

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

Кафедра электронных приборов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

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

Бородин Максим Викторович
Саликаев Юрий Рафаельевич

Исследование эквивалентной схемы полевого транзистора: 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. – 14 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.

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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

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. Исследование эквивалентной схемы полевого транзистора	5
2.1 Цель работы	5
2.2 Краткие сведения из теории.....	5
2.2.1 Уравнения цепи и матрица проводимостей.....	5
2.2.2 Метод Гаусса.....	7
2.2.3 Обобщенные Y-параметры четырёхполюсника.....	8
2.3 Порядок проведения работы.....	10
2.4 Контрольные вопросы	11
3 Содержание отчета.....	11
Список рекомендуемой литературы.....	11
Приложение А	13

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. Исследование эквивалентной схемы полевого транзистора

2.1 Цель работы

1. Получение уравнений цепи по методу узловых потенциалов.
2. Преобразование математической модели схемы по методу Гаусса.
3. Получение Y -параметров четырёхполюсника.
4. Анализ влияния паразитных элементов на параметры полевого транзистора с затвором Шоттки (ПТШ).

2.2 Краткие сведения из теории

2.2.1 Уравнения цепи и матрица проводимостей

Требования высоких точности, степени универсальности, широкой области адекватности, предъявляемых к математическим моделям с одной стороны, и высокой экономичности, с другой стороны, противоречивы. Наилучшее компромиссное удовлетворение этих противоречивых требований зависит от особенностей решаемых задач, иерархического уровня и аспекта проектирования.

Математическая модель схемы цепи по методу узловых потенциалов представляет собой систему линейных алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами.

$$Y \cdot U = I,$$

где Y – матрица узловых проводимостей, U – вектор узловых потенциалов, I – вектор токов независимых источников тока.

Размер матрицы Y определяется числом узлов в схеме n . Матрица проводимостей состоит из собственных проводимостей узлов Y_{kk} и взаимных Y_{kl} . Собственные проводимости Y_{kk} равны сумме проводимостей элементов, подключенных к данному узлу k и располагаются на главной диагонали матрицы. Взаимная проводимость узлов k и l равна сумме проводимостей элементов, включенных между узлами k и l , взятых со знаком минус. Крутизна S зависимого источника тока, включенного между узлами i и j , и управляемого напряжением между узлами k и l заносится в матрицу на пересечении строк i и j и столбцов k и l со знаком плюс, если

направление токов относительно рассматриваемых узлов одинаковое и со знаком минус, если разное. Независимые источники токов учитываются в векторе токов.

Алгоритм формирования матрицы проводимостей основан на следующих положениях.

Каждый элемент схемы цепи, включенный между узлами k и l и обладающий проводимостью Y_i , имеет собственную матрицу проводимости y_i :

k	l	
k	Y_i	$-Y_i$
l	$-Y_i$	Y_i

$$Y_i = \{1/R, j\omega C, 1/j\omega L\}.$$

Рисунок 2.1 - Фрагмент матрицы Y для пассивных элементов

Рассмотрим произвольный управляемый напряжением между узлами m и n источник тока, включенный между узлами j и k , с передаточной проводимостью S и временем задержки τ .

	m	n
j	$S \cdot e^{j\omega\tau}$	$-S \cdot e^{j\omega\tau}$
k	$-S \cdot e^{j\omega\tau}$	$S \cdot e^{j\omega\tau}$

Рисунок 2.2 - Фрагмент матрицы Y для управляемого напряжением источника тока

Крутизна S зависимого источника тока, включенного между узлами j и k , и управляемого напряжением между узлами m и n заносится в матрицу на пересечении строк j и k и столбцов m и n со знаком плюс, если направление токов относительно рассматриваемых узлов одинаковое, например, для узлов j и m ток является вытекающим, и со знаком минус, если разное, например, узлы j и n , ток для последнего из которых является втекающим.

Матрица проводимостей всей цепи Y может быть получена как сумма собственных матриц проводимости элементов y_i .

Пример: Для схемы на рис. 3 составим матрицу проводимостей.

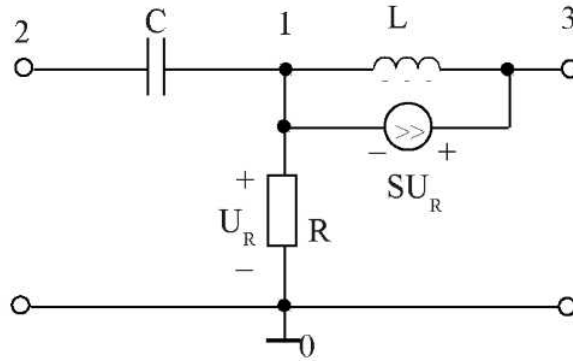


Рис.3.

Матрица проводимостей будет выглядеть следующим образом:

$j\omega C + 1/R + 1/j\omega C - S$	$-j\omega C$	$-1/j\omega L$
$-j\omega C$	$j\omega C$	0
$-1/j\omega L + S$	0	$1/j\omega L$

Рисунок 2.4 - Матрица проводимостей для схемы на рис.2.3

Здесь для упрощения время задержки зависимого источника принято равным нулю. Нулевой узел заземлен и соответствующие ему строка и столбец не учитываются в матрице проводимости Y .

Анализ цепи предполагает определение обобщенных Y - параметров четырехполюсника или неизвестных узловых потенциалов и на их основе вычисление схемных функций цепи.

2.2.2 Метод Гаусса

Одним из методов решения систем линейных алгебраических уравнений является метод редукции Гаусса. Его алгоритм состоит из прямого и обратного хода. В процессе прямого хода из системы исключаются $(n-1)$ неизвестных. Последнее уравнение в результате примет вид

$$Y_{n,n}^{(n-1)} \cdot U_n = I_n^{(n-1)},$$

что позволяет найти неизвестное U_n - напряжение выходного n -го узла

$$U_n = \frac{I_n^{(n-1)}}{Y_{n,n}^{(n-1)}}$$

Выражение в скобках (n-1) означает номер шага исключения.

Преобразование элементов матрицы проводимостей на q-м шаге исключения неизвестных производится по формуле:

$$Y_{i,j}^{(q)} = Y_{i,j}^{(q-1)} - \frac{Y_{i,q}^{(q-1)}Y_{q,i}^{(q-1)}}{Y_{q,q}^{(q-1)}}$$

Аналогично преобразуются элементы вектора задающих токов:

$$I_i^{(q)} = I_i^{(q-1)} - \frac{I_q^{(q-1)}Y_{i,q}^{(q-1)}}{Y_{q,q}^{(q-1)}}$$

где $i=q+1, q+2, \dots, N, j=q, q+1, \dots, N$.

Обратный ход редукции Гаусса состоит в подстановке найденных напряжений в предыдущие уравнения верхней треугольной матрицы коэффициентов (являющейся результатом прямого хода) и определении остальных (n-1) неизвестных:

$$U_{(n-k)} = \frac{I_{(n-k)} - \sum Y_{(n-k,n-k)}^{(n-1-k)} \cdot U_{(n+1-k)}}{Y_{(n-k,n-k)}^{(n-1-k)}}$$

Для уменьшения числа шагов обратного хода метода Гаусса принято выходному узлу схемы присваивать номер n (самый высокий), а входному (n-1). При такой нумерации узлов выполнение (n-2) шагов прямого хода редукции Гаусса позволяет преобразовать матрицу проводимости многополюсной схемы к эквивалентной матрице обобщенных Y-параметров четырехполюсника.

2.2.3 Обобщенные Y-параметры четырёхполюсника

Рассмотрим многополюсник, содержащий элементы R, L и C и имеющий N+1 выход. Кроме того, есть (N+2)-й заземленный узел, обозначенный как нулевой. Напряжения U_k на выходах измеряются по отношению к нулевому узлу (рис. 2.5). Источники токов или напряжений могут подключаться между любыми выводами и нулевым узлом. Любой вывод может быть соединен короткозамыкающей цепью с любым другим.

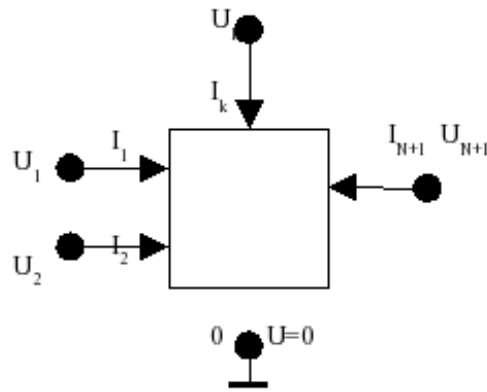


Рисунок 2.5 - Многополюсник с N+1 выходами

Данную цепь можно описать системой уравнений:

$$Y \cdot U = I$$

$$\begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1,N+1} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2,N+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{N+1,1} & y_{N+1,2} & \dots & y_{N+1,N+1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_{N+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_{N+1} \end{pmatrix}$$

где I_k – ток втекающий в k-ый узел из нулевого узла, обычно задаваемый источником тока.

Напряжения на выводах зависят от токов различных источников и от соединений внутри многополюсника (у-параметры).

Чтобы найти элемент матрицы y_{ij} , рассматривая многополюсник как «черный ящик», нужно соединить все выводы, за исключением j-го, с нулевым узлом и подключить источник напряжения к j-му выводу. После этого необходимо измерить токи во всех выводах. При этом в матрице останется только j-й столбец и она примет следующий вид:

$$y_{ij}U_j = I_i,$$

где j - фиксированный, $i=1,2,\dots,N+1$, отсюда $y_{ij}=I_i/U_j$ все выводы, кроме j-го, заземлены.

Повторив эту процедуру для всех остальных j можно найти все элементы матрицы Y.

Схемы ПТШ, представленные на рис. 2.6 и 2.7, можно рассматривать как четырехполюсники.

Четырехполюсник полностью описывается четырьмя Y-параметрами.

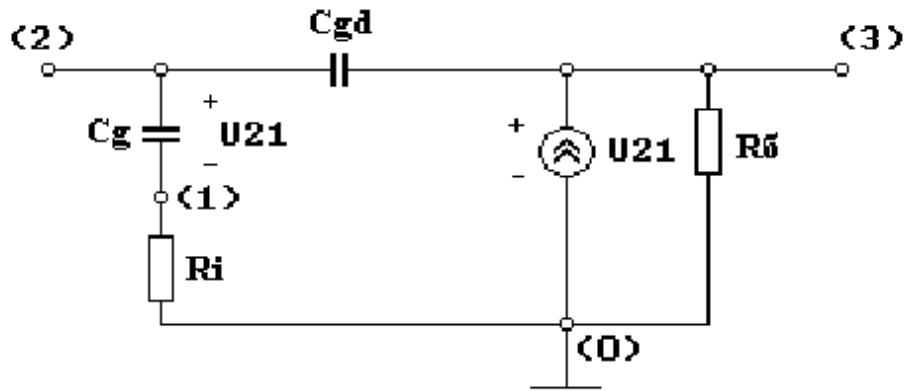


Рис. 2

Рисунок 2.6 - Упрощенная эквивалентная схема ПТШ

Упрощенная эквивалентная схема ПТШ приведена на рис. 2.6. Полная эквивалентная схема ПТШ учитывает емкость сток-исток и затвор-сток, а также влияние неидеальности омических контактов.

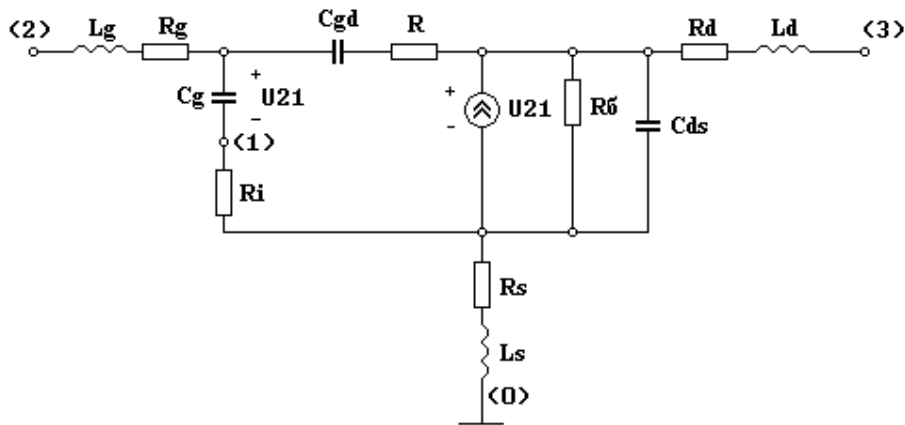


Рисунок 2.7 - Полная эквивалентная схема ПТШ

2.3 Порядок проведения работы

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

Задание 1

1. Для упрощенной эквивалентной схемы заданного ПТШ составить матрицу проводимостей Y .
2. Полученную матрицу проводимостей Y преобразовать в матрицу Y -параметров четырехполюсника.
3. Рассчитать Y -параметры на частоте 1 ГГц (для одного из ПТШ из таблицы Приложения А).

Задание 2

1. Для упрощенной эквивалентной схемы ПТШ в среде QUCS создать схему, необходимую для измерений Y -параметров. Провести измерения для частоты 1 ГГц и параметров ПТШ для своего варианта.

2. Дополняя файл данных элементами полной эквивалентной схемы транзистора, исследовать влияние каждого из них на Y -параметры. В отчете необходимо привести схемы цепей и полученные Y -параметры для каждого из анализируемых паразитных элементов - в виде таблицы. Сделать соответствующие выводы.

2.4 Контрольные вопросы

1. Представление пассивного элемента в матрице проводимостей.
2. Представление зависимого источника тока в матрице проводимостей.
3. Пояснить суть прямого и обратного хода редукции Гаусса.

3 Содержание отчета

По лабораторной работе необходимо составить отчет, 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. Основы компьютерного моделирования наносистем / Ибрагимов И.М. , Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. – М.: Изд-во «Лань» , 2010.- 384 с. ISBN 978-5-8114-1032-3: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=156
2. Поршнева С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. + CD. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 736 с. ISBN 978-5-8114-1063-7 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=650
3. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем / Петров М.Н., Гудков Г.В. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 464 с. ISBN 978-5-8114-1075-0 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=661

4. Основы автоматизированного проектирования [Текст] : учебник для вузов / Е. М. Кудрявцев. - М. : Академия, 2011. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-6004-0

5. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 131 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

6. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем : / И. Влах, К. Сингхал ; пер.: А. Ф. Обьедков, Н. Н. Удалов, В. М. Демидов ; ред. пер. А. А. Туркина. - М. : Радио и связь, 1988. - 560 с. - ISBN 5-256-00054-3

7. Компьютерное моделирование и проектирование: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 94 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2548>

8. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 360 с.

Приложение А

Параметры эквивалентной схемы ПТШ для различных транзисторов на GaAs

		ПЗ31	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
Fgp	Гц	10	10-15	10-15	10-15
Ppac	Вт	0,5	2,0	1,0	0,5

Учебное пособие

Бородин М.В., Саликаев Ю.Р.

Исследование эквивалентной схемы
полевого транзистора

Методические указания к лабораторной работе

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