Лабораторная работа № 1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ УК.**

**1. Цель работы**.

Исследование зависимости основных показателей работы усилительного каскада (УК) от различных факторов.

Исследование возможных регулировок при настройке УК.

**2. Подготовка к работе.**

***2.1.*** *Изучить следующие вопросы курса "Схемотехника":*

* задание рабочей точки в схеме с ФНБ (Н-смещением),
* влияние тока покоя на основные показатели работы УК,
* идеальные и реальные условия работы усилительного каскада.

***2.2****. Объект исследования.*

В реальном УК, показанном на Рис.1.1, все ключи имеют практический аналог



Рис 1.1. УК на БТ – схема с ОЭ.

* ключ **H**– отключение нагрузки при измерении uOUT(XX),
* ключ **S**– отключение усилителя при измерении ESS ("**XX**" можно опустить)

Ни одного амперметра в схеме НЕТ, только вольтметры. Более того, в реальной практике можно:

* совместить pV2 и pV3 с переключением режима AC/DC,
* вообще, обойтись только одним осциллографом.

Программные возможности EWB позволяют обходиться без измерительных приборов – в профессиональном анализе так и делают. Определение почти всех показателей работы УК в данной Л.Р. можно выполнить, используя два метода:

* классический – только показания приборов,
* программный – только методы моделирования.

***2.3****. Некоторые теоретические сведения.*

***2.3.1****. Цель работы и факторы, влияющие на показатели работы.*

*Цель работы:* определение влияния различных факторов на показатели работы УК.

В данной Л.Р. исследуется влияние следующих факторов:

* *плановые* изменения (регулировки) параметров схемы,
* неизбежный на практике разброс параметров БТ, особенно разброс h21E,

***2.3.2****. Расчет параметров УК.*

Параметры УК, необходимые для расчета режима DC, включают в себя напряжение питания, номиналы всех резисторов и параметры БТ (в нашем случае только h21E).

В качестве исходных данных для расчета в варианте указаны:

* напряжение питания EC,
* тип БТ, по нему будет определено значение h21E,
* ток коллектора покоя IC.OP[mA],

Значение RC определяется из уравнения выходной цепи

 (1.1)

Для всех вариантов к (1.1) принимается дополнительное условие

 (1.2)

Значение RE определяется для всех вариантов, как

 (1.3)

Значение RC сразу выбирается из ряда Е24; значение RE также попадет в Е24 (???)

Быстрые формулы для определения значений резисторов БД:

* сначала вычисляется значение промежуточной переменной

 (1.4)

* значение IC.OP в [мА], RC в [кΩ], RB1, RB2 автоматически получатся в [кΩ]

 (1.5)

 (1.6)

Определение параметра h21Е для использования в (1.5)

Открыть файл h21E.ewb, установить тип БТ, напряжение V1=EC и ток Ie = IC.OP – по варианту; дальнейшая и формация в описании внизу файла схемы (Ctrl-D для ее вызова).

Рассчитать сопротивление RBD, но его уже в Е24 не переводить (почему?)

 (1.7)

***!!!*** Перевод в значения Е24 проводите сразу после расчета *каждой* величины. В последующей формуле используйте уже переведенные значения из предыдущих

*Рекомендация:* Приближение к значениям Е24 не нужно использовать по строго формальным математическим правилам. Если расчетное значение отличается от Е24 на величину, большую ~± 5%, то *наименьшую конечную погрешность* даст:

* для RC, RB2 – выбор *большего* значения из Е24,
* для RB1 – выбор *меньшего* значения из Е24,

Все рассчитанные значения параметров УК далее называются *номинальными* и имеют индекс **NOM**.

***2.3.3****. Понятие стабильности БД.*

Анализ схемы УК дает только одно уравнение для расчетов резисторов БД

 (1.8)

Но (1.8) дает только соотношение между RB1 и RB2. Для окончательного решения появляется уравнение независимости БД (в лекциях без вывода)

 (1.9)

Одной из задач исследования в Л.Р. является определение, как влияет на показатели работы УК изменение условие (1.9) при сохранении условия (1.8).

Следует напомнить, что главное достоинство схемы – независимость значения KU0 от значения h21E. Как это связано с условием (1.9) определится в процессе Л.Р.

***2.3.4.*** *Расчет основных показателей работы УК.*

Показатели работы УК, как известно, полностью определяются его параметрами:

* входное сопротивление

 (1.10)

* выходное сопротивление

 (1.11)

* коэффициент усиления

 (1.12)

***2.3.5.*** *Расчет дополнительных показателей работы УК.*

Эти показатели характеризуют уже не просто УК, а систему "Источник сигнала – УК – нагрузка". Значения RSS и RH уже не относятся к параметрам усилителя, но при известных значениях можно рассчитать потери напряжения сигнала на входе и выходе:

* коэффициент потерь на входе:

 (1.13)

* коэффициент потерь на выходе

 (1.14)

Вместо KOUT используют значение коэффициент усиления при подключенной нагрузке

 (1.15)

***2.4.*** *Измерение показателей работы УК.*

Как уже указывалось, в схеме исследования отсутствуют амперметры. Это приближает схему к реальности, но вызывает вопросы, как измерять токи и сопротивления.

Ответ. Значения токов и сопротивлений вычисляются по формулам, в которые входят результаты измерения и *известные параметры* схемы (нагрузки, источника сигнала):

* для тока покоя IC.OP формула (1.1) с измеренным UC.OP и известными EC, RC,
* для RIN формула (1.13) с измеренным KIN и известным RSS,
* для ROUT формула (1.14) с измеренным KOUT и известным RH.

***2.3.4.*** *Задание для самостоятельной подготовки к работе*.

Перед началом работы должны быть сданы преподавателю в качестве допуска заполненные Таблицы П1.1 – П1.4 из ПРИЛОЖЕНИЯ 1.2.

В Таблице П1.1 – результаты вычислений в пп.2.3.2.

В Таблице П1.2 – результаты вычислений в пп.2.3.3; значения IC.OP, UC.OP включены, как показатели режима DC.

В Таблице П1.3 используются только названия приборов и положения ключей. При разомкнутом ключе у прибора указывается индекс (ХХ), при замкнутом – (Н).

В Таблице П1.4 должны быть соответствующие уравнения (1.1), (1.13), (1.14), разрешенные относительно требуемого параметра. Измеренные значения должны входить в них с индексом (И), например, KIN(И) и т.п.

***3. Задание для работы в лаборатории***

***3.1****. Зависимость показателей работы от параметров схемы.*

***3.1.1****. Подготовка схемы к работе.*

Открыть файл AmpBJT-Practic.ewB и установить:

* тип БТ, значения EC, RSS, RH – по варианту (Приложение 1.1), ESS,= 1мВ/1кГц
* значения RC, RE, RB1, RB2 – из расчетов в пп.2.3.2,
* проверить: С1=470мкФ, С2=С3=3.3мкФ,
* режимы приборов: pV1, pV2 – AC, pV3 – DC.
* положение ключей: **S** – замкнут, **H** – разомкнут.

Включить отображение номиналов резисторов RC, RB1, RB2, RE. Для этого в "Свойствах" каждого резистора на закладке "*Display*" установить флажок "*Show values*".

Включить схему при разомкнутом ключе **S**, убедиться, что показание pV1 равно установленному значению ESS. Далее ключ **S** остается замкнутым на всю работу.

***!!!*** Значение ESS=1мВ (для всех вариантов!) упрощает определение KIN=pV1[mV] – численно равно показанию pV1 в мВ.

***3.1.2****. Определение номинальных значений показателей работы УК*.

Включить/*выключить* схему. Снять показания pV1÷pV3 для непосредственного использования и/или дальнейших вычислений. Заполнить Таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Номинальные значения: EC=…, RC=…, RB1=..., RB2=…

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | IC.OP | UC.OP | KIN | RIN | KU0 | KOUT | ROUT | KU(H) |
| **"Р"** | вар. |  |  |  |  |  |  |  |
| **"И"** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **|δ|,%** |  |  |  |  |  |  |  |  |

В строку "**Р**" (расчетные) переносятся данные из Таблицы П1.1.

Для заполнения строки "**И**" (измеренные) использовать показания pV3-DC и показания pV1, pV2 с различными положениями ключа Н (ключ S все время замкнут).

Относительная погрешность определяется при оформлении отчета.

***3.2.*** *Зависимость показателей работы УК от различных факторов*.

***3.2.1.*** *Влияние регулировок на показатели работы УК*.

Регулировка (настройка) УК – это получение требуемых показателей работы путем изменения схемных сопротивлений. В реальных схемах для планируемых регулировок специально закладывают переменные резисторы – потенциометры.

В рамках данной Л.Р. изменяются сопротивления RC, RB1, RB2. Каждый раз изменяется значение только одного резистора, а у остальных сохраняются номинальные значения.

Пределы изменения для значений сопротивлений: MIN=0.75⋅NOM, MAX=1.5⋅NOM.

По результатам измерений заполняется Таблица 1.2 и в п.4 делаются выводы.

Таблица 1.2. Влияние регулировок и разброса h21Е на показатели работы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | RC | RB1 | RB2 | h21E |
| MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX |
| UC.OP =pV3 [V] |  |  |  |  |  |  |  |  |
| \*IC.OP [mA] |  |  |  |  |  |  |  |  |
| \*\*KIN = pV1/ESS |  |  |  |  |  |  |  |  |
| KU0 =pV2/pV1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| \*\*\*КOUT |  |  |  |  |  |  |  |  |

 \* – можно вычисляется из (1.1) при оформлении отчета,

 \*\* – численно равно pV1 [mV] (почему?)

\*\*\* – pV2(H)/pV2(XX) – изменение положения ключа **H** (можно не выключая схемы)

Рекомендуемый порядок заполнения Таблицы 1.2.

Для получения результатов данного пп. Таблица 1.2 содержит 5 строк и 6 столбцов – итого 30 значений; изменение h21E исследуется в пп.3.1.4.

Получить все необходимые данные можно всего за шесть включений. Для ускорения процесса *настоятельно рекомендуется* создать дополнительную Таблицу 1.2.доп. (в отчет ее можно не заносить)

Таблица 1.2. доп. Показания приборов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | RC | RB1 | RB2 | h21E |
| MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX |
| pV1 [mV] |  |  |  |  |  |  |  |  |
| pV3[V] |  |  |  |  |  |  |  |  |
| pV2 [mV] - XX |  |  |  |  |  |  |  |  |
| pV2 [mV] - Н |  |  |  |  |  |  |  |  |

Порядок работы (заполнение Таблицы 1.3.доп. по столбцам):

* разомкнуть ключ **H**,
* установить значение MIN/MAX для очередного резистора, остальные – NOM,
* включить схему, снять показания всех приборов,
* не выключая схемы (!), замкнуть ключ **H**, снять показания pV2,
* выключить схему, далее все повторяется; всего шесть включений,
* неизменяемые сопротивления должны иметь номинальные значения.

Значения, которые нужно рассчитывать, определяются при оформлении отчета.

***3.2.2.*** *Влияние разброса параметров БТ на показатели работы УК*.

В отличие от регулировок разброс параметров БТ, особенно значения h21E? является не плановым, но реально существующим явлением. В рамках данной Л.Р. для значения h21E установлены пределы: MIN=0.5⋅NOM, MAX=2⋅NOM.

Как изменить значение h21E?

* в "Свойствах" БТ → закладка Models,
* БТ варианта должен быть уже выделен → Edit,
* изменяемое значение – Forward current gain coefficient – Sheet 1, 2-я сверху,
* установить половинное или удвоенное значение, округлять до десятков,
* после окончания ***восстановить исходное значение (!!!).***

***!!!*** Номинальное значение h21Е для модели не совсем совпадает с вычисленным в файле h21E.ewb, но на это не следует обращать внимания.

Порядок работы – тот же , что и в пп.3.2.2, всего два включения, все резисторы имеют номинальные значения

***3.2.3.*** *Влияние БД на работу УК в условиях разброса параметров БТ.*

Задача данного пп. – определить зависимость значения KU0 от значения h21E.

***!!!*** При идеальном БД эта зависимость должна вообще отсутствовать.

Таблица 1.3. Влияние БД на значение KU0 при разбросе свойств БТ (h21Е)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| h21E | RB1||RB2 - MIN | RB1||RB2 - NOM | RB1||RB2 - MAX |
| 0.5⋅NOM |  |  |  |
| 2⋅NOM |  |  |  |

В ячейки Таблицы 1.3 должны заноситься значения KU0 = pV2/pV1 при различных комбинациях значений RBD и h21E. Для упрощения работы установить значение RSS=1Ω или даже 0.1Ω.

Включите схему, посмотрите на показания pV1 и самостоятельно решите, какое значение можно сразу использовать в качестве значения KU0.

В данном пп. пределы изменения сопротивлений: MIN=0.5⋅NOM, MAX=2⋅NOM.

Значения RB1 и RB2 каждый раз изменяются одновременно с сохранением их соотношения во всех включениях.

Порядок выполнения работы:

* провести *шесть* включений с определением значения KU0,
* последовательно устанавливаются *три* значения RB1&RB2 – MIN, NOM, MAX,
* для каждого значения – *два* включения: при h21E=0.5⋅NOM и h21E=2⋅NOM.

Самым главным в этом пункте являются вычисления и выводы в пп.4.

***4****. Общие выводы по результатам работы.*

*По Таблице 1.1*.

1) Указать достоверность расчетных формул для отдельных показателей по критерию δ%: ≤ 10% - отличные, ≤ 15% - хорошие, ≤ 20% - удовлетворительные.

2) Показатель, которым можно руководствоваться, т.к. он определяет все остальные.

Значение относительной погрешности определяется по формуле

 (1.16)

Для Таблицы 1.1: AХ – расчетное значение, А0 – измеренное значение

*По Таблице 1.2*

1) Какие регулировки влияют только на входную/только на выходную цепь и, как следствие, вывод: какие показатели можно даже не измерять, зная, что они не изменятся.

2) Какие регулировки однозначно влияют на значение KU, а какие оказывают два противоположных влияния.

3) Почему значения KU0(XX/H) и показания pV2 изменяются не пропорционально, а в ряде случаев могут иметь обратный знак.

4) Почему значения IC.OP и KU0(XX/H) все-таки зависят от h21E (в теории не должны!); при каких изменениях h21E эта зависимость усиливается/ослабляется.

*По Таблице 1.3*.

1) Из каких соображений для всех вариантов устанавливается ESS=1мВ.

2) При каких изменениях RB1&RB2 зависимость от h21Е усиливается/ослабляется.

3) Почему изменения RB1&RB2 неоднозначно действуют на показатели работы УК.

На основании данных Таблицы 1.3 заполнить Таблицу 1.4 в ячейках которой должны быть значения относительных отклонений значения KU0.

Таблица 1.4. Относительные отклонения KU0 при разбросе свойств БТ (h21Е)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| h21E | RB1||RB2 - MIN | RB1||RB2 - NOM | RB1||RB2 - MAX |
| 0.5⋅NOM |  |  |  |
| 2⋅NOM |  |  |  |
| **\*|δ|,%** |  |  |  |

Расчет проводится по формуле (1.16), АХ – из Таблицы 1.3, А0 – из Таблицы 1.1, кстати объяснить какое значение из Таблицы 1.1 и почему именно это

***!!!*** В выводах *по каждой Таблице* указывать *все пп. по №№*. Нет ответа – НЕ ЗНАЮ.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вар. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| БТ | KT373A | KT3102B | KT315B | KT3102G | KT315E | KT375B | KT3102V | KT373B | KT3102A |
| EC | 9 | 12 | 15 | 9 | 12 | 15 | 9 | 12 | 15 |
| IC.OP | 1.5 | 3.3 | 3.6 | 1.8 | 2.4 | 3.0 | 1.2 | 2.0 | 2.4 |
| RSS | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 1.0 | 0.8 | 0.33 | 0.55 | 0.75 | 0.45 |
| RH | 6.0 | 5.0 | 8.0 | 7.0 | 10 | 3.0 | 4.0 | 9.0 | 10 |
| Вар. | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| БТ | KT371A | KT3102E | KT371B | KT373V | KT375A | KT3102D | KT355A | KT368B | KT315Z |
| EC | 9 | 12 | 15 | 9 | 12 | 15 | 9 | 12 | 15 |
| IC.OP | 2.0 | 3.0 | 2.8 | 2.2 | 1.8 | 3.2 | 3.0 | 1.5 | 2.0 |
| RSS | 0.6 | 0.8 | 0.35 | 0.55 | 0.7 | 1.0 | 0.33 | 0.9 | 0.65 |
| RH | 5.0 | 7.0 | 10 | 3.0 | 9.0 | 4.0 | 6.0 | 10 | 9.0 |

 Все R – [кΩ], IC.OP – [мА] БТ из библиотеки Models 🡪 npnrus.