

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ФУНКЦИЙ РЭУ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Бородин Максим Викторович
Саликаев Юрий Рафаельевич

Моделирование комплексных функций РЭУ: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) / М.В. Бородин, Ю.Р. Саликаев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 11 с.

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании аналоговых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства. Цель работы: автоматизированное исследование частотных характеристик транзисторного каскада (ТК).

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) по дисциплине «Математические модели и САПР электронных приборов и устройств»

© Бородин Максим Викторович, 2012
© Саликаев Юрий Рафаельевич, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ____ » _____ 2012 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ФУНКЦИЙ РЭУ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик
_____ М.В. Бородин
_____ Ю.Р. Саликаев
« ____ » _____ 2012 г

Содержание

1 Введение.....	5
2 Лабораторная работа. Моделирование комплексных функций РЭУ	5
2.1 Цель работы.....	5
2.2 Краткие сведения из теории	5
2.3 Порядок проведения работы	7
3 Содержание отчета.....	8
Список рекомендуемой литературы.....	8

1 Введение

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании аналоговых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

2 Лабораторная работа. Моделирование комплексных функций РЭУ

2.1 Цель работы

Автоматизированное исследование частотных характеристик транзисторного каскада (ТК).

2.2 Краткие сведения из теории

Эквивалентная схема полевого транзистора с затвором Шоттки рассматривалась в предыдущей работе. Нагруженный на входе и выходе ТК представлен на рис. 2.1.

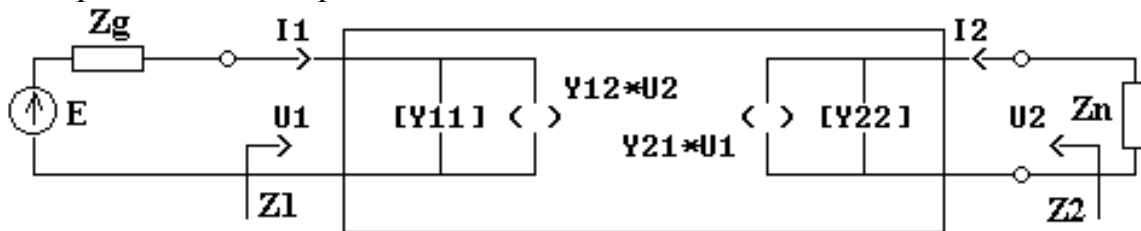


Рисунок 2.1 – Нагруженный ТК, рассматриваемый как четырехполюсник

Нагруженный на входе и выходе ТК описывается следующими комплексными функциями [3]:

$K_u = U_2 / U_1$ - коэффициент усиления напряжения;

$K_e = U_2 / E$ - номинальный коэффициент усиления напряжения;

$Y_g = 1 / Z_g = G_g + jB_g$ - иммитанс источника,

$Y_n = 1 / Z_n = G_n + jB_n$ - иммитанс нагрузки,

$Y_1 = G_1 + jB_1$, $Y_2 = G_2 + jB_2$ - входной, выходной иммитанс;

$P_e = |E|^2 / 4 \operatorname{Re} Z_g$ - номинальная мощность источника;

E - действующее значение ЭДС источника;

$P_1 = |U_1|^2 \cdot G_1 = P_e \cdot (1 - |\Gamma_1|^2)$ - входная мощность,

где

$\Gamma_1 = \frac{Z_1 - Z_g}{Z_1 + Z_g}$ - коэффициент отражения во входной цепи;

$P_2 = |U_2|^2 \cdot \operatorname{Re} Y_n$ - выходная мощность в нагрузке;

$K_{pu} = P_2 / P_1 = |K_u|^2 \cdot G_n / G_1$ - коэффициент усиления мощности;

$K_p = P_2 / P_e = |K_e|^2 \cdot 4ReZ_g \cdot ReY_n$ - номинальный коэффициент усиления мощности;

Если нагруженный на входе Y_g и на выходе Y_n ТК рассматривать как четырехполюсник (рис. 24), то получим следующие уравнения:

$$I_g = (Y_{11} + Y_g) \cdot U_1 + Y_{12} \cdot U_2;$$

$$0 = Y_{21} \cdot U_1 + (Y_{22} + Y_n) \cdot U_2,$$

где $I_g = E / Z_g$, которые позволяют выразить комплексные функции ТК через обобщенные Y -параметры.

Сначала найдем коэффициент передачи напряжения:

$$K_u = U_2 / U_1 = -Y_{21} / (Y_{22} + Y_n).$$

Его низкочастотный предел определяется по выражению:

$$K_u = -S_o / (G_b + G_n) = -S_o \cdot R_{en},$$

где

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} Y_{21} = S_o, \quad \lim_{\omega \rightarrow 0} Y_{22} = G_b = 1 / R_b, \quad R_{en} = 1 / (G_b + G_n).$$

Решая уравнения ЧП при $Y_g = 0$, найдем входную проводимость ЧП, нагруженного на выходе $Y_n = G_n + jB_n$:

$$Y_1 = I_g / U_1,$$

где

$$U_1 = \frac{I_g \cdot (Y_{22} + Y_n)}{dY + Y_{11} \cdot Y_n}$$

$dY = Y_{11} \cdot Y_{22} - Y_{12} \cdot Y_{21}$ - определитель матрицы Y -параметров.

Тогда

$$Y_1 = (dY + Y_{11} \cdot Y_n) / (Y_{22} + Y_n) = G_1 + jB_1,$$

$$Y_1 = Y_{11} - Y_{12} \cdot Y_{21} / (Y_{22} + Y_n).$$

На основе этой формулы для входной проводимости можно оценить влияние проходной емкости C_{gd} на входные функции нагруженного каскада.

Аналогично, при воздействии со стороны выходных зажимов и при $Y_n = 0$, находим выходную проводимость ЧП, нагруженного на входе $Y_g = G_g + jB_g$:

$$Y_2 = I_2 / U_2,$$

где $I_2 = I_g$;

$$U_2 = I_g (Y_{11} + Y_g) / (dY + Y_{22} \cdot Y_g).$$

Тогда

$$Y_2 = (dY + Y_{22} \cdot Y_g) / (Y_{11} + Y_g) = G_2 + jB_2$$

или

$$Y_2 = Y_{22} - Y_{12} \cdot Y_{21} / (Y_{11} + Y_g),$$

$$Z1 = 1 / Y1 = (Y22 + Yn) / (dY + Y11 \cdot Yn) - \text{входной импеданс};$$

$$Z2 = 1 / Y2 = (Y11 + Yg) / (dY + Y22 \cdot Yg) - \text{выходной импеданс}.$$

Подставляя в выражения для номинального коэффициента усиления мощности формулу для K_e , а затем и найденное выше выражение для U_2 , получаем:

$$K_p = \frac{(|Y_{21}|)^2 \cdot \operatorname{Re} Y_n \cdot 4 \cdot \operatorname{Re} Y_g}{(|(Y_{11} + Y_g) \cdot (Y_{22} + Y_n) - Y_{12} \cdot Y_{21}|)^2}$$

В децибелах $K_p = 10 \lg K_p$, дБ.

Максимальное значение K_p имеет место при определенных оптимальных нагрузках, определить которые можно, находя производные K_p по G_n , B_n , G_g , B_g и приравнивая их нулю [5, с. 40]. Анализ показывает, что максимальное значение K_p имеет место при одновременном комплексно-сопряженном согласовании:

$$Y_g^* = Y1 \quad Y_n^* = Y2.$$

Численное совпадение K_u и K_p в децибеллах можно установить из выражений:

$$K_u = 20 \lg(U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}});$$

$$K_p = 10 \lg(P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}).$$

2.3 Порядок проведения работы

Перед началом работы следует получить свой номер варианта, который соответствует набору данных одного из транзисторов в приложении А.

Задание 1

1. Используя Y -параметры, полученные в работе в предыдущей работе для упрощенной эквивалентной схемы ПТШ, оценить значение низкочастотного предела коэффициента передачи напряжения K_u в нагрузку 50 Ом.

2. Оценить влияние проходной емкости C_{gd} на входные функции нагруженного каскада.

3. Показать, при каком условии коэффициенты передачи напряжения и мощности, выраженные в децибеллах, численно совпадают.

Задание 2

1. Создать в среде QUCS упрощенную эквивалентную схему заданного транзистора.

2. В режиме моделирования по переменному току получить частотные характеристики основных функций ТК: $Y1$, $Y2$, K_u , K_p в

диапазоне частот $F_{\min}=0,1f_{гр} \dots F_{\max}=f_{гр}$ (10 точек) при $R_g=50 \text{ Ом}$, $R_n=50 \text{ Ом}$. Результаты привести в отчете.

3. Сравнить результаты ручных и машинных расчетов K_u .

4. Исследовать с помощью QUCS влияние проходной емкости C_{gd} (исключить из схемы) на максимально достижимый номинальный коэффициент усиления мощности и входные функции (Z_1 , Z_2) нагруженного каскада. В отчете необходимо привести схему цепи и результаты моделирования.

5. Создать в среде QUCS полную эквивалентную схему заданного транзистора.

6. В режиме моделирования по переменному току получить частотные характеристики основных функций ТК: Y_1 , Y_2 , K_u , K_p в диапазоне частот $F_{\min}=0,1f_{гр} \dots F_{\max}=f_{гр}$ (10 точек) при $R_g=50 \text{ Ом}$, $R_n=50 \text{ Ом}$. Результаты привести в отчете.

7. Сравнить результаты расчетов пунктов 6, 2 и 4.

8. Построить частотные характеристики K_p , $|\Gamma_1|$, Z_1 , Z_2 для упрощенной и полной эквивалентных схем и сделать заключения.

3 Содержание отчета

По лабораторной работе необходимо составить отчёт, который должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие сведения из теории, содержащие расчётные формулы;
- схемы, собранные при проведении экспериментов в среде QUCS;
- результаты расчётов и экспериментов в виде таблиц и графиков;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по проведённой работе.

Список рекомендуемой литературы

1. Фидлер Д.К., Найтингейл К. Машинное проектирование электронных схем. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Влах И., Сингхал К. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей. – М.: Энергия, 1972.
4. Попов В.П. Основы теории цепей. - М.: ВШ, 1985.
5. Шварц Н.З. Линейные транзисторные усилители СВЧ. - М.: Сов. радио, 1980.

Приложение А
 Параметры эквивалентной схемы ПТШ для различных транзисторов на
 GaAs

		П331	3П606	3П604	3П339
Rg	Ом	3	1	2,3	1,2
R	Ом	0	0,12	0	0
Ri	Ом	4,2	0,65	2,4	5,5
Rs	Ом	6,5	0,5	4	4,2
Rb	Ом	270	100	250	740
Rd	Ом	3	0,5	4	3,9
s	См	40	140	40	20
Tau	пс	2,8	2,5	1,2	3,5
Cg	пФ	0,43	1,35	0,17	0,27
Cgd	пФ	0,05	0,18	0,01	0,01
Cds	пФ	0,15	0,1	0,1	0,01
Lg	нГ	0,7	0,2	0,2	0,3
Ls	нГ	0,1	0,04	0,04	0,1
Ld	нГ	1	0,2	0,2	1
Idss	мА	80	380	180	70
Uk	В	1,3	1,5	1,3	1,7
Uz	В = Idss/s				
Uc	В	5..6	6..7	6..7	4..5
Fгр	Гц	10	10	10	10
Pрас.	Вт	0,5	2,0	1,0	0,5

Учебное пособие

Бородин М.В., Саликаев Ю.Р.

Моделирование комплексных функций РЭУ

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40