Министерство образования Российской Федерации

Казанский Государственный Технический Университет  
им. А.Н. Туполева

Кафедра Теоретической радиотехники и электроники

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Методические указания к лабораторной работе №420 (EWB)  
по курсу “Электротехника и электроника”

Автор-составитель: Д.В. Погодин

Казань – 2002

ИССЛЕДОВАНИЕ биполярных транзисторовов (EWB)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомление с характеристиками биполярного транзистора, с методиками их определения для различных схем включения, получение навыков практического исследования вольт-амперных характеристик транзистора и определения его параметров.

**1. Основные понятия и расчетные соотношения**

1.1.Принцип работы, ХАРАКТЕРИСТИКИ И

 ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРА

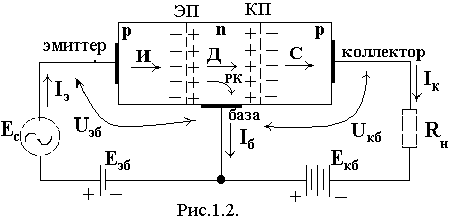
Транзистором называется трехэлектродный  полупроводниковый прибор, структура которого содержит два электронно-дырочных перехода. Транзистор представляет собой монокристаллическую пластину полупроводника, в которой с помощью особых технологических приемов созданы три области, две из них имеют одинаковый тип электропроводности и разделены между собой областью с иной электропроводностью. Эта средняя область называется базой, а две другие, крайние – эмиттером и коллектором.

Эмиттер осуществляет инжекцию (т.е. введение) неосновных носителей зарядов в базу, а коллектор–экстракцию (сбор) носителей. Транзистор, у которого эмиттер и коллектор имеют электропроводность р-типа относятся к p-n-p–типу. Если же база р–типа, а коллектор и эмиттер n-типа, то это транзистор n-p-n-типа (рис.1.1). Так, если коллектор транзистора p-n- p-типа подключается к отрицательному полюсу источника, то коллектор транзистора n-p-n-типа к положительному. В условных графических изображениях эмиттер изображается в виде стрелки, которая указывает прямое направление тока эмиттерного перехода.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 1.1.а | Рис. 1.1.б |

Рис.1.1.

Принцип работы транзисторов обоих типов одинаков, различие заключается лишь в том, что в транзисторе n-p-n–типа через базу к коллектору движутся электроны, инжектированные эмиттером, а в транзисторе p-n-p–типа–дырки. Для этого к электродам транзистора подключают источники тока обратной полярности.

Принцип работы биполярного транзистора рассмотрим на примере транзистора p-n-p типа включенного по схеме с (ОБ) общей базой (рис.1.2). Между р- и n-областями возникают p-n переходы. Переход между эмиттером и базой называется эмиттерным (ЭП), а переход между коллектором и базой  - коллекторным (КП). Как показано на рис.1.2, коллекторная цепь транзистора подключается к источнику э.д.с.-Екб т.е. КП смещен в обратном направлении. В коллекторном переходе напряженность поля под действием Екб возрастает. Это приводит к появлению незначительного обратного тока **I**ко в коллекторной цепи, обусловленного движением неосновных носителей зарядов. Этот ток существенно возрастает с увеличением температуры, поэтому его называют тепловым током коллектора – Iко.

Эмиттерный переход внешним источником напряжения смещен в прямом направлении (ЭП, рис.1.2). Напряженность поля эмиттерного перехода при этом уменьшается. Через эмиттерный переход происходит инжекция дырок из эмиттера в базу и электронов из базы в эмиттер. В цепи эмиттера появится ток, равный сумме токов, обусловленных электронной Iэ(n) и дырочной Iэ(p) электропроводностями:

|  |  |
| --- | --- |
| Iэ = Iэ(n) + Iэ(p) ≈ Iэ(p) | (1) |

Особенность транзистора состоит, в том, что концентрация дырок в эмиттере намного больше концентрации электронов в базе. Поэтому дырочная составляющая тока эмиттера значительно больше электронной (1). В базе происходит накопление неосновных носителей зарядов–дырок. В результате диффузии дырки перемещаются к коллекторному переходу. Часть дырок при этом рекомбинирует в базе с электронами, что создают ток в цепи базы Iб. Но так как толщина базы очень мала (несколько микрометров), доля рекомбинированных дырок незначительна. Вблизи коллекторного перехода дырки оказываются под действием электрического поля, обратновключенного перехода, увлекаются им через переход в коллекторную область и далее – к выводу коллектора, где рекомбинируют с электронами, поставляемыми через внешнюю цепь источником э.д.с, что создает ток в коллекторной цепи Iк.

Таким образом, ток эмиттера равен сумме токов базы Iб и коллектора Iк:

|  |  |
| --- | --- |
| Iэ = Iк + Iб | (2) |

Ток коллектора состоит из потока дырок инжектируемых эмиттером за вычетом тока базы и собственного теплового тока коллекторного перехода:

|  |  |
| --- | --- |
| Iк = Iэ(p) – Iб +Iко =α Iэ + Iко , | (3) |

где α = Iк/Iэ – коэффициент передачи тока эмиттера; Iк0 – тепловой ток обратно включенного коллекторного перехода.

Отсюда, ток базы равен:

|  |  |
| --- | --- |
| Iб = Iэ - Iк= (1 – α) Iэ - Iко | (4) |

Этот ток составляет не более 1% от тока эмиттера.

Все сказанное справедливо также для транзистора n-p-n–типа с учетом высказанных ранее замечаний о перемене на противоположное направление движения токов и смене знаков источников питания схемы транзистора.

В зависимости от того какой из выводов транзистора является общим между входным источником сигнала и выходной цепью транзистора существуют три основные схемы включения транзистора в электрическую цепь: с общим эмиттером (ОЭ), с общим коллектором (ОК), с общей базой (ОБ) (рис. 1.3).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image012.png | http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image010.png | http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image008.png |

Рис.1.3.

Основными вольтамперными характеристиками транзистора являются входная и выходная характеристики.

Зависимость Uвх =1(Iвх)Uвых =const – называют входной статической вольт–амперной характеристикой (ВАХ), а зависимость Iвых=2(Uвых) Iвх =const выходной статической ВАХ. ВАХ снимают в режиме по постоянному току и представляют собой зависимости постоянных токов и напряжений. Характеристики транзистора зависят от схемы его включения.

Для транзистора включенного по схеме с ОБ это будут соответственно зависимости:

|  |  |
| --- | --- |
| Uэб =1(Iэ),  при  Uкб=const  Iк =2(Uкб),  при  Iэ=const | (5) |

Характеристики обычно снимаются при нескольких различных постоянных  значениях Iэ и Uкб. При этом получаются семейства статических входных и выходных характеристик, которые представлены на рис. 1.4 а, б.

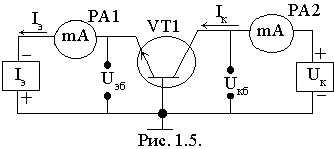
|  |  |
| --- | --- |
| http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image014.png | http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image015.png |

Рис.1.4.

Входной характеристикой для схемы с ОБ является зависимость напряжения Uэб от входного тока Iэ при фиксированном Uкб (рис.1.4а). Эта характеристика подобна обычной  характеристике полупроводникового диода смещенного в прямом направлении. При подаче положительного коллекторного напряжения Uкб>0 характеристика смещается влево. Это свидетельствует о наличии в транзисторе внутренней обратной связи, возникающей по ряду причин. Например, увеличение коллекторного напряжения вызывает уменьшение толщины базы, из-за чего увеличивается градиент концентрации основных носителей, что вызывает увеличение тока эмиттера и веерообразное смещение входных характеристик влево.

Выходная характеристика для схемы с ОБ (рис.1.4б) выражает зависимость тока коллектора Iк =f2(Uкб) при заданных входных токах Iэ. Как видно из рис.1.4б при Uкб=0 ток коллектора Iк  0, т.к. основные носители области эмиттера, инжектированные в базу, дрейфуют через коллекторный p-n-переход в область коллектора. Ток коллектора Iк (ток неосновных носителей) исчезает (обращается в ноль) только при некотором напряжение обратной полярности (при прямом смещении коллекторного перехода).

Незначительный наклон выходных характеристик указывает на высокое омическое сопротивление коллекторного перехода в закрытом  состоянии, достигающий десятков и даже сотен кОм.

Для снятия статических характеристик транзистора с ОБ используется измерительная схема (рис.1.5). Эмиттер питается от регулируемого источника тока Iэ (отрицательной полярности), а на коллектор напряжение подается от регулируемого источника напряжения Uк, причем напряжение должно регулироваться в диапазоне от –1В до +10В, т.к. падающая часть выходной характеристики (режим насыщения транзистора), заходит в область отрицательных коллекторных напряжений (рис.4б).

При анализе работы транзистора и расчетах усилительных схем используется система параметров малого сигнала. Наиболее употребительна система h–параметров, связывающая малые приращения (дифференциалы) напряжения на входе транзистора dU1 и выходного тока dI2c малым приращением входного тока dI1 и выходного напряжения dU2 транзистора:

|  |  |
| --- | --- |
| dU1=h11dI1 + h12dU2,  dI2=h21dI1 + h22dU2. | (6) |

Указанные h-параметры, входящие коэффициентами, в уравнения (6) имеют следующий физический смысл:

|  |  |
| --- | --- |
| h11б = dU1/dI1 Uэб/Iэ, при  Uкб= const | (7) |

дифференциальное входное  сопротивление транзистора (индекс Б означает, что h–параметр определен в схеме включения транзистора с ОБ). При токе эмиттера порядка 1мА входное дифференциальное сопротивление h11б по порядку величины составляет десятки Ом;

|  |  |
| --- | --- |
| h12б = dU1/dU2/   Uэб /Uкб,  при Iэ= const | (8) |

коэффициент обратной связи по напряжению, имеет величину порядка 10**-5** и, в большинстве случаев, при расчетах этим коэффициентом из-за его малости пренебрегают;

|  |  |
| --- | --- |
| h21б = dI2 /dI1/  Iк/ Iэ ,  при Uкб= const | (9) |

коэффициент передачи тока эмиттера, основной усилительный параметр транзистора. В технической литературе этот параметр часто обознача­ется как . Значение  всегда меньше единицы (<1) и имеет порядок величины 0.90.995. Чем  ближе  к единице, тем лучше усилительные свойства транзистора;

|  |  |
| --- | --- |
| h22б = dI2 /dU2   Iк/Uкб,  при Iэ= const | (10) |

выходная проводимость транзистора, в схеме с ОБ имеет величину порядка 10**-5 **10**-7** См  (1сименс – единица проводимости).

Наиболее часто на практике применяют схему включения транзистора с общим эмиттером ОЭ. При таком включении входным электродом  является база, эмиттер заземляется (общий электрод), а выходным электродом по-прежнему является коллектор (рис.1.6).

|  |
| --- |
| http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image020.gif |

Рис.1.6.

Основным передаточным параметром для схемы включения с ОЭ является коэффициент усиления тока базы :

|  |  |
| --- | --- |
| h21э= =   Iк / Iб, Uкэ= const | (11) |

Параметр  связан с коэффициентом передачи тока эмиттера соотношением

|  |  |
| --- | --- |
|  = / (1- ) | (12) |

По порядку величина  лежит в интервале значений =10200.

  Из остальных h-параметров важное значение имеют входное дифференциальное сопротивление транзистора

|  |  |
| --- | --- |
| h 11э = Uбэ / Iб,  Uкэ=const | (13) |

и выходная дифференциальная проводимость

|  |  |
| --- | --- |
| h22э =   Iк /Uкэ,  Iб= const | (14) |

Для схемы с ОЭ входное сопротивление единицы составляет единицы кОм, а выходная проводимость - 10-**4** -10**-5**

Входная и выходная характеристики транзистора с ОЭ несколько отличаются от характеристик транзистора с ОБ (см. рис.1.6).

Входной характеристикой транзистора, включенного по схеме с ОЭ, является зависимость напряжения Uбэ от входного тока Iб, Uбэ =1(Iб) при заданном напряженииUкэ. Совокупность таких зависимостей называется семейством входных характеристик транзистора (рис.6 б). При Uкэ =0 тепловой ток Iк0 в цепи коллектора отсутствует и зависимостьUбэ =1(Iб)  соответствует ВАХ эмиттерного р-n–перехода,  включенного в прямом направлении. ПриUкэ**>**0 в цепи коллектора появляется ток-Iк0, направленный навстречу току Iб. Для компенсации этого тока в цепи базы нужно создать ток Iб=Iк0, приложив соответствующее напряжение Uбэ.  Это приводит к смещению входной характеристики вправо вниз.

Выходной характеристикой транзистора по схеме с ОЭ считывается зависимость Iк =2(Uкэ)при заданном токе Iб **(**рис.1.6в). Если Uбэ=0, в цепи коллектора протекает только тепловой ток, так как в этом случае инжекция дырок из эмиттера в базу (для p-n-p-транзистора Iк0 = Iб) или инжекция электронов из эмиттера в базу (для n-p-n–транзистора) отсутствует. При Uкэ=0 ток в цепи коллектора не проходит, это объясняется тем, что напряжение Uбэи Uкэнаправлены встречно друг другу, т.е. потенциал коллектора выше потенциала базы и коллекторный переход оказывается при этом закрыт. Поэтому выходные характеристики не пересекают ось ординат.

|  |
| --- |
| http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image021.png |
| Рис.1.7. |

На рис.1.7 приведена принципиальная схема стенда для снятия вольт-амперных характеристик  транзистора, включенного с ОЭ. Входная  цепь (цепь базы) питается от регулируемого источника тока I положительной полярности, которой поддерживает заданной ток базы. Величина тока базы I**б** измеряется миллиамперметром РА1. Напряжение между эмиттером и базой **Uбэ** измеряется внешним вольтметром. Напряжение на коллекторе устанавливается от регулируемого источника напряжения Е**к.** Напряжение коллектора U**кэ** измеряется с помощью внешнего вольтметра. Для измерения коллекторного тока I**к** служит миллиамперметр РА2.

При работе транзистора с коллекторной нагрузкой R**к** связь между коллекторным током I**к** и напряжением на коллекторе U**к** выражается уравнением нагрузочной характеристики:

|  |  |
| --- | --- |
| Iк=(Ек - Uк)/Rк | (15) |

Нагрузочная характеристика представляет прямую на семействе коллекторных характеристик транзистора (см. рис.7.в), пересекающуюся с осями координат  **Е**к/ Rк и Ек соответственно.

Экспериментально  нагрузочную характеристику можно снять посредством регулировки тока базы Iб .

1.2. Методика графического определения H–параметров транзистора

Располагая вольт–амперными характеристиками транзистора, можно графическим путем определить низкочастотные значения h-параметров. Для определения h-параметры необходимо задать рабочую точку, например А (IбА, UкэА), в которой требуется найти параметры.

Параметры h11э  и h12э находят по входной характеристики Uбэ =1(Iб)|Uкэ=const.

Определим h11э для заданной рабочей точки А (IбА, UкэА). На входной характеристике находим точку А, соответствующую заданной рабочей точке (рис.1.8). Выбираем вблизи рабочей точки А две вспомогательные точки А1 и А2 (приблизительно на одинаковом расстоянии), определим по ними Uбэ и Iб и рассчитаем входное дифференциальное сопротивление, по формуле:

h11э=(Uбэ /Iб)|Uкэ=const.

Приращения Uбэ и Iб выбирают так, чтобы не выходить за пределы линейного участка, их можно примерно принять за (10-20)% от значений рабочей точки.

Графическое определение параметра h12э =  Uбэ /Uкэ затруднено, так как семейство входных характеристик при различных Uкэ0 практически сливается в одну (рис.1.8.).

|  |  |
| --- | --- |
| http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image025.png | http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image023.png |

Параметры h22э и h21э определяются из семейства выходных характеристик транзистора Iк=1 (Uкэ) (рис.1.9).

Параметр h21э= (Iк /Iб) |Uкэ=const находится в заданной рабочей точке А (IбА, UкэА). Для нахождения приращений выбирают две вспомогательные точки А1 и А2 вблизи рабочей точки А при постоянном Uкэ =Uкэ0. Приращение тока базы Iб следует брать, как Iб=Iб2 – Iб1, где Iб2 и Iб1 определены как токи базы в точках А2 и А1. Этому приращению Iб соответствует приращение коллекторного тока Iк = Iк2 – Iк1, где Iк2 и Iк1.определены в точках точках А2 и А1. Тогда дифференциальный коэффициент передачи тока базы рассчитаем по формуле h21э= (Iк /Iб) )|Uкэ=const .

Параметр h22э=(Iк/Uкэ)Iб=const  определяется по наклону выходной характеристики (рис.1.9) в заданной рабочей точке А (IбА, UкэА), при постоянном токе базы Iб. Для нахождения приращений выбирают две вспомогательные точки точки А\*1 и А\*2 . Для этих точек определяют U\*кэ|Iб = IбА =Uк2 – Uк1 – приращение коллекторного напряжения, и приращение коллекторного тока I\*к= I\*к2 – I\*к1. При этом из семейства выходных характеристик следует выбирать ту характеристику, которая снята при выбранном значение тока базы Iб=IбА .

Если рабочая точка не совпадает ни с одной траекторией приведенной на графике, то такую траекторию надо провести самостоятельно, между и по аналогии с соседними значения тока базы которых известно, и присвоить ей свое значение тока базы равное IбА .

**2. Задания на теоретические расчеты**

2.1. Ознакомиться со схемами включения биполярного транзистора, с методикой исследования и снятия статических вольт-амперных характеристик с ОБ и ОЭ; с методикой графического определения h–параметров транзистора.

2.2. Рассчитать по формуле (15) и построить нагрузочную характеристику Iк= 3 (Uкэ) биполярного транзистора для следующих исходных данных Rк=1кОм, 3кОм; Ек=10B**;**

**3. Задания на экспериментальное исследование и порядок их выполнения**

Задание 1. Исследование статических вольтамперных характеристик (ВАХ) транзистора, включенного по схеме с ОБ (с помощью амперметра-вольметра).

1.1. Снять входную ВАХ – Iэ=F(Uэб)|Uкб=const. Для этого собрать схему (рис.3.1). Все измерительные приборы поставить в режим измерения постоянного тока (режим DC).

|  |  |
| --- | --- |
| http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image029.png | http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image027.png |
| Рис.3.1. | Рис.3.2. |

1.2. Изменяя ток эмиттера и регистрируя его величину амперметром А1 измерять напряжение Uэб. Данные занести в табл.1.

Таблица1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Iэ(мА),  А1 | | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 20 |
| Uкб=0B, V2 | Uэб(В), V1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Uкб=15B, V2 | Uэб(В), V1 |  |  |  |  |  |  |  |

При построение входных ВАХ биполярного транзистора входным сигналом берут ток (Iэ, Iб) т.к. биполярный транзистор – прибор управляемый током.

По результатам измерений построить графики.

1.2. Собрать схему (рис.3.1) и снять выходную ВАХ – Iк=F(Uкб)|Iэ=const. Данные занести в табл.2.

Таблица 2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Uкб (В), V2 | | -0.5 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 20 |
| Iэ=0мА, А1 | Iк (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Iэ=2мА, А1 | Iк (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Iэ=4мА, А1 | Iк (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Iэ=8мА, А1 | Iк (мА), А2 |  |  |  |  |  |  |  |  |

По результатам измерений построить графики семейства выходных ВАХ.

Задание 2. Исследование статических вольтамперных характеристик (ВАХ) транзистора, включенного по схеме с ОЭ (с помощью амперметра-вольметра).

2.1. Снять входную ВАХ –Iб=F(Uбэ)|Uкэ=const. Собрать схему (рис.3.2). Данные занести в таблицу аналогичную табл.1. Измерения проводить при Iб=0; 0.01; 0.05; 0.1мА,  при Uкэ=0 и +15В.

По результатам измерений построить графики.

2.2 Снять семейство выходных ВАХ – Iк=F(Uкэ)|Iб=const. Данные занести в таблицу аналогичную табл.2.

По результатам измерений построить графики семейства выходных ВАХ.

Задание 3. Исследование статических вольтамперных характеристик (ВАХ) транзистора, включенного по схеме с ОБ (с помощью осциллографа).

3.1. Снять входную ВАХ – Iэ=F(Uэб)|Uкб=const Iб=F(Uбэ)|Uкэ=const. Собрать схему (рис.3.3). Осциллограф поставить в режим В/А. Получить на экране изображение ВАХ, удобное для снятия показаний. Данные занести в таблицу аналогичную табл.1 или просто убедиться в их соответствии.

|  |
| --- |
| http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image031.png |

Рис.3.3.

3.2. Снять семейство выходных ВАХ – Iк=F(Uкб)|Iэ=const. Собрать схему (рис.3.4).

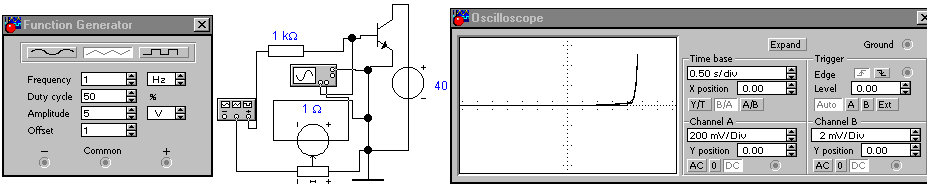
|  |
| --- |
|  |
|  | http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image033.png |

Рис.3.4.

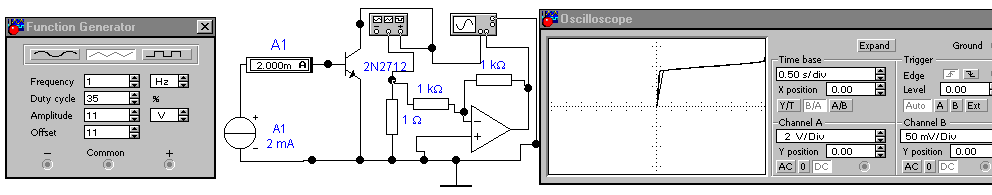
Получить на экране изображение ВАХ, удобное для снятия показаний. Данные занести в таблицу аналогичную табл.2 или просто убедиться в их соответствие.

Задание 4. Исследование статических вольтамперных характеристик (ВАХ) транзистора, включенного по схеме с Оэ (с помощью осциллографа).

4.1. Снять входную ВАХ – Iб=F(Uбэ)|Uкэ=const. Собрать схему (рис.3.5). Получить на экране изображение ВАХ, удобное для снятия показаний. Данные занести в таблицу аналогичную табл.2 или просто убедиться в их соответствие.

  
Рис.3.5.

4.2. Снять семейство выходных ВАХ – Iк=F(Uкэ)|Iб=const. Собрать схему 3.6. Получить на экране изображение ВАХ, удобное для снятия показаний. Данные занести в таблицу аналогичную табл.2 или просто убедиться в их соответствие.

Рис.3.6

Задание 5 Исследование частотных характеристик передаточных параметров транзистора (j),  (j)

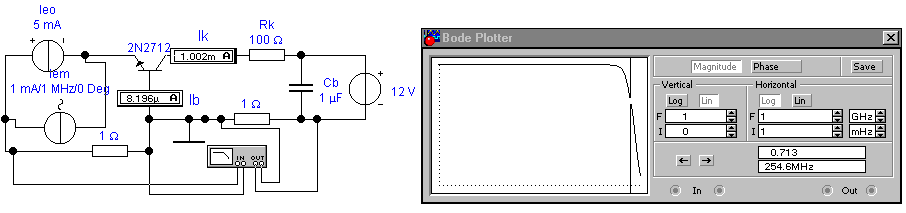
5.1. Измерение зависимости от частоты модуля коэффициента передачи транзистора включенного по схеме с ОБ ()=I*m*к/I*m* э|Iэо=const,.

|  |
| --- |
|  |
|  | http://tre.kai.ru/rates/method/lab_420.files/image039.png |

Рис.3.7.  
5.1.1. Схема, для измерения коэффициента передачи тока транзистора включенного по схеме с ОБ на высокой с помощью амперметров приведена на рис.3.7. Все амперметры поставить в режим измерения переменного тока (режим АС)

Для измерения зависимости от частоты модуля коэффициента передачи транзистора включенного по схеме с ОБ ()=I*m*к /I*m* э|Iэо=const, составить соответствующую таблицу и по ней нарисовать график зависимости (). Определить f**  - граничную частоту транзистора включенного по схеме с ОБ.

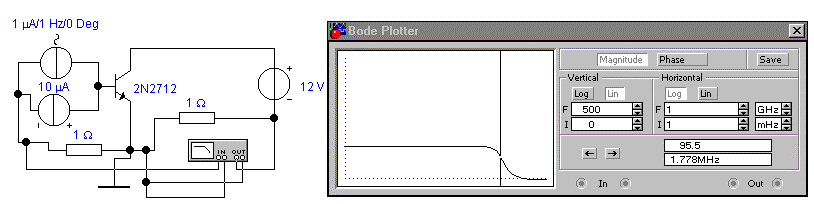
5.1.2. Схема, для измерения коэффициента передачи тока транзистора, включенного по схеме с ОБ, на высокой с помощью измерителя диаграмм Боде, приведена на рис.3.8. Измеритель поставить в режим измерения АЧХ. Подобрать пределы измерений по вертикальной и горизонтальной осям так, чтобы, получить на экране измерителя изображение АЧХ, удобное для снятия показаний. Измерить α0 и fα. Результаты измерений записать в отчет.

  
Рис.3.8.

5.2. Измерение фазово-частотной характеристики коэффициента передачи транзистора включенного по схеме с ОБ ()=(Imк -Imэ). Измеритель Боде поставить в режим измерения ФЧХ. Подобрать пределы измерений по вертикальной и горизонтальной осям так, чтобы, получить на экране измерителя изображение ФЧХ, удобное для снятия показаний.

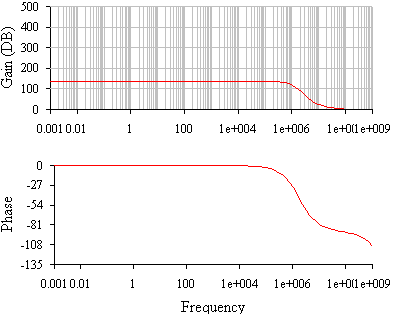
Объяснить, что происходит с фазой гармонического сигнала при прохождении его через транзистор. Измерить запаздывание по фазе на частоте f** .

5.3. Измерение зависимости от частоты модуля коэффициента передачи транзистора включенного по схеме с ОЭ ()=I*m* к/I*m* б|Iэо=const,.с помощью измерителя диаграмм Бодэ.

  
Рис.3.9.

Собрать схему (рис.3.9). Измеритель поставить в режим измерения АЧХ. Подобрать пределы измерений по вертикальной и горизонтальной осям так, чтобы, получить на экране изображение АЧХ, удобное для снятия показаний.

5.4. Измерение фазово-частотной характеристики коэффициента передачи транзистора включенного по схеме с ОЭ ()()=Iк m/Iэ m|Iэо=const,. Схема измерения приведена на рис.3.9. Измеритель поставить в режим измерения ФЧХ. Подобрать пределы измерений по вертикальной и горизонтальной осям так, чтобы, получить на экране измерителя изображение ФЧХ, удобное для снятия показаний. Измерить β0 и fβ. Результаты измерений записать в отчет.

  
Рис. 3.10

Объяснить, что происходит с фазой гармонического сигнала при прохождении его через транзистор. Определить запаздывание по фазе на частоте f. На рис.3.10 приведены АЧХ и ФЧХ .

Задание 6. Исследовать зависимости усилительных и частотных свойств транзистора включенного по схеме с ОБ от  тока эмиттера - =F(Iэо), f**= F(Iэо).

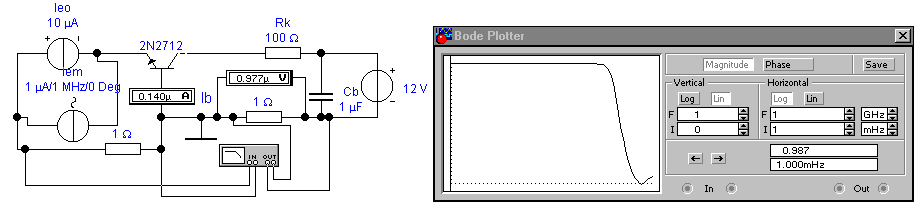
Собрать схему (рис.3.11). Добиться удобного изображения АЧХ. Величину  и f**= измерять с помощью измерителя АЧХ. Величину  можно измерить с помощью вольтметра.

Результаты измерений занести в табл. 3.

Таблица 3.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Iэо, мкА | 5 | 50 | 500 | 5.103 | 50.103 | 1.104 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| f** , МГц |  |  |  |  |  |  |

Построить графики =F(Iэо), f**= F(Iэо).

  
Рис.3.11.

Задание 7. Исследовать зависимости усилительных и частотных свойств транзистора включенного по схеме с ОЭ от  тока эмиттера - =F(Iэо), f= F(Iэо).

Собрать схему (рис.3.12). Величину  и f измерять с помощью измерителя АЧХ. Добиться удобного изображения АЧХ.  Величину  можно измерить с помощью вольтметра.

Результаты измерений занести в табл.4.

Таблица 4.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Iэо, мкА | 5 | 50 | 500 | 5.103 | 50.103 | 1.104 |
|  |  |  |  |  |  |  |
| f= , МГц |  |  |  |  |  |  |

Построить графики =F(Iэо), f=F(Iэо).

**4. Указания к отчету**

*Отчет должен содержать:*

1. Название работы, фамилию и. о. студента и номер группы.
2. Схемы для исследования вольт–амперных характеристик ОБ и ОЭ.
3. Таблица с результатами измерений и графики вольт–амперных характеристик.
4. Вычисленные значения h-параметров транзистора.

**5. Вопросы для самоконтроля**

1. Схема и методика снятия статических характеристик транзистора для схемы  ОБ.
2. Входные и выходные характеристики транзистора, включенные  по схеме с ОБ.
3. Схема и методика исследования вольт-амперных характеристик транзистора для схемы ОЭ.
4. Входные и выходные характеристики для схемы включения с ОЭ.
5. Схема для исследования нагрузочной характеристики транзистора. Описать методику её снятия и нарисовать вид нагрузочной характеристики для схемы с ОЭ.
6. Перечислить статические h-параметры транзистора и описать методику их определения по вольтамперным характеристиками.
7. Объяснить методику и схему измерения входной ВАХ биполярного транзистора, с помощью амперметра-вольтметра.
8. Объяснить методику и схему измерения входной ВАХ биполярного транзистора с помощью осциллографа в режиме характериографа.
9. Объяснить методику и схему измерения выходной ВАХ биполярного транзистора с помощью амперметра-вольтметра.
10. Объяснить методику и схему измерения выходной ВАХ биполярного транзистора с помощью осциллографа в режиме характериографа.
11. Объяснить методику и схему измерения частотных характеристик передаточных параметров биполярного транзистора с помощью амперметра.
12. Объяснить методику и схему измерения частотных характеристик передаточных параметров биполярного транзистора с помощью измерителя диаграмм Боде.
13. Объяснить методику и схему измерения входной ВАХ биполярного транзистора, с помощью амперметра-вольтметра.
14. Объяснить методику и схему измерения входной ВАХ биполярного транзистора с помощью осциллографа в режиме характериографа.
15. Объяснить методику и схему измерения выходной ВАХ биполярного транзистора с помощью амперметра-вольтметра.
16. Объяснить методику и схему измерения выходной ВАХ биполярного транзистора с помощью осциллографа в режиме характериографа.
17. Объяснить методику и схему измерения частотных характеристик передаточных параметров биполярного транзистора с помощью амперметра.
18. Объяснить методику и схему измерения частотных характеристик передаточных параметров биполярного транзистора с помощью измерителя диаграмм Боде.

**6. Список литературы**

1. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники. М.: Высш. шк., 1998.  С.175–185.
2. Пасынков В.В., Чиркин Д.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы М. :Высш. шк., 1981. С.166-248.