



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. БАУМАНА

## Учебное пособие

Подготовительный материал для подготовки к экзамену по  
дисциплине

**«Электроника и микроэлектроника»**

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Э. БАУМАНА

Подготовительный материал для подготовки к экзамену по  
дисциплине

**«Электроника и микроэлектроника»**

Москва  
**МГТУ имени Н.Э. Баумана**

**2012**

УДК 681.3.06(075.8)  
ББК 32.973-018  
И201

Подготовительный материал для подготовки к экзамену по дисциплине  
«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 подготовительном материале представлены основные определения и понятия рассмотренные в курсе «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 необходимых электронных радио элементов.

## ANNOTATION

In the preparatory material presents the basic definitions and concepts discussed in the course "Electronics and Microelectronics" the notion of a 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 the necessary elements of radio electronic .

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Вопросы для подготовки к экзамену.....	7
Задачи для экзамена.....	8
Теория для экзамена.....	11
ВЫВОДЫ.....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	49

## ВВЕДЕНИЕ

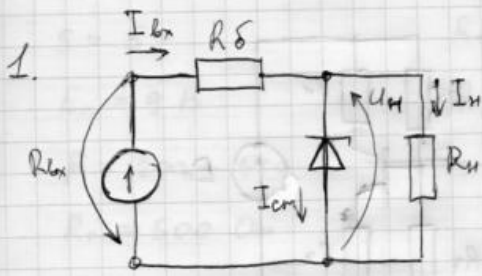
Данные материалы составлены на основе лекционного курса, читаемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре ИУ4 преподавателем Аристов Б. К. Курс лекций рекомендован к выполнению текущих аттестационных мероприятий и подготовки к зачету по предмету «Электроника и микроэлектроника».

## Вопросы для подготовки к экзамену.

1. Полупроводниковые диоды. Вольт-амперные характеристики германиевого и кремниевого диодов. Условные обозначения.
2. Полупроводниковые диоды. Основные параметры выпрямительных диодов. Значения параметров маломощных диодов.
3. Полупроводниковые диоды. Стабилитроны. Вольт-амперные характеристики стабилитронов. Основные параметры стабилитронов и их типовые значения.
4. Полупроводниковые диоды. Варикапы и тунельные диоды. Вольт- амперная характеристика тунельного диода.
5. Источники питания радиоэлектронной аппаратуры. Однополупериодные выпрямители.
6. Источники питания радиоэлектронной аппаратуры. Двухполупериодные выпрямители.
7. Источники питания радиоэлектронной аппаратуры. Сглаживающие фильтры.
8. Источники питания радиоэлектронной аппаратуры. Параметрический стабилизатор напряжения.
9. Источники питания радиоэлектронной аппаратуры. Умножители напряжения.
10. Биполярные транзисторы. Математическая модель транзистора.
11. Биполярные транзисторы. Три схемы включения транзистора.
12. Биполярные транзисторы. Входные и выходные характеристики транзистора, включенного по схеме с общей базой.
13. Биполярные транзисторы. Входные и выходные характеристики транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.
14. Ключевой режим работы биполярного транзистора.
15. Ключевой режим работы биполярного транзистора. Сложный инвертор и схемы ТТЛ.
16. Ключевой режим работы транзистора. Методы повышения быстродействия электронных ключей.
17. Дифференциальный усилительный каскад и его свойства.
18. Классификация усилителей. Основные характеристики усилителей.
19. Усилительные каскады. Классы усиления. Выбор рабочей точка усилителей, работающих в классе А.
20. Многокаскадные усилители.
21. Обратная связь в усилителях.
22. Полевые транзисторы. Выходные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п переходом.
23. МДП транзисторы. МДП транзисторы со встроенным каналом. Стоковая и стокозатворная характеристики.
24. Трансформаторные усилители мощности
25. Бестрансформаторные усилители мощности.
26. Операционные усилители (ОУ). Схемы включения ОУ.
27. Операционные усилители (ОУ). Передаточные характеристики ОУ. Схемы включения.
28. Генераторы синусоидальных колебаний. Генераторы с трансформаторной связью.
29. Генераторы синусоидальных колебаний. Трёхзвенные RC-четырёхполосники..
30. Генераторы синусоидальных колебаний. Генераторы с мостом Вина.
31. Стабилизация частоты колебаний автогенераторов.
32. Триггеры. RS-триггер.
33. Триггеры. Классификация триггеров. RS-триггер. Временные диаграммы работы RS-триггера.
34. Синхронные и асинхронные триггеры.
35. Функциональные узлы. Регистры.

Задачи для экзамена

Задачи.



$$I_{bx} = I_H + I_{ct}$$

$$U_{R\delta} = \frac{I_H + I_{ct}}{R\delta}$$

$$I_{ct} = \frac{U_{bx} - U_H}{R\delta} - \frac{U_H}{R_H}$$

$$R\delta = \frac{U_{bx\ min} - U_H}{I_{ct\ min} + \frac{U_H}{R_{H\ min}}}$$

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{bx}}{U_{bx}} / \frac{\Delta U_H}{U_H}$$

$$P_{cm\ max} = U_{cm} \cdot I_{cm\ max}$$

$$\Delta U_H = \Delta U_{bx} \cdot \tau_g / R\delta$$

$$P_{R\delta} = \frac{(U_{bx\ max} - U_H)^2}{R\delta}$$

$$K_{cm} = \frac{U_H \cdot R\delta}{U_{bx} \cdot \tau_g} \quad \tau_g = \frac{\Delta U_H}{\Delta I_{ct}}$$

Дано:

$$U_{bx\ max} = 25\text{ В}$$

$$U_{bx\ min} = 20\text{ В}$$

$$I_{H\ max} = 50\ \mu\text{А}$$

$$I_{H\ min} = 5\ \mu\text{А}$$

$$U_H = 12\text{ В}$$

Найти

$$R\delta$$

$$P_{cm}$$

$$K_{cm}$$

$$R\delta$$

Реш.:

По зад. напряж. бред. мин. стабилизатора.

$$I_{cm\ max} = 67\ \mu\text{А} \quad I_{cm\ min} = 1\ \mu\text{А}$$

$$R\delta = \frac{U_{bx\ min} - U_H}{I_{ct\ min} + \frac{U_H}{R_{H\ min}}} = 156,86\ \Omega$$

$$R_{H\ min} = \frac{U_H}{I_{H\ max}} = 2,4 \cdot 10^2\ (\Omega)$$

$$R_{H\ max} = \frac{U_H}{I_{H\ min}} = 2,4 \cdot 10^3\ (\Omega)$$

$$P_{R\delta} = \frac{(U_{bx\ max} - U_H)^2}{R\delta} = 1,07\ \text{Вт}$$

$$P_{cm\ max} = U_{cm} \cdot I_{cm\ max} = 804\ \mu\text{ВТ} \approx 1000\ \mu\text{Вт}$$

нагрузка



Dano:	Karakteristik	Typ-P
$i_{kPT} = 1 \text{ mA}$	$R_1, R_2$	KT3102B
$S = 5$	$R_{11}, R_{12}$	
$E_n = 9 \text{ B}$	$R_{Bx}, R_{Bux}$	
$\beta = 200 \div 500$		
$R_r = 500 \text{ Ohm}$		
$r_s = 50 \text{ Ohm}$		

Penyelesaian:

$$U_{R3} = 0,75 \text{ B (transistor, us } Si), \quad U_{R3} = (0,05 \div 0,3) \cdot E_n$$

$$S = 5 \Rightarrow \text{Bozumen } 0,15 \Rightarrow U_{R3} = 0,15 E_n = 1,35 \text{ (B)} \quad (1 S \Rightarrow \downarrow (0,05 \div 0,3))$$

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_3} \approx \frac{U_{R3}}{I_k} = \frac{U_{R3}}{i_{kPT}} = 1,35 \approx 1,5 \text{ kOhm}$$

$$\beta = \sqrt{\beta_{max} \cdot \beta_{min}} = 316, \quad d = \frac{\beta}{\beta+1} = 0,997$$

$$R_5 = \frac{R_3 (S-1)}{S(d-1)+1} = 5,482 \text{ kOhm}$$

$$i_s = i_{kPT} / \beta \approx 3,3 \text{ uA}, \quad R_1 = \frac{E_n}{i_s + \frac{U_{R3} + U_{R5}}{R_5}} = 23,3 \approx 24 \text{ kOhm}$$

$$R_k = \frac{E_n - U_{R3}}{2 I_k} = 3,825 \approx 3,9 \text{ kOhm}$$

$$R_2 = \frac{R_5 R_1}{R_5 + R_1} = 7,17 \approx 7,5 \text{ kOhm}$$

$$r_3 = 0,026 \text{ B} / i_{kPT} = 26 \text{ Ohm}, \quad r_{BxTP} = r_s + (\beta+1) r_3 = 8,292 \text{ kOhm}$$

$$R_{Bx} = R_5 \parallel r_{BxTP} = 3,3 \text{ kOhm}$$

$$R_{Bux} = R_k \parallel r_k \approx R_k = 3,9 \text{ kOhm}$$

Dano:	Karakteristik	Typ-P
$i_{\text{kPT}} = 1 \text{ mA}$	$R_1, R_2$	KT3102B
$S = 5$	$R_{11}, R_{12}$	
$E_n = 9 \text{ B}$	$R_{Bx}, R_{Bux}$	
$\beta = 200 \div 500$		
$R_r = 500 \text{ Ohm}$		
$r_{\delta} = 50 \text{ Ohm}$		

Penyelesaian:

$$U_{R3} = 0,75 \text{ B (transistor } u_{\text{Si}}), \quad U_{R3} = (0,05 \div 0,3) \cdot E_n$$

$$S = 5 \Rightarrow \text{Bozumen } 0,15 \Rightarrow U_{R3} = 0,15 E_n = 1,35 \text{ (B)} \quad (1 S \Rightarrow \downarrow (0,05 \div 0,3))$$

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_3} \approx \frac{U_{K3}}{I_K} = \frac{U_{R3}}{i_{\text{kPT}}} = 1,35 \approx 1,5 \text{ kOhm}$$

$$\beta = \sqrt{\beta_{\text{max}} \cdot \beta_{\text{min}}} = 316, \quad d = \frac{\beta}{\beta+1} = 0,997$$

$$R_{\delta} = \frac{R_3 (S-1)}{S(d-1)+1} = 5,482 \text{ kOhm}$$

$$i_{\delta} = i_{\text{kPT}} / \beta \approx 3,3 \text{ uA}, \quad R_1 = \frac{E_n}{i_{\delta} + \frac{U_{R3} + U_{\delta3}}{R_{\delta}}} = 23,3 \approx 24 \text{ kOhm}$$

$$R_K = \frac{E_n - U_{R3}}{2 I_K} = 3,825 \approx 3,9 \text{ kOhm}$$

$$R_2 = \frac{R_{\delta} R_1}{R_{\delta} + R_1} = 7,17 \approx 7,5 \text{ kOhm}$$

$$r_{\delta} = 0,026 \text{ B} / i_{\text{kPT}} = 26 \text{ Ohm}, \quad r_{BxTP} = r_{\delta} + (\beta+1) r_{\delta} = 8,292 \text{ kOhm}$$

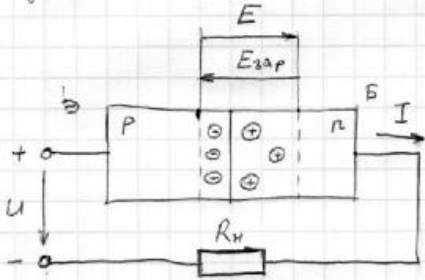
$$R_{Bx} = R_{\delta} \parallel r_{BxTP} = 3,3 \text{ kOhm}$$

$$R_{Bux} = R_K \parallel r_K \approx R_K = 3,9 \text{ kOhm}$$

1. П/п диоды. ВАХ германиевого и кремниевого диодов. Условные обозначения.

П/п диод - п/п прибор с одним выпрямляющим гетерогенным переходом и двумя выводами, в котором исполз. по шти или иное св-во выпрямляющего перехода.

Области, имеющие более высокую концентрацию примесей называют эмиттерами, а другие - базами.



Если к выводам прилож. напр. напряж., то созд. эл. поле E компенсирует E\_{здр} и в обл. базы будут инжектиров. дырки, которые и образ. прямой ток диода I.

Если прилож. обратн. напряж., то созд. им эл. поле (-E) повысит потенц. барьер, что затормозит переход основн. носит. заряда в соседн. обл.

Однако при прилож. напр. напряж. эл. поле способств. инжекции носителей. носит. заряда: n\_p из p в n, p\_n из n в p, которые и образ. обратн. ток.

Обр. ток:  $I_0(T) = I_0 \cdot 2^{\frac{T-T_0}{\Delta T}}$   $\Delta T$  - коэфф. материала.

ВАХ диода описыв. выр-ем:  $I = I_0 \left( e^{\frac{U}{\Phi_T}} - 1 \right)$

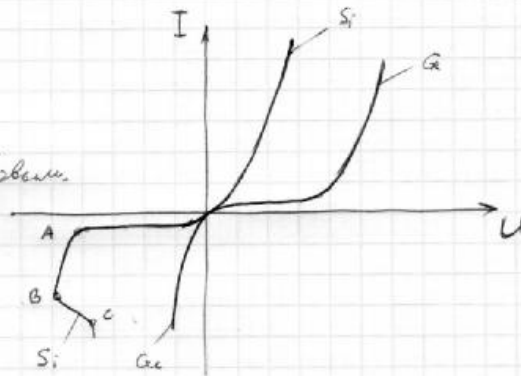
$\Phi_T$  - темп. потенц. ( $\Phi_T = \frac{kT}{q}$ ), равный констант. разн. потенц. на границе перехода при отсутств. внешн. напряж.

AB - эмитт. пробой  
BC - туннельн. пробой

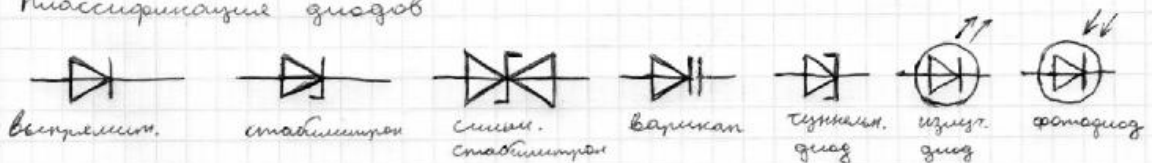
У германиевого диода эмитт. пробой проявл. эквивал. с туннельн.

Прямая ветвь реалн. диода описыв. ур-ем

$$I = I_{обр} e^{\frac{U_0 - IR_0}{\Phi_T}}$$



Классификация диодов



## Вопрос №2

Полупроводниковые диоды. Основные параметры выпрямительных диодов.

Значения параметров маломощных диодов.


Ответ: Диод - П/П прибор с одним р-п переходом и 2-ми выводами (электродами). Проводит ток в одном направлении.

Область наибольшей концентр. примесей - эмитер

Область наименьшей концентр примесей - база

Выпрямительный диод используется для преобразования тока в ток одной полярности. Используется для выпрямления тока.

Основные пар-ры:

Услови. обознач: 

- Наибольший выпрямленный ток  $I_{\text{вып. max}}$  - наибольшее допустимое значение (среднее) выпрямленного тока за период
- Прямое падение напряжения  $U_{\text{пр}}$  - падение напряж. при протекании на диоде  $I_{\text{вып.}}$
- Наибольшее обратное напряжение  $U_{\text{обр. max}}$
- $I_{\text{обр. max}}$ -соотв.  $U_{\text{обр. max}}$
- Наибольш. допустимая мощность рассеивания  $P_{\text{рас. max}}$
- Диапазон частот  $\Delta f$ , при котором выпр. ток не уменьш.

Значения пар-ов маломощных диодов:

$$I_{\text{вып. max}} = 1 - 300 \text{ mA}$$

$$U_{\text{обр. max}} = 30 - 200 \text{ V}$$

$$I_{\text{обр. max}} = 1 - 10 \text{ mA}$$

Вопрос 3. Проводниковые диоды.  
Стабилитрон. ВАХ. Основные параметры и их тип. Знач.

Стабилитрон (диод Зенера) - полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации напряжения в источниках питания. По сравнению с обычным диодом имеет низкое регулируемое напряжение пробоя (при обр. вкл.) и может поддерживать это напряжение на постоянном уровне при значительном изменении силы обр. тока.



При достижении напряжения на стабилитроне, кот. наз.  $U_{стаб}$ , ток через стабилитрон резко возрастает. Диффер-ное сопротивление стабилитрона на этой участке стремится к нулю. А так  $R_{диф} = 2 \div 50 \text{ Ом}$ .

Напряжение стабилизации зависит от физического механизма, обуславливающего резкую зависимость тока от напряжения. Два физ. механизма, ответственных за такую зависимость - лавинный и туннельный пробой. Стабилитроны с туннельным мех. пробоя  $U_{стаб} < 5 \text{ В}$  переходят в лавинный  $U_{стаб} > 8 \text{ В}$ .

Нечто о пробоях (ПЗДЦ)

Лавинный - в сильном эл. поле основной носитель заряда на длине свободного пробега может набрать энергию, достаточную для того, чтобы при соударении с решеткой создавать эл.-дырочную пару. Высок. обрз. носители начинают двигаться тоже самод. и т. д. (как лавина)

Туннельный - возникает при малой ширине р-и зон (например износимая база), когда при большом обратном напряжении э-ны проникают за барьер без преодоления самого барьера

Основные параметры: ток  $I_{ст}$  и напряжение  $U_{ст}$ , дифференциальное сопрот.  $R_{диф}$  и температурная зависимость этих параметров

- минимальная мощность рассеивания, чтобы не возникла тепловой пробой

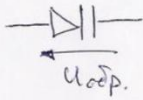
температурный коэф-т напряжения

$$TKH = \frac{\Delta U_{ст}}{U_{ст} \Delta T}$$

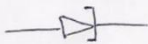
4) П/п диоды. Варшаны и туннельные диоды. ВАХ туннельного диода.

П/п диод - прибор с 2-мя выводами, содержащий один электроно-дырочный переход.

Варшан - п/п диод, в котором используется зависимость барьерной ёмкости р-п перехода от обратного напряжения и предназначен для применений в качестве элемента с электрически управляемой ёмкостью.

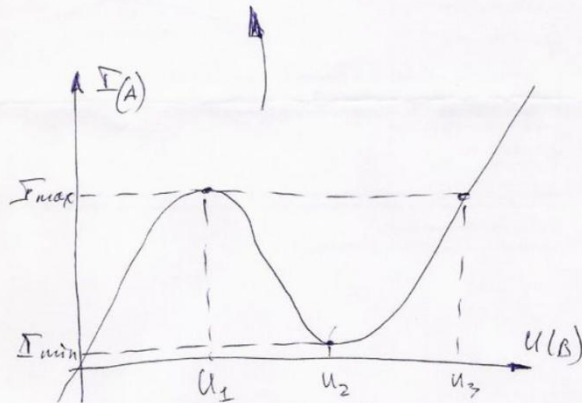
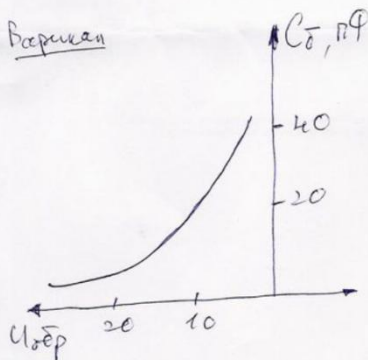


Туннельный диод - п/п диод на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит к появлению на ВАХ при прямом напряжении участка с отрицательной дифференциальной электрической проводимостью



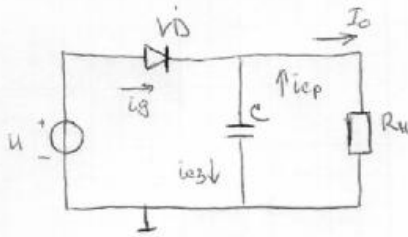
ВАХ

Варшан

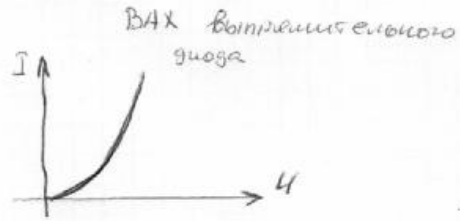


Туннельный эффект позволяет  $\bar{e}$ -нам преодолеть энергетический барьер в зоне перехода при таких напряжениях, когда зона проводимости в n-области имеет равные энергетич. уровни с валентной p-области. При дальнейшем увеличении прямого напряжения уровень Ферми n-области поднимается выше p-области, попадая в ЗЗ p-области, а носителям туннелирование не может изменить позицию энергии  $\bar{e}$ , верасти. переходя из n-области в p-область резко падает. Это создает участок при  $\uparrow U$   $\uparrow$  сила тока

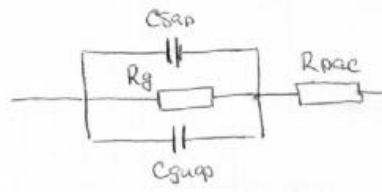
Источники питания радиотехнической аппаратуры. Однополупериодный выпрямитель



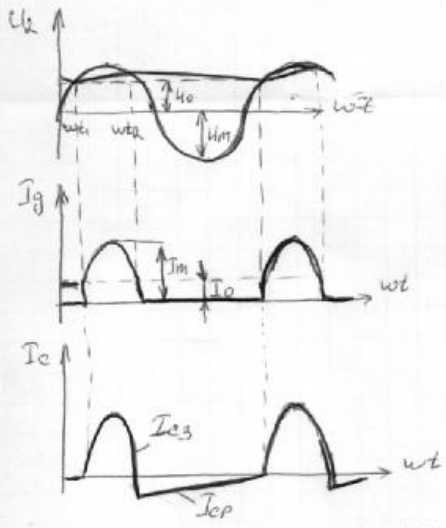
ВАХ идеального диода



Эквивалентная схема диода:



Временные диаграммы напряжений и токов в выпрямителе, работающем на емкост. нагрузку



В интервале времени  $t_1-t_2$  диод открыт и через него протекают токи нагрузки и заряда конденсатора  $C$ .

Фазовый угол, в течение которого диод открыт, обозначается  $\Delta\theta = \omega t_2 - \omega t_1$ , где  $\theta$  - угол отсечки. Чем меньше  $\theta$ , тем больше  $I_{до}$  и меньше пульсации.

Основные расчетные параметры выпрямителя являются функциями коэф-та

$$A(\theta) = \frac{1}{\pi} (\theta - \theta \cos \theta) = \frac{1}{\pi} R_{добр} C \omega \sin \theta$$

С помощью этого коэф-та определяют коэффициент пульсаций:  $K_{п} = \frac{U_{нm}}{U_{н0}}$ , где

$U_{нm}$  - амплитуда  $i$ -й гармоники.

$U_{н0}$  - постоянная составляющая выпрямленного напряжения.

Выходное сопротивление  $R_{вых} = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0}$ , где  $\Delta U_0$  и  $\Delta I_0$  находят по нагрузочной характеристике источника  $U_0 = f(I_0)$ ;  $U_0$  и  $I_0$  - напряжение и ток нагрузки.

Недостаток: большой коэф. пульсаций и  $I_{до}$  значительно  $<$  действ. знач.  $I$  в основном.

## 6. Источники питания радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) Двухполупериодные выпрямители

Для всех электронных устройств необходимы источники питания постоянного тока.

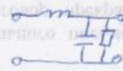
- Источники первичного питания:
  - а) химические
  - б) термоэлектрические
  - в) топливные
  - г) периодатермы
  - д) фотоэлектрические
  - е) биохимические
  - ж) солнечные
  - з) электрические генераторы

- Источники вторичного питания  
Это функциональные узлы РЭА, получающие энергию от источников первичного питания.

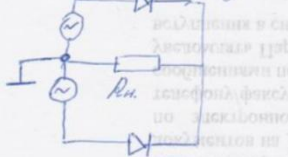
Основная задача - выпрямление тока и стабилизация напряжения.

Схема блока питания:

Трансформатор → Двухполупериодный выпрямитель → Фильтр → Стабилизатор



Двухполупериодный выпрямитель

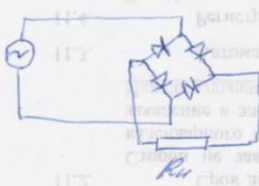


Входной сигнал

Выходной сигнал



Мостовой



Вход

Выход

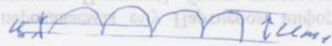


Среднее напряжение на  $R_n$ :  $U_{н.ср} = \frac{2U_{вх.мах}}{\pi} = 2\sqrt{2} \frac{U_{вх.г}}{\pi} = 0,637 U_{вх.мах}$

Средний ток через  $R_n$ :  $I_{н.ср} = \frac{2I_{вх.мах}}{\pi} = 2\sqrt{2} \frac{I_{вх.г}}{\pi} = 0,637 I_{вх.мах}$

Коэффициент пульсации:  $K_n = \frac{U_{им}}{U_{ср}}$  - амплитуда первой гармоники

$U_{ср}$  - среднее значение выпрямленного напряжения





## 6. Источники питания радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) Двухполупериодные выпрямители

Для всех электронных устройств необходима источник питания постоянного тока.

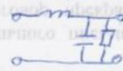
- Источники первичного питания:
  - а) химические
  - б) термоэлектрические
  - в) топливные
  - г) периодатерм
  - д) фотоэлектрические
  - е) биохимические
  - ж) солнечные
  - з) электрические генераторы

- Источники вторичного питания  
Это функциональные узлы РЭА, получающие энергию от источников первичного питания.

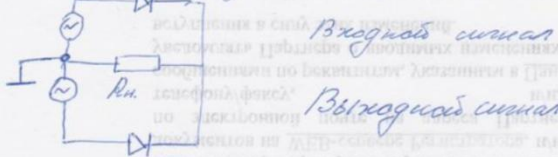
Основная задача - выпрямление тока и стабилизация напряжения.

Схема блока питания:

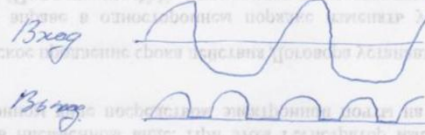
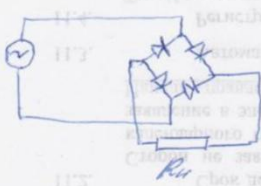
Трансформатор → Двухполная схема → Сглаживающий конденсатор → Стабилизатор



### Двухполупериодный выпрямитель



### Мостовой

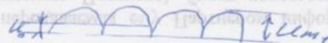


Среднее напряжение на  $R_n$ :  $U_{н.ср} = \frac{2U_{вх.мах}}{\pi} = 2\sqrt{2} \frac{U_{вх.г}}{\pi} = 0,637 U_{вх.мах}$

Средний ток через  $R_n$ :  $I_{н.ср} = \frac{2I_{вх.мах}}{\pi} = 2\sqrt{2} \frac{I_{вх.г}}{\pi} = 0,637 I_{вх.мах}$

Коэффициент пульсации:  $K_{п} = \frac{U_{им}}{U_{ср}}$  - амплитуда первой гармоники

$U_{ср}$  - среднее значение выпрямленного напряжения

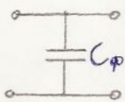


7. Устройства пассивной развязки выходной аппаратуры. Селективные фильтры.

Для уменьшения пульсаций выходного напряжения между выключателем и нагрузкой часто используют селективный фильтр. Качество селективности определяется коэффициентом селективности, равным отношению коэффициента пульсации на входе фильтра к коэф. пульсации на его выходе.

$$K_{сэл} = \frac{K_{п.вх}}{K_{п.вых}}$$

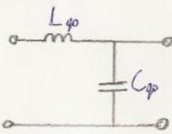
Емкостной фильтр



$$K_{п} = \frac{1}{2mf C_p R_n}$$

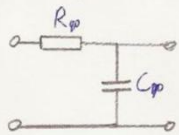
$f$  - частота  
 $m$  - число фаз  
 $C_p$  - емкость фильтра  
 $R_n$  - сопротивление нагрузки

Индуктивно-емкостной фильтр (LC)



$$K_{сэл} = \omega^2 L_{\phi} C_p$$

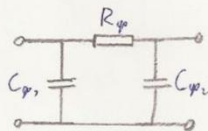
RC-фильтр



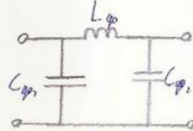
$$K_{сэл} = \frac{\omega C_{\phi} R_{\phi} R_n}{R_n + R_{\phi}}$$

Каскадные фильтры

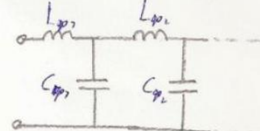
CRС-фильтр



CLC-фильтр



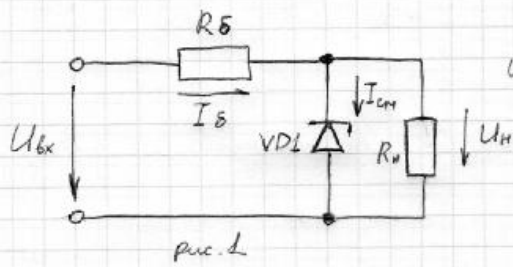
Каскадный LC-фильтр



Три каскадных селективных LC-фильтров можно считать, что

$$K_{сэл \Sigma} = K_{сэл1} \cdot K_{сэл2} \cdot \dots$$

8) Уст. питание радиоизл. аппарат. Параметрич. стабилизатор напряжения.



Рδ - сопротивление балластного резистора

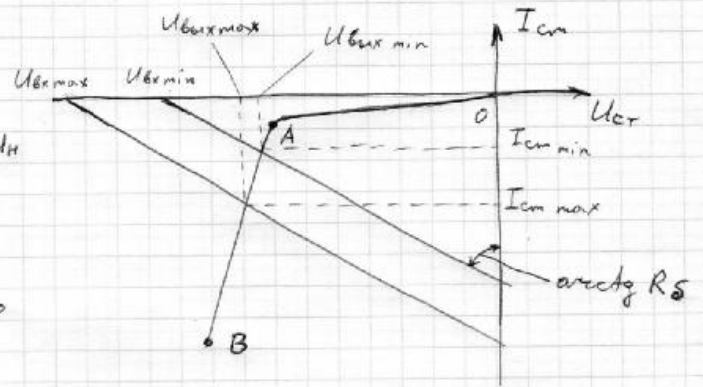


рис. 2

На рис. 1 показана схема параметрического стабилизатора.

Из рис. 2 видно, что при подаче балластного резистора входного сопротивления, на выходе получается минимальное

Коэффициент стабилизации

$$K_{см} = (\Delta U_{вх} / U_{вх}) / (\Delta U_{н} / U_{н}) = \frac{U_{н} \cdot R_{\delta}}{(U_{нmax} + U_{нmin}) \cdot \tau_z} \quad \text{коэффициент, сопротивление, стабилизирующий}$$

Расчет параметров стабилизатора ведется при помощи формул:

$$(U_{нmin} - U_{н}) / R_{\delta} = U_{н} / R_{нmin} + I_{смmin}$$

$$(U_{нmax} - U_{н}) / R_{\delta} = U_{н} / R_{нmax} + I_{смmax}$$

Вопрос №9

Источники питания радиоэлектронной аппаратуры.  
Умножимем напряжение.

Ответ: Для всех электронных устройств необходимы источники питания постоянного тока

- Источники первичного питания:
  - химические
  - термопары
  - термоэлектронные
  - фотоэлектрические
  - топливные
  - биохимические
  - атомные
  - электромагнитные генераторы

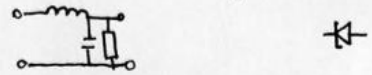
- Источники вторичного питания:
 

Это функциональные узлы РЭА, использующие энергию от источников первичного питания.

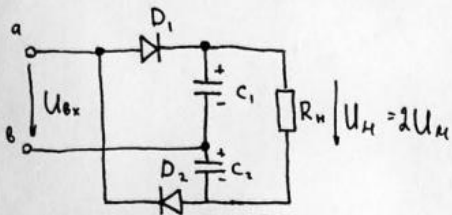
Основная задача - выпрямление тока и стабилизация напряжения

Схема блока питания:

Сеть → Трансформатор → Диодная схема → Сглажив. фильтр → Стабилиз.



Умножители напряжения позволяют получить на выходе напряжен. в несколько раз выше, чем на входе.

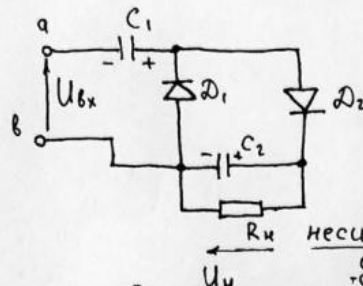


симметричный удвоитель U

1. В один период  $a(+), b(-)$ ,  $D_1$  - открыт,  $D_2$  - закрыт,  $C_1$  - заряд до  $U_{н1}$ . В следующем периоде все наоборот.

Конденс. по входу и выходу подключены последовательно и их емкость такова, что:

$$U_{н1} = 2U_{н2}, \text{ если } 2 \text{ раз } = C R_{н} \gg T/2$$



несимметричный удвоитель U

2. В первый период, когда  $b(+), a(-)$ ,  $D_1$  - откр.,  $D_2$  - закр.,

$C_1$  заряжается через  $D_1$  до  $U_{н1}$

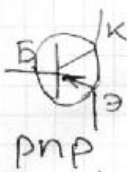
Во второй период:  $b(-), a(+)$ ,  $D_1$  - закр.,  $D_2$  - откр.,  $C_2$  - заряд через  $D_2$  до  $U_{н2}$ , но до напряжения  $= \sum U_{н1} + U_{н2} \approx 2U_{н1}$ , в процессе заряда  $C_2$ ,  $C_1$  - разряж.

При этом напряжение на  $R_{н}$  пульсирует с частотой сети.

Эти схемы не могут обеспечить большой ток на нагрузке.

# 10. Биполярные транзисторы. Матмодель.

Трёхэлектродный p-проводниковый прибор, один из типов транзисторов.



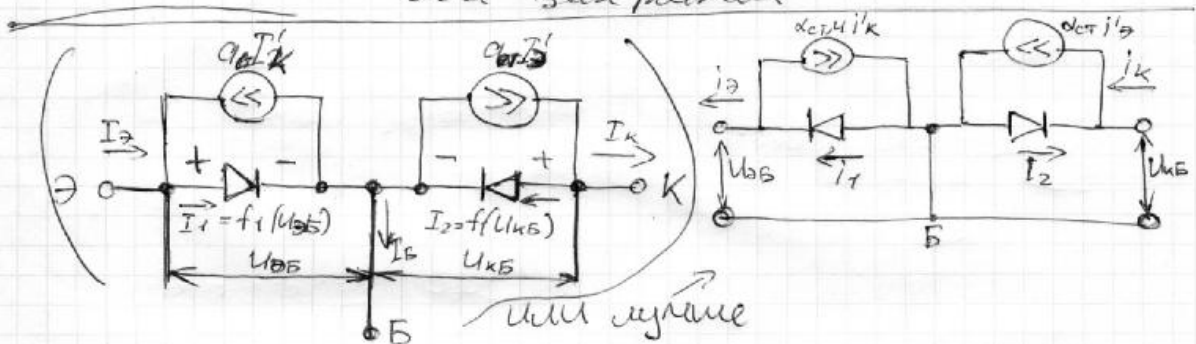
pnp



npn

Основными носителями одновременно эл. и дырки (бч-типа два!)

Режимы: нормальный активный  
 (переход эмиттер-база вкл. в прямом направлении)  
 (коллектор-база - в обр. направлении)  
инверсный активный  
 эмиттерный переход - обратное вкл.  
 коллекторный - прямое включение  
 оба p-n перехода открыты  
 режим отсечки  
 оба закрыты



$\alpha_{ст}$  - коэф-т передачи коллекторного тока в инверсном режиме,

$i_{э}', i_{к}'$  - токи, текущие через переходы

$$\begin{cases} i_{э}' = I_{э,s} (e^{\frac{U_{эб}}{U_T}} - 1) \\ i_{к}' = I_{к,s} (e^{\frac{U_{кб}}{U_T}} - 1) \end{cases}$$

$I_{к,s}, I_{э,s}$  - обратные насыщенные токи

$$I_{э} = I_1 - \alpha I_2;$$

$$I_{к} = \alpha I_1 - I_2$$

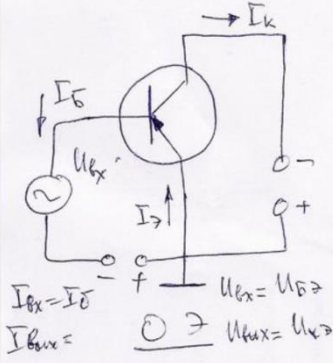
$$I_1 = I_{э,s} (e^{\frac{qU_{эб}}{kT}} - 1)$$

$$I_2 = I_{к,s} (e^{\frac{qU_{кб}}{kT}} - 1)$$

Каждый p-n переход представлен в виде диода, включенного навстречу друг другу. Параллельно диодам стоят источники токов и придают сарезонансную интенсивность носителям заряда

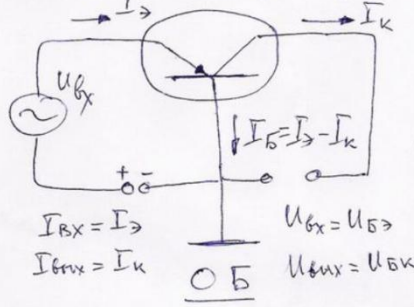
# 11) Биполярный транзистор. Схемы включения.

Биполярный транзистор - трехэлектродный электропреобразовательный прибор, состоящий из 3-х областей, с чередующимися типами проводимости. Усиленные свойства которого обусловлены инжекцией и экстракцией носителей транзистора.



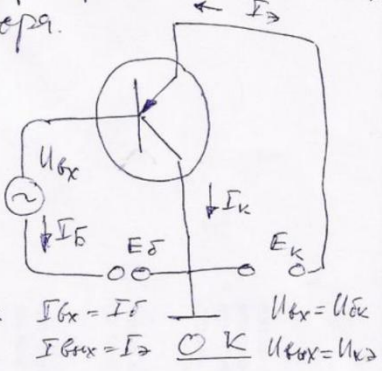
- ⊕ Большой коэф. усиления по току
- Большая входное сопр. тем у ОБ

⊖ Хороши тем у ОБ  $t^{\circ}$  и частотные св-ва



Входное сопр. мало, т.к. входная цепь транз. представ. собой открытый эмиттер. переход.

- ⊖ Не усиливает ток  $k < 1$
- Малое вх. сопр.
- ⊕ Хороши  $t^{\circ}$  и частотные свойства.



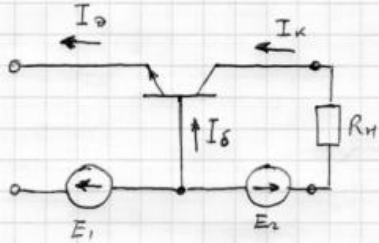
⊕  $I_{кх}$  входная цепь - замкнутый коллект. переход - ф-с к Ом

- Выходное сопротивление
- ⊖ Не усиливает напряжения.

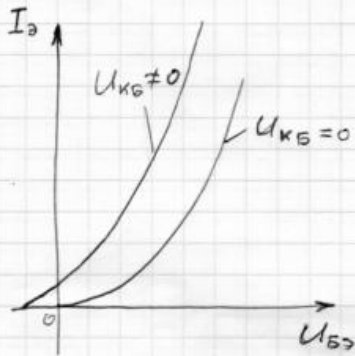
Параметр	Схема ОЭ	Схема ОБ	Схема ОК
$k_i$	Десятки - сотни	Коэффициент $< 1$	Десятки - сотни
$k_u$	Десятки - сотни	Десятки - сотни	Коэффициент $< 1$
$k_P$	Сотни - десятки тысяч	Десятки - сотни	Десятки - сотни
$R_{вх}$	Сотни Ом - единицы кОм	Единицы - десятки Ом	Десятки - сотни к Ом
$R_{кх}$	Единицы - десятки к Ом	Сотни к Ом - единицы МОм	Сотни Ом - единицы к Ом
Фазовый сдвиг	$180^{\circ}$	0	0

12 Биполярные транзисторы. Входные и выходные хар-ки транзистора, включенного по схеме с ОБ.

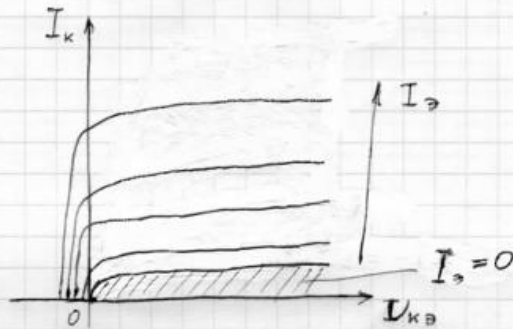
Схема включения с общей базой.



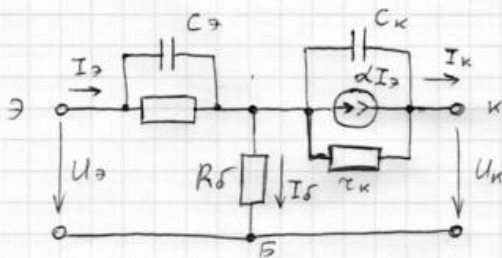
Транзистор как 4-х полюсник характеристические входной и выходной статические ВАХ



входные хар-ки.



выходные хар-ки



малосигнальн. эквивалентная схема

На эквив. схеме  $Cэ$  и  $Cк$  играют роль только на высоких частотах.

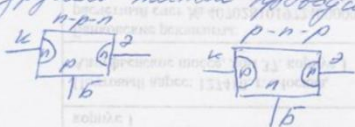
13. Биполярный транзистор. Входные и выходные характеристики вычислено по схеме с ОБ.

Транзистор - полупроводниковый прибор, имеющий не менее 3-х контактов, который усиливает мощность

Классифицируются:

- по материалу (германий, кремний)
- по типу проводимости (прямая p-n-p, обратная n-p-n)
- по принципу дейст. (биполярные, полевые)

Основа биполярного пр. - база - кристалл p или n-типа. Вокруг нее или с обеих сторон к нему прикрепится область с другой типом проводимости



Коллектор - область с большой площадью перехода.  
Эмиттер - область с малой площадью перехода.

Схема с обратной эмиттерной



Коэффициент усиления по току:

$$\beta = \frac{\Delta I_{вых}}{\Delta I_{вх}} = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} = \frac{\alpha}{\alpha - 1} \text{ десятии десятии}$$

$K_{\alpha}$   $K_i$  - коэф. усиления по току (1-10)

$K_u$  - коэф. усиления по коэф. (10-100)

$K_p = K_u \cdot K_i$  - по мощности (100-10000)

$$U_{вх} - U_{бэ}$$

$$U_{вых} - U_{кэ}$$

$$I_{вх} - I_b$$

$$I_{вых} - I_k$$

! Такой переход подвергается сразу напряжению (фазовый сдвиг 180°)

Достоинства:

- большой коэф. усил. по току

- большее  $\beta$  и в ОБ  $K_{вк}$

- для питания можно обойтись одним источником

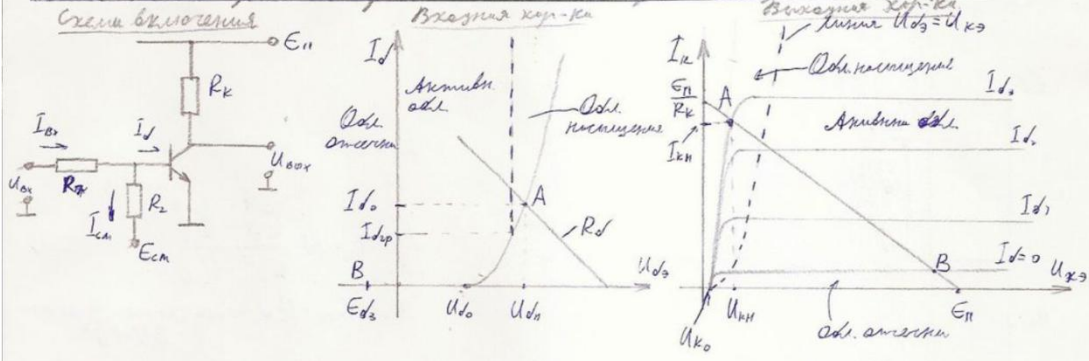
Недостатки:

- худший по сравнению с ОБ частотные и температурные свойства

Применяется наиболее часто.



14. Кинематический режим работы транзистора



$U_{k0} = 91.03 В$  в кинематическом состоянии  
 $i_{d0}$  - ток базы в режиме кинематического  
 $U_{кз} = E_{н}$  при отсутствии нагрузки, если транзистор закрыт

Режим смещения:  $I_d = -I_{k0}$ ,  $I_k = I_{k0}$ ,  $I_3 = 0$   
 $I_{k0} = 10^{-6}$  (германий)  $I_{k0} = 10^{-7.9}$  (кремний)

Открытие → Активный режим → Закрытие  
 ← Активный режим ←

Условие закрытия:  $U_{кз} = \frac{U_{bx} - \frac{E_{cm}}{R_2} + I_{k0}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} < 0$

Эти очень малые токи (однако):  
 $U_{кз} < U_{d0}$ ;

Для кремния:  $U_{d0} = 95.06 В$ , а для герм.  $U_{d0} \approx 92.03 В$   
 $U_{кз} = \frac{U_{bx} R_2}{R_1 + R_2} < U_{d0}$ ;

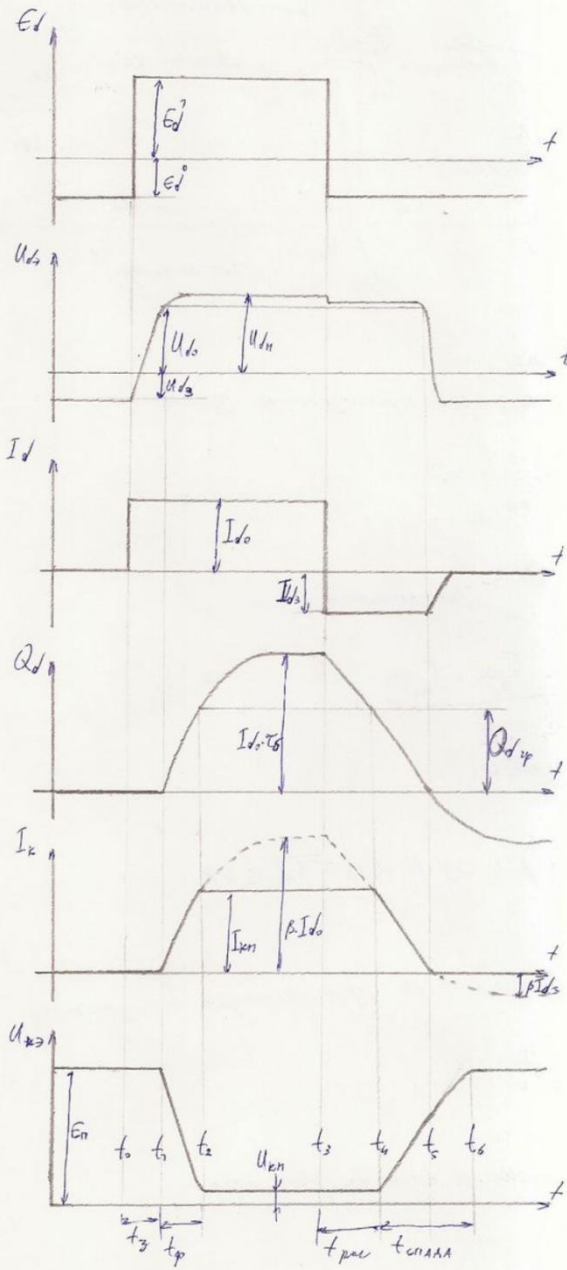
Для обеспечения режима кинематического ток нагрузки  $I_{d0}$  должен удовлетворять след. крив:

$$I_{d0} \geq I_{d_{up}} = \frac{I_{kH}}{\beta} \approx \frac{E_{н}}{\beta R_k}$$

$\beta$  - статический коэф. передачи  
 $I_{d_{up}}$  - ток базы на грани насыщения и активного режима  
 В режиме насыщения:  $I_{kH} = \frac{E_{н}}{R_k}$

Требуем кинематический:  $S = \frac{I_d - I_{d_{up}}}{I_{d_{up}}}$

Включение и выключение транзистора



$$t_{30} = \tau_c \cdot \ln \frac{E_d^1 - E_d^0}{E_d^1 - U_{d0}}$$

$\tau_c = C_{0x} \cdot R_d$  - нормальная ёмкость загрузка

$$\tau_{kz} = \tau_d + R_k (C_k (1 + \beta) + C_H)$$

$$t_{p0} = \tau_{kz} \cdot \ln \frac{\beta \cdot I_{d0}}{\beta \cdot I_{d0} - I_{k1}}$$

$$t_{p0c} = \tau_d \cdot \ln \frac{|I_{d3}| + I_{d0}}{|I_{d1}| + I_{d0}}$$

$$t_{CHANA} = \tau_{kz} \cdot \ln \frac{|I_{d3}| + I_{d0}}{|I_{d3}|}$$

$\tau_d$  - нормальная ёмкость коллектора и ёмкость нагрузки в базе

$t_0 \dots t_1$  - задержка включения

$t_1 \dots t_2$  - переупорядочивание протона

$t_2 \dots t_3$  - включение загруза

$t_3 \dots t_4$  - переупорядочивание

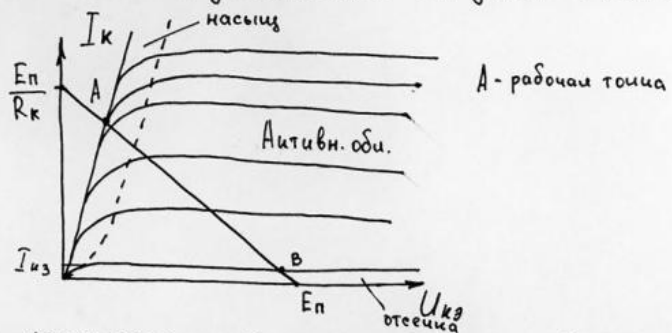
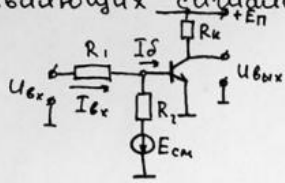
$t_4 \dots t_5$  - задержка выключения

$t_5 \dots t_6$  - переупорядочивание через выключено состояние

# Вопрос №16

Ключевой режим работы транзистора. Методы повышения быстродействия электронных ключей.

Ответ: Имитацион. и цифровые устройства базируются на различных переключающих схемах, основой которых являются транзисторные ключи. Основное назначение - размыкание и замыкание эл. цепей с помощью управляющих сигналов.



- Область отсежки - режимы закрытого тр-ра, при которых оба перехода (эмитт. и коллект.) смещены в обр. направлении
  - Обл. нормального активного режима - эмитт. перех. → прямое напр. коллект. → обр. напр.
  - Обл. насыщения - оба перехода → в прямом напр.
- Отсежка → актив. режим → Насыщение

Для обеспеч. режима насыщения  $I_{б0}$  должны удов. след. критерию

$$I_{б0} \geq I_{бр} = \frac{I_{кн}}{\beta} \approx \frac{E_{п}}{\beta R_{к}} \quad \text{где } \beta - \text{ стат. коэф. перед.}$$

В режиме насыщ:  $I_{кн} = \frac{E_{п}}{R_{к}}$   $I_{бр}$  - ток базы на гр. насыщения

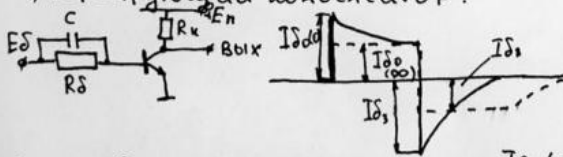
Глубина насыщения  $\delta_{к} = \frac{I_{б0} - I_{бр}}{I_{бр}}$

## Методы повышения быстродействия ключей:

- Параметры:
- длительность задержки выключения ( $t_3^{10}$ )
  - длительность задержки включения ( $t_3^{01}$ ) и фронта включения ( $t_{\phi}$ )

Способы повышения:

1) Форсирующий конденсатор:



Из-за ёмкости нач. знач. тока  $I_{б0}(0) \approx E_{\delta} / \tau_{вх}$

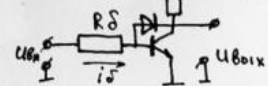
$\tau_{вх}$  - входн. сопр. отрыв. транзистора

По мере заряда конденсатора  $I_{б0}(\infty)$

При подаче закр. напр. конденс. C - разряж. и способствует увеличению запирающего тока.

Ёмкость - 10-100 пкФ, чтобы, за время действия импульса конденсатор полностью зарядился.

2) Использование нелинейной обратной связи  $E_{п}$



прим: Диод, вкл. ш-у базой и колл.

Закрытый диод не влияет на работу схемы.

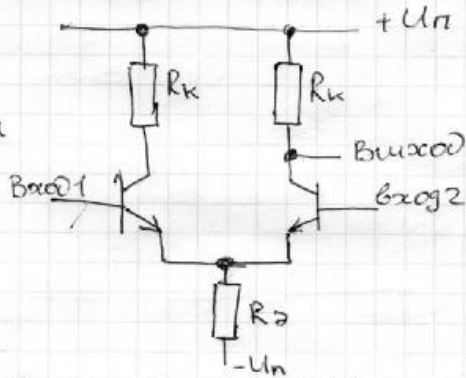
При откр. ключа диод оказывается смещенном в прямом напр. и транзистор охватывается глубокой отрицательной обратной связью

# 17. Дифференциальный усил. каскад.

простейший ДУК

коэффициент усиления по дифференциальному напряжению каскада определяется выражением:

$$K_{диф} = \frac{R_k}{2r_E}$$



$r_E$  - динамич. сопротивление эмиттера транзистора  
Используя этот каскад увеличите усиление диф. напряжения не более чем в 100 раз

Для определения коэф-та сдвинутого сигнала, на оба входа усилителя нужно подать одно и то же напряжение  $U_{вх}$ . В этом случае оба транзистора со своими ~~и~~ коллекторными нагрузками включены по существу параллельно. Через  $R_E$  протекают оба эмиттерных токи  $\Rightarrow$

$$K_{сдв} = - \frac{R_k}{2R_E + r_E}$$

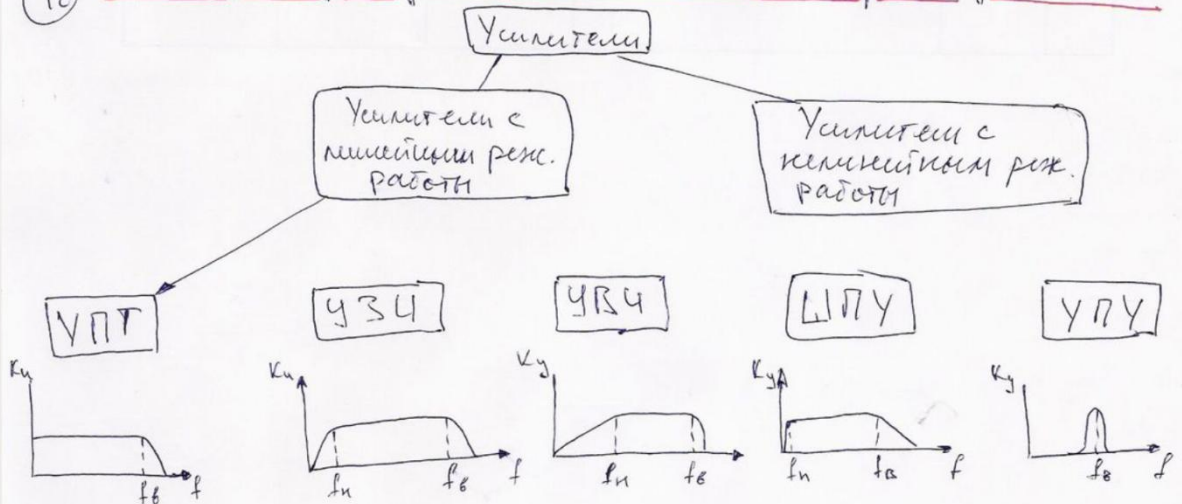
$r_E \ll R_E$  и им можно пренебречь

Коэффициент ослабления сдвинутого сигнала (КОСС)

определяется  $КОСС = \frac{K_{диф}}{K_{сдв}} \approx \frac{R_E}{r_E}$

Основное отличительное свойство ДУК - усиление разностного и подавление сдвинутого сигналов.

18) Классификация усилителей. Основные хар-ки усилителей.



Важнейший показатель усилителя - АЧХ.

Отражает зависимость  $K_u$  от  $f$ .

В зав-ти от АЧХ:

- УПТ - Усил. постоянного тока ( $f_n = 0, f_c = 10^3 - 10^8 \text{ Гц}$ )
- УЗЧ - Усил. звуковых частот ( $f_n = 10 \text{ Гц}, f_c = 15 - 20 \text{ кГц}$ )
- УВЧ - Усил. высокой частоты (от  $\text{кГц}$  до  $\text{МГц}$ )
- ШПУ - Широкополосный усилитель ( $f_n = 10 \text{ Гц}, f_c = 10 \text{ МГц}$ )
- УПЧ - Узкополосный усилитель.

Основные параметры

$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}; K_i = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}; K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = K_u \cdot K_i$$

2)  $v_x / v_{\text{вх}}$  сопротивления.

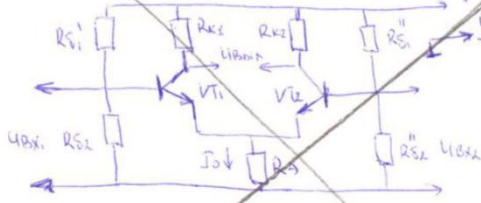
3) КПД

4) Компланное входное напряжение (чувствительность)

5) Выходная мощность  $P_{\text{вых}} = \frac{U^2_{\text{вых}}}{R_n}$ ;

6) Уровень собственных шумов.

Дифференциальная усилительная каскада  
и его св. св.



$V_{T1}$  и  $V_{T2}$  работают в режиме дифференциальной  
по отношению к усилителю. Резисторы  
 $R_{K1}$  и  $R_{K2}$  также работают (по усилителю  
функционировать)

Свойства дифференциальной усилительной каскады

$$1) U_{B1} = U_{B2} \Rightarrow I_{V1} = I_{V2}$$

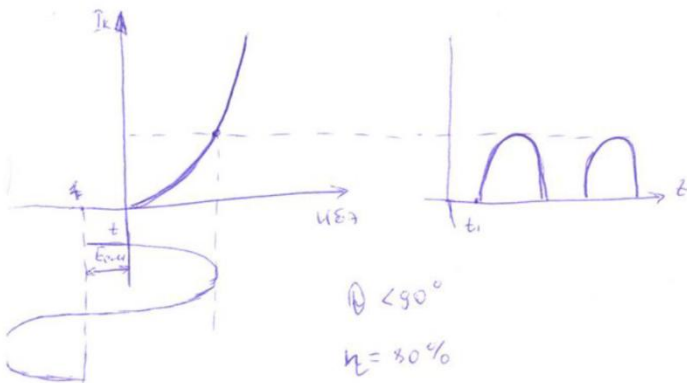
$\Sigma$ -и ток через  $R_E = I_0$

$$I_{K1} = I_{K2} = \frac{I_0}{2}$$

$$U_{B1} = U_{K1} - U_{K2}$$

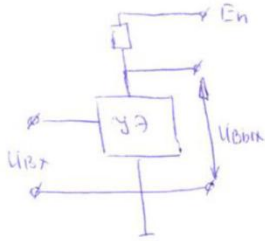
$$\left. \begin{aligned} U_{K1} - E_K - I_{K1} R_{K1} &= E_K - \frac{I_0}{2} R_K \\ U_{K2} - E_K - I_{K2} R_{K2} &= E_K - \frac{I_0}{2} R_K \end{aligned} \right\} \Rightarrow U_{B1} = 0$$

Класс С.



Класс D - ключевой режим работы

Усилительные каскады. Классы усиления.  
Выбор рабочей точки усиления, работающий в классе А

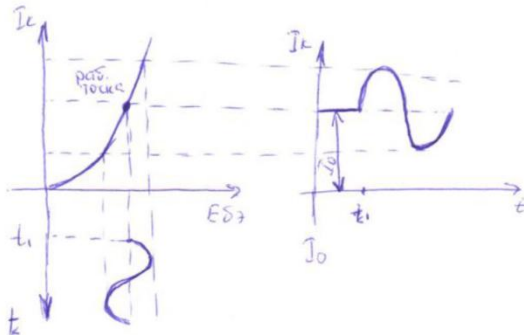


Работа УК основана на преобразовании энергии источника постоянного напряжения  $E_n$  в энергию переменного напряжения в выход цепи УК за счет изменения сопротивления УА по закону, задаваемому вх. сигналом

Режим работы УА определяется положением раб. точки на проходной динамической хар-ке

Проходная динамическая хар-ка - зависимость выходного тока от вх. напряжения

Класс А - рабочая точка на линейном участке проходной динамической хар-ки

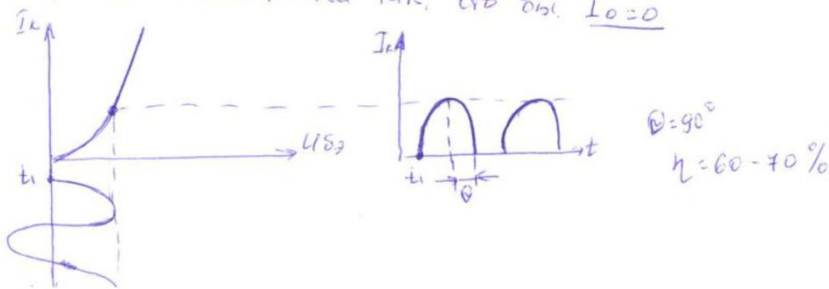


Между базой и эмиттером в один из эквивалентных цепей базы можно создать const const-ую напряжение - напряжение смещения

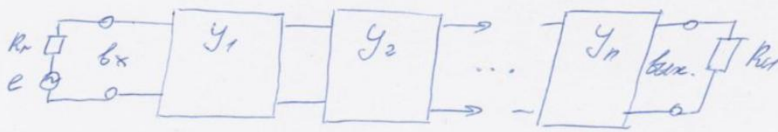
До  $t_1$  - перем. const-ой вх. сигнала нет, под действием const смещения в коллектор цепи - const const-ое коллектор тока  $I_0$  (ток покоя)

хар-ка угла отсечки - половина периода вх. сигнала, в течение которого протекает коллектор ток  $\varphi = \frac{\omega t_2 - \omega t_1}{2} = 180^\circ$ ;  $\eta = 25-30\%$

Класс В. Раб. точка выбирается в крайней правой точке нагрузки прихода. Выбирается так, что бы  $I_0 = 0$



20 Многокаскадные усилители.



$U_1$  - первый каскад (входной усилитель). Обеспечивает согласование с источником сигнала.

$U_n$  - выходной усилитель

$U_2 \dots U_{n-1}$  - промежуточные усилители (основное усиление)

Коеф. усиления:

$$K_{\Sigma} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{U_{вых1}}{U_{вх}} \cdot \frac{U_{вых2}}{U_{вх1}} \dots \frac{U_{выхn}}{U_{вх_{n-1}}} = \prod_{i=1}^n k_i$$

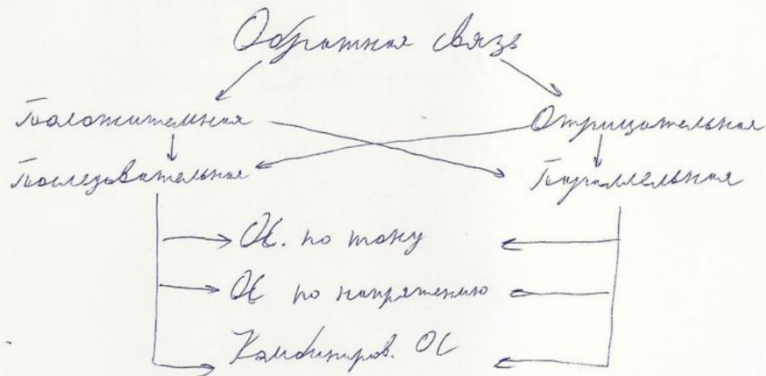
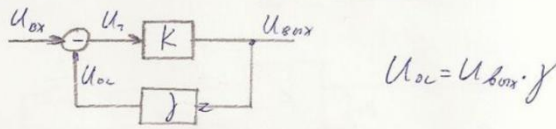
$$K_{\Sigma} = k_1 \cdot k_2 \dots k_n$$

МЗ применяется, т.к. однокаскадные не обеспечивают нужного усиления

Коеф. усиления и коеф. искажений МЗ равны произведению коэффициентов усиления и искажений каждого из усилителей.



27. Обратная связь в усилителях.

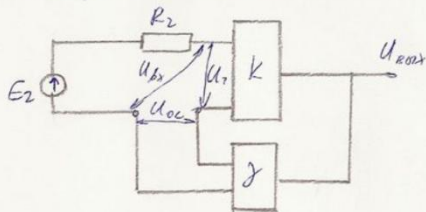


Сетью обратной связи называют замкнутый контур, включенный в цепь цепи ОУ и часть усилительного каскада между точками ее подключения.

Местной обратной связью называют ОУ, охватывающую только один или несколько усилительных каскадов многокаскадного усилителя.

Общая обратная связь - это такая ОУ, которая охватывает весь усилитель.

Топологическая ОУ



$$U_{обс} = U_{вых} \cdot \gamma$$

$$U_1 = U_{обс} \pm U_{обс}$$

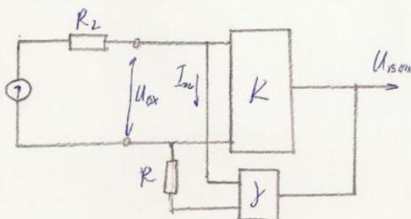
$$U_{вых} = U_1 \cdot K$$

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

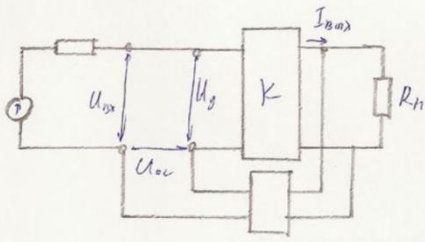
$$U_{вых} (1 \pm K \gamma) = U_{обс} \cdot K$$

$$K_{обс} = \frac{K}{1 \pm K \gamma}$$

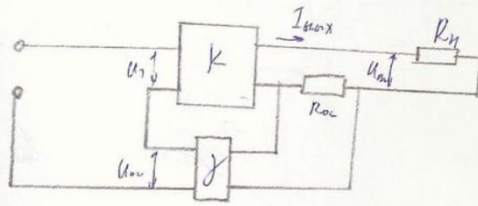
Параллельная ОУ



OOC na komprometno



OOC na moxy



22

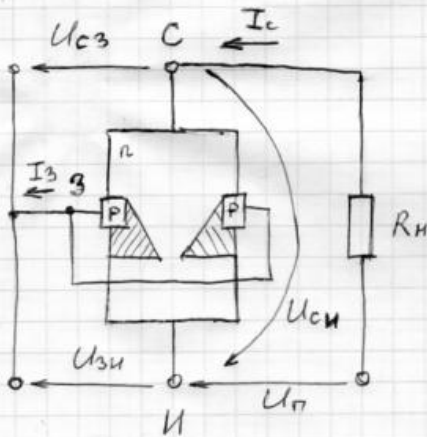
Полевые транзисторы. Выходные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п переходом.

ПТ - п/п прибор, усиительные св-ва которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал, и управляющим электрическим полем.

Работа ПТ основана на измен. плоти основ. носит. заряда

Полемым транзистором управляет не ток, а напряжение.

Электрич. созданный эффект поля назыв. затвором. Два других - сток и исток. Источком служит тот, из которого в канал поступ. основн. носит. заряда, а стоком - тот, через кот эти носители уходят из канала.

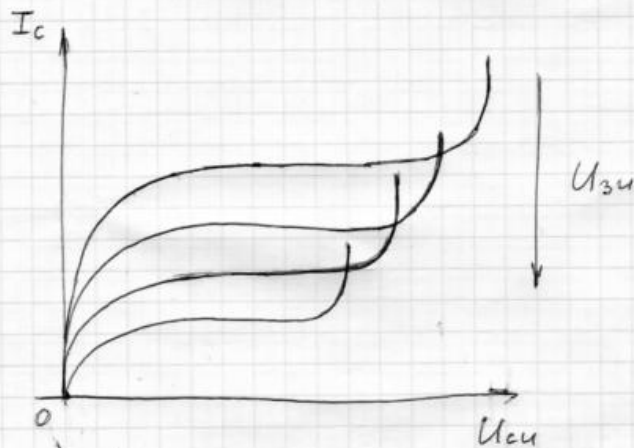


Плотность поперечного сечения канала уменьшается за счет изменения толщины обедненного слоя обратно-вещного р-п перехода.

На р-п переход подается обратн. напритие  $U_{зп}$ . При его увеличении толщина  $\delta$  обедненного слоя увелич., а ширина канала в уменьш., что приводит к уменьшению тока через канал ( $I_c$ ).

Поскольку р-п переход закрыт, то

$I_3$  ничтожно мал.



выходные характеристики.

Вопрос №23

МДП-транзисторы. МДП-транзисторы со встроенным каналом. Столовая и стоно-затворная хар-ка.

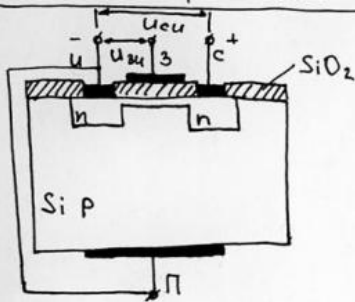
Ответ: МДП-металл-диэлектрик-полупроводник

В МДП-транзисторе затвор изолирован от указанной области слоем диэлектрика (изолированный затвор) диэлектрик обычно  $SiO_2$

Принцип работы основан на эффекте изменения проводимости при поверхностном слое полупроводн. на границе с диэлектриком под воз-ем поперечного эл. поля.

МДП-транзисторы  
со встроенным каналом с индуцированным каналом.

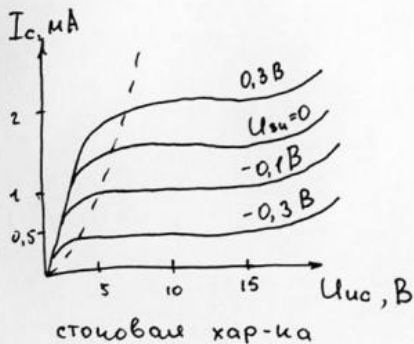
МДП со встроенным каналом:



1)  $U_{zu} = 0, U_{cu} > 0$  - через прибор протекает ток, определен. исходной проводимостью канала.

2)  $U_{zu} < 0$  - поле затвора оказывает отрицательное действие на  $e^-$ -носители заряда в канале  $\rightarrow$   $\downarrow$  концентрации  $\rightarrow I_c \downarrow$  (режим обеднения)

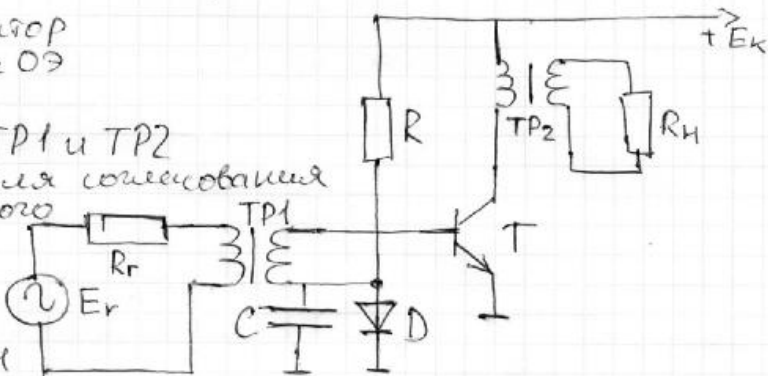
3)  $U_{zu} > 0$  - поле затвора притягивает  $e^-$  в канал из p-слоя полупроводника  $I_c \uparrow$  (режим обогащения)



## 2.4. Трансформаторные усилители мощности

Рассмотрим одностактный усилитель мощности, в кот трансформатор включен по схеме с ОЭ

Трансформаторы TP1 и TP2 предназначены для согласования нагрузки и выходного сопротивления усилителя и входного сопротивления усилителя с сопротивлением источника сигнала соответственно.



Элементы R и D обеспечивают надежную работу транзистора, а C увеличивает переменуковую составляющую, поступающую на транзистор T.

Мощность потребляемая усилителем от источника питания  $P_{потр} = E_k \cdot I_{кн}$

Следовательно КПД усилителя:

$$\eta = \frac{P_H}{P_{потр}}$$

Для идеального усилителя теор. КПД  $\eta_{теор} = 0,5$

Реальный же  $\eta_{реал} = 0,3 \div 0,35$

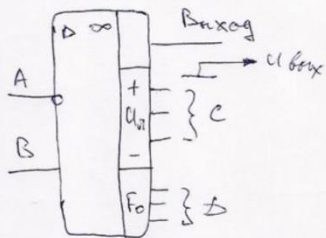
КПД двухтактного

$$\eta = \frac{P_H}{P_{потр}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{кн}}{E_k} \cdot \frac{I_{кн}}{I_1} \cdot \eta_{ТР}$$

Двухтактный усилитель можно рассмотреть как две независимые ~~стадии~~ схемы, работающие попеременно, каждая в течение полупериода входного сигнала

## 26) Операционные усилители. Схемы выходов ОУ.

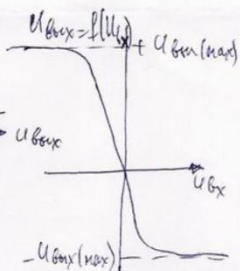
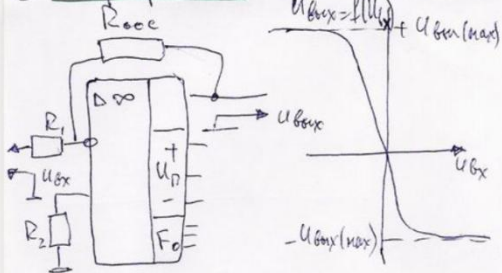
ОУ - устройство, предназначенное для выполнения операций с аналоговыми сигналами, имеющее исключительно высокие коэф-т усиления, очень большое входное и малое выходное сопротивление и выполненное в микроминиатюрном исполнении.



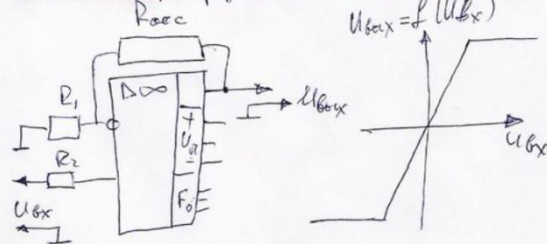
Вход А - инвертирующий  
 Вход В - неинвертирующий  
 Выход С - для подключения Ует. нагрузки  
 Входы Д - выводы для подключения цепи коррекции

Подразделяются: ОУ общего назначения, Мощные ОУ, ОУ с управляемыми параметрами, Быстродействующие ОУ.

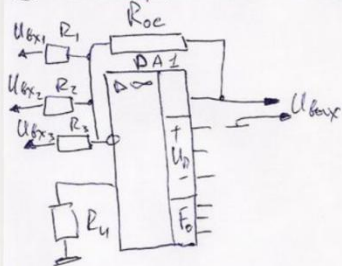
① Инвертир. схема



② Неинвертирующая схема

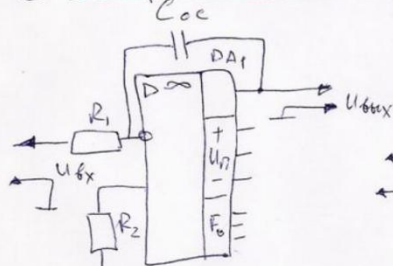


③ Суммирующая выносимая



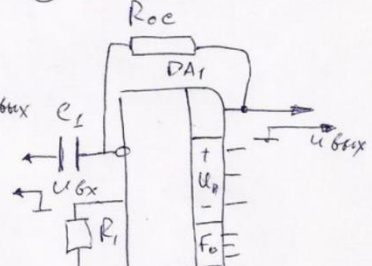
$$U_{\text{вых}} = K \cdot (U_{\text{вх1}} + U_{\text{вх2}} + U_{\text{вх3}})$$

④ Интегр. выносимая



$$U_{\text{вых}} = K \int_0^t U_{\text{вх}}(\tau) d\tau$$

⑤ Дифференц. выносимая



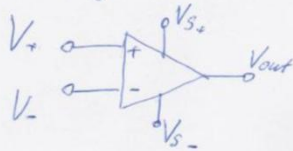
$$U_{\text{вых}} = K \cdot \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$$

27. Операционные усилители. Передаточные характеристики.  
Схемы выводов.

ОУ - устройство предназначено для выполнения математ. операций с аналоговыми сигналами, имеющие высокий коэффициент усиления, большое входное и малое выходное сопротивление.

ОУ используются в схеме с глубокой отрицательной обратной связью.

Схема выводов



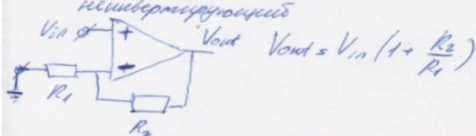
- $V_+$  - неинвертирующий вход
- $V_-$  - инвертирующий вход
- $V_{out}$  - выход
- $V_{s+}$  - плюс источника питания
- $V_{s-}$  - минус -//-

Классификация

- по типу элементной базы
- на количество транзисторов
- на полет параметров.
- по области примен.
- мощные
- высокочастотные
- биомедицинские

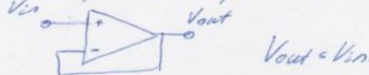


Схемы выводов.



$V_{out} = V_{in} (1 + \frac{R_2}{R_1})$

ровноименителем напряжения.



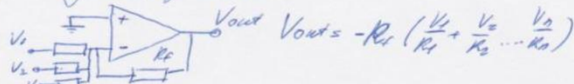
$V_{out} = V_{in}$

инвертирующий



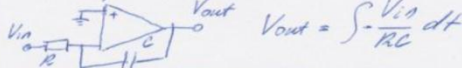
$V_{out} = -V_{in} (\frac{R_f}{R_{in}})$

суммирующий



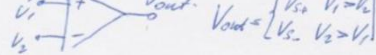
$V_{out} = -R_f (\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n})$

интегратор



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

компаратор



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

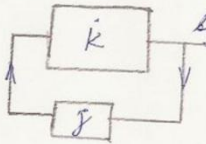
дифференциатор



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

28. Генераторы синусоидальных колебаний. Генераторы с трансформаторной связью.

Генераторы синусоидальных колебаний обычно содержат усилительный каскад, обратный по фазе на  $180^\circ$ , который обеспечивает устойчивый режим самовозбуждения на заданной частоте.

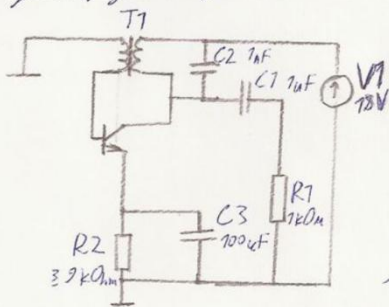


Для построения электрического устройства в режиме автогенерации необходимо выполнить условия устойчивости:

$$KJ \geq 1$$

$\varphi = \varphi^0 + \varphi_{oc} = 2\pi n$ , где  $\varphi^0$  — фазовый сдвиг в усилителе и цепи обратной связи.

Трансформаторная связь



На рисунке приведена принципиальная схема одного из вариантов LC-генератора с помощью трансформатора T1 создана ПОС. Условия генерации здесь обеспечиваются для резонансной частоты контура  $f_0$ . При подключении источника питания  $V1$  в цепи усилительного каскада образуются управляющие токи и напряжения.

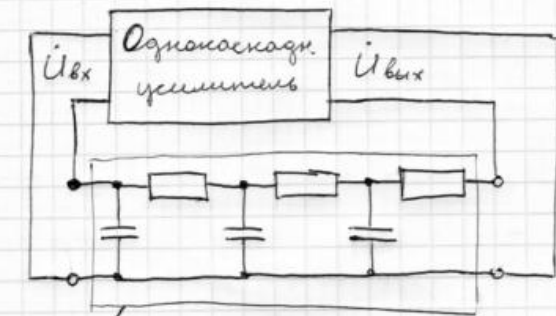
В результате в LC-контуре возникают синусоидальные колебания с частотой  $f_0$ , которые поддерживаются с помощью ПОС в усилителе.



29

Генераторы синусоидальных колебаний. Трехзвенные RC-сети нулевой частоты.

В RC-генераторах баланс фаз достигается за счет специально подобранной RC-цепи, устанавливаемой в цепь обратной связи.



трехзвенная RC-сеть нулевой частоты

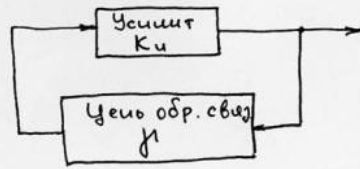
Трехзвенная RC цепь обеспечивает сдвиг фаз на  $180^\circ$ , что компенсирует сдвиг на  $180^\circ$  инвертирующим однонаправленным усилителем.

Вопрос №30

Генераторы синусоидальных колебаний. Генераторы с мостом Вина.

Ответ: Генератор синусоид. колебаний обычно содержит усилит. каскад, охваченный частотно-избирательной ПОС (?), которая обеспечивает устойчивый режим самовозбуждения на заданной частоте

Блок-схема генератора:



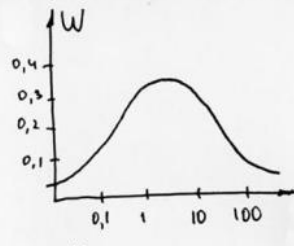
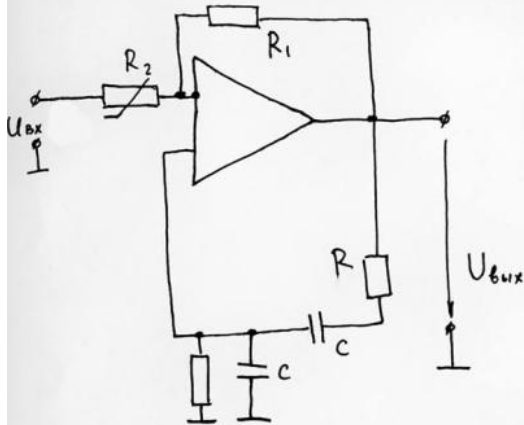
Усилитель усиливает входной сигнал в  $K_u$  раз  
При этом между  $U_{вх}$  и  $U_{вых}$  возникает фазовый сдвиг

Для работы электронного устройства в режиме автогенерации необходимо выполнение двух условий:

$$K_{\Gamma} \geq 1$$

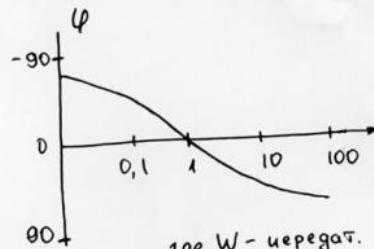
$$\varphi = \varphi^{\circ} + \varphi_{ос}^{\circ} = 2\pi n, \text{ где } \varphi^{\circ} \text{ и } \varphi_{ос}^{\circ} - \text{ фазовые сдвиги вносимые усилит. и обратной связью.}$$

Генератор сигналов ~~с~~ синусоид. формы с мостом Вина:



AЧХ

$f, \text{Гц}$



ФЧХ

$f, \text{Гц}$

где  $W$  - передат. функции

Комплексный коэф. передачи:

$$W(j\omega) = \frac{1/3}{1 + j\omega/3} (?)$$

Через  $R_1$  устанавливается рабочая точка и напряжение смещения на выходе.

### 3.1 Стабилизация частоты колебаний автогенераторов

Для уменьшения нестационарности частоты используют различные способы стабилизации: параметрическая и кварцевая стабилизация.

Параметрическая стабилизация частоты сводится к ослаблению влияния внешних факторов на частоту генерируемых колебаний, а также подбор элементов генератора, обеспечивающих минимальное изменение частоты.

Параметрическая стабилизация частоты позволяет снизить нестационарность до  $10^{-5}$ .

Кварцевая стабилизация частоты заключается в применении кварцевых резонаторов, что даёт очень низкую нестационарность частоты, обычно порядка  $10^{-8}$ .

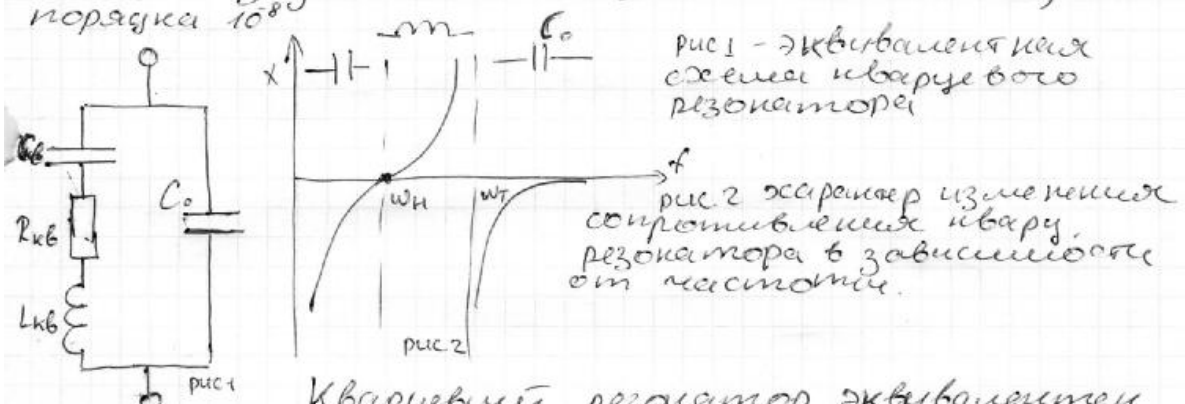


рис.1 - эквивалентная схема кварцевого резонатора

рис.2 характер изменения сопротивления кварца резонатора в зависимости от частоты.

Кварцевый резонатор эквивалентен электрическому колебательному контуру (рис.1) кварца  $\sim C_{кв}$ ,  $R_{кв}$  и  $L_{кв}$ , а в такой цепи может быть резонанс с частотой  $\omega_n = \frac{1}{\sqrt{L_{кв} C_{кв}}}$

Индуктивность кварца может быть большой (до неск. мГн), ёмкость мала (сопоставимая с паразитом)  $R_{кв} \sim 1 \text{ Ом}$  поэтому добротность кварца достигает  $10^5 - 10^6$ , т.е. на порядки больше добротности контуров из обычных элементов.

Кристалл кварца помещают в кварцедержатель, у которого есть  $C_0$  несколько десятков пФ  $\Rightarrow$  в кварцевом резонаторе возможен резонанс с частотой  $\omega_t = \frac{1}{\sqrt{L_{кв} C_{эк}}}$ , где  $C_{эк} = \frac{C_0 C_{кв}}{C_0 + C_{кв}}$   $\omega_t > \omega_n$  но

т.к.  $C_0 \gg C_{кв}$ , то  $\omega_t \approx \omega_n \Rightarrow C_{эк} \approx C_{кв}$

## 32) Триггеры. RS-Триггер.

Триггер - устройство последовательного типа с 2-ми устойчивыми состояниями равновесия, предназначенное для записи и хранения информации. Под действием входных сигналов триггер может переключаться из одного уст. состояния в другое. При этом напряжение на выходе скачкообразно меняется.

RS-триггер - триггер, который сохраняет своё предыдущее состояние при нулевых входах и меняет своё выходное состояние при подаче на один из его входов единицы.

S	R	Q(t)	Q(t+1)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	*
1	1	1	*

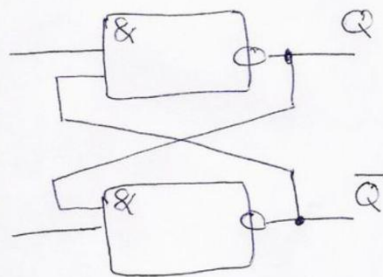


Схема реализации асинхронного RS-триггера на базе 2х элементов 2N-He

При подаче единицы на вход S (set) - выходное состояние становится равным логической 1. А при подаче единицы на вход R (reset) - выходное состояние становится равным логической нулю.

RS-триггер исп. для создания сигнала с '+' и '-' фронтами

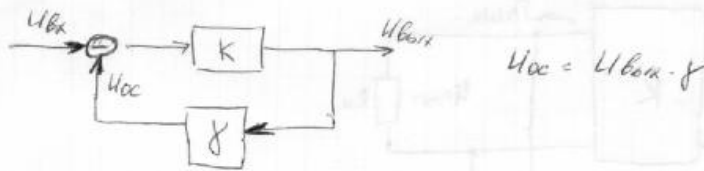
(для данной схемы) Режим  $S=0, R=1$  - режим записи ( $Q^{t+1}=1$ )

Режим  $S=1, R=0$  - режим записи 0

Режим  $S=1, R=1$  - режим хранения информации, т.к. инф. на выходе остается неизменной

Обратная связь в усилителях

Обратной связью в усилителе (в цепи) или же в отдельном звене цепи каскада называется такая связь между входом и выходом, при которой часть энергии усиленного сигнала с выхода передается на вход

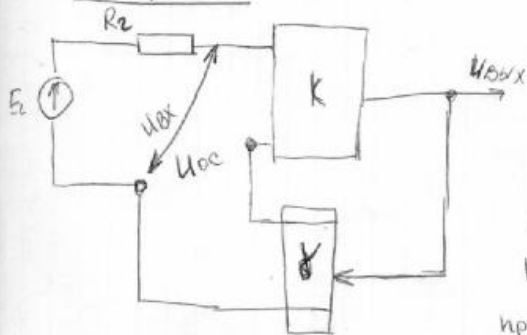


Петлей обратной связи называют замкнутые контуры, включающие в себя цепь DC и часть усилит. каскада между точками ее подключения

Местной обратной связью наз-ся DC, охватывающ. отдельно звенья усилителя или каскады усилителя.

Общая DC та, которая охватывает весь узел

Послед-ая DC



$$U_{ос} = U_{вых} \cdot \gamma$$

$$U_{с} = U_{вх} + U_{ос}$$

$$U_{вых} = I_{г} \cdot K$$

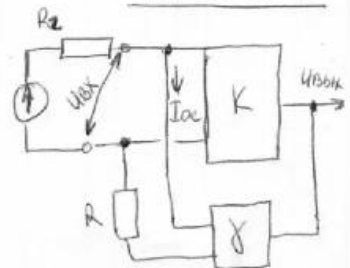
$$U_{вых} = U_{вх} \cdot K + \gamma \cdot U_{вых}$$

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

$$K_{ос} = \frac{K}{1 - K\gamma}$$

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

Паралл-ая DC



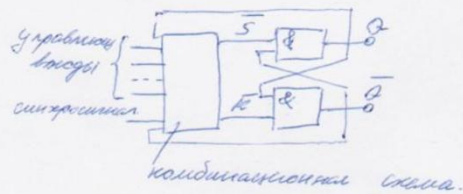
### 34 Синхронные и асинхронные триггеры

Триггер - устройство, обладающее двумя устойчивыми состояниями

Переход между состояниями происходит скачкообразно под воздействием управляющих сигналов. Так же скачком меняется напряжение на выходе.

Главная часть триггера - запоминающая ячейка.

Синхронный триггер - триггер в котором таблица переходов ячейки по одному управляющему входу реализуется под воздействием синхронизирующего сигнала.



Асинхронный триггер - триггер изменяющий свое состояние в момент появления соответствующего управляющего сигнала.

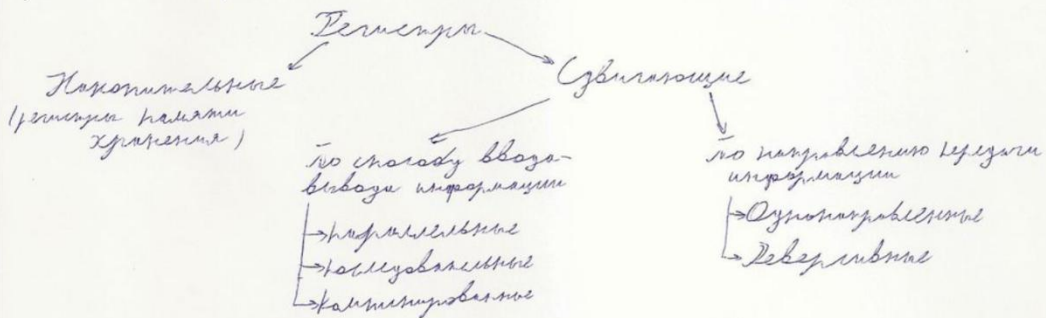
### 35. Регистры хранения информации. Регистры.

Регистр - комбинаторная логическая цепочка, используемая для хранения  $n$ -разрядных двоичных чисел и выполнения преобразований над ними.

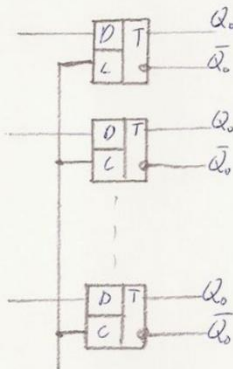
Регистр представляет собой упорядоченную совокупность триггеров, число которых соответствует числу разрядов в слове. Основой построения регистров являются D-триггеры.

#### Операции в регистрах

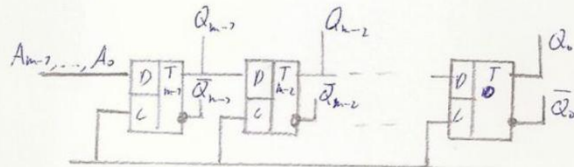
- 1) Прием слова в регистр
- 2) Передача слова из регистра
- 3) Поэлементные логические операции
- 4) Сдвиг слова влево или вправо на заданное число разрядов
- 4) Преобразование комбинаторного кода слова в триггерный и обратно
- 5) Установка регистра в исходное состояние (сброс)



Регистр хранения на D-триггерах



Регистр сдвига на D-триггерах



## ВЫВОДЫ

В подготовительном материале представлен необходимый минимум который необходимо знать чтобы сдать экзамен. 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 радиоэлементов.



## 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.