Лабораторная работа №3.

**ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ (ООС) В ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ**.

**1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**.

Изучение влияния ООС на показатели работы усилителей.

**2. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ.**

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

* свойства последовательной ООС по напряжению,
* правила подключения ООС к входу и выходу,
* петлевой коэффициент усиления (глубина ООС), влияние на стабильность KU,

***2.2****. Объект исследования – Рис.3.1.*



Рис.3.1. Трехкаскадный усилитель с последовательной ООС по напряжению.

Состав усилителя – в качестве признака указывается БТ:

VT1 – входной УК,

VT2 – промежуточный УК, дающий основной вклад в общее усиление,

VT3 – выходной УК (ЭП), позволяющий работать с малыми значениями RH,

ROC-COC – цепь ООС только по переменному току.

Ключ L подключает отключает цепь ООС. При отключенной цепи ООС резистор ROC является нагрузкой выходного каскада даже в режиме ХХ.

***2.3****. Расчет параметров усилителя при разомкнутой цепи ООС.*

***2.3.1****. Расчет параметров каскадов.*

***!!!*** В вариантах ПРИЛОЖЕНИЯ 3.1 указано *эффективное* значение максимального напряжения в нагрузке – uH. Значение uH (или близкое к нему) должно соответствовать *показаниям pV2* при работе в номинальном режиме.

При расчетах режима DC используется *амплитудное* значение

  (3.1)

При малых уровнях НИ значения ±uH.AMP ~ соответствуют показаниям *осциллографа*.

1) Определение токов покоя

* для УК-VT1, VT2 – IOP.1=IOP.2 – по варианту из ПРИЛОЖЕНИЯ 3.1.
* для ЭП-VT3 – по формуле

 (3.2)

2) Определение напряжений покоя

* для УК-VT1 – UOP.1 ≥ 2B для всех вариантов,
* для УК-VT2 – по формуле:

 (3.3)

* для ЭП-VT3 – по формуле:

 (3.4)

*Как ориентироваться в неравенствах (3.2) ÷ (3.4)?*

Если выбирать минимальные значения, то, *возможно (?)*, общее значение KU0 повысится, особенно "на бумаге". Однако, при исследовании на стабильность схема *может дать* худшие результаты. Более тщательный подход придется делать при выполнении КР.

3) Определение номиналов RC1,2 и RE3 из уравнения выходной цепи

 (3.5)

 (3.6)

*Значения резистора сразу переводить в Е24 для расчета значений других резисторов,*

4) Определение номиналов RE1,2 из условия RE1,2 =0.1⋅RC1,2.

5) Разделение RE1 для подключения цепи ОС: RE12 =0.1⋅RE1, RE11 =0.9⋅RE1

Значение RE12 автоматически получится в Е24, а RE11 *возможно* придется изменить.

*Пример 1:* RE1=300Ω, RE12=30Ω, RE11=270Ω – нормально

*Пример 2:* RE1=240Ω, RE12=24Ω, RE11=216Ω – выбираем RE11=220Ω

6) Определение резисторов БД для УК-VT1,2 из (1.4)÷(1.6) Л.Р.№1.

7) Определение резисторов БД для УК-VT3 – ЭП почти, как в Л.Р.№1

 (3.7)

 (3.8)

 (3.9)

***2.3.2****. Расчеты локальных и глобальных показателей работы усилителя*.

1) Определение входных сопротивлений

* для УК-VT1

 (3.10)

* для УК-VT2

 (3.11)

* для ЭП-VT3

 (3.12)

2) Определение локальных коэффициентов усиления

* для УК-VT1

 (3.13)

* для УК-VT2

 (3.14)

* для ЭП-VT3

 (3.15)

3) Общее значение KU0 – произведение локальных коэффициентов

 (3.16)

4) Входное сопротивление усилителя – это RIN1 входного каскада (3.7).

5) Выходное сопротивление – это ROUT3 (ЭП)

 (3.17)

***2.3.3****. Расчет сопротивления цепи ООС.*

Значение ROC рассчитывается из условия, что в схеме с *разомкнутой* ОС будет соблюдаться условие

 (3.18)

KU0 – коэффициент усиления при разомкнутой цепи ОС (3.16), разомкнута

KU.NOM – коэффициент усиления при замкнутой цепи ОС (вариант).

В этом случае значение ROC определяют по формуле (подробно в лекциях)

 (3.19)

***2.5****. Задание на самостоятельную работу*.

В бланке допуска ПРИЛОЖЕНИЕ 3.2 должны быть выписаны все рассчитанные значения указанных в нем величин.

***2.6****. Особенности исследования коэффициентов усиления.*

**Внимательно прочтите этот раздел –**

**основное руководство по методике проведения измерений!**

***2.6.1****. Общие понятия*.

Задача исследования – получение зависимостей KU от различных факторов, т.е. графиков вида KU = f(X), где Х – параметр схемы, температура, частота и т.п.

При классическом подходе для каждой точки необходимо: изменение аргумента Х, включение схемы, определение KU по приборам; после всего ручное построение графика.

Режим *Parameter (Temperature) Sweep* позволяет получать семейства характеристик – АЧХ или осциллограмм – при различном параметре: tOC, h21E, RH и т.п.; см. Рис.3.2.



Рис.3.2. Семейство графиков: a – АЧХ, b – осциллограммы.

***2.6.2****. Режимы Parameter Sweep+AC Frequency и Parameter Sweep +Transient.*

На графиках каждого из режимов выводится:

* X – значения параметра при задании режима моделирования
* Y – смысл зависит от режима:
* АЧХ (AC) – сразу коэффициент усиления "идеального" источника

  (3.20)

* осциллограмма (Transient) – сигнал "как есть" со всеми его искажениями,

Для того, чтобы определить действительное значение KU0 необходимо одно из трех:

* принять источник сигнала за идеальный,
* пренебречь влиянием фактора на RIN,
* получить дополнительное семейство для точки базы VT1.

Для получения наиболее правильных результатов нужно применять 3-й вариант.

***2.6.2****. Таблицы (графики) исследуемой величины*.

Для получения зависимости KU=f(X) берутся следующие значения:

X – значение параметра, задаваемые в режиме моделирования,

Y в 1-м и 2-м вариантах – *max y* для АЧХ, *max y* или *min y* в Transient

Y в 3-м варианте – отношение предыдущих значений к значениям для точки базы VT1.

**3. ЗАДАНИЕ НА РАБОТУ В ЛАБОРАТОРИИ**.

***3.1.*** *Определение показателей работы усилителя с отключенной ООС.*

***3.1.1.*** *Начальные установки схемы.*

Открыть файл Loop.ewb (Рис.3.1). Установить параметры в соответствии с данными варианта и предварительными расчетами:

ЕSS=0.1мВ, 1кГц, конденсаторы: СE1,2,=СОС = 680мкФ, все остальные C=1мкФ.

Ключи **L**, **H** разомкнуты.

***3.1.2.*** *Определение показателей работы классическим методом.*

В режиме Analysis → DC OP проверить значения UOP во всех каскадах. Если они не различаются от расчетных более, чем на (10 ÷ 15)%, схема должна нормально работать, хотя возможно не с максимальным значением KU0.

Включить схему, снять показания приборов, показания pV2 в двух положениях.

В Таблицу 3.1 занести все значения, которые могут быть определены прямо или косвенно на основе этих показаний; см указания внизу Таблицы 3.1.

***3.1.3****. Измерения по графику АЧХ.*

Диапазон частот, здесь и в последующем (10Гц ÷ 1ГГц). Вид шкалы Y, в принципе, любой, т.к. его можно изменить в окне результата на закладке Left Axis. При измерениях нужно учитывать следующее:

* обычное значение KU получается на АЧХ, Y – Linear,
* значение KU[dB] получается на ЛАЧХ, Y – Decibel,
* значения частот среза *гораздо удобнее* получать на ЛАЧХ

 

Рис.3.3. Измерение частот среза: а – на АЧХ, б – на ЛАЧХ.

На ЛАЧХ можно поместить один курсор в плоской части и двигать другой курсор до появления dy = |3|. Значение x под перемещаемым курсором – это и есть частота среза; разность Δf=fВЧ – fНЧ называется полосой пропускания

***3.1.4****. Определение НИ в условиях, сравнимых с подключенной ОС.*

Ключ **H** – режим **ХХ**. Установить значение ESS таким, чтобы uOUT ≈ uH[V] по варианту. Значение КНИ занести в Таблицу 3.1.

***3.1.5****. Снятие амплитудной характеристики (АХ).*

АХ – это зависимость uOUT = f(uIN) или KU = f(uIN). Если НИ отсутствует, то одна из зависимостей – это y = a⋅x, а другая – y = const.

Общий режим Analysis → Parameter Sweep.

Диапазон значений ESS – это V2: (0.1 ÷ 0.9)мВ, шаг 0.2мВ, всего пять значений.

1) *Исследования по осциллограммам* – Parameter Sweep+Transient.

Диапазон времен: (0.005 ÷ 0.008)с; три периода частоты 1кГц (Т = 1мс), исключая первые пять, в которых может быть переходной процесс.

Типичный вид семейства графиков показан в ПРИЛОЖЕНИИ – Рис.П3.1.

Из семейства для точки IN получить значение KIN, убедившись, что оно ~ const.

Занести в Таблицу 3.2 значения KU = uOUT/uIN ≈ uOUT/KIN⋅ESS; uOUT=max y. Построить график зависимости KU = f(UIN), начиная ось Y не с нуля, а с некоторого значения KU.MIN.

2) Исследования по АЧХ – Parameter Sweep+AC Frequency.

Не определяя никаких численных значений, сделайте самостоятельный *вывод* о результатах применения анализа в частотной области.

***!!!*** Указать вид, который имеет семейство АЧХ – это констатация факта, а не вывод.

***3.1.6.*** *Зависимость от разброса параметров усилителя.*

В этом разделе используется статистический анализ Monte-Carlo. При моделировании проводится многократный запуск схемы; каждый раз параметрам придается *случайное* отклонение от номинала в указанных пределах.

В окне анализа Monte-Carlo устанавливается:

* количество запусков – 8,
* отклонение – 5%,
* seed – любое *нечетное* число в пределах (1 ÷ 32767),
* закон распределения – Гаусса
* остальные действия уже знакомы.

Диапазоны остаются те же для AC Frequency из пп.3.2.1, Transient из пп.3.2.3

Провести оба вида анализа. Графики занести в отчет, как наглядный пример, чего можно ожидать от одной и той же схемы при разбросе ее параметров.

При выводе семейства АЧХ занесите в Таблицу 3.4 значения KU. Обработка результатов – при оформлении отчета (см. п.4)

***3.2.*** *Определение показателей работы усилителя с подключенной ООС.*

Главное действие – замыкание ключа **L**, т.е. подключение цепи ОС.

 Даже без дополнительных указаний, только по структуре Таблиц 3.1 ÷ 3.3 понятно, что следует полностью повторить все действия, начиная с пп.3.1.3.

Дополнительные действия при выполнении пп.3.3.

***3.2.1. (3.1.1)****. Начальные установки схемы.*

Установить любое значение **ESS = 1мВ(!!!)**, остальное то же.

***3.2.2. (3.1.2).*** *Определение показателей работы классическим методом.*

При первом включении определить только показатель KIN.

Установить значение ESS, которое *по теоретическим расчетам(!!!)* должно обеспечить значение uOUT = uH. Это очень просто по известным ранее KU.NOM, uH и полученному KIN.

Остальные измерения для Таблицы 3.1 проводить при установленном ESS.

Соответствующие данные из Таблицы 3.1 скопируйте в 1-ю строку Таблицы 3.3.

***3.2.2(дополн.)****. (Аналога нет). Влияние глубины ОС на показатели работы.*

Дважды измените значение ROC, соответственно изменяя в обратную сторону значения ESS. В Таблицу 3.3 занесите только отмеченные там значения.

***3.2.3 (3.1.3)****. Измерения по графику АЧХ.*

***!!!*** В схеме с включенной ОС АЧХ может иметь выбросы в области НЧ или ВЧ, даже превышающие значение в плоской части. Для исключения влияния выброса:

* при определении KU, например, при определении разброса в пп.3.2.6, установите курсор в плоской части и пользуйтесь его значениями Y, а не max y,
* при определении частот среза по ЛАЧХ значение dy =|3| определяется при положении одного из курсоров в плоской части вне области выброса.

***3.2.4.(3.1.4)*** выполняется в процессе выполнения пп.3.2.2.

***3.2.5. (3.1.5)****. Снятие амплитудной характеристики (АХ).*

Проводится только для режима Parameter Sweep+Transient (объяснить почему?).

Определить два значения ESS, при которых значения uOUT *очень приблизительно* примерно такие же, как в пп.3.1.5 для ESS=0.1мВ и 0.9мВ. Разделить диапазон ESS, так чтобы получилось пять значений и определить шаг; тоже очень приблизительно

***3.2.6. (3.1.6)****. Зависимость от разброса параметров усилителя.*

Проводится для трех значений ROC – см. пп.3.2.2 (дополн.)

***4****. ВЫВОДЫ.*

1) У *всех* должен получиться результат KU.OC < KU.NOM. Вопрос – насколько меньше?

Сделайте самостоятельный анализ результатов, включая расчеты, и укажите основную причину отклонения в вашем случае.

2) Как влияет подключение ОС на значения RIN и ROUT? Почему на одну из величин оно влияет в гораздо меньшей степени (если это так по результатам)?

3) Чем ограничено применение анализа AC Frequency и даже pV при определении KU? Почему, несмотря на эти ограничения, анализ АЧХ все-таки используется в данной Л.Р.?

4) Сравните линейность преобразования при наличии/отсутствии ОС по *косвенным* и *непосредственным* результатам. Кстати, какие результаты относятся к указанным видам?

5) Проведите оценку результатов Таблицы 3.3 с *самостоятельными* выводами. Обязательно укажите направленность действий при расчетах для получения наилучшего результата.

6) Проведите оценку результатов Таблицы 3.4 с *самостоятельными* выводами. Обязательно укажите причину, почему при подключении цепи ОС разброс все-таки остается. Что способствует уменьшению разброса при подключенной цепи ОС? Можно сопоставить с результатами анализа в п.5

Расчет значений для Таблицы 3.4.

А – математическое ожидание, оно же среднее арифметическое; пояснений не надо.

Среднеквадратичное отклонение

 (3.22)

AJ – результат J-го измерения, n – число измерений (запусков)