

УДК 621.382:621.391.822

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ШУМОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

К. А. Гребенюк

Саратовский государственный университет
E-mail: Konstantinag@yandex.ru

Проведен анализ основных подходов к классификации внутренних электрических шумов в электронных полупроводниковых приборах. Представлены классификации электрических шумов по каждому из выделенных признаков.

Ключевые слова: тепловой шум, фликкер-шум, гауссовский шум, белый шум, частотный шум.

Main Types of Noises in Electronic Semiconductor Devices

К. А. Grebenyuk

Main approaches to classification of internal electric noises in electronic semiconductor devices have been analyzed. According to each approach classification of electric noises has been given.

Key words: thermal noise, flicker noise, Gaussian noise, white noise, frequency noise.

Проблема классификации электрических шумов

Электрическими шумами называют беспорядочные изменения тока и напряжения в электронных приборах. Именно электрические шумы определяют в электронике пределы точности измерений, а также минимальные величины сигналов, которые могут быть обработаны [1].

В научной литературе встречаются десятки названий видов электрических шумов. Чтобы ориентироваться в таком многообразии видов необходимо в каждом случае уметь четко определить, по какому признаку проводится классификация. Однако из-за неоднозначности терминологии сделать это не всегда просто, поэтому актуальной задачей является проведение обзора основных подходов к классификации электрических шумов.

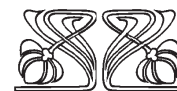
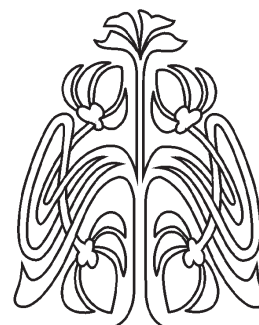
Целью данной работы стали выявление и анализ основных подходов к классификации внутренних электрических шумов в электронных полупроводниковых приборах. С этой целью был проведен анализ работ [1–20], в результате которого было выделено четыре основных подхода, применяемых к классификации шумов в полупроводниках. Сформулируем сущность каждого из этих подходов.

Классификация по физической природе и механизму возникновения

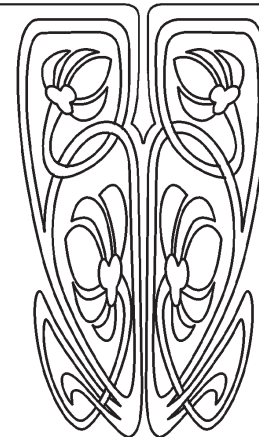
С точки зрения физической природы выделяют [1–5]: тепловой шум (шум Джонсона [3]); дробовой шум; фликкер-шум (шум мерцания [4], избыточный шум [3, 4], шум типа $1/f$).

Тепловой шум обусловлен хаотическим движением носителей тока и присутствует в любом элементе при ненулевой абсолютной температуре. Тепловой шум является неуменьшаемым видом шума [3].

Дробовой шум наблюдается при дрейфе носителей тока под действием приложенного к полупроводнику электрического поля и обусловлен дискретностью электрического заряда, а также хао-



МЕТОДИЧЕСКИЙ
ОТДЕЛ





тичностью процессов генерации-рекомбинации основных носителей заряда в полупроводнике [3, 4].

Фликкер-шум наблюдается при прохождении через полупроводник постоянного тока, обусловлен флуктуациями плотности носителей тока [2] и может значительно превышать уровень теплового и дробового шума [4].

В работе [2, с. 10] высказывается мнение, что названия «дробовой шум» и «фликкер-шум» «... были введены на более или менее эвристической основе без должной связи с физическими причинами, порождающими шум» и предлагается деление на шум генерации-рекомбинации, диффузионный шум и модуляционный шум как в большей степени соответствующее физическим процессам, происходящим внутри полупроводника.

Классификация по поведению спектральной плотности и плотности вероятности

На основе спектрального и вероятностного анализа выделяют белый/цветной шум, узкополосный/широкополосный шум, гауссовский шум, розовый шум.

Белый шум – это шум, в спектре которого энергия равномерно распределена по всем частотам, как в спектре белого света [6]. Гауссовским называется шум, который имеет нулевое среднее значение и гауссову плотность вероятности [7].

Термин «белый шум» относится к распределению энергии, а термин «гауссовский шум» – к распределению плотности вероятности. Например, тепловой шум является еще и гауссовским белым шумом, а дробовой шум является белым в области нижних частот [2].

Розовым шумом называется шум, спектральная плотность которого описывается законом вида $1/f$ (f -частота) [3].

Шум со спектром вида $1/f$ называется еще фликкер-шумом, но если термин «розовый шум» относится только к виду спектра, то термин «фликкер-шум» относится также к физической природе шума.

Классификация с точки зрения теории случайных процессов

Шумы являются случайными процессами, и к ним применяется классификация случайных процессов. В рассмотренной литературе чаще всего упоминается стационарность и эргодичность шумов. Многие шумы в полупроводниковых материалах и приборах (тепловой, дробовой, генерации-рекомбинации, диффузионный и другие) можно рассматривать как стационарные и эргоди-

ческие процессы [1]. Но есть и исключения. Например, фликкер-шум не является стационарным процессом [1].

Классификация по внешнему проявлению

В работах по снижению шумов генераторов электрических сигналов [8–20] три рассмотренных выше способа классификации применяются редко. Вместо этого используется классификация электрических шумов по внешнему проявлению с выделением амплитудного, частотного и фазового шумов, под которыми подразумевают, соответственно, беспорядочные изменения амплитуды, частоты и фазы сигнала. Поскольку любому изменению частоты сопутствует изменение фазы, часто наряду с амплитудным рассматривают только частотный или только фазовый шум [8].

Выводы

Проведенный анализ показал, что в научной литературе существуют четыре основных подхода к классификации электрических шумов в полупроводниках:

- 1) классификация по физической природе и механизму возникновения;
- 2) классификация по поведению спектральной плотности и плотности вероятности;
- 3) классификация с точки зрения теории случайных процессов;
- 4) классификация по внешнему проявлению.

В случаях, когда предметом исследования являются сами шумы и причины их возникновения, используют классификации по первым трем признакам. В случаях, когда предметом исследования является снижение уровня шумов в электронных приборах, используют классификацию шумов по внешнему проявлению.

Список литературы

1. Ван-дер-Зил А. Шум. Источники, описание, измерение. М.: Сов. радио, 1973. 229 с.
2. Ван-дер-Зил А. Флуктуационные явления в полупроводниках. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 232 с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.: Мир, 2003. 704 с.
4. Ван-дер-Зил А. Флуктуации в радиотехнике и физике. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958. 296 с.
5. Шумы в электронных приборах / под ред. Л. Д. Смуплина, Г. А. Хауса. М.; Л.: Энергия, 1964. 484 с.
6. Хорстхемке В., Лефевр Р. Индуцированные шумом переходы: теория и применение в физике, химии и биологии. М.: Мир, 1987. 400 с.
7. Хованова Н. А., Хованов И. А. Методы анализа временных рядов. Саратов: Изд-во Гос. учеб.-науч. центра «Колледж», 2001. 120 с.



8. Корнилов С. А., Савишинский В. А., Уман С. Д. Шумы клистронных генераторов малой мощности. М. : Сов. радио, 1972.
9. Шумовые свойства ламп обратной волны со скрещенными полями / А. А. Игнатъев, М. Н. Куликов, В. С. Стальмахов, А. С. Шаповалов. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1983. 92 с.
10. Бычков С. И., Буренин Н. И., Сафаров Р. Т. Стабилизация частоты генераторов СВЧ. М. : Сов. радио, 1962. 376 с.
11. Голант М. Б., Бобровский Ю. Л. Генераторы СВЧ малой мощности : Вопросы оптимизации параметров. М. : Сов. радио, 1977. 336 с.
12. Гольдман С. Гармонический анализ, модуляция и шумы. М. : Изд-во иностр. лит-ры, 1951. 408 с.
13. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. М. : Мир, 1986. 398 с.
14. Гусев А. П., Каплун З. Ф. Экспериментальное исследование высокочастотных кварцевых генераторов // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1989. Вып. 9. С. 14–17.
15. Зырин С. С., Котов А. С. Высокостабильный сверхмалощумящий транзисторный СВЧ-генератор // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1991. Вып. 7. С. 26–30.
16. Гвоздев Б. И., Ештокин В. Н., Зырин С. С., Пелевин А. И. Частотные шумы твердотельных генераторов в режимах комбинированной параметрической и электрической стабилизации частоты // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1980. Вып. 4. С. 24–28.
17. Зырин С. С., Мишулин Л. Е., Котов А. С., Карпенко В. П., Котовщиков С. Г. Малошумящий СВЧ-генератор с компенсацией неустойчивости частоты с помощью цифрового устройства // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1989. Вып. 4. С. 6–9.
18. Ри-Бак-Сон. Исследование низкочастотного автогенератора СВЧ // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1983. Вып. 5. С. 26–27.
19. Минаев М. И. Автоматическая подстройка частоты мощных генераторов СВЧ с внешней дополнительной обратной связью // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1983. Вып. 4. С. 52–53.
20. Иванов Е. Н., Царякин Д. П. Малошумящий автогенератор 8-мм диапазона // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1991. Вып. 7. С. 17–18.