

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра компьютерной физики и метоматериалов
на базе Саратовского филиала Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН

Флуктуационная модель неоднородного эмиттера

АВТОРЕФЕРАТ

ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 432_группы

направления 03.03.02 «Физика»

физического факультета

Мурадова Тимура Муратовича

Научные руководители:

д.ф.-м.н профессор
ассистент

А. С. Шаповалов
М. Г. Инкин

Заведующий кафедрой

д.ф.-м. н профессор.

В.М.Аникин

Саратов-2019

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из актуальных направлений современной радиофизики и электроники является исследование физической природы, особенностей генерации, трансформации и подавления внутренних шумов приборов и систем. [1-5]. Это объясняется реальными перспективами обнаружения новых физических закономерностей, управляющих флуктуационными процессами, и непрерывным ростом требований к чувствительности и стабильности работы радиофизических систем, качеству, дальности и надежности радиоприёма, расширению функциональных возможностей электронных устройств [4-8]. Всё более высокие требования по уровню флуктуаций предъявляются к современным стандартам частоты и времени. Достаточно сказать, что в настоящее время точность хода часов, основанных на таких стандартах, составляет 1 мкс за 3 года [2]. Шумы определяют чувствительность приёмных и измерительных устройств. В наноэлектронике шумами ограничивается минимальный размер элементов электронного устройства. Шумы ограничивают плотность записи информации записывающих устройств. [1]. По уровню фликкер-шума с высокой достоверностью удастся оценивать качество и прогнозировать надёжность интегральных схем и т.д.

Проблема шумов остро стоит и в вакуумной, и в полупроводниковой электронике [5-11]. Анализ развития современной радиофизики и электроники показывает [12,13], что прогресс в этой области достигается одновременным применением и совершенствованием как твердотельных, так вакуумных приборов, так как по своему параметрическому потенциалу они дополняют друг друга. В самом деле, наряду с такими очевидными достоинствами полупроводниковых устройств по сравнению с вакуумными, как малый вес, габариты, энергопотребление, низ-

кие питающие напряжения, высокой КПД, простота и удобство создания интегральных схем наблюдаются и фундаментальные недостатки, от которых в той или иной степени свободны вакуумные приборы. К таким недостаткам относятся, в частности, дрейф параметров, малая предельная мощность, слабая устойчивость к температурным и радиационным воздействиям, недостаточная теплопроводность полупроводниковых материалов. Эти факторы стимулируют продолжение исследования шумов как в вакуумной электронике так и в твердотельной, том числе в микроэлектронике.

К настоящему времени в результате многолетних исследований достигнуты столь малые уровни флуктуаций выходного сигнала устройств, что их дальнейшее снижение стало невозможным без учета всех дополнительных факторов, ведущих к увеличению интенсивности собственных шумов внутренних источников флуктуации. К таким факторам, прежде всего, относятся фактор неоднородности области генерации внутренних шумов. Такой областью в вакуумных приборах, является эмиттер электронов, в полупроводниковых устройствах – неоднородный потенциальный барьер.

Неоднородность потенциального барьера на поверхности термоэлектронного катода вызывает увеличения уровня дробовых флуктуаций тока эмиссии [14,15]. Это объясняется появлением дополнительной – аномальной компоненты дробового шума. Накладываясь на классическую составляющую дробового шума, определяемую формулой Шоттки, аномальная компонента приводит к росту полного уровня дробовых флуктуаций тока [14].

Проблема влияния неоднородности системы на уровень генерируемого собственного шума до последнего времени остаётся изученной не в полной мере [1,2,14]. Одним из наиболее продуктивных методов исследования случайных процессов и систем, генерирующих подобные

процессы, является метод их статистического моделирования [14]. Эффективность этого метода показана в ряде публикаций [14,16-21].

Цель работы. В связи с этим перед данной квалификационной работой была поставлена комплексная задача разработать статистическую модель неоднородного потенциального барьера на примере термоэлектронного эмиттера и оценить влияния его эмиссионной неоднородности на спектр дробовых флуктуаций тока эмиссии. Сопутствующим заданием является проведение краткого обзора основных источников шумов электронных приборов и систем.

Содержание работы. Выпускная квалификационная работа представлена на 42 страницах. Структура работы выглядит следующим образом: введение, обзорная часть, практическая часть, заключение. Список использованных источников содержит 37 наименований. В тексте присутствует 6 рисунков.

В главе 1 «КРАТКИЙ ОБЗОР ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ШУМА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ» представлен краткий обзор видов шумов.

В главе 2 «СПЕКТР ФЛУКТУАЦИЙ ТОКА НЕОДНОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА НА ПРИМЕРЕ НЕОДНОРОДНОГО ЭМИТТЕРА» представлен анализ физического механизма генерации аномального дробового шума и общей модели неоднородного эмиттера и спектральные характеристики аномального дробового шума двухпараметрической модели неоднородного эмиттера.

Результаты статистического моделирования представлены на графиках (нумерация рисунков дается в соответствии с нумерацией ВКР).

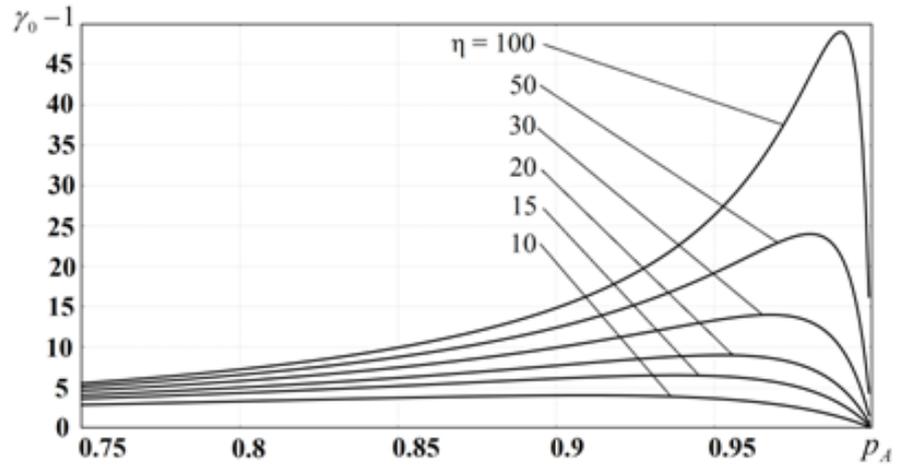


Рис. 2.1

При любом фиксированном значении вероятностного параметра p_A уровень аномальной компоненты тем выше, чем выше степень неоднородности катода. Зависимость же уровня $\gamma_0 - 1$ от вероятности активного состояния носит сложный характер. Вначале с увеличением параметра неоднородности η кривые нарастают достаточно медленно, но при $p_A > 0.9$ их кривизна резко нарастает, параметр $\gamma_0 - 1$ достигает максимального значения $\gamma_{0 \max} - 1$. Затем начинается резкий спад уровня $\gamma_0 - 1$. Это означает существование двух областей повышенной чувствительности механизма генерации аномального дробового шума, а следовательно и максимального уровня шума, к величине вероятностного параметра. Такими областями являются интервалы $0.9 < p_A < p_{A \max}$ и $p_{A \max} < p_A < 1$. В этих областях даже небольшие изменения величины p_A могут вызывать значительное повышение или уменьшение уровня шума.

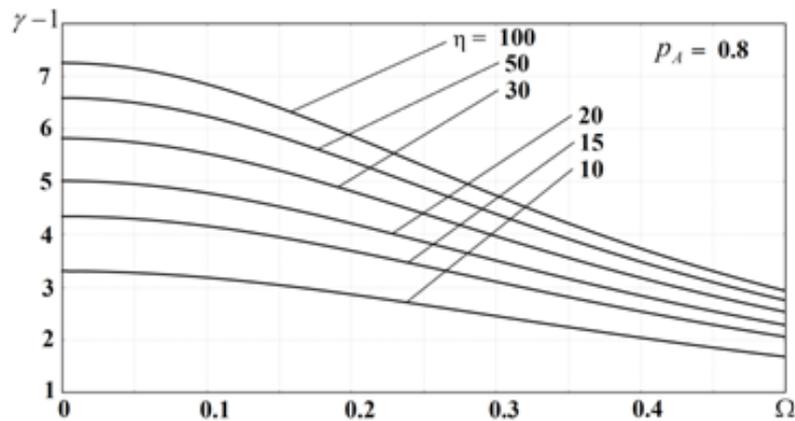


Рис. 2.2

Кривые рисунка 2.2 соответствуют вероятности $p_A = 0.8$ и $\eta = 10; 15; 20; 30; 50; 100$. При $\Omega < 0.1$ величин $\gamma(\Omega) - 1$ практически не зависит от частоты и близка к $\gamma_0 - 1$. В этой области спектр близок к равномерному. При $\Omega > 0.1$ уровень $\gamma(\Omega) - 1$ по мере увеличения приведённой частоты Ω существенно снижается и асимптотически приближается к нулю. Эта свидетельствует о конечной ширине спектра аномальной компоненты дробового шума.

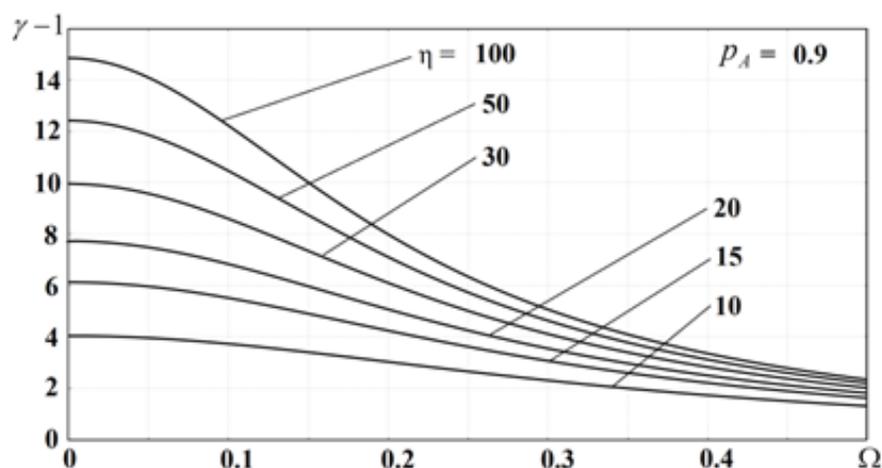


Рис. 2.3

На рисунке 2.3 показаны аналогичные кривые при $p_A = 0.9$ и $\eta = 10; 15; 20; 30; 50; 100$. Как и в предыдущем случае, при $\Omega < 0.05$ спектр практически равномерный. Существенное падение уровня $\gamma(\Omega) - 1$ наблюдается при $\Omega > 0.05$. В этой области уровень шума резко падает и при $\Omega \rightarrow \infty$ асимптотически стремится к нулю. Относительно влияния на ширину спектра величины параметра неоднородности катода можно сделать то же самое заключение, что и в предыдущем случае

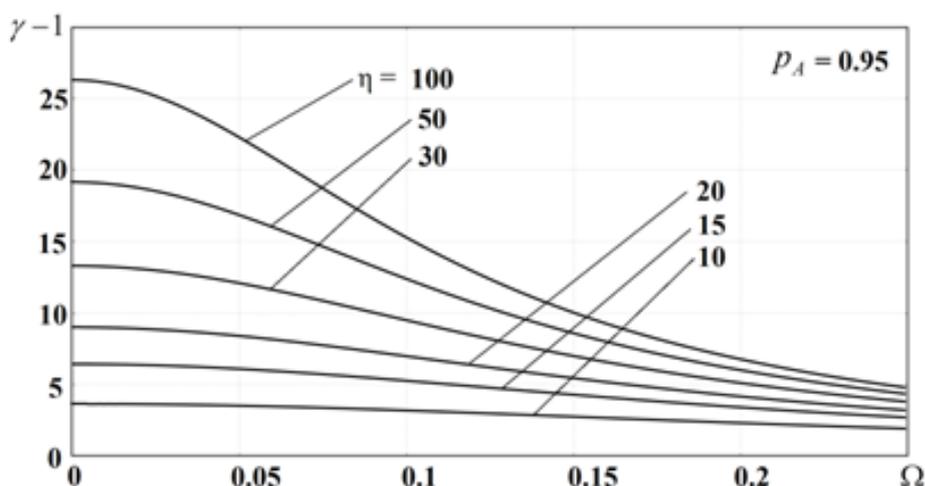


Рис. 2.4

На рисунке 2.4 представлены кривые зависимости $\gamma(\Omega) - 1$ от Ω при более высоком значении вероятностного параметра p_A . Указанным кривым соответствует $p_A = 0.95$. Все они отличаются более высокими значениями $\gamma(\Omega) - 1$ и более узким спектром.

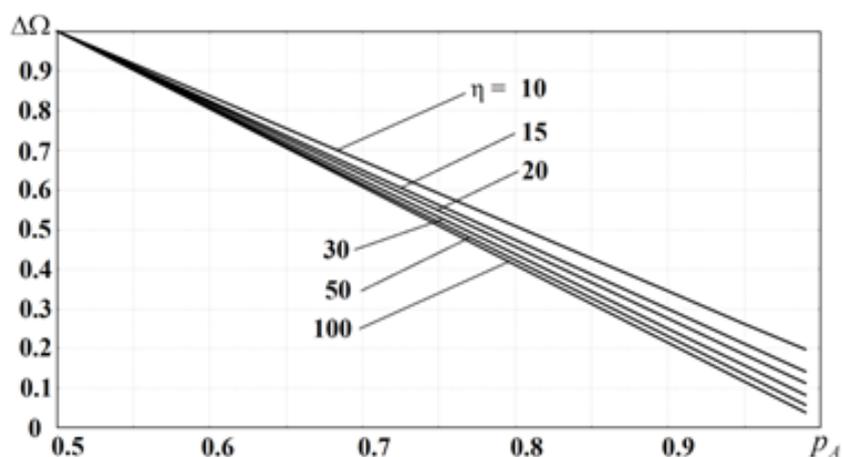


Рис. 2.5

На рисунке 2.5 представлены кривые зависимости ширины спектра $\Delta\Omega$ от вероятностного параметра p_A при различных значениях параметра неоднородности η . Как следует из указанного рисунка ширина спектра довольно сильно зависит от вероятности активного состояния p_A . При изменении p_A от 0.5 до 0.95 величина $\Delta\Omega$ уменьшается на порядок, спектр флуктуаций сужается. Характер указанных кривых практически линейный.

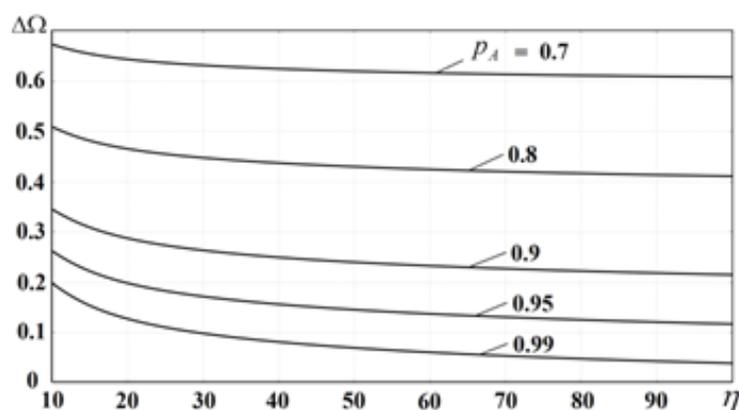


Рис. 2.6

Кривые рис. 2.6 более наглядно демонстрируют довольно слабую зависимость $\Delta\Omega$ от η . Заметная крутизна кривых наблюдается лишь в области невысоких значений η ($\eta < 30$). При $\eta > 30$ зависимость $\Delta\Omega$ от η можно пренебрегать. Действительно, наиболее резкое уменьшение $\Delta\Omega$ при увеличении параметра неоднородности η наблюдается при $p_A = 0.99$. Однако даже в этом случае изменение η в пределах от 10 до 100 вызывает уменьшение ширины спектра лишь в 4 раза. Таким образом наибольшее влияние на ширину спектра оказывает именно вероятностный параметр p_A .

ВЫВОДЫ

В процессе выполнения задачи, поставленной перед выпускной квалификационной работой, получены следующие результаты и выводы.

1. Приведённый обзор источников собственных шумов радиоэлектронных приборов показывает, что дальнейшее совершенствование их шумовых

характеристик вызывает потребность исследования и минимизации влияния на их параметры не только основных, но и дополнительных источников флуктуаций, в том числе аномальной компоненты дробового шума, вызываемой неоднородностью потенциальных барьеров, в том числе эмиттеров электронов.

2. Физически обоснована двухпараметрическая статистическая модель неоднородного эмиттера, генерирующего аномальный дробовой шум. Модель характеризуется всего двумя параметрами, задав которые можно оперативно рассчитать уровень аномальной компоненты дробового шума. Один из параметров определяется перепадом параметра интенсивности эмиссии, другой – вероятностью активного эмиссионного состояния.

3. Показано, что за счёт появления аномальной компоненты уровень полного дробового шума может значительно (на порядок и более) превышать уровень, определяемый формулой Шоттки.

4. Определены области повышенной чувствительности процесса генерации аномальной компоненты, а следовательно, и её максимального уровня, к изменениям вероятностного параметра.

5. На примере разработанной модели показано, что ширина спектра аномальной компоненты является конечной величиной, а частота среза близка к величине, обратной среднему значению интервала времени между двумя последовательными моментами испускания электронов.

6. Из двух параметров модели на ширину спектра существенно влияет только вероятностный параметр. При увеличении этого параметра в пределах от 0.5 до 0.95 ширина спектра уменьшается на порядок. Влияние на ширину спектра параметра неоднородности эмиссии выражено слабо.

Список используемых источников

1. Жигальский Г.П. Флуктуации и шумы в электронных твёрдотельных приборах. – М.:Физматлит, 2012. - 512 с.

2. Якимов А.В. Физика шумов и флуктуаций параметров. Электронное учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2013. – 85 с.

3. Степанов А.В. Электрические шумы. Электронное учебное пособие. – М.: Московский государственный университет, 2003. – 27 с.

4. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. – М.: Наука, 1981. – 640 с.

5.. Шумы в электронных приборах / Под ред. Л.Д. Смуллина и Г.А. Хауса, пер. с англ. под ред. К.И. Палатова. - М.-Л.: Энергия, 1964, – 484 с.

6. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. – М.: Мир, 1986.

7. Робинсон Ф.Н.Х. Шумы и флуктуации в электронных схемах и цепях. – М.: Атомиздат, 1980.

8. Жалуд В., Кулешов В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах. – М.: Сов. Радио, 1977.
9. Малахов А.Н. Флуктуации в автоколебательных системах. – М. : Наука, 1968. – 660 с.
10. Корнилов С.А., Савшинский В.А., Уман С.Д. Шумы клистронных генераторов малой мощности. – М.: Сов. радио, 1972. – 200 с.
11. Жалуд В., Кулешов В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах. – М.: Сов. радио, 1977. – 416 с.
12. Ребров С.И., Сазонов В.П. Оценка перспектив развития различных направлений сверхвысокочастотной электроники // Электронная техника. Сер 1. Электроника СВЧ. - 1982.- В. 12.- С. 5-17.
13. Бродуленко И.И., Мальцев В.А. Параметры, перспективы развития и применения низковольтных СВЧ - генераторов малой и повышенной мощности // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. - 1994.- В. 4. - С. 3-7.
14. Шаповалов А.С., Голубенцев А.Ф., Денисов Ю.И. Эмиссионные и шумовые свойства неоднородных эмиттеров. – Саратов.: Издательство Саратовского университета, 1983. – 92 с.
15. Шаповалов А.С. Вероятностные расчёты в физике – Саратов.: Издательство «Саратовский источник», 2015. – 72 с.
16. Голубенцев А.Ф., Шаповалов А.С. К вопросу об уровне дробового шума термокатода // ЖТФ. – 1974. – Т. 44, № 10. – С. 2174–2177.
17. Голубенцев А.Ф., Шаповалов А.С. К вопросу о спектральной плотности флуктуаций тока эмиссии термокатода // Изв. вузов. Радиофизика. – 1974. – Т. 17, № 12. – С. 1885-1890.
18. Шаповалов А.С., Денисов Ю.И. Статистический механизм возникновения аномальных дробовых шумов в потоках носителей заряда // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1985. – Т. 28, № 5. – С. 88.
19. Шаповалов А.С., Инкин М.Г., Мироненко К.В. Аномальный дробовой шум на неоднородном потенциальном барьере // Гетеромагнитная микроэлектроника: Сб. науч. тр. / Под ред. проф. А.В. Ляшенко. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, - 2016. – Вып. 20. – С. 41-46.
20. Инкин М.Г., Мироненко К.В., Шаповалов А.С. Многоуровневая дискретная модель неоднородного эмиттера и максимальный уровень аномального дробового шума // Вопросы прикладной физики.: Межвуз. науч. сб. Саратов.: Изд-во СГУ. – 2016. – В. 23. – С. 39-41.
21. Инкин М.Г., Мироненко К.В., Шаповалов А.С. Частотные характеристики аномального дробового шума для многоуровневой дискретной модели неоднородного эмиттера // Вопросы прикладной физики.: Межвуз. науч. сб. Саратов.: Изд-во СГУ. – 2016. – В. 23. – С. 42-44.