

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Кафедра вычислительных машин, комплексов, систем и сетей

Курсовая работа защищена

с оценкой _____

(подпись руководителя, дата)

**Курсовой проект по дисциплине
«Электротехника и электроника»**

**Тема: Расчёт и исследование многотранзисторных схем
в электронной лаборатории IBM PC**

Выполнил студент группы ЭВМ 4-2

Ф.И.О. Ахмедишев Р.Р.

Шифр ЭВМ - 061060

Руководитель Резников Б.Л.

Москва 2007 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНЫХ СООБЩЕНИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (МГТУ ГА)

Кафедра «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТУ)

по дисциплине Электроника и электротехника

студента Ахмедишева Рафаила Растямовича группы ЭВМ 4-2

1. Наименование темы:

Расчёт и исследование многотранзисторных схем
в электронной лаборатории IBM PC.

2. Задание и основные характеристики:

Разработать учебные материалы, выполнить расчёт и представить результаты
в среде PowerPoint.

3. Объем: пояснительная записка на _____ листах, графическая часть на _____ листах
формата _____.

4. Срок сдачи курсовой работы _____

Руководитель: доцент _____ Резников Б.Л.
(должность) (подпись) (ФИО)

« _____ » _____ 20__ г.

Студент: _____ Ахмедишев Р.Р.
(подпись) (ФИО)

« _____ » _____ 20__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание.....	3
Перечень графического материала.....	4
Перечень условных обозначений и сокращений.....	4
1. Техническое задание.....	5
2. Общие сведения.....	5
3. Вычисление коэффициента усиления по входным и выходным сопротивлениям.....	6
3.1. Пример 1.....	6
4. Схемы с RC-связью.....	7
5. Каскадное соединение усилителей с ОЭ.....	7
5.1. Пример 2.....	7
5.2. Пример 3.....	8
6. Схемы с резисторами в цепи эмиттера, не шунтированными развязывающими конденсаторами.....	8
6.1. Пример 4.....	9
7. Усилитель, выполненный по схеме общий эмиттер – общий коллектор.....	10
7.1. Пример 5.....	10
7.2. Пример 6.....	11
8. Многокаскадный усилитель на полевых транзисторах с управляющим рп-переходом.....	12
8.1. Пример 7.....	12
9. Усилители с непосредственной связью.....	13
9.1. Пример 8.....	13
10. Пары Дарлингтона.....	14
11. Руководство пользователя Multisim 10.....	16
11.1. Общие сведения о программе.....	16
11.2. Интерфейс пользователя.....	16
12. Руководство пользователя PSpice 9 Student.....	19
12.1. Общие сведения о программе.....	19
12.2. Структура окна.....	19
12.3. Работа с меню и выбор компонентов библиотеки.....	20
12.4. Выбор характерных точек схемы.....	21
13. Выводы 22	
14. Список литературы.....	23

					ЭВМ 061060 КП60.00.ПЗ		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>						3	23
<i>Н. контроль</i>					МГТУ ГА		
<i>Утверждаю</i>							

ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Рисунок 2.1 – Трёхкаскадный усилитель.....	5
Рисунок 5.1 – Двухкаскадный усилитель, каскады по схеме с ОЭ.....	7
Рисунок 6.1 – Двухкаскадный усилитель без шунтирующего конденсатора...	9
Рисунок 7.1 – Однокаскадный усилитель с ОЭ	10
Рисунок 7.2 – Усилитель по схеме ОЭ-ОК.....	11
Рисунок 8.1 – Двухкаскадный усилитель на полевом транзисторе.....	12
Рисунок 9.1 – Двухкаскадный усилитель с непосредственной связью	13
Рисунок 10.1 – Основная пара Дарлингтона	14
Рисунок 10.2 – Принципиальная схема Дарлингтона (Multisim).....	15
Рисунок 10.3 – Эквивалентная схема Дарлингтона (PSpice).....	15
Рисунок 11.1 – Общий вид рабочего окна программы Multisim.....	16
Рисунок 11.2 – Диалоговое окно Выбор компонента	18
Рисунок 11.3 – Окно свойств конденсатора	19
Рисунок 11.4 – ПИ «Приборы»	19
Рисунок 12.1 – Вид рабочего окна PSpice	20
Рисунок 12.2 – Окно поиска компонентов	21

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

АЧХ	Амплитудно-частотная характеристика
БД	База данных
ОК	Общий коллектор
ОЭ	Общий эмиттер
ПИ	Панель инструментов

1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Цели курсового проекта:

1. Исследование возможностей сред схемотехнического моделирования Multisim 10 Education Edition и PSpice 9 Student, а также освоение принципов построения схем в данных средах;
2. Разработка учебно-методического материала по теме «Многотранзисторные схемы»;
3. Теоретический материал, собранный по теме, представить в среде Microsoft PowerPoint.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Простейшее представление о многотранзисторной схеме дано на рисунке 2.1, где каждый транзистор с относящимися к нему резисторами и конденсаторами называется *каскадом*. На рисунке 2.1 показаны трёхкаскадный усилитель и соединения между каскадами. Эта схема является адекватной моделью для усилителей с RC-связью.

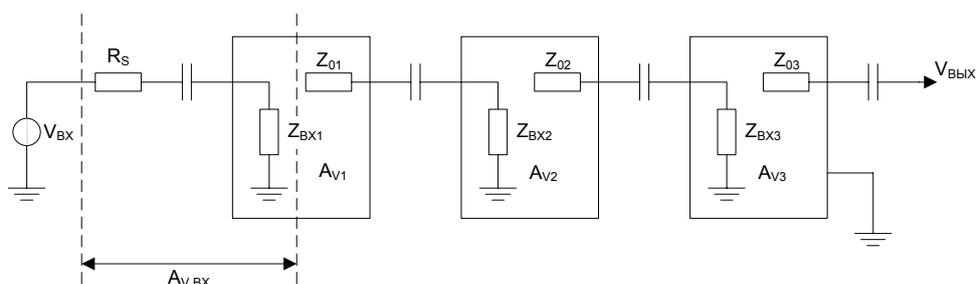


Рисунок 2.1 – Трёхкаскадный усилитель

Если коэффициенты усиления каждого из трёх каскадов на рисунке 2.1 равны A_{v1} , A_{v2} и A_{v3} соответственно, то коэффициент усиления всего усилителя будет их произведением (формула 1):

$$A_v = A_{ex} \cdot A_{v1} \cdot A_{v2} \cdot A_{v3}, \quad (1)$$

где A_{ex} определяет уменьшение входного напряжения в результате его деления между сопротивлением источника R_S и входным сопротивлением первого каскада Z_{ex} (формула 2):

$$A_{ex} = \frac{Z_{ex}}{Z_{ex} + R_S}. \quad (2)$$

Если $Z_{ex} \gg R_S$, то $A_{ex} = 1$.

Входное и выходное сопротивления каждого каскада влияют на коэффициенты усиления соседних каскадов. Если коэффициенты усиления каждого каскада измерены или вычислены независимо друг от друга, а затем каскады соединены вместе, нельзя рассчитывать на получение правильного результата по формуле (2), поскольку взаимодействие каскадов не учтено.

3. ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ПО ВХОДНЫМ И ВЫХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЯМ

Влияние связи между каскадами можно вычислить по известным входным и выходным сопротивлениям каждого каскада. Как видно из рисунка 2.1, выходное сопротивление предыдущего каскада включено последовательно с входным сопротивлением следующего каскада, поэтому коэффициент усиления каскада уменьшается, причём ослабление сигнала a в межкаскадном соединении определяется формулой (3).

$$a = \frac{Z_{\text{ex}2}}{Z_{\text{ex}2} + Z_{\text{вых}1}}, \quad (3)$$

где

$Z_{\text{вых}1}$ – выходное сопротивление первого каскада и

$Z_{\text{ex}2}$ – входное сопротивление следующего каскада.

Если каскаду присуще высокое входное сопротивление (каскад на полевом транзисторе или эмиттерный повторитель), то $Z_{\text{ex}2}$ зачастую гораздо больше, чем $Z_{\text{вых}1}$, и коэффициент усиления предыдущего каскада практически не изменяется. В усилителях с RC-связью $Z_{\text{вых}1}$, как правило, больше, чем $Z_{\text{ex}2}$, и коэффициент усиления уменьшается существенно.

3.1. Пример 1

Задача:

Требуется определить коэффициент усиления трёхкаскадного усилителя (рисунок 2.1), если $R_s = 1$ кОм, и для каждого отдельно взятого каскада $A_v = 100$, $Z_{\text{ex}} = 1$ кОм и $Z_{\text{вых}} = 4$ кОм.

Решение:

Прежде всего, по формуле (2) определим, что $A_{\text{ex}} = 0,5$, значит, на входе первого каскада усилителя сигнал ослабляется в два раза. Так как коэффициент усиления первого каскада A_{v1} равен 100, результирующий коэффициент усиления после первого каскада будет равен 50. Межкаскадное соединение состоит из 1 кОм (Z_{ex}), включённого последовательно с 4 кОм ($Z_{\text{вых}}$), что уменьшает коэффициент усиления до 10 (ослабление сигнала в межкаскадном соединении, определённое по формуле (3), оказалось равным 0,2; $50 \cdot 0,2 = 10$). После второго каскада коэффициент усиления будет равен $10 \cdot 100 = 1000$. Межкаскадное соединение между вторым и третьим каскадами уменьшает коэффициент усиления до 200. Наконец, после третьего каскада коэффициент усиления будет равен $200 \cdot 100 = 20000$.

Заметим, что коэффициент усиления был найден без учёта сопротивления нагрузки на выходе усилителя. Любая нагрузка на выходе третьего каскада будет включена последовательно с 4 кОм выходным сопротивлением и вызовет дальнейшее уменьшение коэффициента усиления. В общем случае низкое выходное сопротивление увеличивает сквозной коэффициент усиления схемы.

4. СХЕМЫ С RC-СВЯЗЬЮ

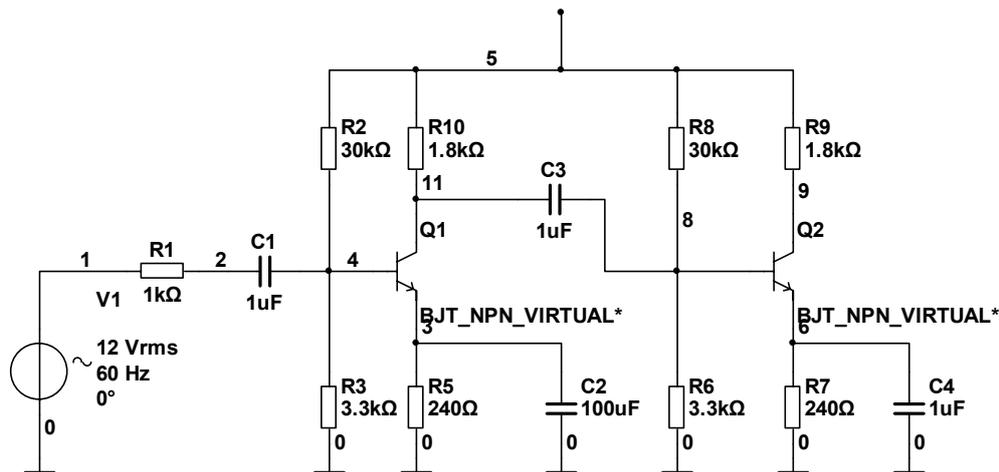
На рисунке 2.1 представлена идеальная модель каскадов, соединённых последовательно для увеличения коэффициента усиления. Если каждый каскад на рисунке 2.1 представляет собой транзисторный усилитель, выход одного каскада обычно подключается ко входу следующего каскада через разделительный конденсатор, который разделяет каскады по постоянному току, вследствие чего предшествующий каскад не влияет на уровень смещения следующего каскада.

5. КАСКАДНОЕ СОЕДИНЕНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ С ОЭ

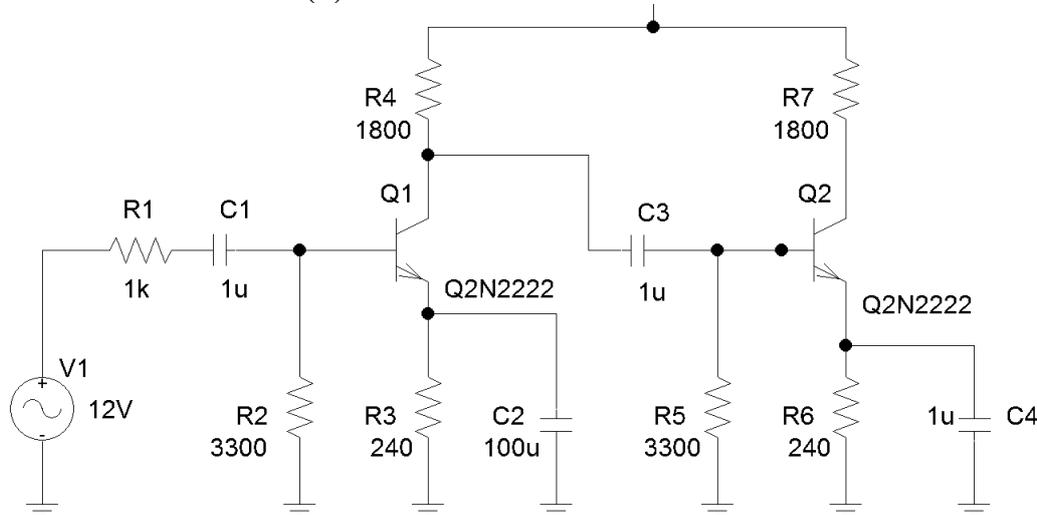
Два однокаскадных усилителя с общим эмиттером (ОЭ) можно соединить вместе для получения высокого коэффициента усиления схемы.

5.1. Пример 2

Если два идентичных усилителя соединены вместе (рисунок 5.1), причём $h_{fe} = 150$; $h_{ie} = 900 \text{ Ом}$; $A_v(\text{tr}) = -300$, то каков общий коэффициент усиления схемы?



(a) Multisim 10 Education Edition



(б) PSpice 9 Student

Рисунок 5.1 – Двухкаскадный усилитель, каскады по схеме с ОЭ

Так как второй каскад влияет на работу первого, общий коэффициент усиления нельзя определить простым перемножением коэффициентов усиления отдельных каскадов. В действительности общий коэффициент усиления является произведением трёх коэффициентов передачи: A_{ex} , A_{v1} и A_{v2} . Если второй каскад не нагружен, то его коэффициент усиления остаётся неизменным, т.е. $A_{v2} = -300$.

A_{v1} – коэффициент усиления первого каскада. Здесь R_C имеет ёмкостную связь с резисторами смещения и с h_{ie} второго каскада. Таким образом, первый каскад в действительности нагружен сопротивлением RL' , где $RL = R_C \parallel R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel h_{ie} = 1800 \text{ Ом} \parallel 30\,000 \text{ Ом} \parallel 3\,300 \text{ Ом} \parallel 900 \text{ Ом} = 500 \text{ Ом}$.

Тогда коэффициент усиления первого каскада $A_{v1} = -h_{fe} \cdot RL' / h_{ie} = -150 - 500 / 900 = -83,3$.

Наконец, A_{ex} показывает, какая часть входного напряжения подаётся на базу первого транзистора. Входная цепь является делителем напряжения, образованным сопротивлением $900 \text{ Ом} \parallel 3\,300 \text{ Ом} \parallel 30\,000 \text{ Ом} = 690 \text{ Ом}$ и последовательно включённым с ним 10-кОм резистором. Поэтому $A_{ex} = 690 \text{ Ом} / 10\,690 \text{ Ом} = 0,0645$.

В результате получаем $A_v = A_{ex} \cdot A_{v1} \cdot A_{v2} = 0,0645 \cdot 83,3 \cdot 300 \approx 1612$.

5.2. Пример 3

Для схемы на рисунке 5.1 определить выходное сопротивление первого каскада и входное сопротивление второго. Принять $h_{fe} = 150$; $h_{ie} = 900 \text{ Ом}$; $A_v(tr) = -300$.

Выходным сопротивлением первого каскада является только $R_{C1} = 1800 \text{ Ом}$ (h_{oe} можно не учитывать). Входное сопротивление второго каскада составляет $R_B \parallel h_{ie} = 30\,000 \text{ Ом} \parallel 3\,000 \text{ Ом} \parallel 900 \text{ Ом} = 692,3 \text{ Ом}$. Коэффициент усиления первого каскада равен произведению A_{v1} на коэффициент связи, т.е. $-300 \cdot 692,3 / (1\,800 + 692,3) = -83,3$.

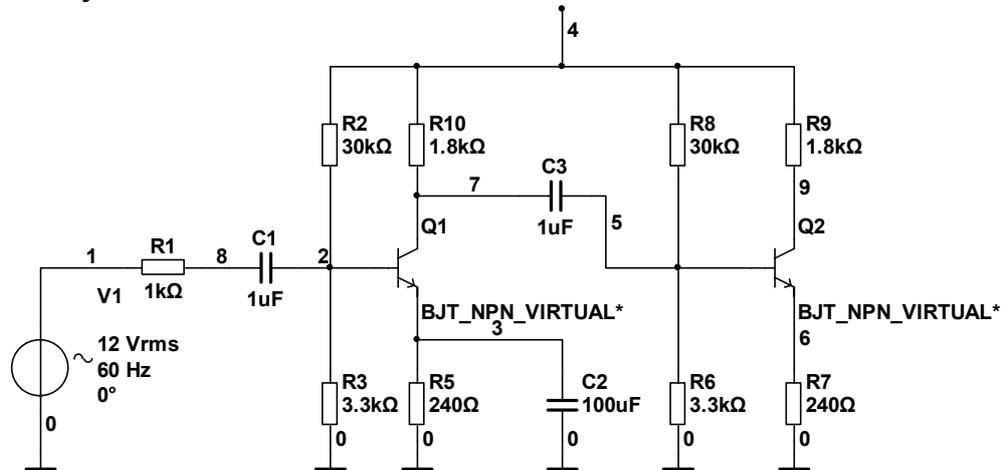
6. СХЕМЫ С РЕЗИСТОРАМИ В ЦЕПИ ЭМИТТЕРА, НЕ ШУНТИРОВАННЫМИ РАЗВЯЗЫВАЮЩИМИ КОНДЕНСАТОРАМИ

Анализ схем, которые содержат эмиттерные резисторы без развязывающих конденсаторов, можно провести достаточно быстро при определённых упрощающих допущениях. Одним из эффектов эмиттерного резистора без развязывающего конденсатора является увеличение входного сопротивления каскада, что означает, что он, хотя и незначительно, снижает нагрузку предыдущего каскада. К тому же выбор допустимого коэффициента усиления схемы с эмиттерным резистором без развязывающего конденсатора часто даёт достаточно точный результат. Например, коэффициент усиления эмиттерного повторителя предполагается равным 1. Это предположение даёт обычно 99%-ную точность.

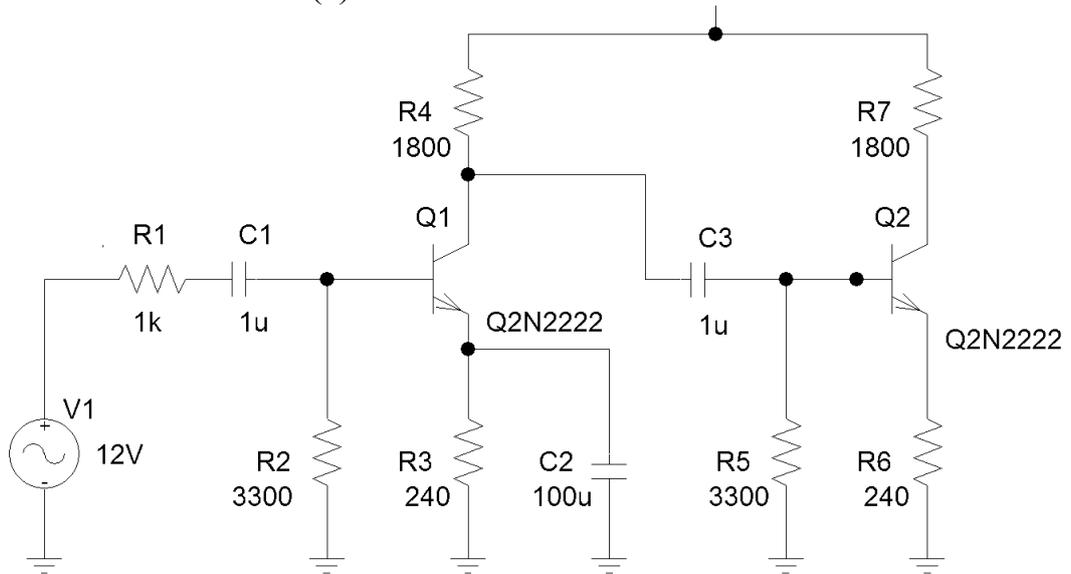
6.1. Пример 4

Определить коэффициент усиления схемы на рисунке 6.1, если конденсатор в цепи эмиттера второго каскада отсутствует:

- используя приближённый анализ;
- используя точный анализ.



(a) Multisim 10 Education Edition



(б) PSpice 9 Student

Рисунок 6.1 – Двухкаскадный усилитель без шунтирующего конденсатора

В этой задаче уменьшение коэффициента усиления, обусловленное входным резистором, не учитываем, поскольку A_{ex} зависит от входного резистора. Если его величина по-прежнему 10 кОм, то коэффициенты усиления можно вычислить умножением общего коэффициента на 0,0645.

При приближённом анализе предполагаем, что коэффициент усиления второго каскада равен $-R_C/R_E = -1800/240 = -7,5$. До тех пор, пока входное сопротивление второго каскада имеет большую величину, оно не увеличивает нагрузку первого каскада. Поэтому коэффициент усиления первого каскада равен 300. Общий коэффициент усиления $A_{v(tr)} = 300 \cdot 7,5 = 2250$.

При точном анализе имеем $A_{v2} = [-h_{fe} \cdot R_C] / [h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot R_E] = [-150 \cdot 1800] / [900 + 151 \cdot 240] = -7,27$.

Для вычисления коэффициента усиления первого каскада определим нагрузочный эффект второго каскада: $R_{BX} = h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot R_E = 37\,140\ \text{Ом}$.

В этом случае $R'L$ будет равно сопротивлению параллельно включенных резисторов смещения и R_{BX} :

$$R'L = 37\,140\ \text{Ом} \parallel 30\,000\ \text{Ом} \parallel 3\,300\ \text{Ом} \parallel 1800\ \text{Ом} = 1088\ \text{Ом},$$

$$A_{v1} = -h_{fe} \cdot R'L / h_{ie} = -150 \cdot 1088 / 900 = -181, \quad A_{v(tr)} = 181 \cdot 7,27 = 1316.$$

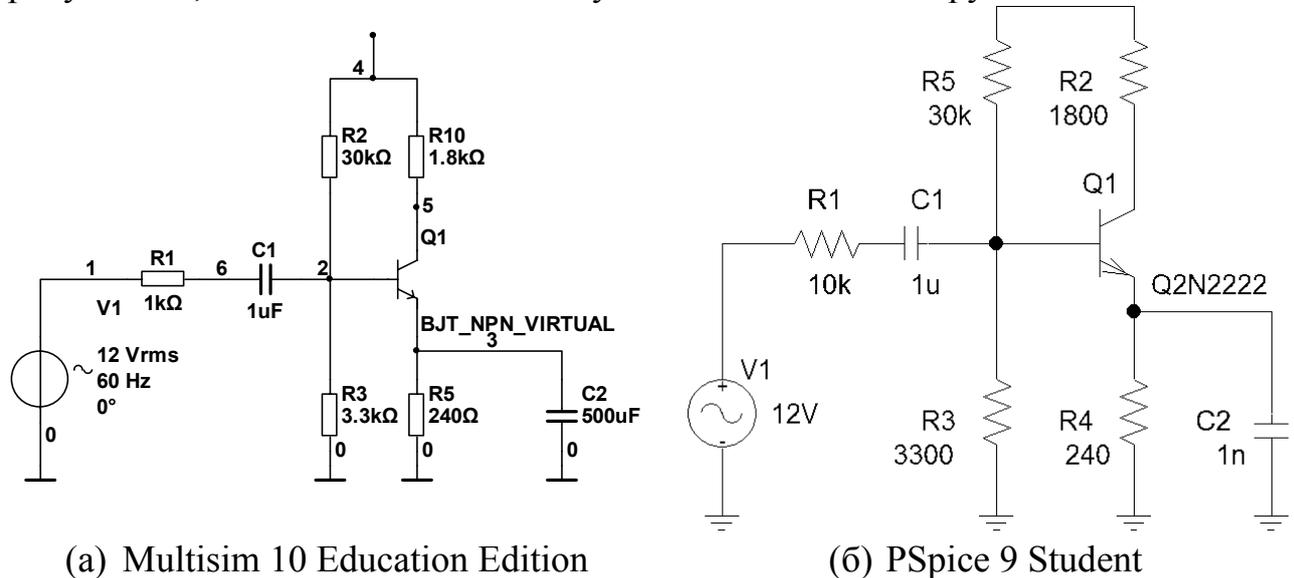
Проведённый анализ показывает, что расхождение между результатами приближённого и точного методов около 40%. Оно обусловлено главным образом тем, что при приближённом анализе не учитывался нагрузочный эффект резисторов смещения. На практике, если не требуется высокая точность, часто пользуются более коротким, приближённым анализом.

7. УСИЛИТЕЛЬ, ВЫПОЛНЕННЫЙ ПО СХЕМЕ ОБЩИЙ ЭМИТТЕР – ОБЩИЙ КОЛЛЕКТОР

Коэффициент усиления каскада с ОЭ можно улучшить подключением к нему каскада с ОК, или *эмиттерного повторителя*. Это называется схемой общий эмиттер – общий коллектор (ОЭ – ОК), или схемой общий эмиттер – эмиттерный повторитель. Такую схему полезно использовать при ёмкостном подключении низкоомной нагрузки.

7.1. Пример 5

Определить коэффициент усиления и выходное сопротивление схемы на рисунке 7.1, если она имеет ёмкостную связь с 600-Ом нагрузкой.



(a) Multisim 10 Education Edition

(б) PSpice 9 Student

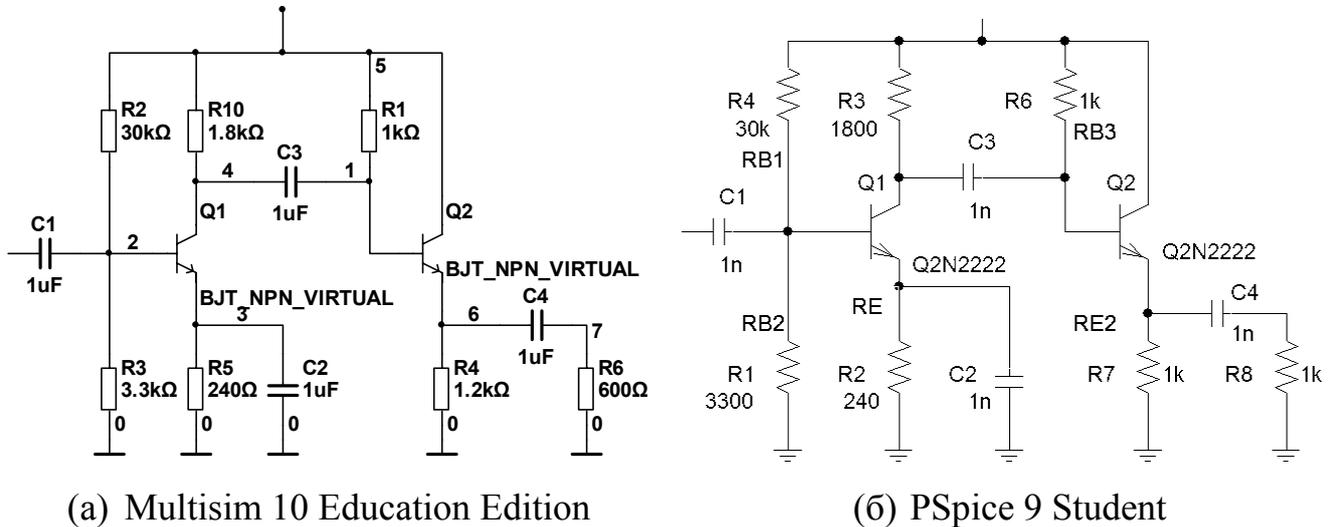
Рисунок 7.1 – Однокаскадный усилитель с ОЭ

Если не учитывать $1/h_{oe}$, то выходное сопротивление равно R_C , или 1 800 Ом. Коэффициент усиления при этом равен $-h_{fe} \cdot R'L / h_{ie}$, где $R'L = 1\,800\ \text{Ом} \parallel 600\ \text{Ом} = 450\ \text{Ом}$. Отсюда $A_v = -150 \cdot 450 / 900 = -75$.

Проверка: коэффициент усиления этой схемы без 600-Ом резистора равен 300. Резистор сопротивлением 600 Ом образует делитель напряжения с выходным сопротивлением R_O , поэтому $A_v = -300 \cdot 600 / 2\,400 = -75$.

7.2. Пример 6

В схеме на рисунке определить R_{B3} , если напряжение на эмиттере в статическом режиме должно быть 9 В. Определить также коэффициент усиления схемы и её выходное сопротивление. Предположить, что транзистор имеет $h_{fe} = 150$. Для упрощения предположить также, что $h_{fe} + 1 = h_{fe}$.



(a) Multisim 10 Education Edition

(б) PSpice 9 Student

Рисунок 7.2 – Усилитель по схеме ОЭ-ОК

Для того, чтобы определить R_O , сначала найдём I_E и I_B :

$$I_E = V_E / R_E = 9 \text{ В} / 1\,200 \text{ Ом} = 7,5 \text{ мА},$$

$$I_B = I_E / h_{fe} = 7,5 \text{ мА} / 150 = 50 \text{ мА},$$

$$R_{B3} = (V_{CC} - (V_E + V_{BE})) / I_B = (20 \text{ В} - 9,7 \text{ В}) / 50 \text{ мА} = 226 \text{ кОм},$$

$$h_{ie} = 30 \cdot h_{fe} / I_E = 30 \cdot 150 / 7,5 \text{ мА} = 600 \text{ Ом}.$$

Для эмиттерного повторителя

$$A_v = \frac{h_{fe} \cdot R'E}{h_{ie} + h_{fe} \cdot R'E}, \quad (4)$$

где $R'E = 600 \text{ Ом} \parallel 1\,200 \text{ Ом} = 400 \text{ Ом}$.

$$A_v = 150 \cdot 400 / (600 + 150 \cdot 400) = 60\,000 / 60\,600 = 0,99.$$

Входное сопротивление эмиттерного повторителя равно

$$h_{ie} + h_{fe} \cdot R'E = 60\,600 \text{ Ом}.$$

Для первого каскада $h_{ie} = 900 \text{ Ом}$.

$$R'L = 1\,800 \text{ Ом} \parallel 226\,000 \text{ Ом} \parallel 60\,600 \text{ Ом} = 1\,735 \text{ Ом},$$

$$A_{fe} = -h_{fe} \cdot R'L / h_{ie2} = -150 \cdot 1\,735 / 900 = -289.$$

Общий коэффициент усиления схемы $A_{v1} \cdot A_{v2} = -289 \cdot 0,99 = -286$.

Выходное сопротивление этой схемы равно $R_E \parallel (h_{ie} + RTh) / h_{fe}$, где $RTh = 1\,800 \text{ Ом} \parallel 226\,000 \text{ Ом} \parallel R_{B3} = 1\,786 \text{ Ом}$.

$$R_O = 1\,200 \text{ Ом} \parallel (600 \text{ Ом} + 1\,786 \text{ Ом}) / 150 = 1\,200 \text{ Ом} \parallel 15,9 \text{ Ом} \approx 15,7 \text{ Ом}.$$

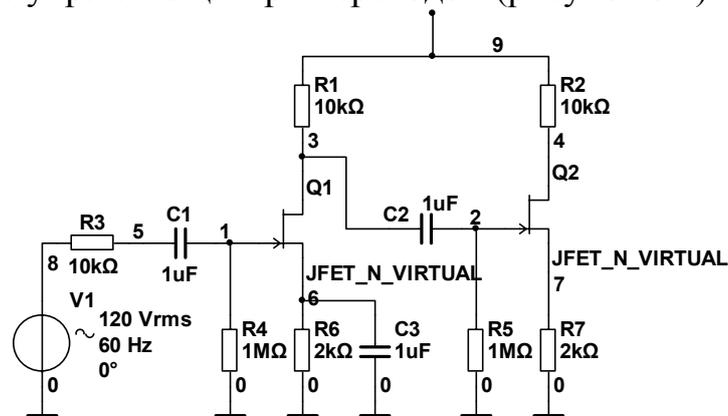
8. МНОГОКАСКАДНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С УПРАВЛЯЮЩИМ PN-ПЕРЕХОДОМ

Анализ многокаскадных усилителей на полевых транзисторах достаточно простой, так как благодаря высокому входному сопротивлению полевого транзистора с управляющим pn-переходом связь между каскадами незначительна. Поэтому общий коэффициент усиления определяется как произведение собственных коэффициентов усиления каждого каскада.

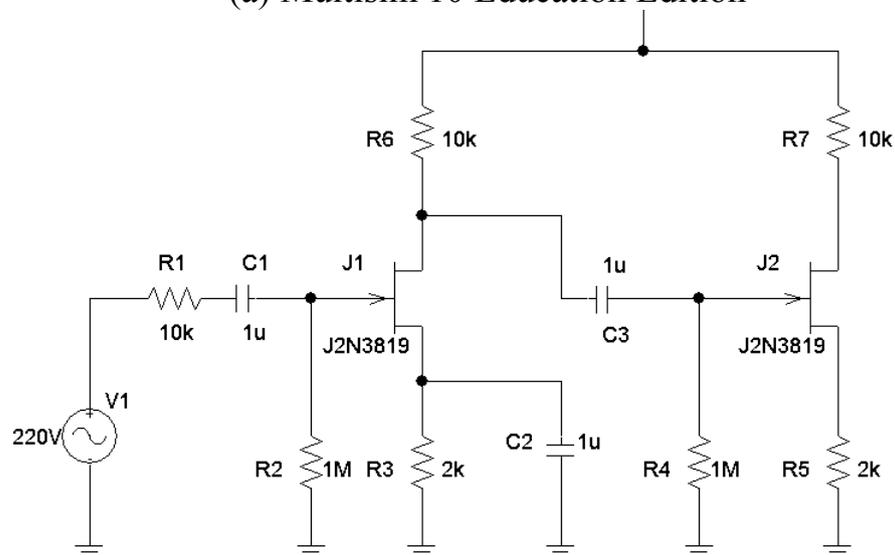
A_{BX} обычно равно 1, потому что первый каскад имеет высокое входное сопротивление.

8.1. Пример 7

Определить коэффициент усиления двухкаскадного усилителя на полевых транзисторах с управляющим pn-переходом (рисунок 8.1).



(a) Multisim 10 Education Edition



(б) PSpice 9 Student

Рисунок 8.1 – Двухкаскадный усилитель на полевом транзисторе

Общий коэффициент усиления равен $A_{v(total)} = A_{BX} \cdot A_{v1} \cdot A_{v2}$.

A_{BX} определяется 1-МОм резистором, соединённым последовательно с 10-кОм резистором, поэтому $A_{BX} = 1 \text{ МОм} / 1,01 \text{ МОм} = 0,99$.

Коэффициент усиления каждого из каскадов на полевом транзисторе остаётся неизменным, поскольку высокие входные сопротивления практически исключают влияние между каскадами. $A_v = -13$ (из типа транзистора).

Исходя из того, что $A_{BX} = 1$, а коэффициенты усиления обоих каскадов одинаковы, можно определить $A_{v(total)} = A_{BX} \cdot A_{v1} \cdot A_{v2} = 1 \cdot (-13) \cdot (-13) = 169$.

Этот пример показывает, что каскадное соединение усилителей на полевых транзисторах с управляющим рп-переходом даёт высокий коэффициент усиления. Однако, если нагрузка подключается через ёмкостную связь, коэффициент усиления и размах выходного сигнала будут уменьшаться.

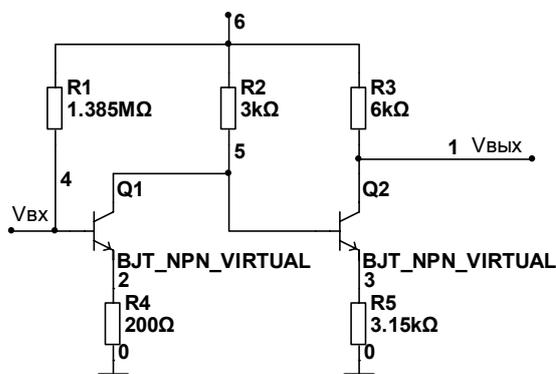
9. УСИЛИТЕЛИ С НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ СВЯЗЬЮ

Усилители с непосредственной связью предназначаются для усиления изменений постоянного напряжения. Их амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) начинается на уровне постоянного напряжения на частоте 0 Гц. Это означает, что в этих усилителях должны отсутствовать конденсаторы, в том числе развязывающие, которые шунтируют эмиттерные резисторы, и их коэффициент усиления относительно низок.

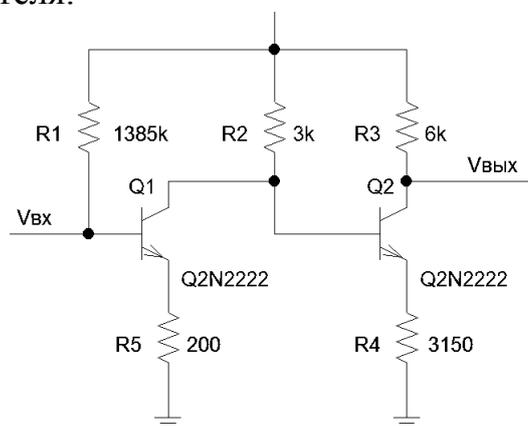
В схемах с непосредственными связями смещение схемы определяется уровнем постоянного выходного напряжения предыдущего каскада; поэтому такие схемы имеют сильную взаимосвязь.

9.1. Пример 8

Схема на рисунке представляет собой двухкаскадный усилитель с непосредственной связью. Предположим, что h_{fe} каждого транзистора равен 100. Определить коэффициент усиления усилителя.



(а) Multisim 10 Education Edition



(б) PSpice 9 Student

Рисунок 9.1 – Двухкаскадный усилитель с непосредственной связью

При точном анализе сначала нужно определить постоянные напряжения в схеме. Это позволит найти h_{ie} и установить положение рабочих точек в статическом режиме.

$$I_{B1} = (V_{CC} - V_{BE}) / (R_B + h_{fe} \cdot R_E) = 24,3 \text{ В} / (385 \text{ 000 Ом} + 20 \text{ 000 Ом}) = 60 \text{ мкА},$$

$$I_C = h_{fe} \cdot I_{B1} = 100 \cdot 60 \text{ мкА} = 6 \text{ мА}, \quad h_{ie1} = 30 \cdot h_{fe} / I_E = 30 \cdot 100 / 6 \text{ мА} = 500 \text{ Ом},$$

$$V_{C1} = V_{CC} - I_{C1} \cdot R_{C1} = 25 \text{ В} - 6 \text{ мА} \cdot 3 \text{ кОм} = 7 \text{ В}.$$

V_{C1} одновременно является напряжением смещения на базе транзистора Q2. Следовательно, напряжение на эмиттере Q2 равно $V_{C1} - V_{BE2} = 6,3 \text{ В}$.

$$\text{Отсюда } I_{E2} = V_{E2} / R_{E2} = 6,3 \text{ В} / 3,15 \text{ кОм} = 2 \text{ мА} = I_{C2},$$

$$h_{ie2} = 30 \cdot h_{fe} / I_{E2} = 3\,000 / 2 \text{ мА} = 1\,500 \text{ Ом},$$

$$V_{C2} = V_{CC} - I_2 \cdot R_{C2} = 25 \text{ В} - 2 \text{ мА} \cdot 6 \text{ кОм} = 13 \text{ В}.$$

Такое положение рабочей точки позволяет иметь размах входного напряжения около 6 В (от 13 до 7 В). На этом анализ по постоянному току заканчивается. При анализе по переменному току нужно учитывать, что в обоих каскадах эмиттерные резисторы не имеют развязывающих конденсаторов.

$$A_{v(tr)} = (-h_{fe} \cdot RL) / (h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot RE) = (-h_{fe} \cdot RL) / (h_{ie} + h_{fe} \cdot RE).$$

В нашем случае $RE \parallel Z_{BX2}$,

$$\text{где } Z_{BX2} = h_{ie2} + h_{fe} \cdot RE = 1\,500 \text{ Ом} + 100 \cdot 3,15 \text{ кОм} = 316\,500 \text{ Ом}.$$

Благодаря большому сопротивлению резистора в цепи эмиттера Z_{BX2} также велико, и его можно не учитывать. Тогда

$$A_{v1} = (-h_{fe} \cdot RL) / (h_{ie} + h_{fe} \cdot RE1) = (-100 \cdot 3\,000) / (500 + 100 \cdot 200) \approx -14,6.$$

$$A_{v2} = (-h_{fe} \cdot RL2) / (h_{ie2} + h_{fe} \cdot RE2) = (-100 \cdot 6\,000) / (1\,500 + 100 \cdot 3\,150) = -60\,000 / 316\,500 = -1,9.$$

Общий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления каскадов: $A_{v\text{общ}} = A_{v1} \cdot A_{v2} = (-14,6) \cdot (-1,9) = 27,7$.

Заметим, что результаты вычислений приближённым способом в данном случае имеют высокую точность, так как второй каскад имеет высокое входное сопротивление.

Коэффициент усиления каждого каскада приблизительно определяется отношением $-R_C / R_E$. Для первого каскада он равен $-3\,000 / 200 = -15$, а для второго $-6\,000 / 3\,150 = -1,9$. В результате $A_{v\text{общ}} = (-15) \cdot (-1,9) = 28,9$.

10. ПАРЫ ДАРЛИНГТОНА

Парой Дарлингтона называются два транзистора, соединённые, как показано на рисунке 10.1. Как видно, коллекторы обоих транзисторов соединены вместе, а эмиттерный ток транзистора Q1 является базовым током Q2. Иногда пара Дарлингтона рассматривается как единый транзистор с коллектором (С), базой (В) и эмиттером (Е) согласно рисунку 10.1.

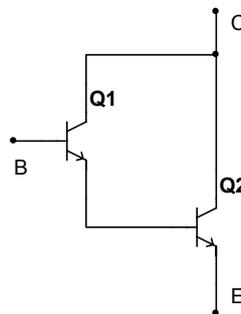


Рисунок 10.1 – Основная пара Дарлингтона

Пары Дарлингтона имеют *очень высокий коэффициент усиления по току*, приблизительно равный произведению коэффициентов усиления двух транзисторов ($h_{fe1} \cdot h_{fe2}$). Часто они выполняются как один прибор с *тремя выводами* вместо конструкции из двух отдельных транзисторов, и их общий коэффициент усиления по току ($h_{fe1} \cdot h_{fe2}$) приводится изготовителем в техни-

ческих характеристиках. Обычно они используются в сочетании с эмиттерным повторителем, в результате чего имеют очень высокое входное сопротивление и коэффициент усиления по напряжению меньше 1, т.е. они выполняют функции эмиттерного суперповторителя. На практике маломощные пары Дарлингтона используются в дифференциальных усилителях и в оптронах. Некоторые из них имеют минимальный $h_{fe} = 20\ 000$. Пары Дарлингтона большой мощности применяются в источниках питания, но здесь они имеют меньшие значения h_{fe} (типичная минимальная величина 1 000).

Основная схема Дарлингтона представлена на рисунке 10.2, а её эквивалентная схема – на рисунке 10.3. Ток I_{B1} на входе транзистора $Q1$ усиливается и вызывает ток эмиттера $h_{fe1} \cdot I_{B1}$, который одновременно является током базы $Q2$. Дальнейшее усиление создаёт выходной ток $h_{fe1} \cdot h_{fe2} \cdot I_{B1}$.

Здесь можно сделать два замечания. Поскольку ток транзистора $Q2$ обычно гораздо больше тока $Q1$, то h_{ie2} обычно много меньше h_{ie1} из-за различия токов транзисторов. h_{fe2} тоже обычно меньше h_{fe1} .

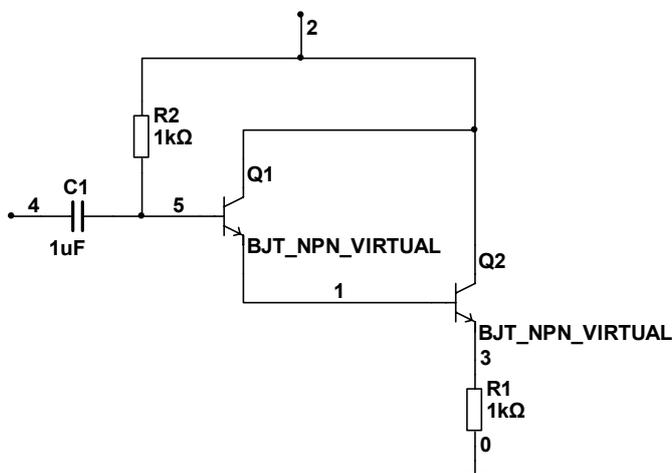


Рисунок 10.2 – Принципиальная схема Дарлингтона (Multisim)

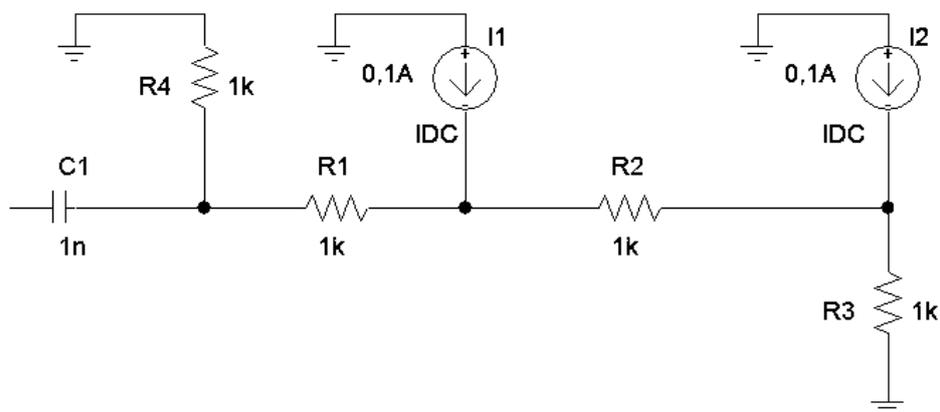


Рисунок 10.3 – Эквивалентная схема Дарлингтона (PSpice)

11. РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ MULTISIM 10

11.1. Общие сведения о программе

Приложение Multisim позволяет оперативно проводить виртуальное макетирование и моделирование работы электронных схем. Multisim входит в состав пакета программ National Instruments Circuit Design Suite, предназначенного для автоматизации проектирования электронных устройств. Пакет имеет гибкую модульную структуру. Помимо Multisim он может включать инструменты для проектирования печатных плат, вспомогательные модули для моделирования работы микроконтроллеров, аппаратно-программные средства для облегчения анализа результатов физического макетирования, а также вспомогательные учебные материалы – фирма National Instruments предусмотрела возможность использования её продуктов в учебном процессе. На момент написания данной работы ознакомительная версия пакета была доступна для скачивания с официального сайта компании (<http://ni.com/>).

11.2. Интерфейс пользователя

Общий вид рабочего окна программы приведён на рисунке 11.1:

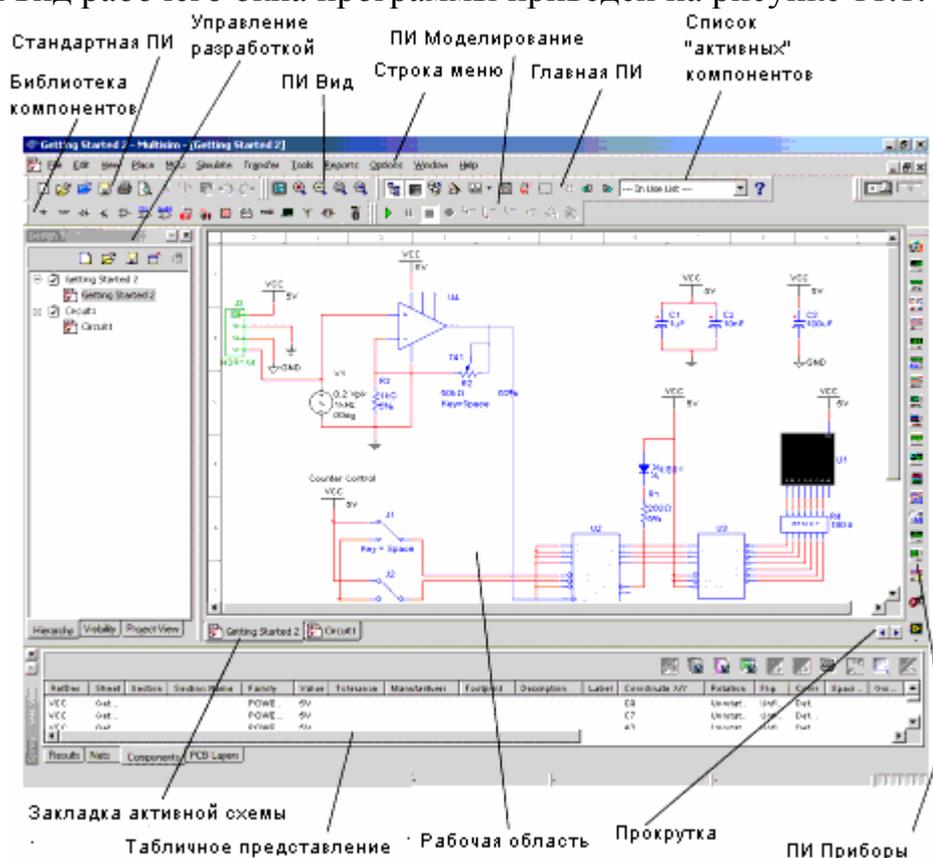


Рисунок 11.1 – Общий вид рабочего окна программы Multisim

Строка меню является стандартным элементом пользовательского интерфейса приложений ОС семейства Windows. Функциональная полнота системы меню программы Multisim позволяет выполнить любую операцию, поддерживаемую программой, но в некоторых случаях использование панелей

инструментов (ПИ) и «горячих» клавиш может оказаться более предпочтительным для пользователя.

Кнопки, расположенные на «Стандартной» ПИ (рисунок 11.1), можно встретить во множестве приложений. Эти кнопки инициируют такие распространённые операции, как создание нового файла, открытие существующего, сохранение изменённой версии файла, печать, предварительный просмотр (перед печатью), основные операции редактирования («вырезать», «копировать», «вставить», «отменить», «вернуть»). Перечисленные действия не являются специфическими для программы Multisim и их осуществление не вызовет каких-либо существенных затруднений у пользователей, обладающих минимальным опытом работы в среде ОС семейства Windows, поэтому подробное их рассмотрение представляется нецелесообразным.

Кнопки ПИ «Моделирование» позволяют управлять процессом моделирования работы электронных схем. Рассмотрим назначение этих кнопок более подробно.

 Начать/продолжить моделирование. «Пуск».

 Приостановить моделирование. «Пауза».

 Остановить моделирование. «Стоп».

Остальные кнопки ПИ «Моделирование» предполагают использование модуля MCU (Microcontroller Unit Co-Simulation), поэтому к содержанию данной работы не относятся.

Кнопки библиотеки компонентов упрощают добавление элементов в создаваемую схему.

 Добавление источника питания в схему (или заземления).

 Добавление «базового» элемента, например, резистора или конденсатора.

 Добавление транзистора.

Существует также универсальный процесс добавления в схему любых компонентов вне зависимости от их типа:

1. Выберите пункт меню **Разместить/Компонент** (Place/Component). Откроется диалоговое окно **Выбор компонента** (Select a Component), внешний вид которого показан на рисунке 11.2. Другой способ вызвать это диалоговое окно заключается в выборе пункта **Разместить компонент...** (Place Component...) в контекстном меню рабочей области.
2. Выберите интересующую Вас **Группу** (Group) компонентов в соответствующем выпадающем списке (примеры групп: «источники питания», «базовые элементы», «транзисторы», «диоды», «аналоговые компоненты»).
3. Уточните **Семейство** (Family) компонента с помощью одноимённого списка.
4. В списке **Компонент** (Component) выберите нужный компонент. Можно ускорить его нахождение путём ввода первых нескольких букв его названия в поле ввода **Компонент** (Component).
5. Подтвердить свой выбор следует нажатием кнопки **ОК** или двойным щелчком по нужному компоненту. После этого окно **Выбор компонента**

закроется, а курсор примет форму, напоминающую размещаемый компонент.

- До того, как размещаемый компонент займёт своё окончательное положение на схеме, можно его повернуть или зеркально отразить. Используйте для этого меню программы (**Edit/Orientation**) или «горячие» клавиши (Ctrl-R, Ctrl-Shift-R, Alt-X и Alt-Y).
- Наконец, чтобы окончательно закрепить компонент на схеме щёлкните левой кнопкой мыши. Если щёлкнуть не левой, а правой кнопкой, процесс размещения компонента будет прерван.
- В зависимости от пользовательских настроек, может произойти возврат к диалогу **Выбор компонента** – так происходит по умолчанию.

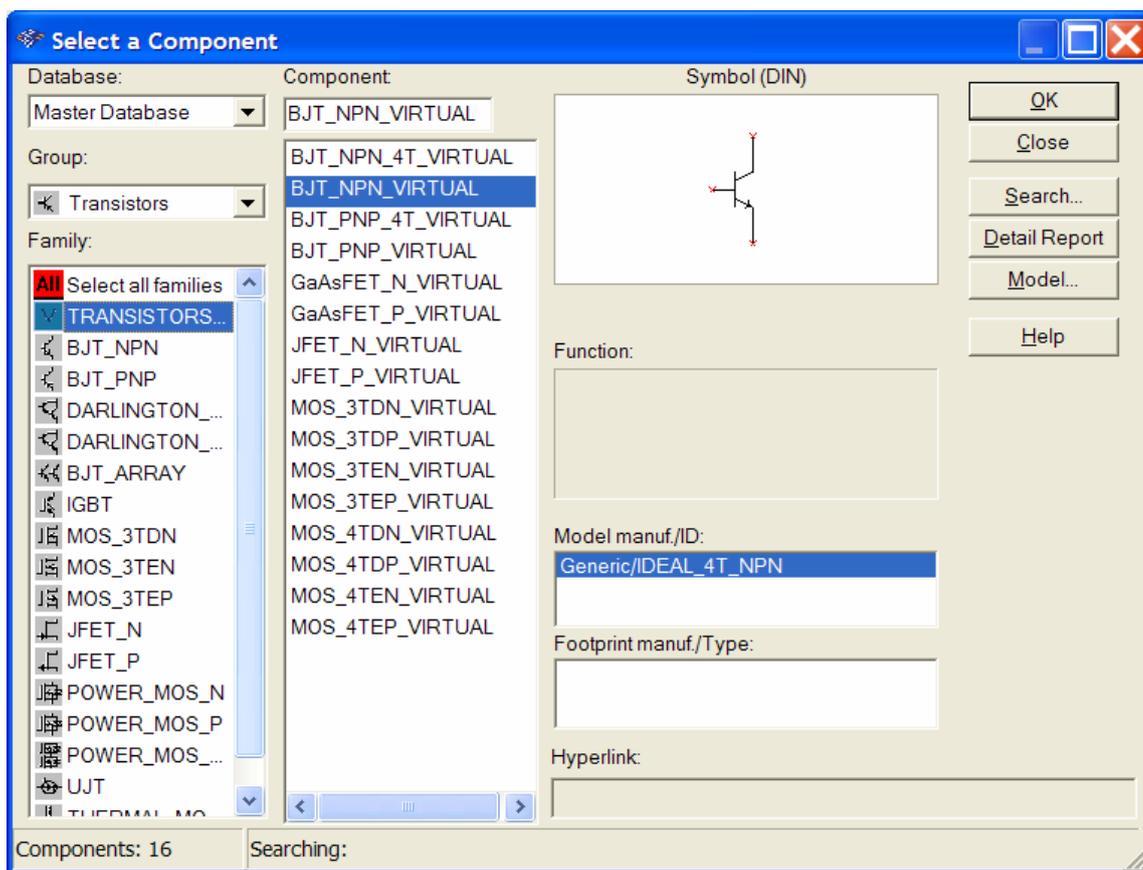


Рисунок 11.2 – Диалоговое окно **Выбор компонента**

Кнопки библиотеки компонентов упрощают описанный выше процесс тем, что автоматически выбирают нужную **Группу** в диалоговом окне **Выбор компонента** (рисунок 11.2).

После размещения компонента на схеме можно менять некоторые его свойства (например, сопротивление резистора или ёмкость конденсатора). Для этого можно дважды щёлкнуть по интересующему объекту. Откроется диалоговое окно, отображающее свойства выбранного объекта, и позволяющее редактировать некоторые из них. На рисунке 11.3 приводится окно свойств конденсатора в качестве примера.

Также для редактирования свойств объектов можно использовать **табличное представление (Spreadsheet View)** в нижней части рабочего окна программы (рисунок 11.1).

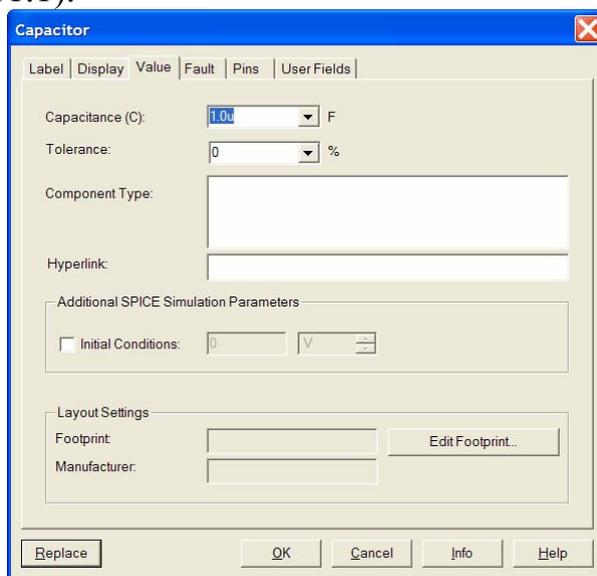


Рисунок 11.3 – Окно свойств конденсатора

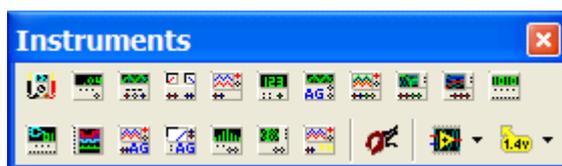


Рисунок 11.4 – ПИ «Приборы»

Панель приборов (рисунок 11.4) содержит множество виртуальных контрольно-измерительных приборов, полезных при исследовании работы электронных схем, в том числе: осциллограф, мультиметр, генератор сигналов.

12. РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ PSpICE 9 STUDENT

12.1. Общие сведения о программе

PSpice 9 Student позволяет проектировать схемы различных устройств, производить расчёт режима по постоянному току, в том числе с вариацией параметров, рассчитывать частотные характеристики и переходные процессы. Программа представляет наглядные картины потенциалов и токов в исследуемых схемах.

Поддерживает проведение схемотехнического моделирования электронного устройства по его функциональной схеме.

12.2. Структура окна

Работа с системой PSpice начинается с запуска графического редактора Schematics, внешний вид окна которого представлен на рисунке 12.1.

Окно редактора **Schematics** состоит из меню, панели инструментов, рабочей области и строки состояния.

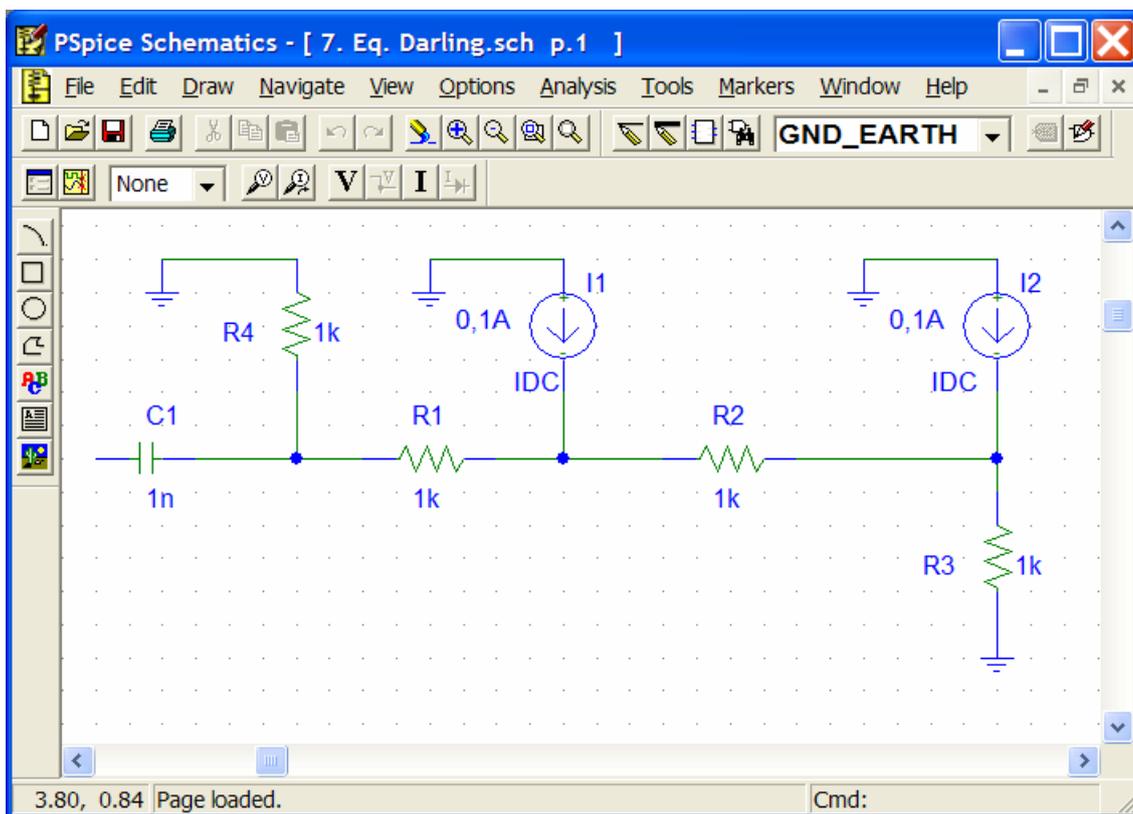


Рисунок 12.1 – Вид рабочего окна PSpice

Процесс моделирования работы электронного устройства можно разбить на несколько этапов:

1. Поиск и размещение компонентов схемы;
2. Ввод номинальных значений компонентов;
3. Построение проводников;
4. Ввод задания на моделирование;
5. Выбор характерных точек схемы;
6. Запуск процесса моделирования;
7. Обработка результатов.

12.3. Работа с меню и выбор компонентов библиотеки

Библиотека компонентов программы насчитывает более 200 моделей аналоговых и цифровых устройств. Каждая модель имеет своё имя и ряд параметров, некоторые из которых пользователь может задать сам.

Для поиска компонентов необходимо сделать следующее:

1. Открыть окно **Part Browser Advanced** (рисунок 12.2), нажав кнопку  на панели инструментов.
2. В строке **Part Name** ввести модель компонента (например, Q2N2222) при этом в центральной части окна появится его графическое изображение, а в строке **Description** – краткое описание модели элемента.
3. Закрывать окно нажатием **Place&Close**.

4. На указателе мыши появится изображение компонента. Щелчок левой кнопки мыши помещает символ в рабочую область окна, после чего можно разместить несколько его копий. Щелчок правой кнопкой мыши прекращает ввод данного компонента.

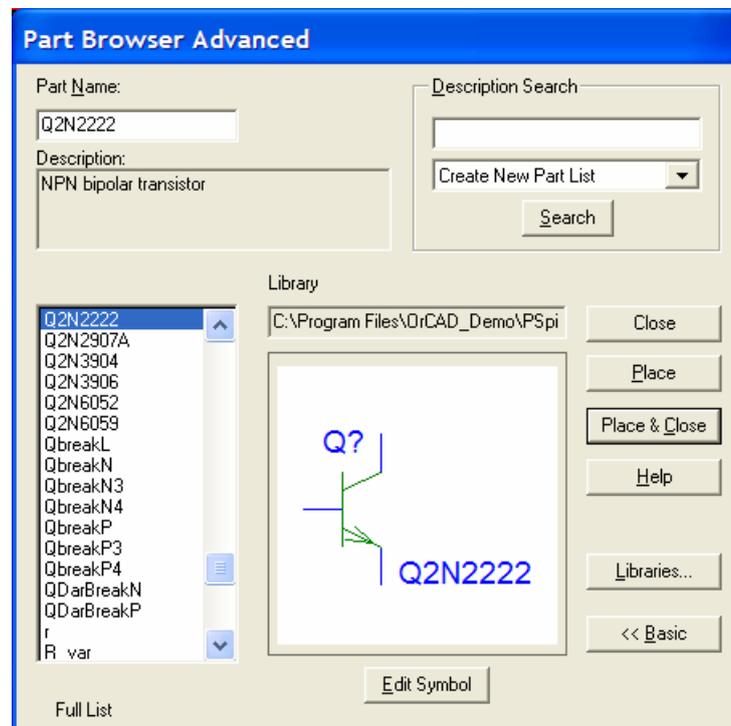


Рисунок 12.2 – Окно поиска компонентов

12.4. Выбор характерных точек схемы

Характерные точки – это точки схемы, в которых исследуется изменение напряжения, тока или иных величин. Например, в усилительном каскаде с ОЭ характерными точками являются вывод разделительного конденсатора, на который подаётся входное напряжение – вход усилительного каскада, и вывод конденсатора, с которого снимается усиленный сигнал. Для того, чтобы после запуска процесса моделирования получить графики изменения напряжения или тока, в этих точках необходимо их отметить маркером:

1. На панели инструментов редактора **Schematics** левой кнопкой мыши нажать на пиктограмму  (исследование напряжения) или  (исследование тока). При этом на конце указателя мыши появится изображение маркера.
2. Нанести маркер на схему. Для этого подвести указатель мыши к точке схемы и нажать левую кнопку. Маркер будет установлен.
3. Нажать правую кнопку мыши для завершения ввода маркеров.

13. ВЫВОДЫ

В ходе разработки курсового проекта были получены следующие результаты:

1. Освоены принципы построения моделей электрических схем в автоматизированных средах PSpice 9 Student и Multisim 10 Education Edition и методы их моделирования.
2. Проведено исследование многотранзисторных схем в виртуальной лаборатории на IBM PC с помощью программ PSpice 9 Student и Multisim 10 Education Edition, и проведены расчёты схем традиционным методом.
3. Получены навыки работы в визуальной среде Microsoft PowerPoint, весь материал, собранный по теме, представлен в электронной презентации с помощью среды Microsoft PowerPoint.

14. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резников Б.Л., Гоцуцов С.Ю. «Схемотехническое моделирование в среде PSpice 9 Student» - М.: МГТУ ГА, 2003.
2. Резников Б.Л. «Электроника: тексты лекций» - М.: МГТУ ГА, 2003.
3. Резников Б.Л., Зотов А.Б. «Компьютерное моделирование устройств электроники», 2001.
4. Карлашук В.И. «Электронная лаборатория на IBM PC», 2003.
5. Под общей редакцией Соломенцева В.В., рецензент Вайнейкис Л.А. «Пособие по оформлению курсовых и дипломных проектов и работ» - М.: МГТУ ГА, 2002.