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.

Исключение составляет только определение коэффициента нелинейных искажений (КНИ). В данной версии программы просто нет графического интерфейса для ИНИ (измеритель нелинейных искажений); в последующих версиях EWB – уже есть,

***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****. Показатели работы и их определение.*

Основных показателей работы УК, как уже известно три: KU0, RIN, ROUT. К дополнительным показателям, характеризующим эффективность работы УК относят коэффициенты согласования (потерь) на входе и выходе KIN, KOUT.

Коэффициент усиления KU0 – косвенное совместное измерение pV2, pV1

 (1.1)

Теоретическое значение KU0 определяется как:

  (1.2)

Входное сопротивление RIN – в схеме не измеряется

Теоретическое значение RIN

 (1.3)

Где RBD – сопротивление базового делителя, рассчитывается как сопротивление параллельно включенных RB1 (1.14) и RB2 (1.15);

Значение ESS – прямое измерение (только один раз) при разомкнутом ключе **S**:

 (1.4)

Коэффициент потерь на входе измеряется при замкнутом ключе **S**:

 (1.5)

Теоретическое значение коэффициента потерь рассчитываются по формуле:

 (1.6)

Коэффициент потерь на выходе – косвенное относительное измерение при различных положениях ключа **Н**.

 (1.7)

Теоретическое значение KOUT определяется по формуле

 (1.8)

Выходное сопротивление ROUT принимается равным RC.

Коэффициент усиления при подключенной нагрузке

 (1.9)

***2.3.3.*** *Выводы*.

1) Если в схеме RC=const, то и ROUT=const.

2) При RC=const *все изменения* RIN и KU0 определяются *только изменением тока покоя* IC.OP, которое в схеме *не измеряется*.

3) В рамках данной работы (а часто и вообще!) для RIN и IC.OP достаточно знать только характер изменения – растет/падает, а не само значение. Это определяется так:

* изменение RIN – совпадает со знаком изменения KIN (1.6), показаниями pV1(H),
* изменение IC.OP – противоположно знаку изменения UC.OP, показаниям pV2-DC,

4) Связь знака изменения значения IC.OP с изменением KU0 и RIN видна из (1.2) и (1.3).

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

В качестве исходных данных для расчета в варианте указаны:

* напряжение питания EC,
* тип БТ~~,~~
* ток коллектора покоя IC.OP[mA],
* сопротивление нагрузки RH[kΩ],
* для всех вариантов:
* начальное значение напряжения покоя

  (1.10)

* сопротивление в цепи эмиттера

 (1.11)

*Порядок расчета:*

1) Определение значения RC из уравнения выходной цепи с учетом (1.10):

 (1.12)

Значение RC сразу выбирается из ряда Е24

2) Значение RE из (1.10) – значение из ряда Е24 получится автоматически

3) Быстрые формулы для определения значений резисторов БД:

* сначала вычисляется значение

 (1.13)

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

 (1.14)

 (1.15)

4) Определение параметра h21E: для использования в (1.14)

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).

***!!!*** 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 далее называются *номинальными*, индекс "NOM".

Все значения заносятся в Таблицы П1.1, П1.2, которые должны быть представлены перед началом работы.

***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, ESS, RSS, RH – по варианту, согласно Приложению 1.1,
* значения RC, RE, RB1, RB2 – из расчетов в пп.2.3.4,
* 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.

***!!!*** В программе можно было бы и не делать этого очевидного измерения, но в реальных случаях приходится делать именно так.

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

(Рекомендуемый порядок заполнения строки "Э" Таблицы 1.2 после установки значений).

1) Включить/*выключить* схему. Снять показания pV1÷pV3 для непосредственного использования и/или дальнейших вычислений.

Развернуть осциллограф и определить значения uOUT(MAX), uOUT(MIN),

Установки осциллографа: Timebase – 0.20ms/div, ChannelA – 1V/div – Рис.1.2(а)



Рис.1.2. Измерение максимального и минимального значений uOUT.

***!!!***можно перевести экран осциллографа в окно, аналогичное окну Transient Analysis→ Display Graphs→ если вкладок несколько, вкладка Oscilloscope:

* захватить курсором небольшую область "сплошной" картинки, обязательно включающей ее верхнюю и нижнюю границы,
* после отпускания захваченная область займет весь экран,
* несколько последовательных действий – получается, как на Рис.1.2(b),
* при неудачной попытке нажать "минус" – крайний справа и все сначала,
* при вызове курсоров: uOUT(MAX) = maxy, uOUT(MIN) = miny.

***!!!*** Значения maxy и miny появятся сразу в окне Display Graphs→Oscilloscope при вызове курсоров даже без разворачивания сплошной картинки. Однако, метод нужно запомнить и применять при необходимости перевода окна осциллографа в график отчета. Кроме того, измерения в окне на Рис.1(b) намного точнее.

2) Определить значение КНИ (это можно *до* и даже *без* включения):

* Analysis→Fourier (Фурье); output node – **8**, Fundamental frequency – 1кГц,
* результат – в нижнем окне, сразу в %%.

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

(Рекомендуемый порядок заполнения Таблицы 1.3).

Таблица 1.3 содержит 6 строк и 8 столбцов – итого 48 значений. Только 16 из них – UC.OP и uOUT(XX) непосредственно совпадают с показаниями приборов, 8 получаются так же непосредственно в опции *Fourier*, остальные 24 нужно вычислять. Для ускорения процесса *настоятельно рекомендуется* создать дополнительную Таблицу 1.3.доп. (в отчет ее можно не заносить), в которую записываются *только показания приборов*. В этом случае Таблица 1.3. заполняется после выполнения работы.

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

* разомкнуть ключ **H**,
* установить очередное значение MIN/MAX из Таблица 1.1,
* определить значение КНИ (еще до включения!),
* включить схему, снять показания приборов,
* не выключая схемы (!), замкнуть ключ **H**, снова снять показания приборов,
* выключить схему, далее все повторяется; всего 8 включений.

Установка значений резисторов – очевидна; установка значений 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 (!!!).***

***!!!*** Исходное (номинальное) значение h21e в окне не совсем совпадает с вычисленным в файле h21E.ewb, но *пропорционально* ему. Можно устанавливать "свои" значения MAX и MIN из Таблицы 1.1, а можно исходить из модельного значения. В обоих случаях эффект от изменения будет практически одинаковым.

***3.1.4****. Исследование достоверности показаний pV2 (выходной сигнал).*

Приборы EWB в режиме AC показывают *постоянное* напряжение сигнала, площадь под которым будет равна площади измеряемого сигнала без учета знака. Если выходной сигнал гармонический, то связь определяется известным выражением uEFF≈ 0.707uAMP. При искажениях формы сигнала в выходной цепи УК это изменяется.

Заполнить Таблицу 1.4 в соответствии с указанными в ней данными. Значения uOUT(MAX), uOUT(MIN), измерять согласно пп.3.1.2 – любым способом.

Порядок работы:

* сразу разверните экран осциллографа,
* поместите его так, чтобы был доступ к ESS и видимость pV2, pV3, остальные могут быть закрыты,
* после остановки перед измерением увеличивайте значение Channel A [V/div], если на экране ограничение,
* значение КНИ можно определять сразу после изменения ESS.

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

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

1) Согласно теории расчета УК, одновременное изменение значений RB1, RB2 с сохранением их отношения вообще не должно влиять на значение IC.OP, т.е. и на KU0.

2) Значение KU0 вообще *не зависит* от значения h21E, что является одним из основных достоинств схемы.

Порядок выполнения работы:

* установить для всех вариантов ESS = 1мВ,
* 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.

***3.2.*** *Альтернативная версия выполнения (только программные средства).*

Этот раздел обязателен к выполнению *только в качестве самостоятельной работы по указанию преподавателя!* При обычном выполнении его можно *пропустить.*

***3.2.1****. Исходные данные к работе*.

Файл AmpBJT-Analysis.ewb – тот же самый файл с удаленными приборами.

Значение ESS известно по установке в источнике ESS (на схеме - V2).

Значение UC.OP определяется в Analysis→DC Operating point→точка **19**

Определяемые показатели работы УК, включая работу с конкретным источником сигнала и нагрузкой:

* коэффициент усиления без учета потерь на выходе (ключ **H** – разомкнут):

 (1.15)

* коэффициент усиления с учетом потерь на выходе (**H** – замкнут)

 (1.16)

* коэффициент потерь при согласовании на входе

 (1.17)

***3.2.2****. Анализ переменного напряжения в EWB.*

Режим AC Frequency (далее просто **AC**). График АЧХ сразу отражает значения KU – (1.15), (1.16) в зависимости от положения ключа **H**.

Режим Transient– просто другая форма вызова и представления осциллографа.

Обычный режим – несколько выходных точек, Parameter Sweep + AC/Transient – только одна точка **8**, зато можно задавать изменение параметра.

Информативные данные в окне курсоров: AC – maxy, Transient – maxy и miny.

Диапазон моделирования (в AC/Transient options):

AC–(1 ÷ 100)кГц вообще-то можно любой (почему?), Linear, точка 8,

Transient – (0.005 ÷ 0.01)c, пять периодов частоты 1кГц с пропуском начала.

Установленные режимы сохраняются *до их изменения*, даже при *закрытии файла*.

***3.2.3****. Заполнение Таблиц*.

*Таблица 1.2А* ("Э"). Последовательно AC и Transient в обычном режиме.

*Таблица 1.3А.* Только Parameter Sweep+АС. Данные для параметров – под Таблицей.

*Таблица 4А*. Parameter Sweep+AC/Transient. Параметр V2 (Это ESS).

*Таблица 5А*. Parameter Sweep+AC/Transient. Параметр h21E, RB1&RB2 – вручную.

***3.2.4****. Особенности альтернативного метода*.

Метод представляет собой экспресс-анализ, гораздо менее трудоемкий, но дающий практически ту же информацию подготовленному пользователю, т.е. знающему как:

* изменяются UC.OP, IC.OP при любой регулировке (RC, RB1, RB2, RB1&RB2),
* качественно связать изменение uOUT(MAX/MIN) и КНИ.

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

*По Таблице 1.2*.

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.

3) Показатель, которого *НЕТ в Таблице 1.2*, но именно его отклонение от расчетного значения является главной причиной для всех остальных отклонений.

*По Таблице 1.3*.

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 uOUT(MAX), а какие оказывают два противоположных влияния.

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

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

*По Таблице 1.4*.

1) Почему нельзя полностью доверять показаниям прибора pV2.

2) Почему даже при малых НИ сильно различаются показания pV2 и осциллографа.

Для последующего вывода сделать расчет запаса напряжения "вверх" и "вниз"



3) Сделать вывод, при каких запасах НИ уже очень большие (> 15%):

для ΔUUP в долях EC, для ΔUDOWN непосредственно в [B].

*По Таблице 1.5*.

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

2) При каких изменениях RB1&RB2 зависимость от h21E усиливается/ослабляется.

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

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