

ШУМОВЫЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ СТАБИЛИТРОНОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ОБРАТНОМ СМЕЩЕНИИ

В.В. Буслюк^{1,2}, С.И. Ворончук¹, И.В. Лешкевич^{1,2}, Б.Н. Склипус²,
Р.В. Сченснович²

¹РУНИП «СКБ Запад» НПО «Интеграл», Брест, Беларусь

²УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь

Проблема изучения шумовых свойств твердотельных электронных приборов имеет важное практическое значение. С одной стороны, шумы накладывают ограничения на характеристики устройств обработки слабых сигналов. С другой стороны, шум находит эффективное применение во многих приложениях – например, при моделировании стохастических процессов, исследовании свойств динамических систем и т.п.

Физическая природа шума различного вида в твердотельных устройствах широко описана в литературе. Так называемые собственные шумы – тепловой и дробовой – обусловлены флуктуациями, соответственно, скорости носителей заряда и потока носителей через потенциальный барьер. Существенная шумовая компонента полупроводниковых приборов – избыточный шум, составляющими которого, в свою очередь, являются, например, генерационно-рекомбинационный шум и шум типа $1/f$, или фликершум. Последний вид шума обусловлен, по-видимому, эффектами на поверхности полупроводника – протеканием химических реакций, диффузией зарядов в слоях оксидов, захватом ловушками носителей заряда и т.д.

В некоторых приборах определенного типа, в том числе $p-n$ -диодах, наблюдается также взрывной шум, проявляющийся в нерегулярных всплесках, напоминающих случайный телеграфный сигнал. Предполагаются два основных механизма возникновения такого шума у $p-n$ -переходов с обратным смещением. Первый относится к случайным тепловым флуктуациям, вызывающим включение-выключение поверхностных каналов проводимости, второй связан с микроплазмой. Сама микроплазма локализуется внутри перехода в областях сильного электрического поля с характерными размерами порядка сотен ангстрем, в которых дефекты кристаллической решетки содержат ловушки, что приводит к большой плотности связанного заряда в таких местах и способствует лавинному пробою, когда тот возникает. Сходный по механизму шум умножения в лавинном токе (лавин-

ный шум) характерен также для обратносмещенных стабилитронов (диодов Зенера). Сообщается, что спектральное распределение интенсивности взрывного шума на средних и высоких частотах изменяется по закону f^2 , а лавинного шума на высоких частотах – примерно как f^4 [1].

Проведены сравнительные исследования шумовых свойств ряда стабилитронов, в том числе генераторов шума, отечественных и зарубежных производителей – BZV55 (Philips), NC103 (Noise), КГ401А (Россия), КС126 (Цветотрон, Беларусь) и ND103 (СКБ Запад, Беларусь).

Указанный ряд охватывал диапазон напряжения стабилизации 4,7...30 В, величина обратного тока задавалась в пределах 10...100 мкА, температура корпуса прибора – 300...340 К. Для получения временных диаграмм шума использовался встраиваемый в ПЭВМ программно управляемый цифровой осциллограф BORDO 210, обработка информации в спектральной области выполнялась с помощью штатного математического обеспечения осциллографа.

Эффективное значение напряжения шума составляло от единиц милливольт (для прибора КС126) до двух-трех десятков милливольт (ND103). В приборах КГ401А и ND103 наблюдалась заметная составляющая взрывного шума, интенсивность которого возрастала с увеличением тока примерно до 70 мкА, а временные диаграммы сигнала состояли из случайных импульсов, на которые наложен высокочастотный шум. Симметричность сигнала зависела от токовой нагрузки приборов, а форма импульсов отличалась от телеграфных лишь несколько затянутым передним фронтом, что может быть связано с реактивными составляющими измерительных цепей.

Анализ спектральной плотности напряжения шума также позволил обнаружить признаки наличия в суммарном сигнале шумовых составляющих различного вида, которые обуславливают как неравномерность спектра в области ниже граничной частоты приборов, так и его особенности на более высоких частотах.

Так, в различных областях спектра присутствовали участки, которые можно аппроксимировать приближенными степенными зависимостями вида f^α , где α находилось в диапазоне от 0,9 до 2.

Крайние значения диапазона определяют, соответственно, фликер-шум и взрывной шум, согласно современной терминологии, «розового» и «коричневого» типов [2]. В спектре шума большой мощности обнаружены высокочастотные фрагменты со значениями α , заметно превышающими 2, что является признаком наличия составляющих «черного» шума и, соответственно, лавинных механизмов его генерации.

Результаты исследований используются при разработке и модернизации стабилитронов малой и средней мощности, а также специального класса приборов – генераторов шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. – М.: Мир, 1986. – 399 с.
2. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 528 с.