**п/п приборы**

п/п -материал ,удельная проводимость которого сильно зависит от внешних факторов –кол-ва примесей, температуры, внешнего эл.поля, излучения, свет, деформация

Достоинства: выс. надежность, большой срок службы, экономичность, дешевизна.

Недостатки: зависимость от температуры, чувствительность к ионизирован излучению.

# Основы зонной теории проводимости

Согласно квантовой теории строения вещества энергия электрона может принимать только дискретные значения энергии. Он движется строго по опред орбите вокруг ядра.

Не в возбужденном состоянии при Т=0К , электроны движутся по ближаишей к ядру орбите. В твердом теле атомы ближе друг к другу⇒ электронное облако перекрывается⇒ смещение энергетических уровней⇒ образуются целые зоны уровней.

 Е

 Разрешенная

 Запрещенная зона

 d

1)Разрешенная зона кт при Т=0К заполненная электронами наз – заполненной.

2)верхняя заполненная зона наз – валентной.

3)разрешенная зона при Т=0К где нет электронов наз – свободной.

4)свободная зона где могут находиться возмущенные электроны наз зоной эквивалентности.

Проводимость зависит от ширины запрещенной зоны между валентной зоной и зоной проводимости.

 🛆Е=Епр-Ев

Ширина запрещенной зоны в пределах 0,1~3,0 эВ (электрон вольт) характерна для п/п

🡬1 Проводник 2 П/П ↑

←3 Диэлектрик

↕ 🛆Е>6еВ

↕ 0,1~3 еВ

Наибольшее распространение имеют П/П

Кремний, Германий, Селен и др.

Рассмотрим кристалл «Ge»

При Т=0К

При Т>0К электроны (заряд -q)отрываются образуют свободные заряды ⇒ на его месте образуется дырка (заряд +q) это называется процессом термогенерации

Обратный процесс наз – рекомбинацией

n – электронная проводимость

p – дырочная проводимость

τ - время жизни носителя заряда (е).

Вывод: таким образом nроводимость в чистом П/П обоснована свободными электронами или дырками.

 δ=δn+δp=qμnρn+qμpρp

где: ρ-концентрация

 μ-подвижность =υ/Е

Собственная проводимость сильно зависит от t°

**П/П приборы на основе собственной проводимости.**

Зависимость собственной проводимости от внешних факторов широко исполь-ся в целом ряде полезных П/П приборов.

1)Терморезисторы (R зависит от t° )

Температурный коэффициент:

R

Т

ТКС>0 у П/П

 ТКС<0 у проводников

Применяют в устройствах авт-ки в качестве измерительного преобразователя t° (датчики)

2)Варисторы (R зависит от внешнего эл. Поля)

ВАХ I=f(u)

 Прим-ют для защиты

 терристоров от

 перенапряжения

3)Фотосопротивление – R зависит от светового потока

применяют в сигнализации, фотоаппаратуре

4)Тензорезисторы – R зависит от механич деформаций

применяют для измерения деформаций различных конструкций (датчики давления – сильфоны)

F

**Примесная проводимость п/п.**

Это проводимость обусловленна примесями:

-внедрения

-замещения

Роль примесей могут играть нарушения кристалической решетки.

**-Если** внедрить в кристал Ge элемент I группы сурьму Sb, тогда один из 5 валентных электронов Sb окажется свободным, тогда образуется эл. проводимость, а примесь называется донорной.

**-Если** внедрить элемент III группы индий I тогда 1 ковалентная связь останется останется свободной =>

Образуется легко перемещаемая дырка (дырочная проводимость), примесь называют акцепторной.

Основным носителем заряда наз. Те кт в п/п >

П/п с дырочной проводимостью наз. п/п –p типа, а с электоронной проводимостью – n типа.

Движения носителей заряда т.е. ток обуславливается 2 причинами: **1)** внешнее поле – ток наз. дрейфовым. **2)**разнасть концентраций – ток наз. диффузионным.

В п/п имеется 4 составляющие тока:

**i=(in)Д+(ip)Д+(in)Е+(ip)E**

Д-диффузионный Е-дрейфовый

**Электрические переходы.**

Называют граничный слой между 2-ми областями тела физические св-ва кт. различны.

Различают: p-n, p-p+, n-n+, м-п/п, q-м, q-п/п переходы прим. В п/п приборах (м-метал прим. в термопарах)

**Электронно-дырочный p-n переход.**

Работа всех диодов, биполярных транзисторов основана на p-n переходе

Рассмотрим слой 2х Ge с различными типами проводимости.

 р

 n

Обычно переходы изготавливают несемметричными pp>> << nn

Если pp>> nn то p-область эмитерная, n- область- база

В первый момент после соединения кристаллов из-за градиента концентрации возникает диффузионный ток соновных носителей.

На границе основных носителей начнут рекомбинировать, тем самым обнажаться неподвижные ионы примесей.

Граничный слой. Будет обеднятся носителями заряда => возникнет внутреннее U. Это U будет препятствовать диффузионному току и он будет падать. С другой стороны наличие внутреннего поля обусловит появление дрейфого тока неосновных носителей. В конце концов диффузионный ток станет = дрейфовому току и суммарный ток через переход будет = 0

**U контакта≈ϕтln((Pp0)/(np0))**

ϕт≈25мB температурный потенциал при 300 К

Uк=0,6-0,7В Si;0,3-0,4В Ge.

Различают 3 режима работы p-n перехода:

**1)**Равновесный (внешнее поле отсутствует)

р

n

**2)** Прямосмещенный p-n переход.

р

n

В результате Uвнпадает =>возникает диф. ток электорнов I=I0 eU/mϕт

m ≈ 1 Ge

 2 Si I0 тепловой ток.

I обусловлен основными носителями зарядов. Кроме него ток неосновных носителей будет направлен встречно**.: I= I0(eU/mϕт-1)**

3)Обратно смещенный p-n переход I- обусловлен токами неосновных носителей I=- I0

р

n

ВАХ p-n перехода

I

U

Ge=0,3-0,4 B

Si=0,6-0,8B

**Емкости p-n переходов.**

Различают: -барьерную, -диффузионную.

Барьерная имеет место при обратном смещении p-n перехода. Запирающий слой выступает как диэлектрик =>конденсатор e=f(U) Эта емкость использована в варикапах.

р

n

l

c

U

 C ≈1/√U

Диффузионный ток имеет место при прямом смещении p-n перехода **Cд=dQизб/dU**

p n p

-Э

-К

p n p

+Э

+К

p n p

+Э

-К

p n p

-Э

+К

+Б

+Б

-Б

+Б

-Б

-Б

-Б

+Б

**Реальные ВАХ p-n переходов.**

Отличаются от идеальных след. образом:1)Температурная зависимость

I

U

t1 t2

t1>t2 10°C

I0=> Si=2,5

 Ge=2

2) Ограничения тока за счет внутреннего R базы

Реальная

U

I

3)Пробой p-n перехода :1-лавинный, 2- туннельный, 3- тепловой ( 1,2- обратимые;3-необратимый) **I0 ≈ 10 I0**

I

U

1 2 3

**П/п диоды.**

Прибор с 1м p-n переходом и 2мя выходами

Квалифицируют по технологии, - по конструкции, - по функциональному назначению:

-выпрямительные, А + К

-ВЧ диоды,

 стабилитроны,

-варикапы,

-светодиды,

-фотодиоды,

-тунельные,

-обращенный

Маркировка по справочнику

**1)Выпрямит. диоды** – предназначены для выпрямления ~ I в =

Основные параметры

Iср.пр- средний прямой,Uпр,Uобр.,P-мощность, Iпр.имп.

**2)Вч диоды** выполняются обычно по точечной технологии

Cд-емкость, Iпр.имп, Uпр.ср, t установления, t востановления,

**3)Диод Шотки** – диод на основе перехода металл ->п/п, быстродействующий. Uпр.=0,5В, ВАХ не отличается от экспоненты в диапазоне токов до 1010

**4)Стабилитрон** – это параметрический стабилизатор напряжения, стабилизирует напряжение от единицы до сотен вольт.Uст – обратная ветвь ВАХ; пробой лавинный

I

U

I max

I min

U cт

I ст

ВАХ

 r=∆U/∆I

 чем < тем лучше

нагрузка

Rбал

VD

Uст=Uн

Д814Д => U=12 В Rбал.=(E-Uст.)/(Iст.+Iн.)

Кст.=(∆Е/Е)/(∆U/Uн) ТКН – температупный коэффициент U=(∆U/U)/ ∆t≈0,0001%

**5)Стабистор** – предназначен для получения малых стабильных напряжений

I

U

U cт

I ст

 в них исп. прямая ветвь ВАХ

 КС07А U=0,7B

**6**) **Варикап** –параметрическая емкость, вкл. в обратном смещении. Примечание :- в системах авто –подстройки частоты в телерадио и т.д.;-получение угловой модуляции(угловой или фазовой)

L

C

Cp

Cv

+Uупр

**7)Тунельный диод** ВАХ имеет участок «-» R

“-“ R

I

U

Примечание: Для получения высокочастотных колебаний (генератор); пороговые утройсва – тригеры Шмита

**8) Обращенный диод** – это разновидность тунельного - в нем нет «-» R, - в работе используют обратную ветвь ВАХ

0,7В

I

U

мВ

**Биполярные транзисторы**

П/п прибор с 2-мя и более переходами и с 3-мя и более выводами

Различают транзисторы проводимости:

Б

IБ

n-p-n

 n-p-n, p-n-p

p n p

Э

К

Б

**Режимы работы БТ**

1.)Отсечка – оба перехода закрыты, обратно смещены

2.)Насыщения – оба перехода смещены прямо

3.)Активный режим – эммитеры прямо, колектор обратно

4)Активно инверсный – эммитеры обратно, колектор прямо

**Активный режим. Физика работы.**

**Iк=αIэ+Iко** Iко-обратный ток колектора, α-коэффициент передачи тока эмитера

p n p

Э

К

Б

Есм=Uэб

+ Uкб -

+ -

**Схемы включения транзисторов.**

Rэ

-

 Еэ

+

 Uвых

 Rк

 +

Ек

 -

**1)**Схема с общей базой

Iвх-Iэ

Iвых-Iк

Uвх-Uэб

Uвых-Uкб

**2)**Схема с общим эмитером

Rб

 +

 Еб

 \_

 Uвых

 Rк

 +

Ек

 \_

**3)** Схема с общим колектором

Rб

 +

 Еб

 \_

 Uвых

 +

Rэ Е

 \_

Каждая схема характеризуется семействами входных и выходных статических ВАХ

Iвх=f(Uвх) | Uвых-const

Iвых=f(Uвых) | Iвх-const

Iк

Uкэ

отсечка

насыщение

активный режим

Iб

**ВАХ транзисторов**

**1)ОЭ**

Iб

Uбэ

Uк=0

Iк=βIб +(Uкэ/r\*к)+I\*к0 β-коэффициент передачи Iб

 β=α/1-α

**2)ОБ**

Iк=αIэ+I к0+(Uкб/rк) r\*к=(rк/1+β) I\*к0=I к0(1+β)

Iк

Uкб

Iэ

Uэб

Uк=0

Uк>0

Iэ4

 Iэ3

 Iэ2

 Iэ1

 Iэ0

**Малосигнальная эквивалентная схема замещения транзистора**

Б **r** б

 **r** э

Ск\*

 **>>** К

Iк=βIб

**r\***к Э

**1)ОЭ**

**r**к≈100 Ом **r**э=dUбэ/dIб | Uк- const

**r**э=2ϕτ/Iэ0 =(Si)≈50мВ/ Iэ0

**r\***к=dUкэ/dIк | Iб- const ≈100кОм

Ск\*=Ск(1+β) ≈ 5-15мкФ

Э **r** э

 **r** б

Ск

 **>>** К

Iк=αIэ

**r** к Б

**2)ОБ**

**r**э=dUбэ/dIэ | Uк- const

**r\***к=dUкб/dIк | Iэ- const

**Частотные свойства транзистора**

Зависят от емкостей транзистора, межэлектородных емкостей, и от коэффициентов α и β

fср=fсрα/β – для β

α

1

0,7

f –частота среза для α

**h –параметры транзистора**

Четырех

полюсник

 I1 I2

U1 U2

ΔU1=h11ΔI1+h12 ΔU2

ΔI2=h21ΔI1+h22 ΔU2

h11= ΔU1/ ΔI1 │ΔU2=0 – входной сигнал

h12= ΔU1/ ΔU2 │=μ=0 – коэф. обр. отриц. внутр.связи

│ΔI1=0

h21= ΔI2/ ΔI1 │ ΔU2=0 – коэф усиления I

h22= ΔI2/ ΔU2 │=1/rк выходная проводимость

│ΔI1=0

Связь h-параметров с собственными параметрами транзистора

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ОБ | ОЭ |
| h11 | rэ+rб(1-α) | rб+rэ(1+β) |
| h12 | 0 | 0 |
| h21 | α | β |
| h22 | 1/rк | 1/rк\*=(1+ β)/rк |

**Полевые транзисторы (ПТ)**

В ПТ используется носитель заряда одного типа. Работа ПТ основана на управлении R канала ПТ поперечным электрическим полем.

ПТ с: p-n переходом

 МДМ или МОП

«+»- очень простые, высокая технологичность, большое Rвх., малая стоимость.

«-»-малая крутизна

**ПТ с p-n переходом**

\_

+

- +

n-тип + сток

- затвор подложка

 + - исток

**Структура и работа.**

 и з с

 n p n

З

С

И

+ Uзи -

- +

p n p

**ВАХ: выходная**

ΔUси

ΔIc

Iс

Uси

Оммическая обл.

Uзи4

Uзи2

Uзи3

Uзи=0

rc=ΔUcч/ΔIc

Uзи=const(отсечки)

 ≈10-100кОм

**Стокозатворная характеристика**

ΔUзи

ΔIc

Uзи

Iс

Iс начальный.

n-канал p-канал.

крутизна:

S=(dIc/dUзи)

Uc=const

**(МДП)-транзисторы-МОП**

каналом

МОП: -с встроенным

 -с индуцируемым

\_ и

+ с

+ з

п

\_ и

+ с

- з +

п

 дырки

 электроны

встроенный

канал

Структура и работа.

 + и - з - с

 n p n

Работа основана на явлении изменения проводимости при поверхностном слое полупроводника на границе с диэлектриком под воздействием электрического поля.

вых ↓

Iс

Uси

-Uзи1

Uзи2

Uзи1

Uзи=0

ВАХ:

 стокзатворная изолированный канал

U порог

Uзи

Iс

p-кана n-канал.

Un=0

Встроенный канал

cтокзатворная

U порог

Uзи

Iс

p-кана n-канал.

U отсеч

Un=0

rвх=∞

S=ΔIc/Δзи

r=ΔUси/ΔIc

Un=0

rк=1/s “+”высокое Rвх 1012…14 Ом, высокие допустимые напряжения

Применение:цифровая схемотехника, аналоговые ключи, входные-выходные каскады усилителей мощности, управляемые R.

**Терристор**

П/п прибор с 3-мя и более p-n переходами, применяется для переключения токов. Различают 2-х электродные – динистор и 3-х электродные – тринистор.

Динистор: структура и работа

p n p n

К-

А+

Базы

П1 П2 П3

VS

p n p n

Если преложить «+» к аноду то П1-П3 смещаются прямо ->их R мало, П2 смещается обратно. По мере возрастания Uлк ширина П2 увеличивается ->и с Uак создается U пробоя ->динистор открывается. После пробоя П2 его R резко падает и внешнее Uак перераспределяется на П1и П3 ->резко возрастает напряжение, ->I тоже растет ->возникает «+» обратная связь. Чем больше открывается П2, тем больше отпирается П1 и П3,тем больше I.

Ток через динистор, когда он открыт, ограничивается внешними элементами

+E

Rн

VS

ВАХ

Iоткр

мах

Iвкл

Iзкр

 Uоткр Uзкр Uвкл Uак

Если U на динисторе =0 тогда ток определяется отношением E/Rн

Применение: можно построить генератор.

VS

R

C

 U

 E

Uвкл

Тринистор:

Одна из баз имеет внешний вывод- управляющий электрод.

К-

+U Ra А

П1 П2 П3

p n p n

 I упр

Подавая ток через базу можно увеличивать ток через переход П3 и создовать условия для раннего отпирания тринистора -> I управл.может управлять моментом отпирания

U вкл

I упр

 A n

p

 K

Iоткр

мах

Iвкл

 Uвк1 Uвк2 Uвкл Uак

Iупр1 Iупр2 Iупр=0

Применяют: управляемые выпрямители, преобразователи частоты, инверторы

Импульс управл

I упр

Пр.

**Симисторы.**

Iоткр

мах

Iвкл

 Uвк1 Uвк2 Uвкл Uак

Iупр1 Iупр2 Iупр=0

wн wв w

в

К0

 Кн

**Элементы оптоэлектороники**

Световой луч играет роль эл. сигнала =>

«+» - нет влияния электромагнитных помех

 -полная эл. развязка

 -широкий диапозон частот

 -согласование цепей

«-» нельзя свет преобразовать в механическое движения

Основной элемент – оптрон -> пара с фотонной связью

ИС - источник света, ФП – фотоприемник.

ИС

ФП

h(t)

 δ

 0,9

 0,1

 t0 tуст

t

# В качестве ИС : лампы накаливания, лазеры.

# В качестве ФП :фото диоды, транзисторы, резисторы

# Светодиод

П.П прибор с одним p-n переходом свечение которого вызывается рекомбинацией носителя заряда при прямом смещении

+I пр

B

I пр

В- яркость (канд/м2 )

#  «+» - Широкий линейный участок

# Фотодиод

# П.П прибор с одним p-n переходом ВАХ которого изменяется под действием светового потока. Освещение п/п увеличивает концентрацию неосновных носителей заряда,увеличивает обратный ток

# Различают 2 режима работы:

# а)генераторный

# б)фотодиодный

I темновой I

U

Iф1

Iф2

Iф3

Iф4

-I Rн

+

Iф-фототок Iобщ=Iф-Iт (e-U/mϕT-1)

**Фототранзистор.**

Могут работать с заданным смещением и с плавающей рабочей точкой

+Eк

Rк

 Rб

 +

 Есм

Rэ

#

# Работа: свет попадает в базу, образуются электрончики которые уменьшают барьер эмитерного перехода и увеличивают диффузионный ток транзистора.

Iк

Uкэ

Ф3

Ф2

Ф1

Ф=0

Ф4

ВАХ

# Электронные усилители

Это наиболее распространенные устройства в электротехнике. В общем смысле усилитель есть преобразователь энергии источника питания в энергию сигнала нагрузки, под действием входного управляющего сигнала, у которого значительно меньше энергии. Материальной моделью усилителя является его дифференциальное уравнение.

Усилитель-нелинейный элемент однако в линейных усилителях нелинейность мала и поэтому нелинейные дифференциальные уравнения линеаризируют =>получая комплексный коэффициент передачи усилителя:

К(jω)=ΔUвх(jω)/ΔUвх(jω)

АЧХ-│К(jω)│ ФЧХ-argК(jω)

Модель усилителя:

e=KххU1

 Ri I1 Zвых I2

 U1 Zвх U2 Zн

 ~ eвх е=U2xx

1)Kхх-комплексное число усиления

К0 модуль коэффициента усиления

2)Zвх- сопротивление U1/I1

3)Zвых- сопротивление Uxх/Iкз

**Класификация.**

1. По входному и выходному сигналу(I,U,P)
2. По роду сигнала:переменные, постоянные, импульсные
3. По принципу связи между каскадами:с емкостной, трансформаторной, оптической и др.

## Искажение усилительных устройств

Важным показателем усилителей является точность вопроизведения на выходе входного сигнала. Всякое отклонение является искажением Uвых=kUвх

Искажения бывают линейные нелинейные и переходные. Линейные возникают из-за частотной зависимости Кусил.

### Частотные

Мн=К0/Кн Мн(Дб)=20lg(К0/Кн) Мв= К0/Кв

**Фазовые искажения**

Появление дополнительного фазового сдвига между Uвх и Uвых

 ϕ

π/2

-π/2

w

**Переходные искажения** считают всякое отличие от переходной характеристики h(1) усилительного устройства от функции единичного скачка

**Нелинейные искажения** объясняются наличием нелинейных элементов(все п/п элементы, катушки, конденсаторы)

В результате спектр выходного сигнала обогащается высшими гармониками и получаются нелинейные искажения.

Рассмотрим амплитудную характеристику усилителя

Uвых

Uвх

1)Коэфициент нелинейного искажения (КНИ)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  N |
|  | ∑ U2mn |
| Кни=√ |  n=2 |
|  N |
|  | ∑ U2mn |
|  |  n=1 |

2)Коэффициент гармонических искажений

|  |  |
| --- | --- |
|  |  N |
|  | ∑ U2mn |
| Кги=√ |  n=2 |
|   |
|  | U2m1 |
|  |   |

Кг=Um3/Um1

3)Шумы усилителя, дрейф нуля.(шумы тепловые, дротовые, фригерные)

**Обратная связь усилительных устройств**.

Современные усилители обладают значительными разбросами параметров, нелинейностью, температурной нестабильностью.Наиболее эффективный способ уменьшения этих факторов есть введение глубокой отрицательной обратной связи (входное напряжение формируется как результат вычитания входного напряжения и части выходного сигнала, причем так чтоб свести отличия к минимуму). Тем самым компесируется влияние всех факторов приводящих к отличию от входного сигнала: частотные искажения и нестабильность параметров усиления

Различают обратные связи по постояному и переменному току, положительные и отрицательные.

Разновидности ОС

ОС различают по способу получения сигнала:

1)ОС по напряжению

Uос

2)ОС по току

Uос

Zос

3)Комбинированные

#### По способу введения сигнала ОС

1)Последовательная ОС

 Rc

 e~

 Uос

Rос

2)Паралельная ОС

 Rc

 e~

 Uос

Rос

3) Комбинированные

Влияние ОС на характеристики усилителей

E Uвх U1 Uвых=U2

 Υ + K

 Uос β

γ=U1/ec⏐U2=0

β=U1/U2⏐ ec =0 U2=KU1

Koc=U2/ ec =KU1/ ec

U1= ec γ +βU2= ec γ +βKU1

U1=( ec γ /1-Kβ)

**Koc=(K γ /1-Kβ)=K γ /F=K γ /(1-T)**

 F- глубина ОС (⏐F⏐<1 - ПОС, ⏐F⏐>1 - OОС)

 T- петлевое усиление (по петле ОС)

ООС усилителя уменьшает К в F(глубину) раз

ООС усилителя уменьшает нестабильность параметров усилителя в F(глубину) раз

ООС усилителя уменьшает частотные и фазовые искажения в F(глубину) раз

 R2

R1

 -

 + K

Кос=(-γК/1+Kβ)= -γ/((1/k)+β)≈-γ/β (так как на входе «-»)

γ=R2/(R1+R2) β= R1/(R1+R2) Kос= -(R2/R1)

Нелинейные искажения усилителя уменьшаются в F(глубину) раз

Кгn.оос=Кгn/Fn

/K/

 F

 F

Kос

 W1 W2

w

**Влияние ООС на входное сопротивление усилителя**.

Если ООС последовательная,то Rвхос=Rвх(1+Кххβ)+Rβ≈RвхF

Rвх увеличивается в глубину раз.

Если ООС параллельная то Rвхос≈Rвх||(Rβ/F)≈ Rβ/F

Rвх уменьшается в глубину раз.

**Влияние ООС на выходное сопротивление**

Если ООС по напряжению то Rвыхос =Rвых/F

Если ООС по току Rвыхос =Rвых+RосF

**Основные функционыльные элементы УУ**

**1)Элементы задания режима покоя**. Педназначены для задания рабочей точки. Рабочая точка характеризуется: рабочими токами и напряжениями.

Iб, Uбэ, Uкэ, Iко

В качестве элементов обычно используются резисторы, реже диоды, стабилитроны, ИП

**2)Элементы стабилизации режима покоя**

Введение последовательной ООС по току

Uвх=Uбэ+Uэ

 Uбэ

 Uвх Rэ

 Uэ

Uбэ=Uвх-Uэ

Uэ=Uос

 Rк

 Rос

 Rг

 VT

Введение параллельной ООС по напряжению

**3)Элементы связи УУ**

-Гальваническая –Емкостная -Индуктивная

-Оптическая

**Выбор режима работы транзистора в УУ и его работа**

+Eк

 R1 Rк

 Rг Ср1 Ср2

 Е R2 Rэ Сэ Rн

С1-разделительный

R1 R2-базовый делитель(для задания U на базе)

Uэ-Uос (для термостабилизации)

Сэ-для устранения ОС по ~ I

Rк-для снятия вых U

**Характеристики RC цепей**

Дифференцирующая цепь Интегрируюшая цепь

К(jω)=U2(jω)/U1(jω)

АЧХ=⏐К(jω)⏐ ⏐Z⏐=√(a2+b2)

ФЧХ=argК(jω) argZ=arctg(b/a)

Xc=1/ jωc

K(jω)=Z2/(Z1+Z2)=R/(R+(1/ jωc))=RjωC/(Rjωc+1)=

+=ωτ/jωτ+1=⏐ К(jω)⏐= ωτ/√1+( ωτ)2

argК(jω)=arctg∞= arctg(jω)= π/2- arctg(ωτ)

АЧХ

 1 1

ФЧХ -π/2

 π/2

Интегрирующая

К(jω)=Z2/(Z1+Z2)=(1/jωc)/(R+1/(jωc)=1/(Rjωc+1)=

=1/(jω τ+1)

К(jω)=1/√(1+( ω τ)2)

arctg K(jω)=arctg0-arctg ω τ= - arctg ω τ