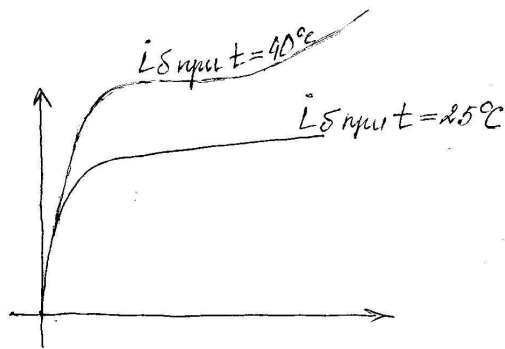
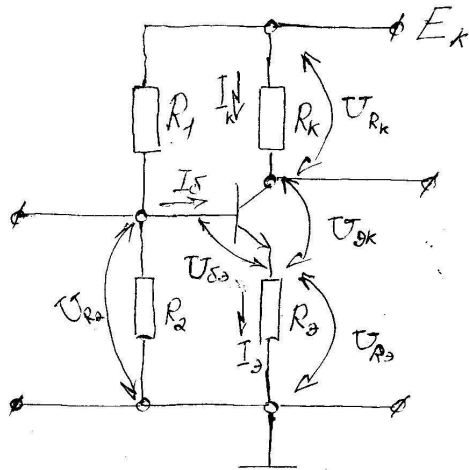


класс усил. С: т. вводится в глубокую отсечку

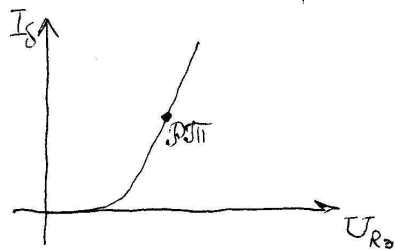


класс усил. "АВ": ДПН на мин. участ. вх. хар.

Схема с СЭ  $\rightarrow$  инвертир. усил. каскад (УК), а СБ и  
 СК - неинвертир. УК.



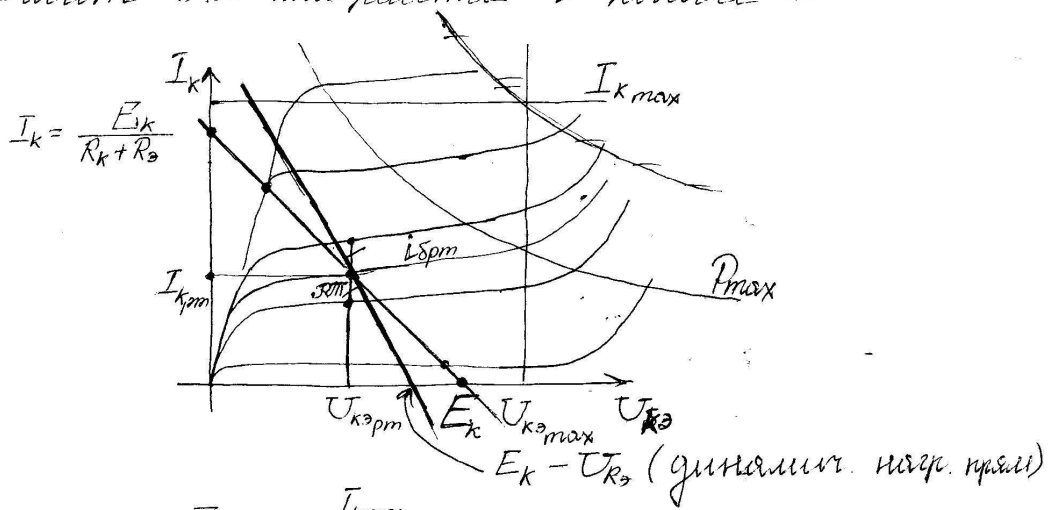
$$U_{g3} = U_{R2} - U_{R3}$$



$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_2}$$

$$U_{R3} = 0,05 E_k \div 0,3 E_{Rk}$$

Рассчитать Р.П.П. для работы в классе А.



$$I_S \approx \frac{I_{k\text{спм}}}{\beta}$$

$$K = 0,1 \rightarrow R_0 ; R_x = \frac{U_{k0}}{I_k} = \frac{E_k - U_{k0}}{2I_k}$$

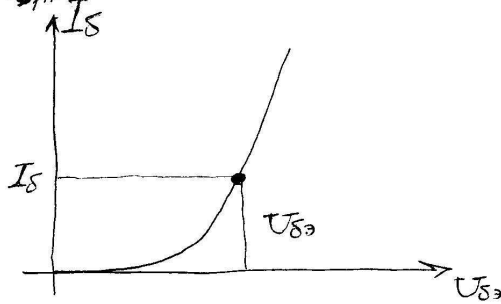
коэф. нестабильн:  $s = \frac{\partial I_k}{\partial I_0} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{1 + \frac{R_0}{\beta I_0 R_0}}}$

$$s = 2..10$$

$$R_1 = \frac{E_k}{I_{S\text{спм}} + \frac{U_{k0} + U_{k0}}{R_0 // R_2}}$$

$$R_0 = \frac{R_0(1-s)}{s(1-\alpha)-1}$$

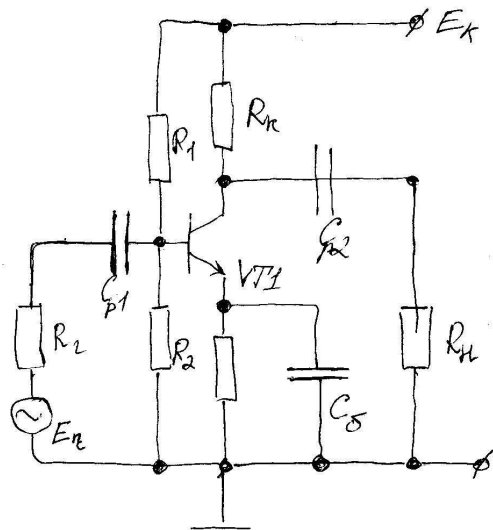
$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$



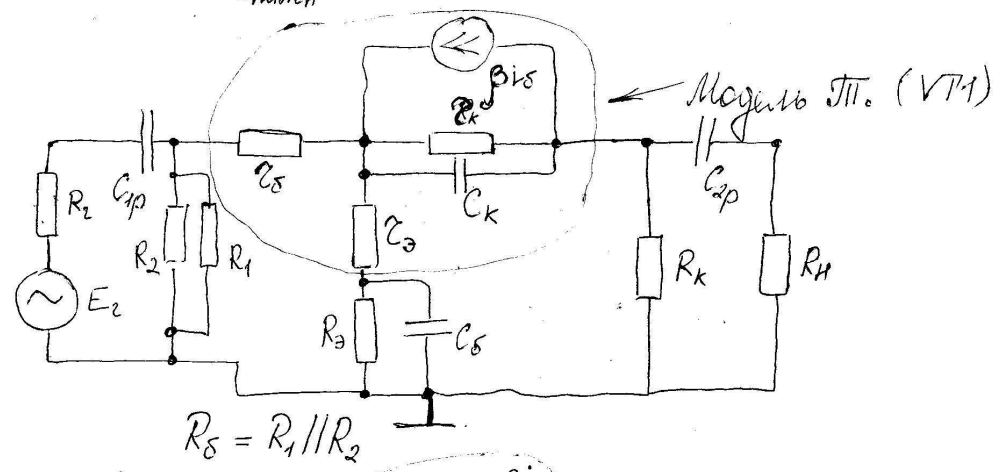
$$U_{k0} = 0,2 B (C_0)$$

$$U_{k0} = 0,75 B (S_L)$$

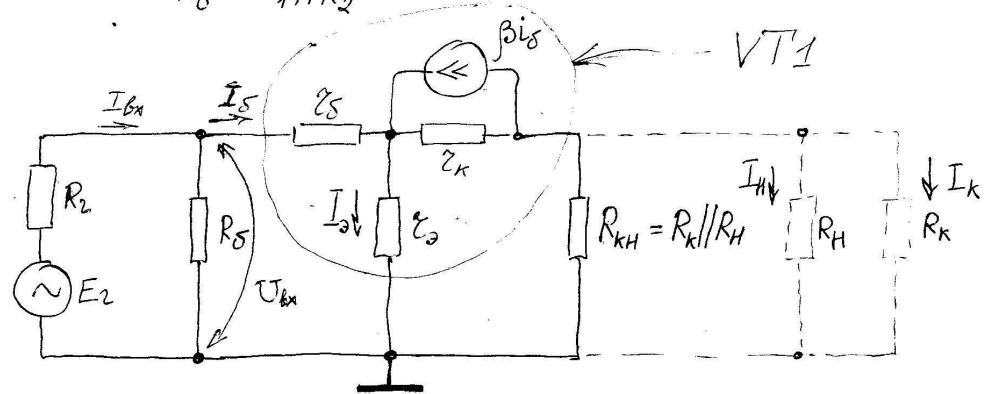
$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_0}{R_1 - \frac{R_1 // R_2}{R_0}}$$



$$\tau = RC \gg \frac{1}{\omega_{\text{сигнал}}}$$



$$R_5 = R_1 // R_2$$



$$K_I = \frac{I_H}{I_{Bx}}; \quad I_{Bx} = \frac{E_2}{R_2 + R_{Bx}}; \quad R_{Bx} = R_5 // R_{Bxmp}$$

$$R_{Bxmp} = r_{e3} + (\beta + 1) r_{e3}$$

$$r_{e3} = 50 \sim 100 \text{ (Ge)}$$

$$r_{e3} = 100 \sim 200 \text{ (Si)}$$

47

$$I_3 = \frac{I_3}{\beta_m} \# ; \beta_m = 0,0425 \beta ;$$

$$I_{RH} = \beta \cdot I_{E_2} \frac{R_{B_2}}{R_{B_2mp}} \cdot \frac{R_H \parallel R_K \parallel R_{E_1}}{R_H} \#$$

$$K_I = \beta \frac{R_H \parallel R_K}{R_H}$$

Задача №8 \_\_\_\_\_ 27.10.2007.

$$s = 4$$

$$\beta = 400$$

$$I_K = 1 \mu A$$

$$E_K = 9 B$$

$$U_{R_3} = 0,05 \div 0,3 E_K$$

$$R_3 = \frac{U_{R_3}}{I_3} = \frac{0,1 \cdot 9 B}{1 \mu A} = 0,9 k\Omega \text{ (} 910 \Omega \text{)}$$

$$U_{R_K} = \frac{E_K - U_{R_3}}{2} = \frac{9 - 0,9}{2} = 4,05 B.$$

$$R_K = \frac{U_{R_K}}{I_K} = \frac{4,05 B}{1 \mu A} = 4050 \Omega ; \text{ (} 3,9 k\Omega \text{)}$$

$$R_5 = R_1 \parallel R_2 ;$$

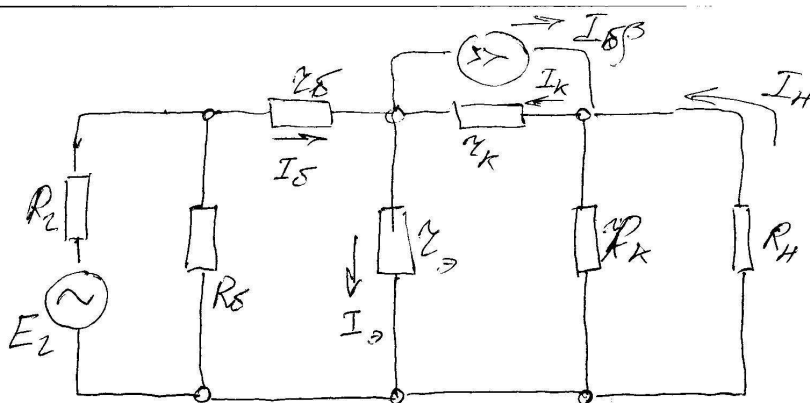
$$\alpha = 0,9975$$

$$R_5 = 2,757 k\Omega$$

$$I_{B_{pm}} = \frac{I_K}{\beta} = 2,5 \mu A ;$$

$$R_1 = \frac{9}{2,5 \mu A + \frac{0,9 + 0,75}{2,757 k\Omega}} = 14,97 k\Omega \text{ (} 15 k\Omega \text{)}$$

$$R_2 = 3,38 k\Omega \text{ (} 3,3 k\Omega \text{)}$$



$$R_{bx} = R_1 // R_2 // Z_{bxmp}$$

$$U_{02} = I_0 \cdot Z_0 + Z_k I_0 \beta = I_0 [Z_0 + (\beta + 1) Z_k]$$

$$Z_0 = \frac{y_m}{I_0} \approx \frac{25 \mu B}{I_k} \quad (\text{при } t = 27^\circ C)$$

$$Z_{bxmp} = Z_0 + (\beta + 1) Z_k$$

$$K_I = \frac{I_H}{I_{bx}} = \beta \frac{R_k \cdot R_H}{R_k + R_H}$$

$$K_U = \frac{U_{0bx}}{U_{bx}} = \frac{I_H \cdot R_H}{I_{bx} (R_2 + R_{bx})} = K_I \frac{R_H}{R_2 + R_{bx}}$$

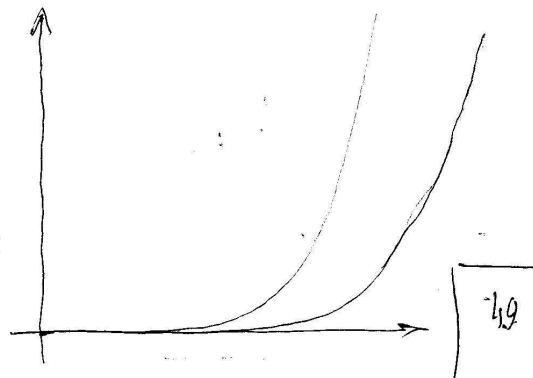
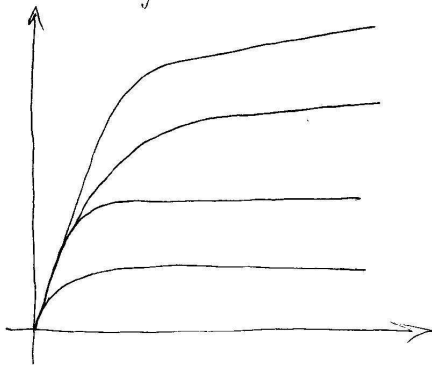
$$K_p = K_I K_U$$

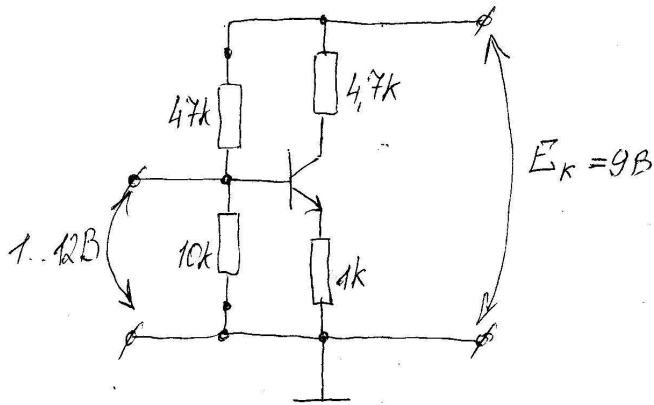
$$R_{вых} = R_k // Z_k \approx R_k$$

Лекция №9

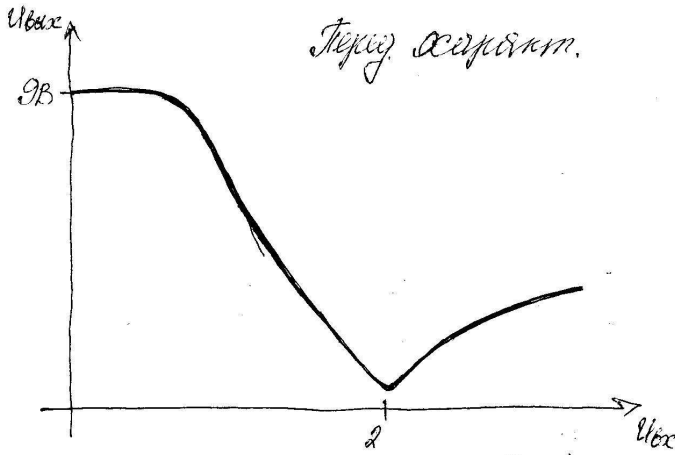
10.11.2007

Входная и выходная сопротивл.

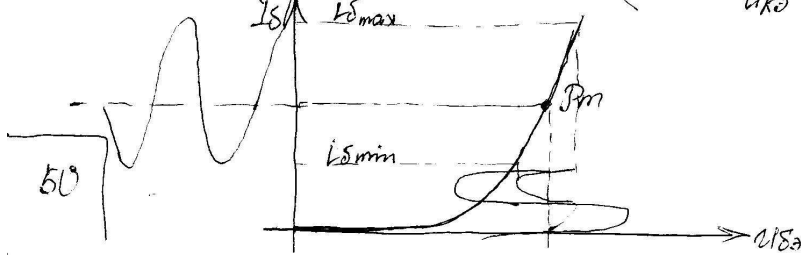
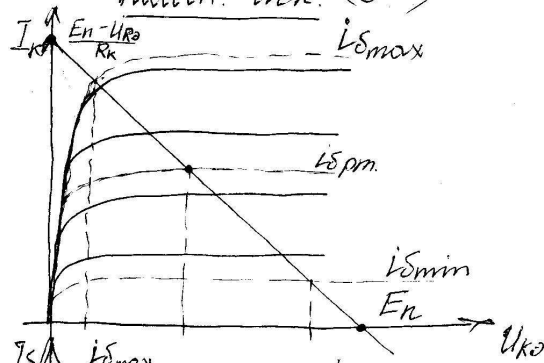




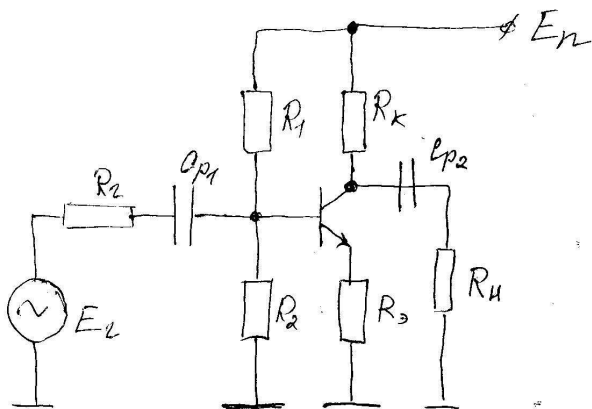
Точка работы.



Характеристики (DЭ)







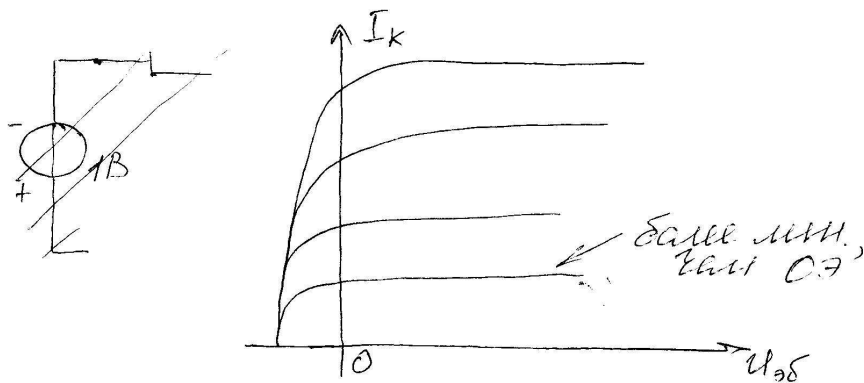
$$U_{Bx_{max}} \cong \left( \frac{E_n - U_{R_3}}{2} \right) / K_u$$

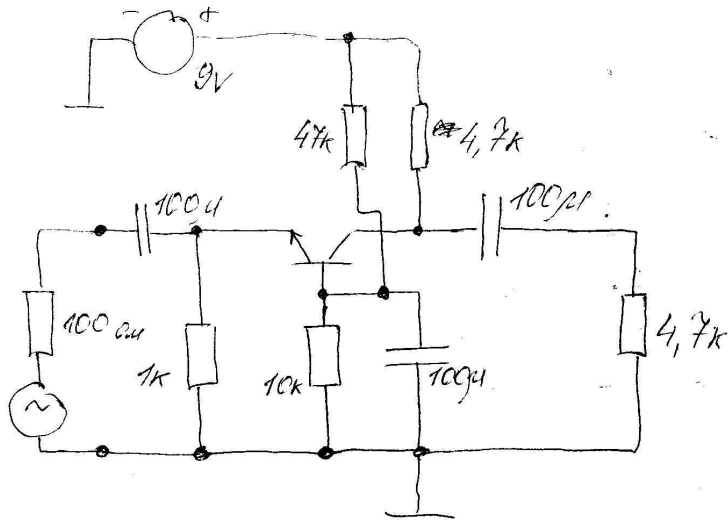
---


$$K_u = 100$$

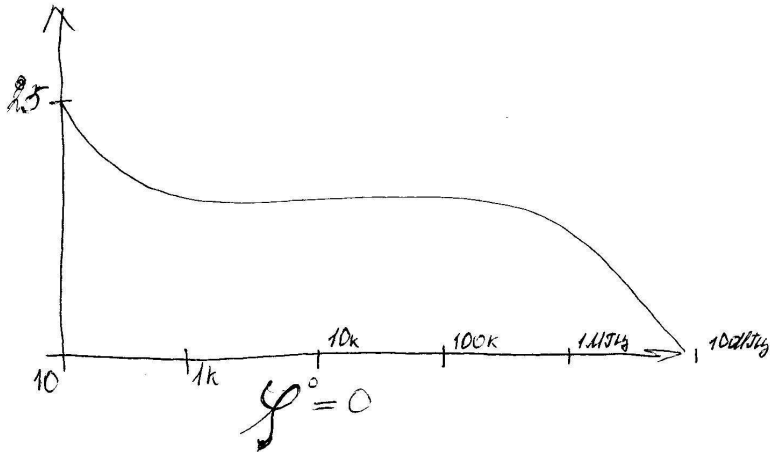
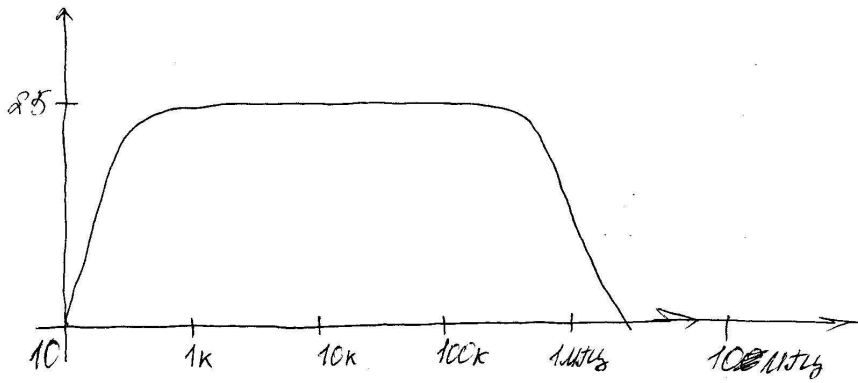
$U_{Bx}$	$U_{B_{max}}$
0,1 В	0,8 В $\approx 9 В$
1 В	4 В $\approx 9 В$
10 В	8 В $\approx 9 В$

Схема с общей базой

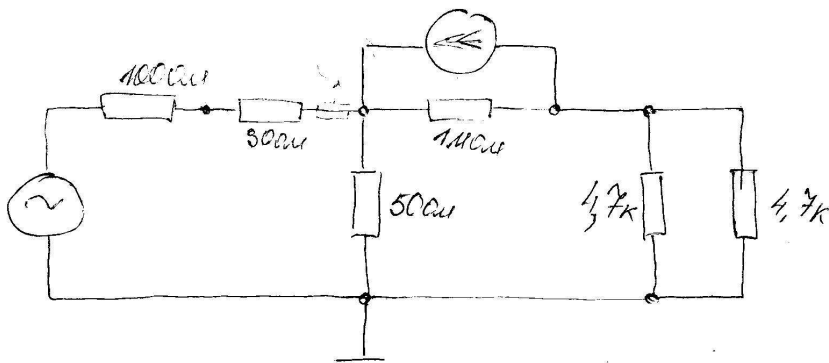




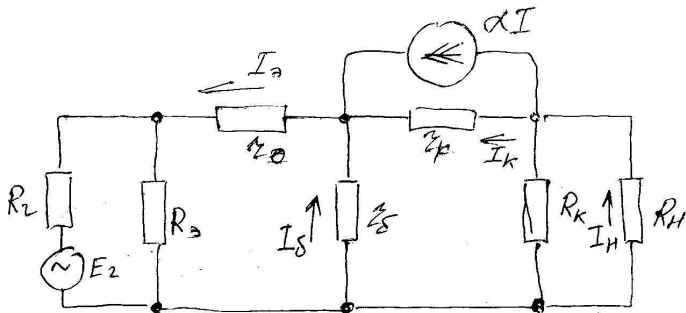
ALC



52



Манометрическая нагрузка.



$$R_{bx} = R_3 \parallel [z_3 + (1-\alpha)]$$

$$I_k = \alpha I_3$$

$$K_I = \alpha \frac{R_H \parallel R_k}{R_H}$$

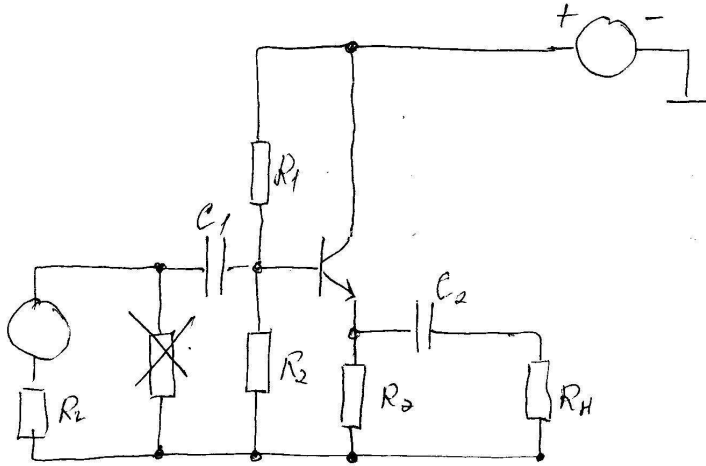
$$K_U = \alpha \frac{R_k \parallel R_H}{R_2 + R_{bx}}$$

$$R_{bx} = R_k \parallel R_k^* \approx R_k$$

$$\approx R_g \downarrow \leftrightarrow R_L \uparrow$$

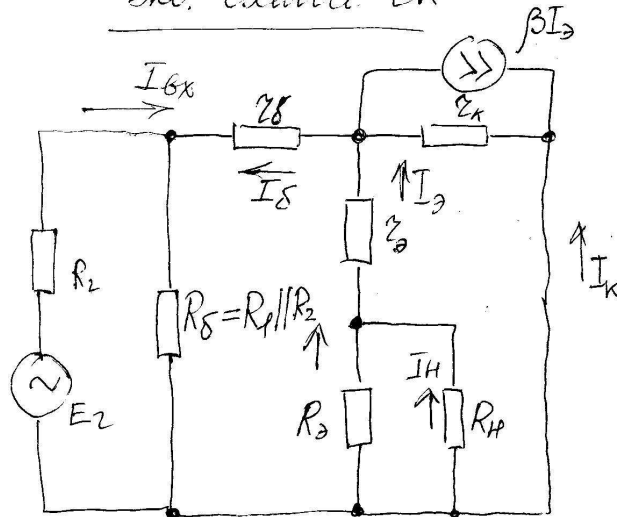
$$R_{bx\ 05} = R_{bx\ 03}$$

Усунуу. с ОК



- ОЭ :  ~~$K_I > 1$~~  ;  $K_U > 1$  ;  $K_P^{00} \rightarrow \max$  ;  $S_{\text{уст}} < 1$  шт.
- ОБ :  $K_I < 1$  ;  $K_U > 1$  ;  $K_P^{00} < K_P^{00}$  ;  $S_{\text{уст}} > 1$  шт.
- ОК :  $K_I < 1$  ;  $K_U \approx 1$  ;  $S_{\text{уст}} \rightarrow \max$

Экв. схема ОК



$$R_{bx} = R_1 // R_2 // Z_{bxmp};$$

$$U_{bx} = I_{\delta} [Z_{\delta} + (1+\beta)(Z_3 + R_3 // R_H)];$$

$$Z_{bx} = Z_{\delta} + (1+\beta)(Z_3 + R_3 // R_H);$$

$$R_{bx} \approx R_1 // R_2 // (1+\beta)(R_3 // R_H);$$

$$R_{bx} \approx R_1 // R_2 // (1+\beta)(R_3 // R_H) // Z_k;$$

$$I_H = (1+\beta) I_{\delta} \frac{R_3 // R_H}{R_H};$$

$$I_{\delta} = I_{\delta x} \frac{R_{bx}}{Z_{bx}};$$

~~$I_H$~~

$$K_I = (1+\beta) \frac{R_{bx}}{Z_{bx}} \frac{R_3 // R_H}{R_H};$$

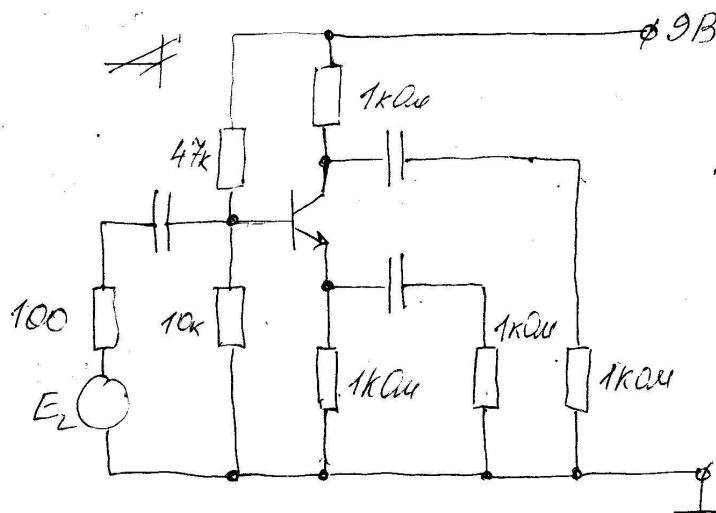
$$R_{bx} \approx Z_{bxm};$$

$$K_I = (1+\beta) \frac{R_3 // R_H}{R_H};$$

$$K_u = (1+\beta) \frac{R_3 // R_H}{R_2 + R_{bx}};$$

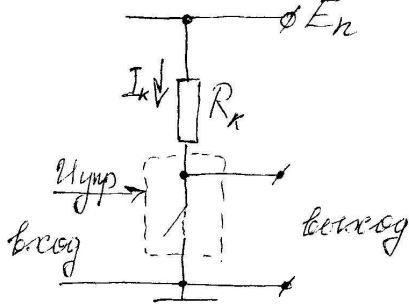
$$R_{bx} = R_3 // (Z_3 + \frac{Z_{\delta} + R_2 // R_1 // R_2}{1+\beta}) \approx R_3 // Z_3;$$

Физическая каскад

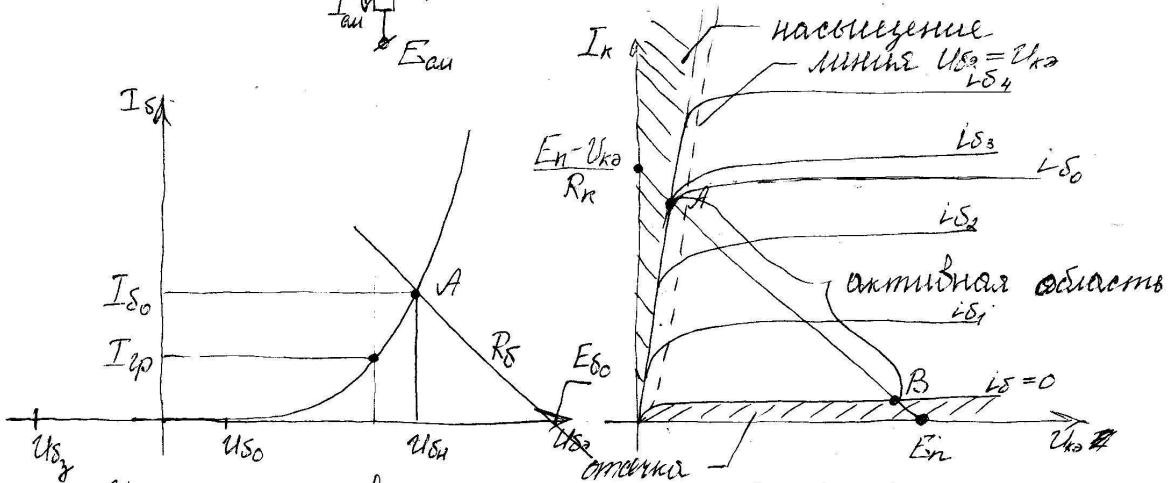
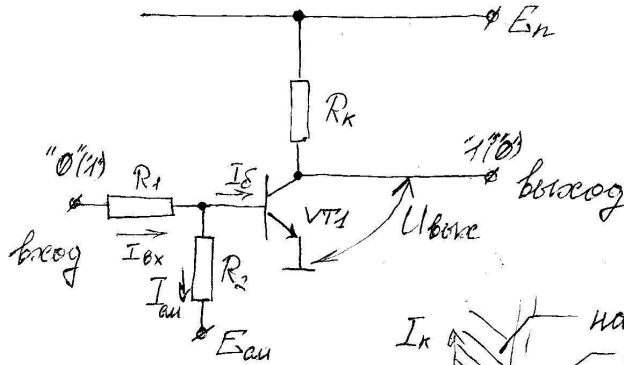


$$K_u = \frac{R_k}{R_3};$$

Ключевой режим работы.



1. Остаётся намотка, когда ключ замкнут
2. Остаточный ток, когда ключ разомкнут



$U_{к0} \approx 0,1..0,3B$  в насыщ. сост.

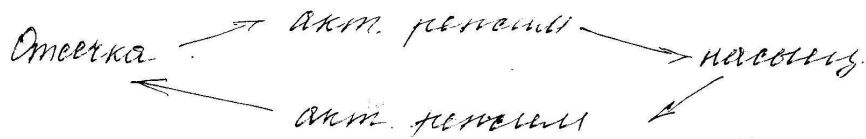
$I_{с0}$  - ток базы в режиме насыщ (оба перехода открыты)

$U_{вых} \approx E_n$  при отсут. нагрузки, если  $T$  гермет.

Решим отсчетки:  $I_S = -I_{k0}$ ,  $I_k = I_{k0}$ ,  $I_D \approx 0$

$$I_{k0} \approx 10^{-6}; \text{ (сервисный)}$$

$$I_{k0} \approx 10^{-14}; \text{ (крайний)}$$



Условие затирания ( $E_{сш}$ ): 
$$U_{D0} = \frac{U_{kx} - \frac{E_{сш} I_{k0}}{R_2 + I_{k0}}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} < 0$$

При очень малых токах (обратные):

$$U_{D0} < U_{D0}$$

Для кремниевого:  $U_{D0} = 0,5..0,6В$ , а для герм.  $U_{D0} \approx 0,2..0,3В$

$$U_{D0} = \frac{U_{Dx} R_2}{R_1 + R_2} < U_{D0};$$

Для обеспечения решения насыщ. ток транз.  $I_{D0}$  должен удовлетв. след. крив:

$$I_{D0} \geq I_{Dcp} = \frac{I_{kH}}{\beta} \approx \frac{E_H}{\beta R_k}$$

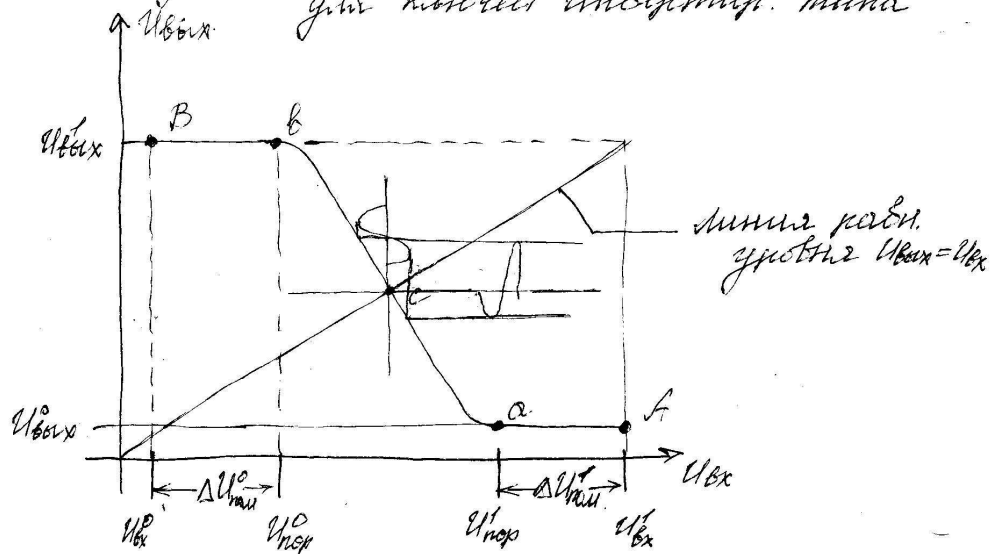
$\beta$  - стат. коэф. перед.

$I_{Dcp}$  - ток базиса на тран. насыщ. и активн. детали.

В решиме нас:  $I_{kH} = \frac{E_H}{R_k}$ ;

Глубина насыщ. отрез.  $s_{*} = \frac{I_S - I_{Dcp}}{I_{Dcp}}$

Передающая цепочка для ключей инвертир. типа



$\Delta U_{нап}$  сигнал помехи

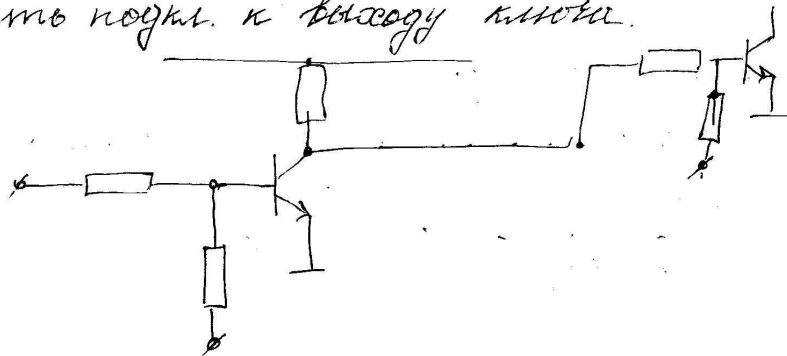
$$U_{вх}^0 = U_{со} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + E_{авт} \cdot \frac{R_1}{R_2} - I_{к0} \cdot R_1$$

$$U_{вых} = E_n - I_k R_k = E_n - I_s \beta R_k;$$

$$U_{вх}^1 = U_{н} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + E_{авт} \cdot \frac{R_1}{R_2} + I_{ср} \cdot R_1;$$

Нагрузочная способность.

коэф. разветвл. - покажет какое кол-во аналог. кнопок могут быть подключ. к выходу ключа.

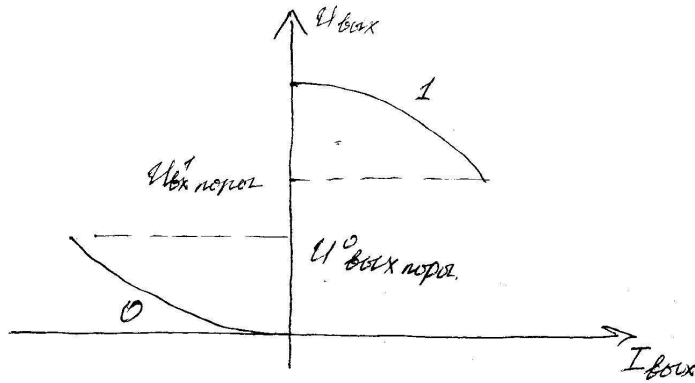


$$K_{разв.} = \frac{I_{вых}}{I_{вх}}$$

Формула для учета сост. ключа ("0", "1")



$$U_{\text{вых}}^1 = \frac{U_{\text{дн}} + E_{\text{н}} \cdot \frac{R_1}{n \cdot R_k}}{1 + \frac{R_1}{n \cdot R_k}}$$

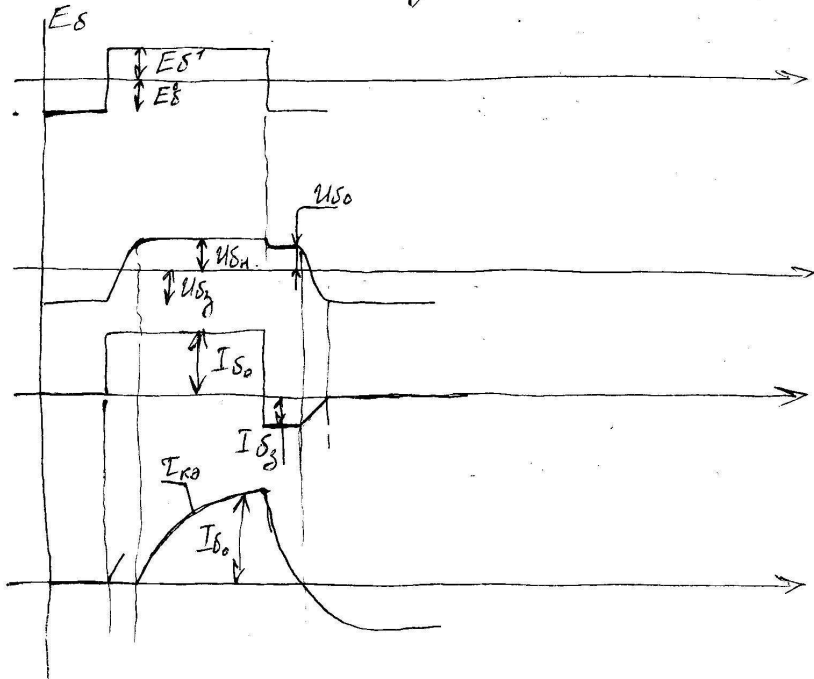


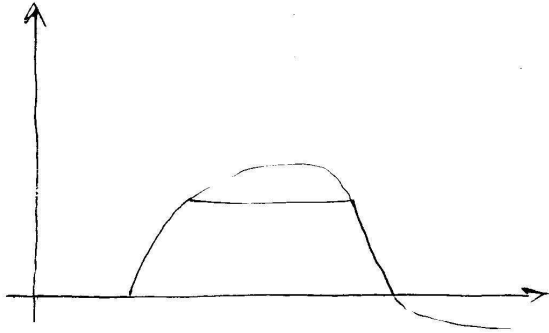
$$K_{\text{перех}} = \min(K_p^1, K_p^0)$$

Кэф. объединения по входу: коэффициент будет меньше или равн. дан. кэф.

### Переходные процессы.

Время  $n/2$  отрез  $C_{\text{об}} R_1$  и размерам бегла.





Задача вычисления:

$$u_{\delta}(t) = E_{\delta}^1 - (E_{\delta}^1 - E_{\delta}^0) \exp\left(-\frac{t}{\tau_c}\right)$$

$\tau_c = C_{\Sigma} R_{\delta}$  - по м. времени цепи.

$$t_{3\%} = \tau_c \ln \frac{E_{\delta}^1 - E_{\delta}^0}{E_{\delta}^1 - U_{\delta 0}}$$

Обычно  $|U_{\delta 3}| \ll E_{\delta}^1$  и  $|U_{\delta 0}| \ll E_{\delta}^1$

поэтому  $t_{3\%} = C_{\Sigma} (U_{\delta 0} - U_{\delta 3}) / I_{\delta 0}$

$$I_{\delta 0} = \frac{E_{\delta}^1}{R_{\delta}} = \text{const}$$

$$C_{\Sigma} = C_{\gamma} + C_{\kappa} + C_{\eta};$$

$$I_{\delta}(t) = I_{\delta 0} = I_{\delta 0} \approx \text{const};$$

$$i_{\kappa}(t) = \frac{Q_{\delta}(t)}{T_{\kappa}} = \frac{\beta}{E_{\delta}} Q_{\delta}(t);$$

$$\frac{dQ_{\delta}}{dt} = -\frac{Q_{\delta}}{T_{\delta}} + I_{\delta};$$

$$i_{\kappa}(t) = \beta \cdot I_{\delta} (1 - \exp\{-t/T_{\delta}\})$$

$$E_{\kappa 0} = E_{\delta} + R_{\kappa} (C_{\kappa} (1 + \beta) + C_{\eta})$$

$$t_{\text{ф}} = t_{\text{ф}}^{\text{н}} = t_{\text{ф}}^{\text{р}} = E_{\kappa 0} \cdot \ln \frac{\beta \cdot I_{\delta 0}}{\beta \cdot I_{\delta 0} - I_{\kappa \text{н}}};$$

$$E_{\delta \text{н}} \approx (0,7 \dots 0,9) E_{\delta};$$

$$I_{\delta 0} \cdot E_{\delta \text{н}}$$

Выключение ключа: процесс выключения протекания

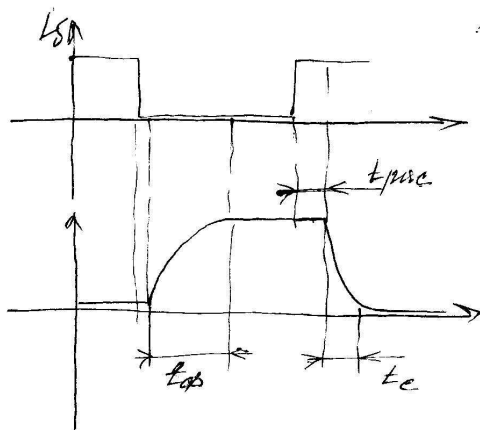
тока этапы: задержка выключения и формирование  
среза выходного сигнала.

$S$  - коэффициент от 1,5...3

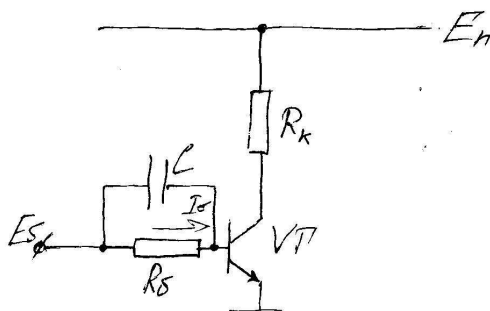
$$t_c = t_{cb}^{01} = \tau_{кз} \ln \frac{Q_5(\infty) - Q_5(t_{cb}^0)}{Q_5(\infty) - Q_5(t_{cb}^0)} = \tau_{кз} \ln \frac{I_{с2} + I_{ср}}{I_{с2}}$$

При подпитывании индуктивной нагрузки:

$$t_{cb}^{01} = 2,2 R_k (C_H + C_k \beta)$$



Формирование конденсатора



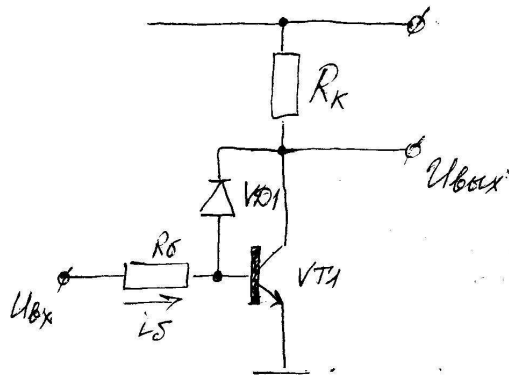
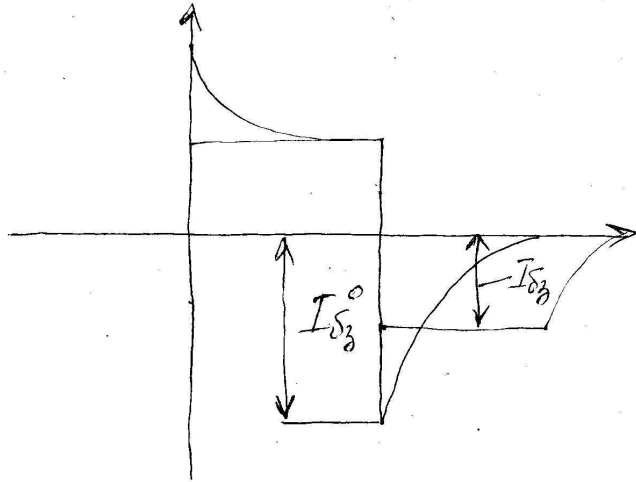
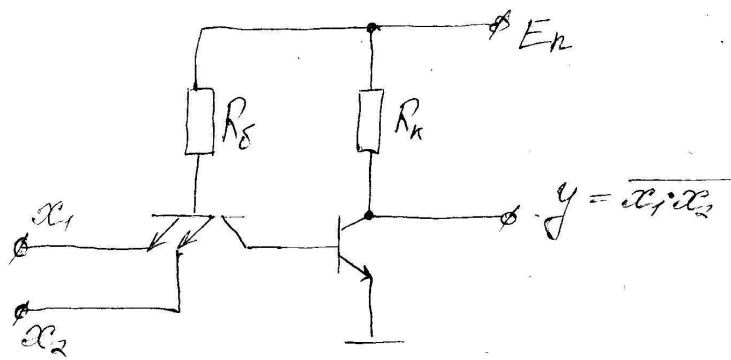
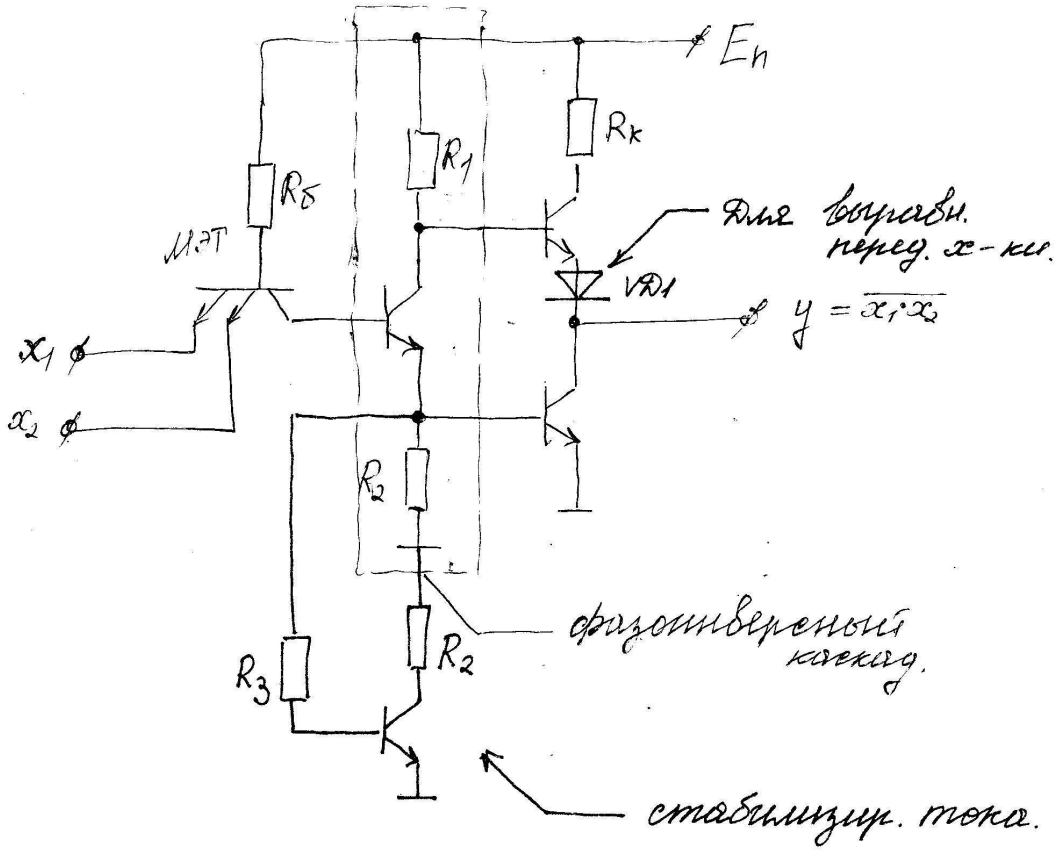
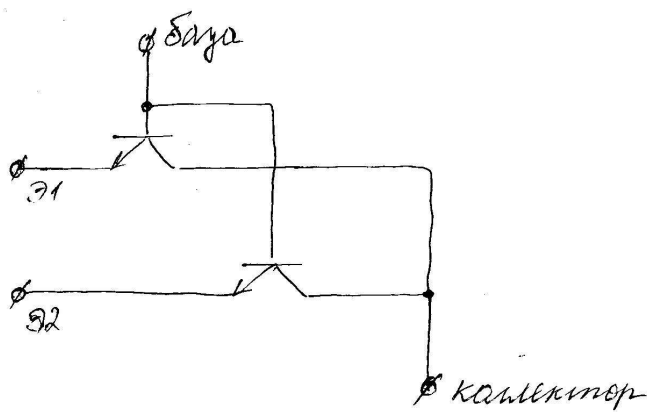


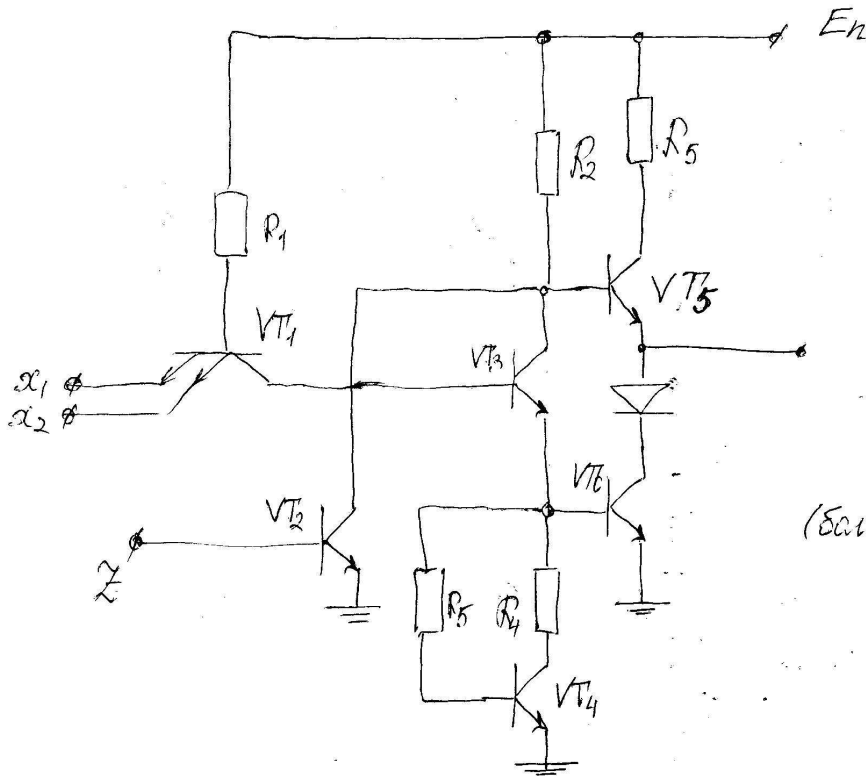
схема мтл





Модель МЭТ





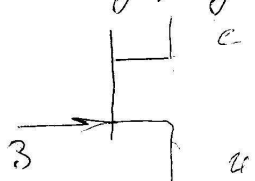
"0"  
 "1"  
 "Z" - вращающаяся  
 ось системы  
 координат.  
 (Большое вращение  
 соответствует)

Телевизионный транз. (ТТ)

- с управл. p-n переход.
- p-канал
- n-канал

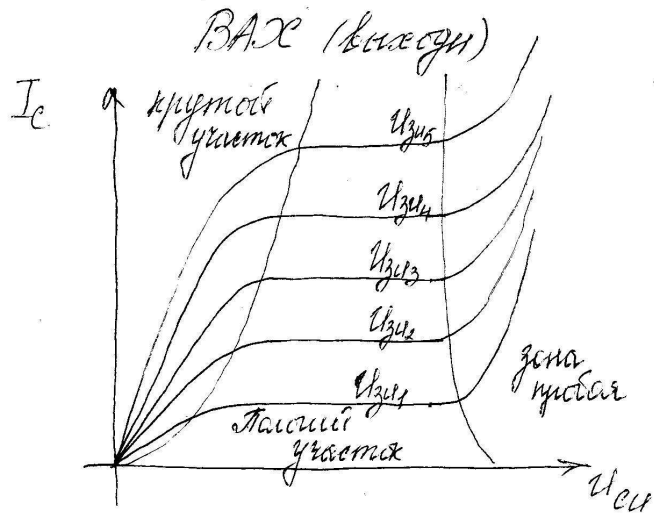
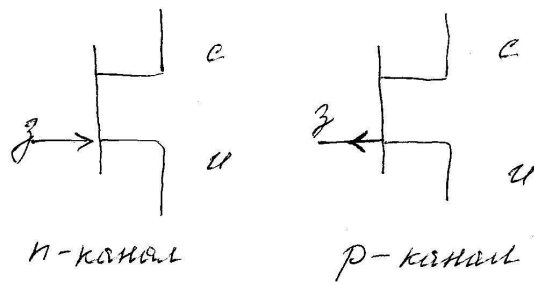
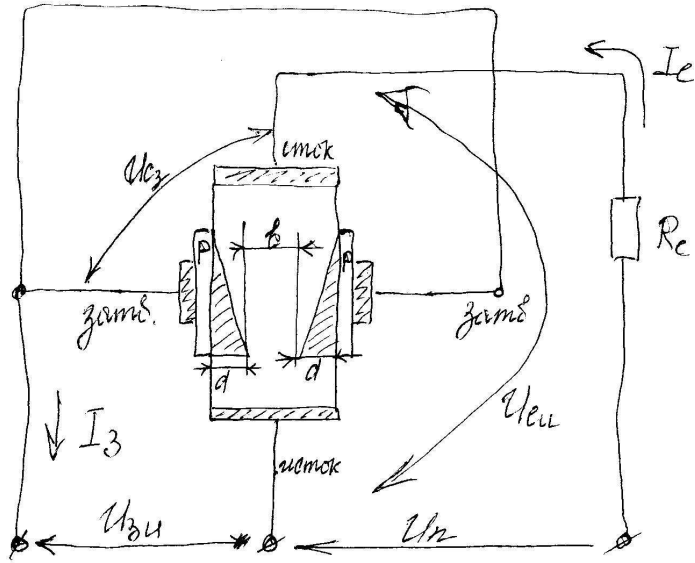
- с индуир. затв.
- с встроен. (p, n-канал)
- с индуир. канал (p, n-канал)

Канал управ. электр. полем. (отсутствует рассеивание носит. заряда)



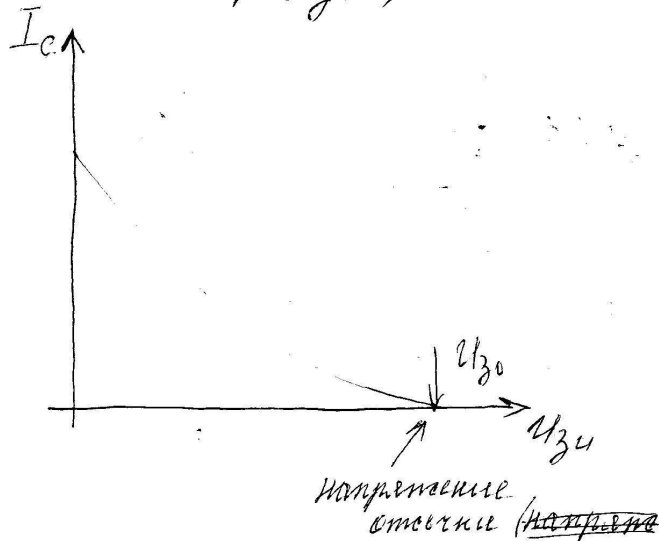
Исток - носит. заряда входят в это эмиттер.

65 Сток - выход. носит. зар.  
 затвор: упр. каналом.

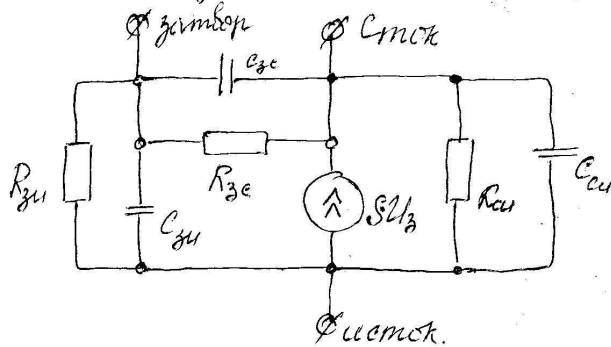


$$S = \frac{\Delta I_e}{\Delta U_{зс1}} - \text{крутизна}$$

Сток-затворная характеристика  
(проходки)



Эквивалентная схема ПТ  
в крайн. р-н переходе.



$R_{зч}, R_{зс}, R_{сч}$  - все эти величины.

Крайний участок вих сток.

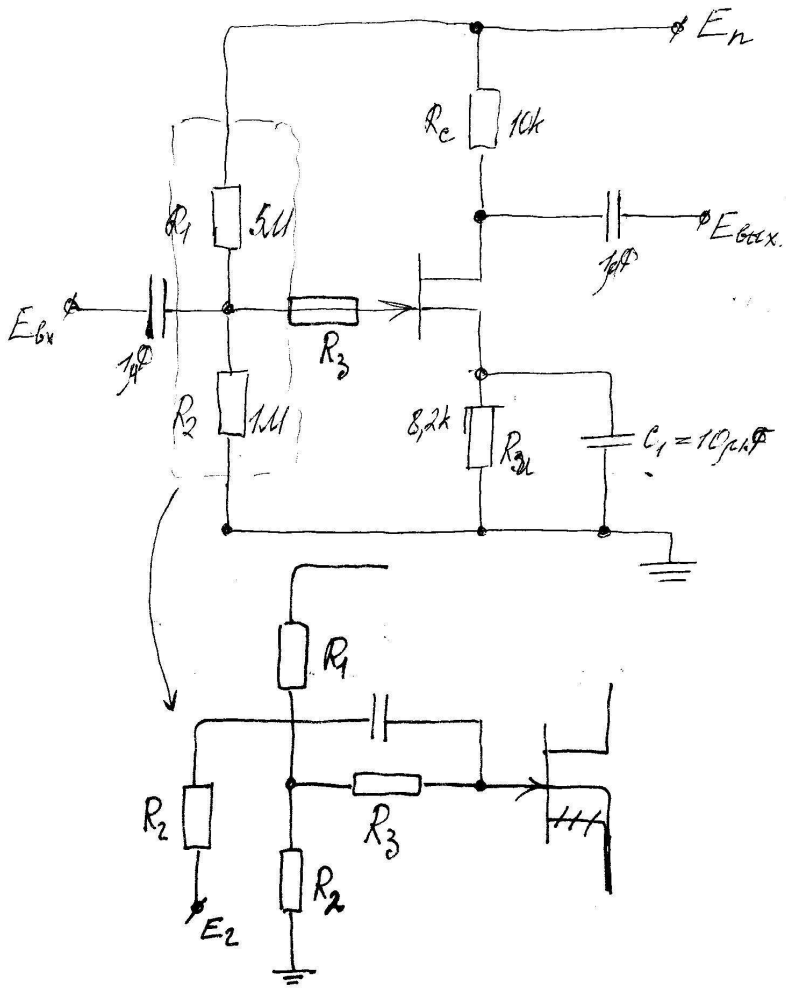
$$I_c = \frac{1}{R_{\text{вн}}} \left( U_{сч} + \frac{2}{3} \cdot \frac{(U_{зч})^{3/2} - (U_{зч} + U_{сч})^{3/2}}{\sqrt{U_{зч0}}} \right)$$

Крайний уравн.

$$I_c = \frac{B}{2} (U_{зч} - U_{зч0})^2$$

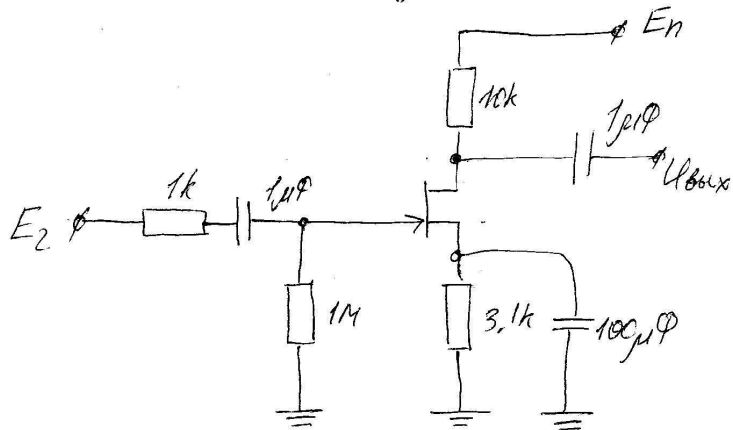
$B$  - коэффициент крутизна, зависящая от геометрии  
структ. ПТ и электр. п-ров:  $B = \frac{2I_{c\text{max}}}{U_{зч0}^2}$



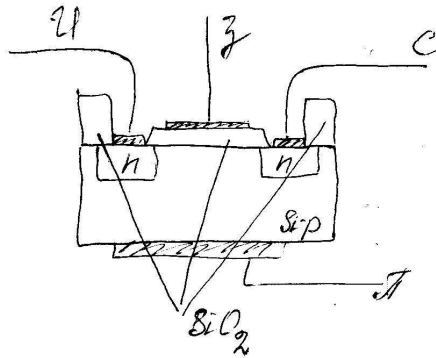


$R_1, R_2, R_3$  - ~~ценз~~ ~~ам~~ ~~миллиметров~~ ~~капитале~~  
 $R_3 \gg R_1$  и  $R_2$

Схема на ~~ТТЛ~~ в (дотам асан).

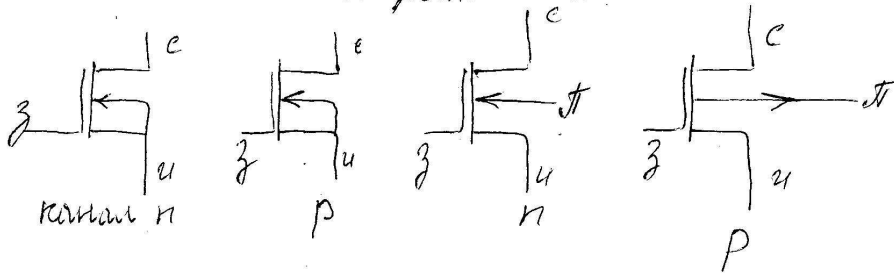
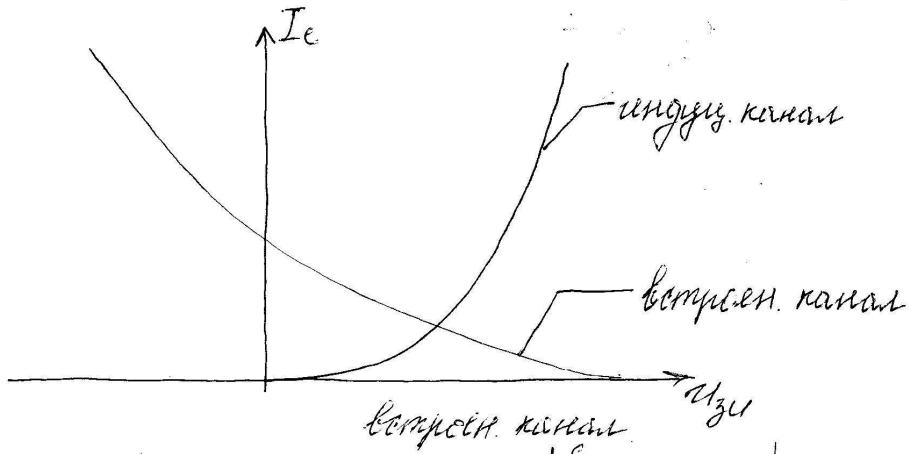
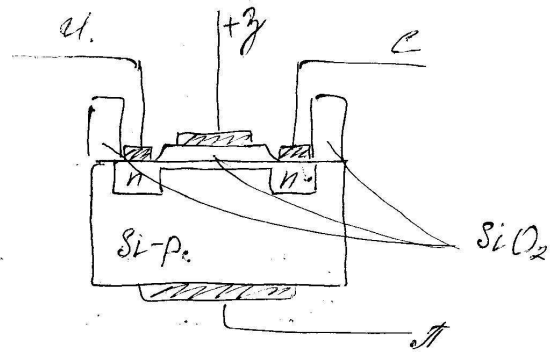


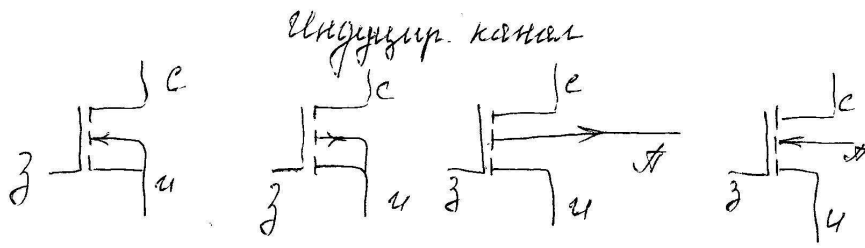
Телебелі трыягуется е  
узакр. замборан



Ундуз. канал

Вотрсеи. канал.

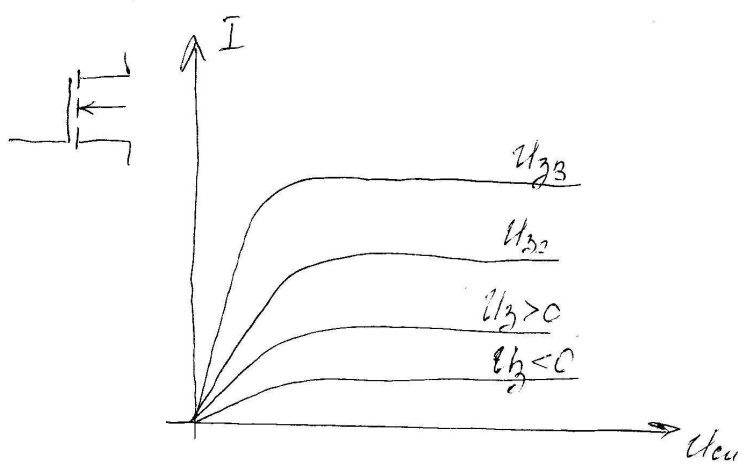
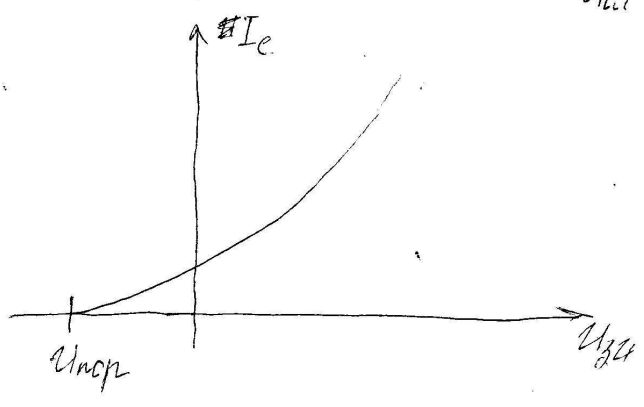
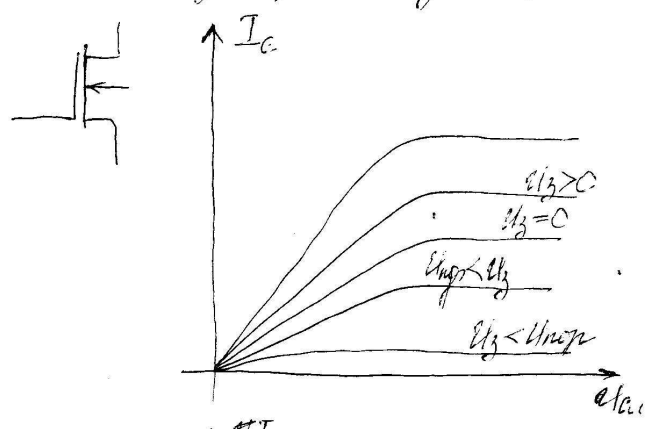


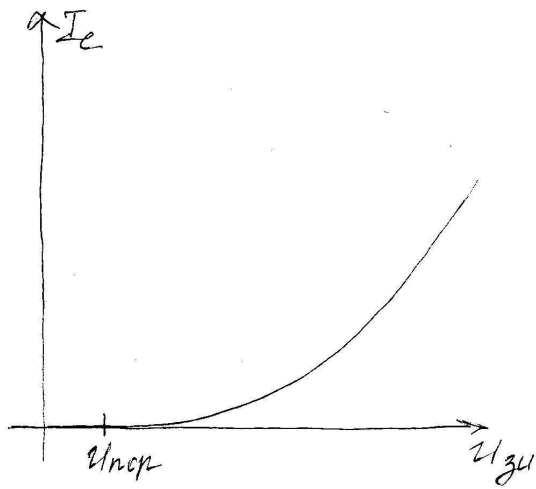


лекция №12

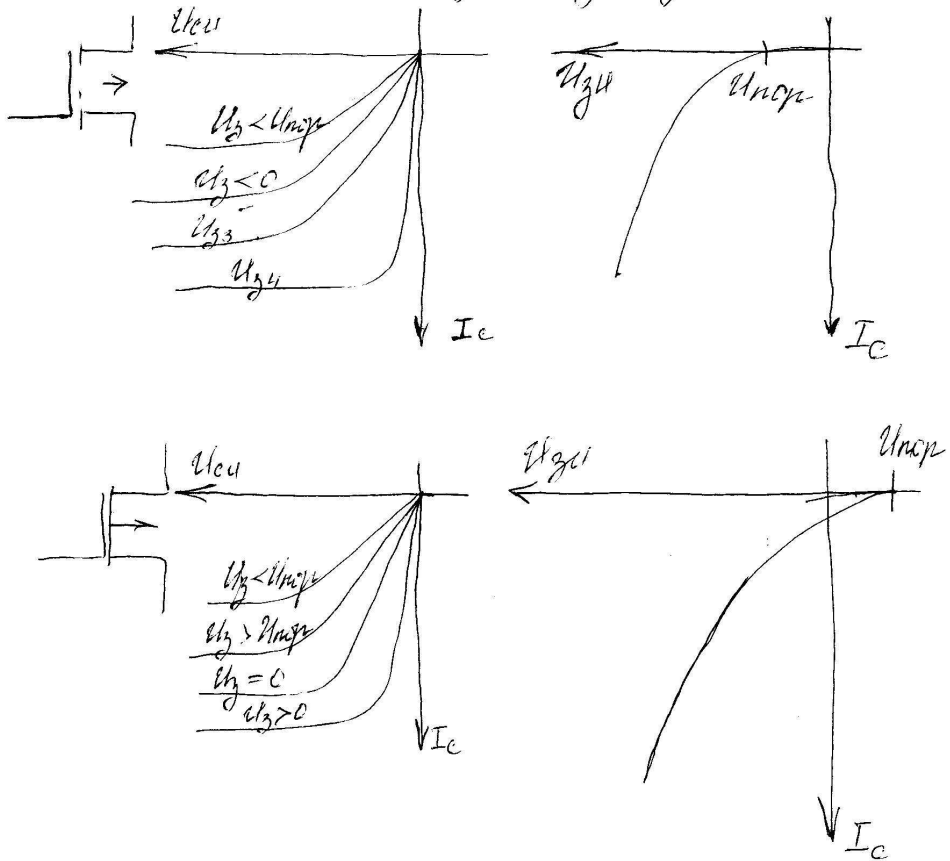
01.12

Вкл. нарисованных транзисторов  
с указанием размеров.





Вопрос: как изменится ток  $I_c$  при изменении  $U_{ce}$ ?



Основные параметры пилыных транз.

1. Крутизна характ:

$$S = \frac{\partial I_e}{\partial U_{зи}} \Big|_{U_{зи} = \text{const}} \Big|_{U_{би} = \text{const}}$$

2. Крутизна по нагрузке

$$S_n = \frac{\partial I_e}{\partial U_{зи}} \Big|_{U_{зи} = \text{const}} \Big|_{U_{би} = \text{const}}$$

3. Нар. ток источника  $I_{нар.}$  - ток источника при  $U_{зи} = 0$ ;

4.  $U_{зотм}$  - напр. между затв. и сток. при котл.  $I_e \rightarrow 0$ .

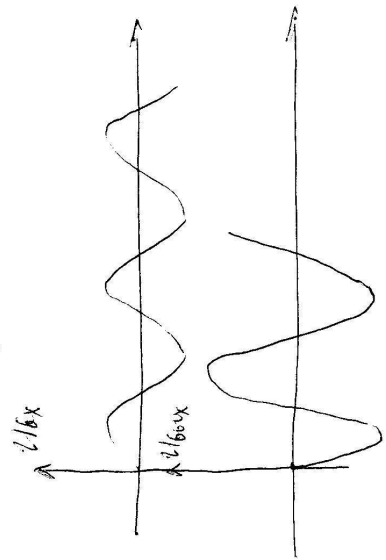
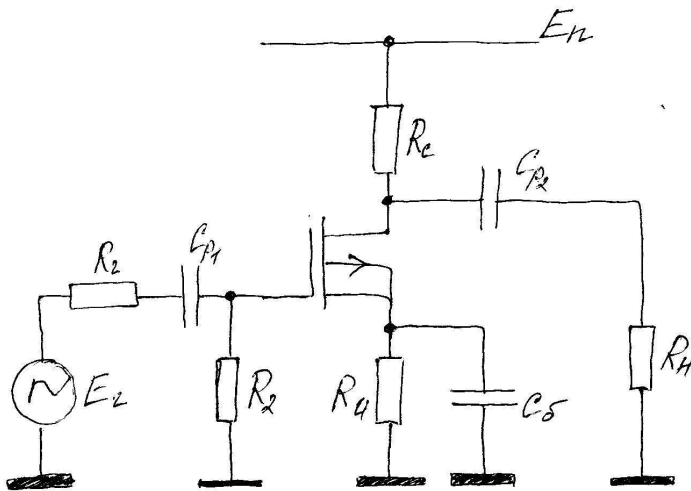
5.  $U_{зотмр}$  - напр. при котл. и нул. котл. сток.

6.  $R_{вотм}$  - напр. у зотм. C-UI при открит. сток.

7. Ток сток  $I_{стм}$

8. Ст. ток сток  $I_{стм}$  при  $U_{зотм}$  сток.

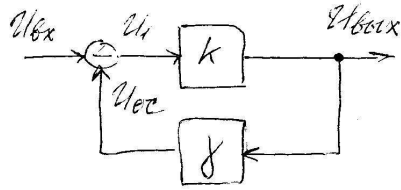
9.  $f_z$  - макс. част. ,  $K_p = 1$ .



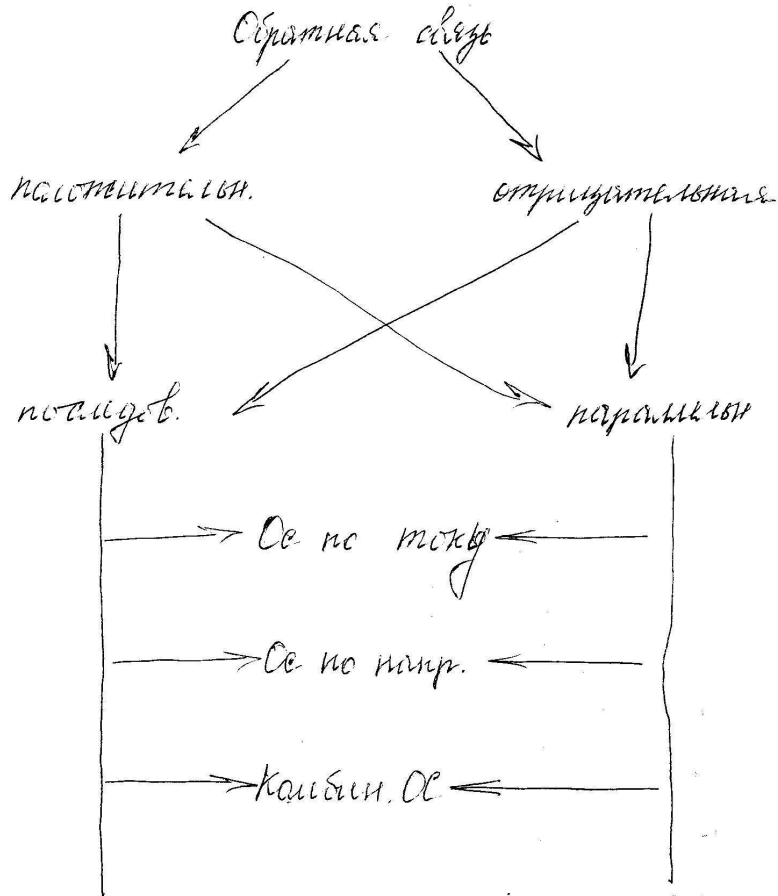
$$S = 0,1 - 10 \frac{\text{мА}}{\text{В}} \text{ мА/вольт.}$$

$$S = 1 - 10 \frac{\text{А}}{\text{В}} \text{ вольт.}$$

# Обратная связь в усилителях



$$U_{ос} = U_{вых} \cdot \gamma;$$

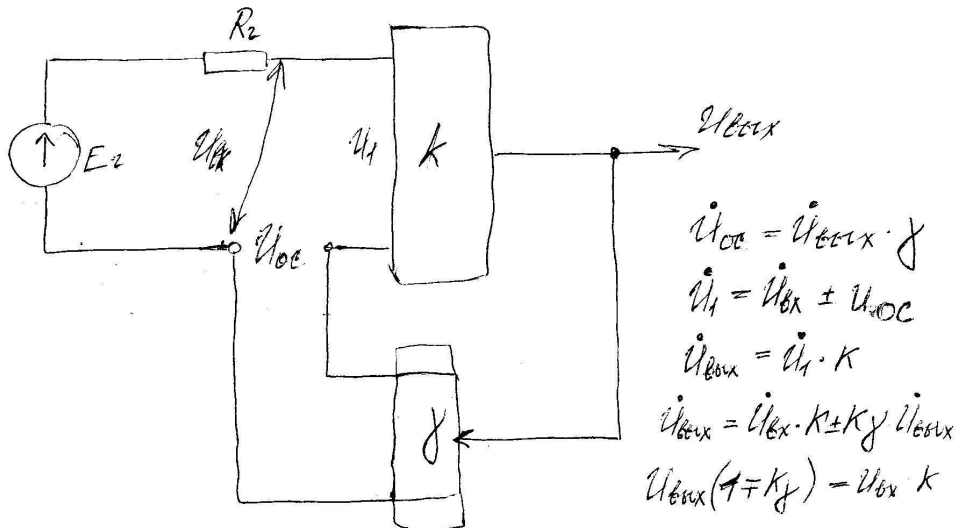


Летний обрат. связи назыв. затяжки контур, вкл. в себя часть ОС и часть усилит. каскада между точками ее подключения.

Местн. обрат. связь наз. ОС обхват. ступ. усил. уст. каскад многокаскад. уст.

Общ. обрат. это такая ОС, которая обхват. всю уст.

Полн. ОС



$$U_{ос} = U_{вых} \cdot \gamma$$

$$U_1 = U_{вх} \pm U_{ос}$$

$$U_{вых} = U_1 \cdot K$$

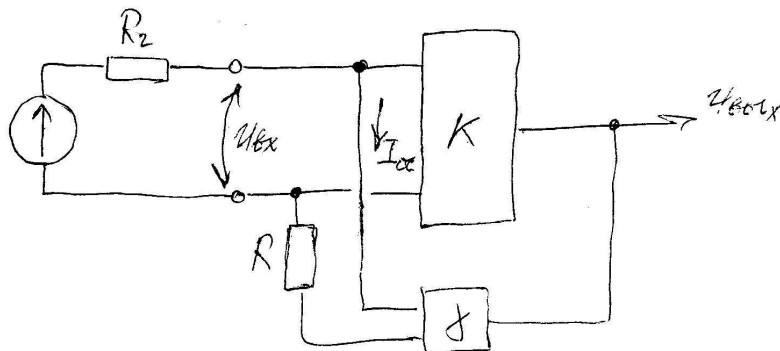
$$U_{вых} = U_{вх} \cdot K \pm K \gamma U_{вых}$$

$$U_{вых}(1 \mp K \gamma) = U_{вх} \cdot K$$

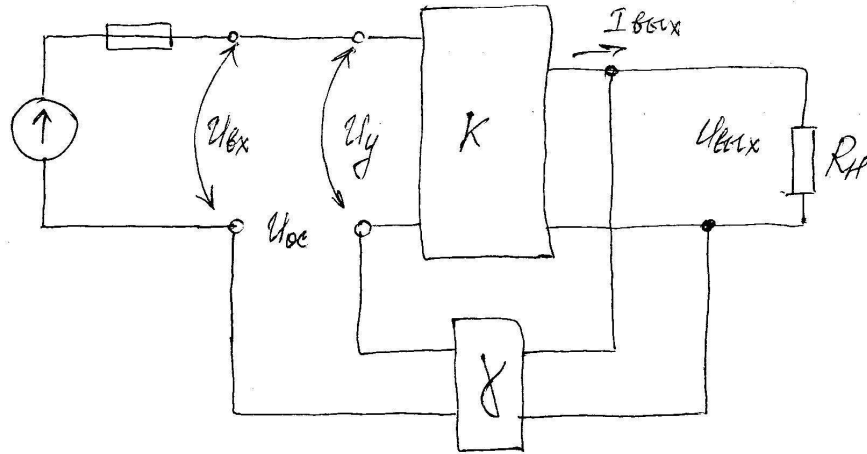
$$K_{ос} = \frac{K}{1 \mp K \gamma}$$

Параметры ОС

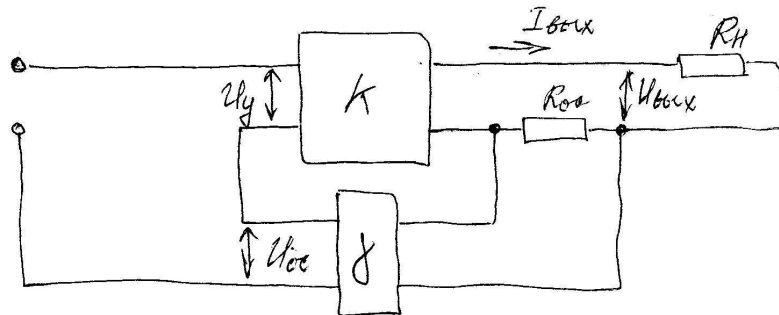
при  $K \rightarrow \infty$   $K_{ос} = \frac{1}{\gamma}$



ООС по напряжению



ООС по току



В ЯОС при  $K\gamma \rightarrow 1$  ( $1 - K\gamma$ )  $\rightarrow 0$  и  $K_{обс} \rightarrow \infty$   
 Прогнозируем. Выразим.  $K_e = \frac{K}{1 + K\gamma}$

$$dK_{обс} = \frac{dK_u (1 + K_u \gamma) - dK_u \cdot K_u \gamma}{(1 + K_u \gamma)^2} = \frac{dK_u}{(1 + K_u \gamma)^2}$$

$$K_e = \frac{U_{обс}}{U_{вх}} = \frac{K}{1 + K\gamma}$$

$$\frac{dK_{обс}}{K_{обс}} = \frac{dK_u}{K_u (1 + K_u \gamma)}$$



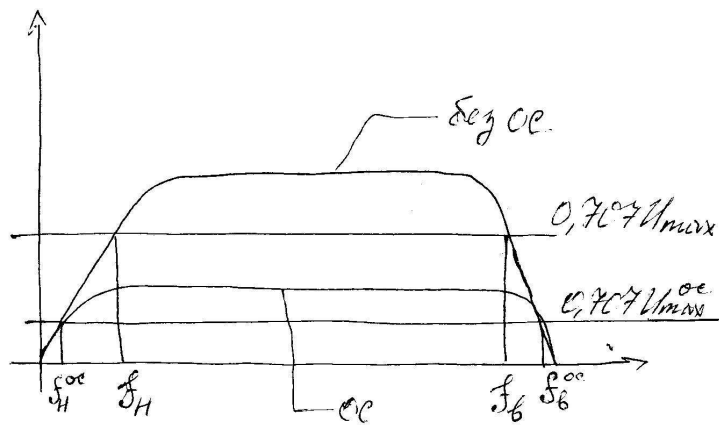


Схема усилит. с СС

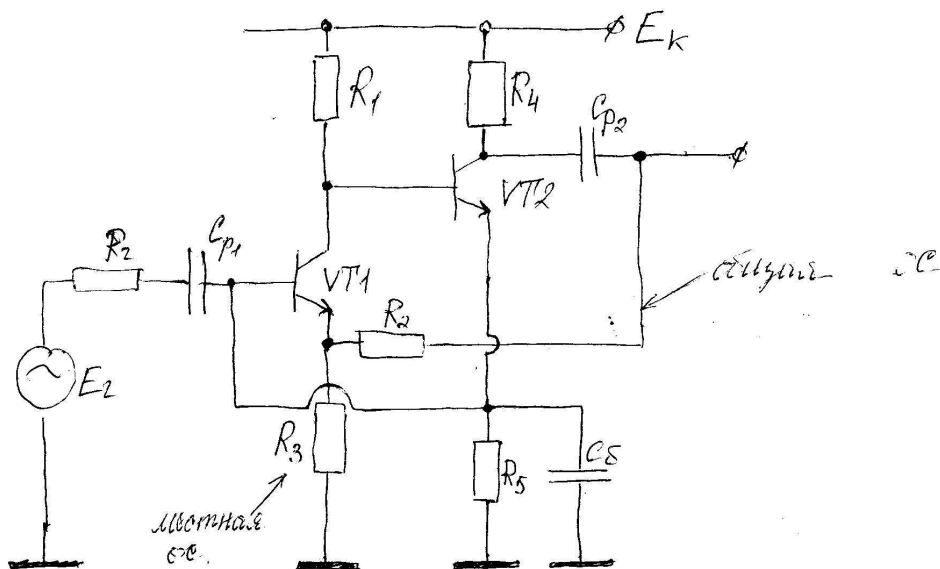
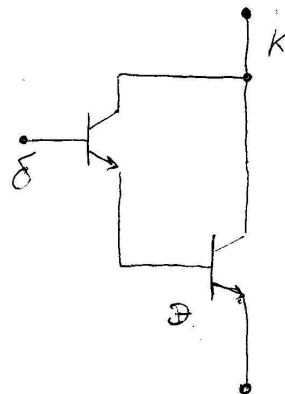


Схема компаратора



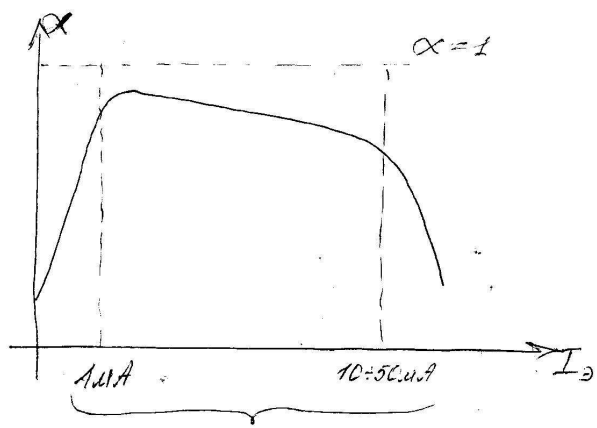
$$R_{\text{вх}} = R_1 // R_2 // z_{\text{вх, mp}}$$

$$z_{\text{вх, mp}} = z_{\text{с}} + (1 + \beta) z_{\text{э}}$$

$$z_{\text{э}} = \frac{Y_{\text{м}}}{I_{\text{э}}}$$

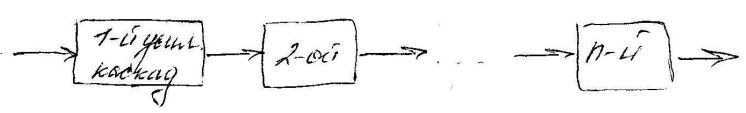
$$Y_{\text{м}} = 0,625 \text{ B}$$

$$\beta_{\text{мп}} = \beta_1 \cdot \beta_2$$



Для III. малой и средней мощности.

Многокаскадный усилитель

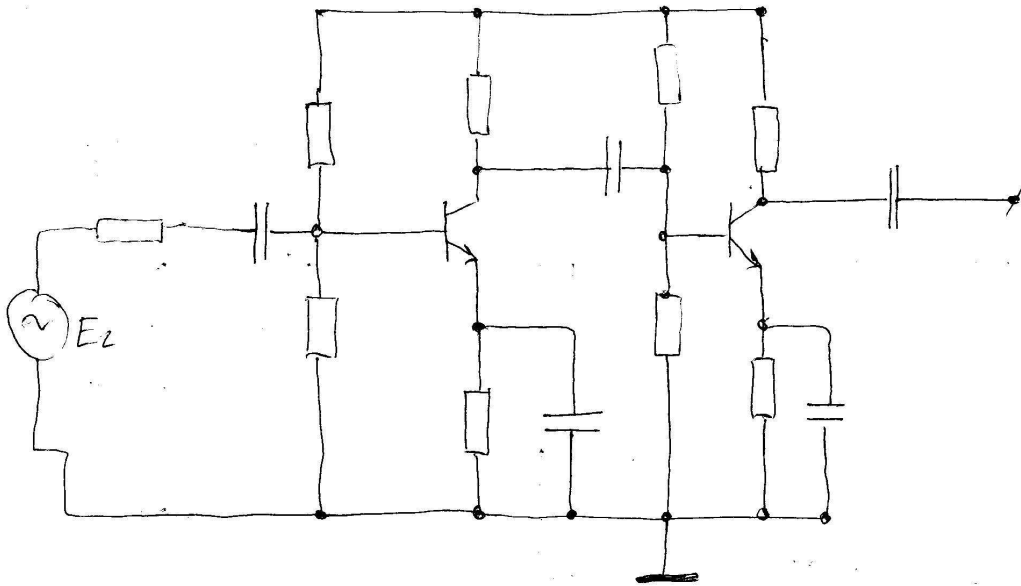


$$K = K_{u1} \cdot K_{u2} \cdot \dots \cdot K_{un}$$

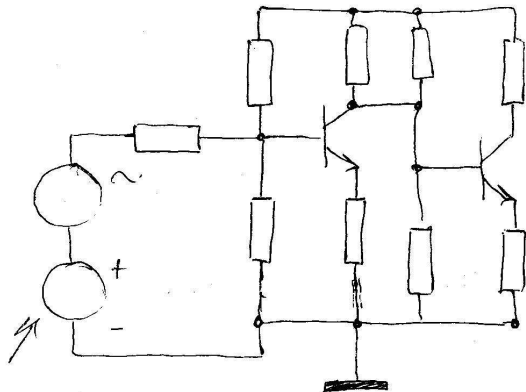
$$R_{\text{вх}i} = R_{\text{вх}i+1} \quad K_p \rightarrow \text{max}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_{\text{вх}i} \rightarrow \text{min} \\ R_{\text{вх}i+1} \rightarrow \text{max} \end{array} \right\} K_u \rightarrow \text{max.}$$

Многоступенчатый усилитель

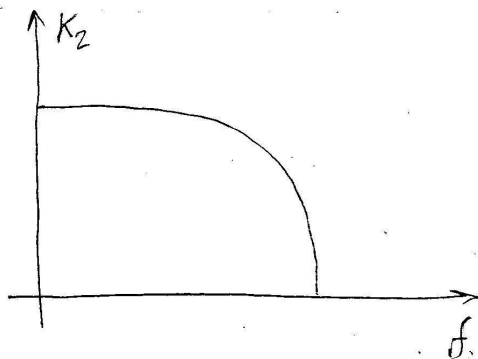


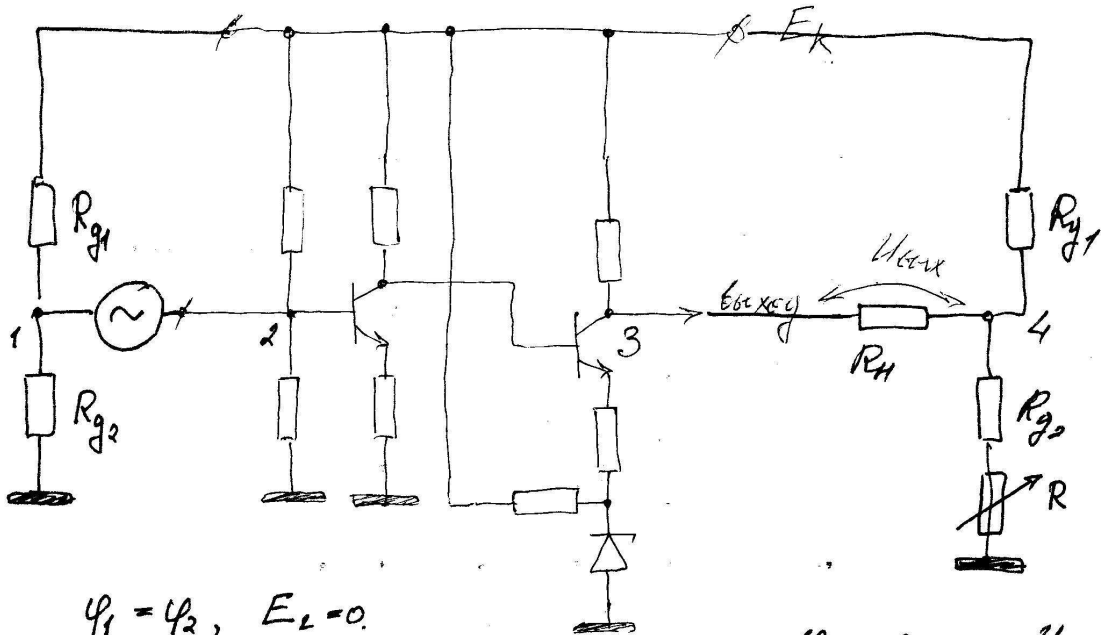
Усилитель постоянного тока



$$K_{ul1} = \frac{R_{k1}}{R_{21}}$$

Амплитуда





$\varphi_1 = \varphi_2, E_2 = 0.$

Для задания нулев. поз. напр.

При  $U_{вх} = U_{вх} = 0.$

Коэффициенто : нет делит. и нет. делит. и т.д.

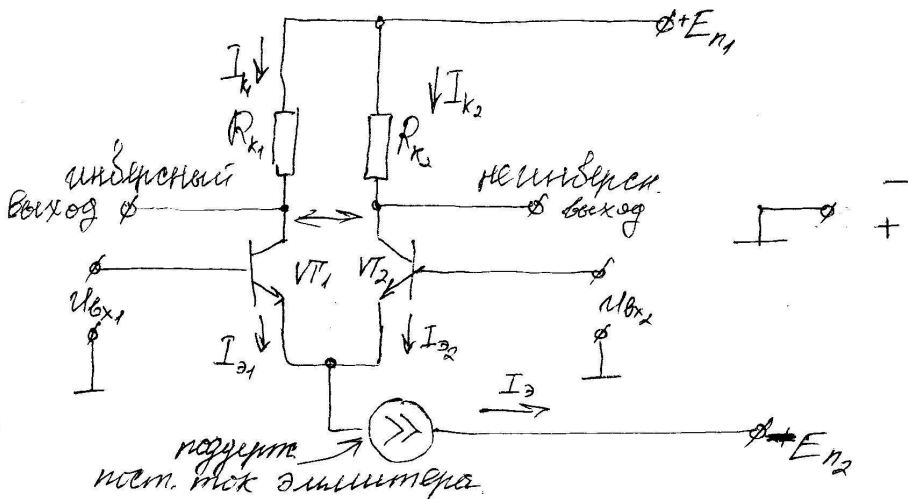
$\varphi_3 = \varphi_4, \text{ при } U_{вх} = 0$

R - для изм.  $\varphi_4$  для подстройки при изм. темп.

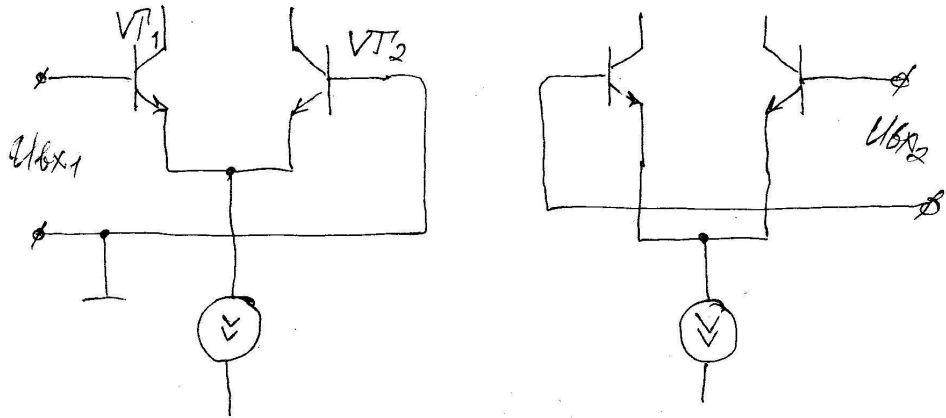
Лекция 13

8.12.2007.

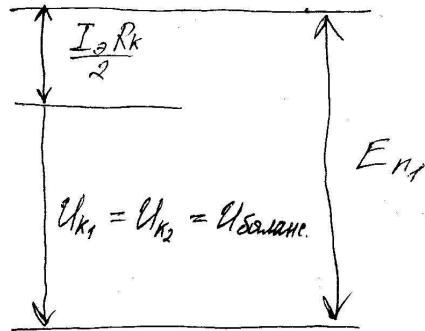
Дифференциал. усил. каскод.



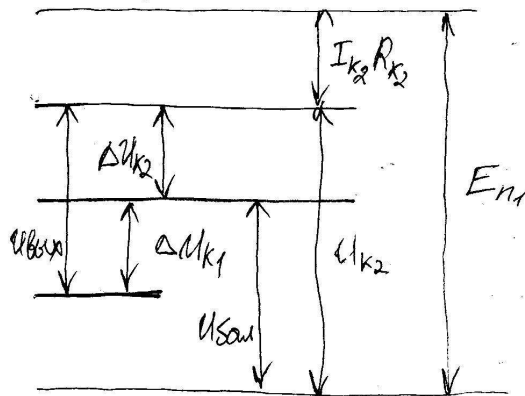
98



Точность диаграммы при "0" входн. сигнала



Точность диагр. при ненулевом входн. сигнале



$$I_{bx} = \frac{E_2}{R_2 + r_{bx1} + r_{bx2}} \approx \frac{E_2}{R_2 + 2r_{bx}} \approx \frac{E_2}{R_2 + 2(r_{be} + (1+\beta)r_{e3})}$$

Входной ток создает выходящие коллекторный ток

$$\pm \Delta I_k = \pm \beta I_{bx}$$

$$\pm \Delta U_{вых} = \pm \Delta I_k R_k = \pm \beta I_{bx} R_k$$

$$K_{U_{F2}} = \frac{\Delta U_{вых1-2}}{E_2} = \frac{\beta R_k}{R_2 + 2r_{bx}} = \frac{\beta R_k}{R_2 + 2(r_{be} + (1+\beta)r_{e3})}$$

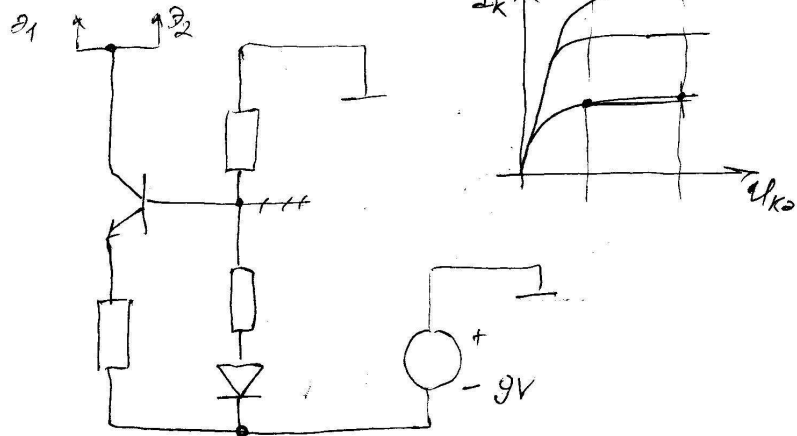
$$K_{U_{D2}} = \frac{2\Delta U_{вых1}}{E_2} = \frac{2\beta R_k}{R_2 + 2r_{bx}} = \frac{2\beta R_k}{R_2 + 2(r_{be} + (1+\beta)r_{e3})}$$

$$K_{U_{D2}} = \frac{\beta(2R_k // r_{e3})}{R_2 + 2r_{bx}}$$

при  $R_k \rightarrow \infty, R_2 = 0$

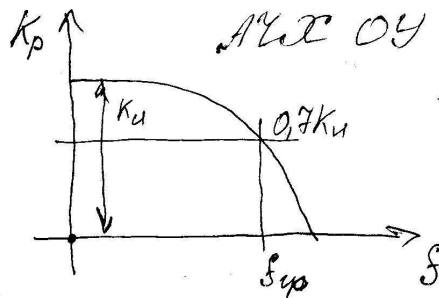
$$K_{U_{D2}} = \frac{\beta R_k}{r_{e3}} = \frac{\beta R_k}{r_{e3} + (1+\beta)r_{e3}}$$

генератор тока



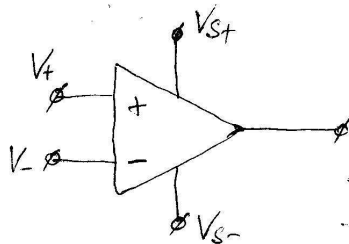
Операцион. усилитель.

ОУ - усилит. постоян. тока, с дифферен. входами,  
 ОУ исп. вехем. в ос. Один выход.



Облад. большими  $K_p$

УГО ОУ



$V+$  неинверт.

$V-$  инверт.

$V_{st}$  "питание"

$V_{s-}$  "питание"

Параметры ОУ идеального

- 1) бесконечно большой коэфф. усиления
- 2) бесконечно большое входное сопротивление.
- 3) нулевое выходное сопротивление
- 4) скорость нарастания напр. на выходе  
бескон. больш.
- 5) полоса пропуск.  $f \in [0; +\infty]$

Классифик. ОУ по типу элемент. базис

на бипол.

на полев.

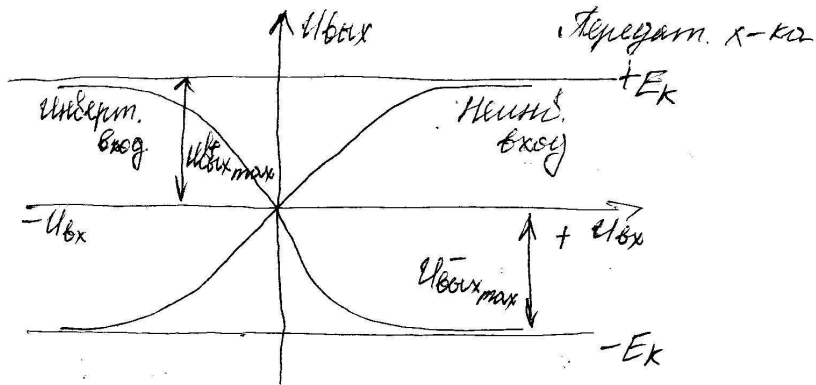
Индустриал. стандарт : ОУ со средн. парам.

Французск. ОУ : обычно на БТ, с больш. напр. анал.

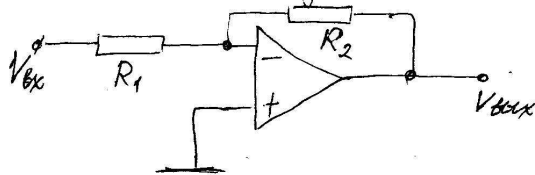
Микроамперные ОУ ~~обычно~~ — малый ток, и малое быстродействие.

Мощные : ОУ могут отдавать большой ток в нагр.

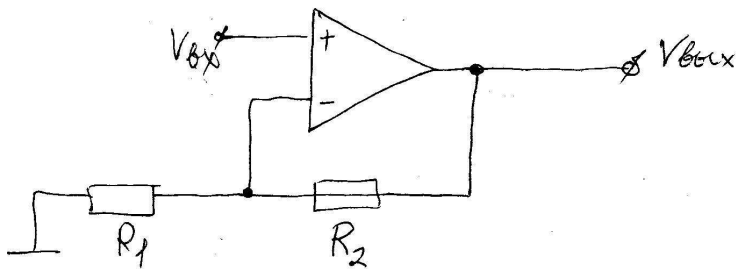
Высокочастотн. : ОУ с пов. напр.



Инвертир. усилит.

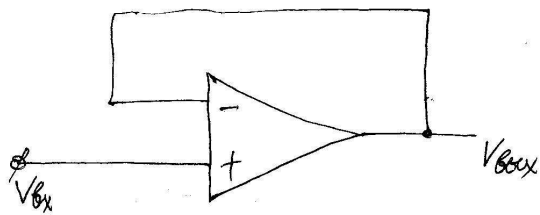


$$V_{\text{вых}} = -\frac{R_2}{R_1} V_{\text{вх}}$$



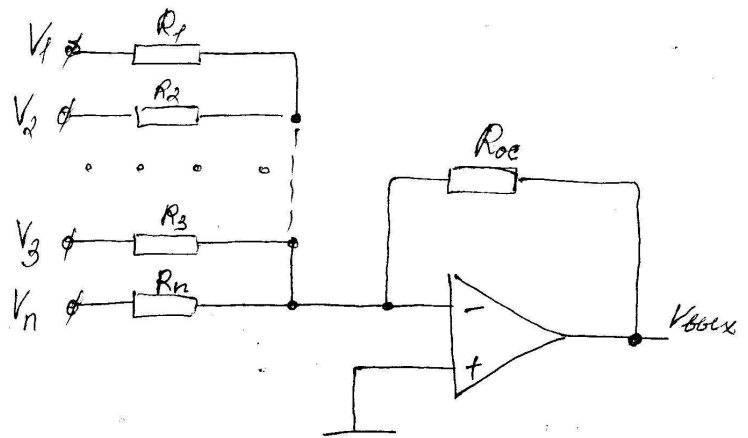
$$V_{\text{вых}} = V_{\text{вх}} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$





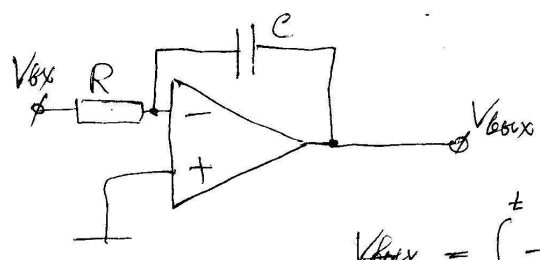
$$V_{bx} = V_{bvx}$$

Суммирующий ОУ



$$V_{bvx} = - (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

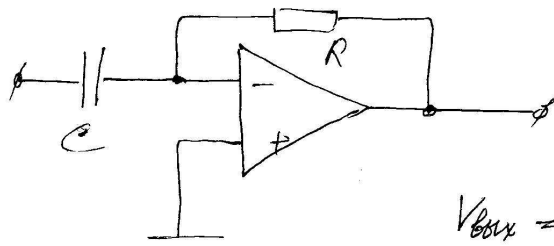
Умножитель



$$V_{bvx} = \int_0^t -\frac{1}{RC} V_{bx} dt + V_{max}$$

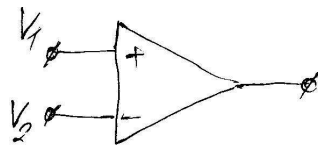
$$V_{max} = V_{bx}(0)$$

Интегрирующая.



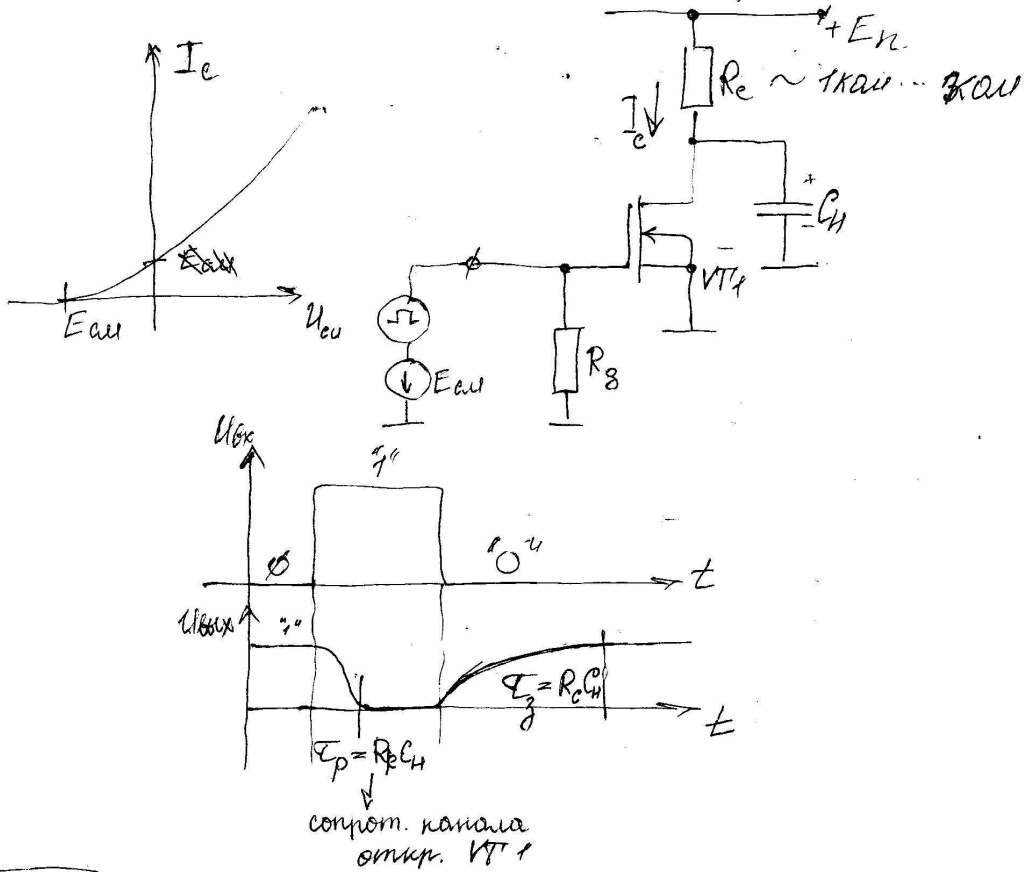
$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

Компаратор.



$$V_{out} = \begin{cases} V_{sat}, & V_1 > V_2 \\ V_{s-}, & V_1 < V_2 \end{cases}$$

Ключ на палец транзистора.



## ВЫВОДЫ

В курсе лекций рассмотрены основные темы курса «Электроника и микроэлектроника» понятие диода, транзистора и составление электрических принципиальных схем с их использование, разновидности диодов и транзисторов, их технические параметры, разновидности и способы решения электротехнических задач при отсутствии необходимые электронных радио элементов.

Данный конспект лекций составлен на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре иу4 преподавателем Аристов Б. К. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Электроника и микроэлектроника».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы теории цепей: Учебник для вузов/ Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 528 с.
2. Теоретические основы электротехники. В 3-х ч. – Ч. I. Атабеков Г.И. Линейные электрические цепи: Учебник для вузов. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 2008. – 592 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х т.: Учебник для вузов. Том 1. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 2007. – 536 с.