

3. Изложенная выше задача решалась при начальных условиях  $N_{\perp}(t=0) = N_0$ , т. е. неоднородности считались бесконечно вытянутыми вдоль  $H_0$ . В реальных условиях неоднородности имеют конечную длину. Поэтому представляет интерес рассмотреть эволюцию начальных неоднородностей вида  $N_{\perp}(t=0) = N_0 \exp(-z^2/l^2)$ . В этом случае решение имеет вид при  $\tau > z_T$

$$\frac{N_{\perp}(z, \tau)}{N_0} = \frac{\exp\left[-\frac{z^2}{4\tau}\left(1 - \frac{1}{1 + \tau/l_N^2}\right)\right]}{\sqrt{1 + \tau/l_N^2}} + \frac{2l_N}{\sqrt{3\pi}} \times \\ \times \exp\left(-\frac{z_T}{2}\right) \sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}z_T - \frac{\pi}{3}\right) \int_0^{\tau} \frac{\exp^{1/2} \sin \sqrt{3}x}{\sqrt{x(\tau - x + l_N^2)}} dx,$$

где  $l_N = (b^{1/3}) l/2 \sqrt{D_{N\parallel}}$ .

4. Проведенный анализ показывает, что на начальной стадии тепловой параметрической неустойчивости возможно появление осциллирующего режима генерации неоднородностей с характерным периодом  $T$ , примерно равным обратному инкременту неустойчивости. Величина этого периода по оценкам равна нескольким десяткам секунд для  $l_{\perp} = 10 \div 50$  м. К сожалению, это значение в 30–100 раз больше величины периода осцилляций, наблюдающихся на эксперименте [5]. Однако, учитывая тот факт, что  $T$  пропорционален  $(E_0^2)^{-2/3}$ , можно, в принципе, ожидать, что быстрые осцилляции на начальной стадии ТПН возникают в локальных областях ионосферы, где мощность волны накачки вследствие фокусировки на естественных ионосферных неоднородностях с размером  $l \approx 5 \div 10$  км возрастает пропорционально  $l^4/(\lambda z)^2$  на один-два порядка. В связи с этим стоит указать, что согласно проведенным наблюдениям «пичков» [5] в двух разнесенных на 5 км пунктах, можно утверждать, что область ионосферы, ответственная за пички, органичена одним-двумя километрами.

Автор благодарен Л. М. Ерухимову за постоянное внимание к работе и С. М. Грачу за обсуждение результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fialer P. A.—Radio Sci, 1974, 9, № 11, p. 923.
2. Беликович В. В. и др.—Изв. вузов—Радиофизика, 1975, 18, № 4, с. 516.
3. Беленов А. Ф. и др.—Изв. вузов—Радиофизика, 1977, 20, № 12, с. 1805.
4. Грач С. М. и др.—Физика плазмы, 1978, 4, № 6, с. 1321, 1330.
5. Ерухимов Л. М. и др. Тепловые нелинейные явления в плазме. Сб. науч. тр.—Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 7.

Научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
10 июня 1980 года.

УДК 621.391.822.4 : 621.319.4

#### СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛИККЕРНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ЕМКОСТИ НЕКОТОРЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Г. Н. Бочков, А. А. Мальцев, А. В. Якимов

1. Впервые о наличии фликкерных флукутаций емкости у конденсаторов сообщалось в [1], после чего их существование принималось во внимание при анализе работы генераторных систем (см., например, [2]).

Тем не менее, до настоящего времени в литературе имелась, по-видимому, всего одна работа [3], посвященная экспериментальному определению формы и величины спектра флукутаций емкости конденсаторов. В [3] приводятся данные лишь для конденсаторов типа КСО-1 с емкостью  $110 \text{ нФ} \pm 5\%$  и рабочим напряжением 250 В. Измерения проводились генераторным методом в диапазоне частот анализа (20 ÷ 400) Гц при полосе пропускания 7 Гц.

Указанные конденсаторы имели фликкерные флуктуации емкости со спектром вида

$$\langle \delta C^2 \rangle_f = A/f^\gamma \Gamma \gamma - 1. \quad (1)$$

Наиболее часто встречались значения  $A \sim (1 \div 30) \cdot 10^{-13}$  и  $\gamma \sim (1,4 \div 1,8)$ .

2. В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования флуктуаций емкости конденсаторов двух других типов: керамических КД-2 группы ТКЕ М1300 с номинальной емкостью 110 пФ  $\pm 5\%$  и рабочим напряжением 250 В и пленочных конденсаторов с диэлектриком SiO<sub>2</sub>, имеющих емкость 100 пФ и рабочее напряжение 20 В.

Для проведения эксперимента использовалась установка [3], модифицированная с целью получения возможности изменения амплитуды напряжения на обследуемом конденсаторе.

3. Все конденсаторы оказались подверженными флуктуациям емкости, носящим фликкерный характер и имеющим (в диапазоне частот анализа) спектр вида (1).

Для конденсаторов типа КД-2, которых было обследовано 25 штук, значения  $A$  и  $\gamma$  распределены в интервалах  $2,3 \cdot 10^{-16} \leq A \leq 2,2 \cdot 10^{-14}$ ,  $1,0 \leq \gamma \leq 2,0$ . Наиболее часто встречаются значения  $A \sim (1 \div 10) \cdot 10^{-15}$  и  $\gamma \sim (1,4 \div 1,6)$ . Контрольные измерения, проведенные для нескольких конденсаторов через 2—3 месяца, показали весьма малое изменение спектра (1): для  $A$  — в пределах 30%, для  $\gamma$  — в пределах 15%.

Эксперименты, проведенные с пленочными конденсаторами (которых было обследовано 8 штук), показали, что флуктуации емкости опять-таки носили фликкерный характер, но время от времени их интенсивность резко возрастала.

Например, для одного из конденсаторов уровень «спокойного» шума характеризовался параметрами  $A \approx 4 \cdot 10^{-15}$ ,  $\gamma \approx 1,2$ , т. е. флуктуации емкости носили фликкерный характер. После перехода в состояние «сильного» шума наблюдалось  $A \approx 2 \cdot 10^{-13}$ ,  $\gamma \approx 2$ . Указанное значение параметра  $\gamma$  наводит на мысль, что в состоянии сильного шума наблюдались не фликкерные, а взрывные [4] флуктуации емкости, имеющие характерное время больше 0,04 с. Время пребывания конденсатора в том или ином состоянии составляло порядка нескольких минут.

4. Приведенные данные касаются работы пленочных конденсаторов при амплитуде возбуждающего сигнала, имеющей величину порядка рабочего напряжения конденсатора. В этом режиме возможно возникновение микропробоев диэлектрика, что и приводит к появлению взрывного шума.

При уменьшении амплитуды переменного напряжения на конденсаторе взрывной шум наблюдался реже и имел меньшую длительность. Дальнейшее измерение шумов проводилось при амплитуде 10 В. Для различных образцов параметры  $A$  и  $\gamma$  оказались распределены в пределах  $1,4 \cdot 10^{-15} \leq A \leq 4,0 \cdot 10^{-14}$ ,  $0,93 \leq \gamma \leq 1,71$ . Наиболее часто встречаются значения  $A \sim (4 \div 28) \cdot 10^{-15}$  и  $\gamma \sim (1,25 \div 1,56)$ .

Естественно ожидать, что и другие типы конденсаторов при увеличении амплитуды сигнала должны обладать возрастающим уровнем флуктуаций емкости. Для проверки этого предположения были проведены измерения спектра флуктуаций емкости конденсатора КСО-1 (того же типа, что и в [3]) при амплитудах сигнала 50, 75 и 100 В. Оказалось, то в данном интервале амплитуд параметр  $\gamma$  почти не меняется, а величина  $A$  растет почти линейно, увеличиваясь (при амплитуде сигнала 100 В) примерно в 8 раз.

К сожалению, использованная экспериментальная установка не дала возможности провести измерения при амплитудах сигнала свыше 100 В.

Из экспериментальных результатов данной работы и [3] можно сделать следующие выводы.

Из обследованных конденсаторов наиболее «шумящими» оказались конденсаторы типа КСО-1.

При использовании конденсаторов необходимо следить за тем, чтобы полное напряжение на них было в 2—3 раза меньше величины их рабочего напряжения. В противном случае могут возникнуть дополнительные флуктуации емкости, носящие характер взрывного шума.

5. Одним из возможных механизмов возникновения фликкерных флуктуаций емкости могут являться соответствующие флуктуации площади их обкладок, выполненных, как известно, методом напыления.

Указанные обкладки не являются однородными, а состоят из множества «островков», соединенных проводящими перемычками либо вовсе не контактирующих между собой.

Изолированные островки могут подключаться к основной обкладке за счет красной диффузии атомов металла. В свою очередь, перемычки могут исчезать из-за окислительных процессов. Указанные механизмы приводят к появлению фликкерных флуктуаций емкости конденсатора. Причем первый механизм, как можно показать из [5], дает  $\gamma \sim 1,5$ . Второй механизм (согласно, например, [2], гл. 1) дает  $\gamma = 2$ .

В случае справедливости высказанных предположений можно сделать вывод о связи надежности конденсатора с величиной параметра  $\gamma$ . А именно наибольшему деградационному уменьшению емкости должны быть подвержены конденсаторы, имеющие большую величину крутизны спектра  $\gamma$ . Этот вывод согласуется с теоретическим анализом, проведенным в § 16 работы [2] для спектров фликкерного типа. Разница заключается лишь в том, что в [2] рассматривались фликкерные случайные процессы, имеющие среднее статистическое значение, равное нулю. Старение же конденсаторов, обусловленное вышерассмотренными механизмами, должно приводить к необратимому уменьшению их емкости.

Авторы признательны Т. П. Некрасовой и В. А. Уланову за помощь в проведении эксперимента и благодарны А. Н. Малахову и В. В. Потемкину за полезное обсуждение ряда вопросов настоящей работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Популях К. С.—Изв. Ленинградского электротехнического ин-та, 1955, вып. 26, с. 89.
2. Малахов А. Н. Флуктуации в автоколебательных системах.—М.: Наука, 1968.
3. Мальцев А. А., Якимов А. В.—Изв. вузов — Радиоэлектроника, 1975, 18, № 8, с. 113.
4. Machlup S. J.—J. Appl. Phys., 1954, 25, p. 341.
5. Якимов А. В.—Изв. вузов — Радиофизика, 1980, 23, № 2, с. 238.

Горьковский государственный университет

Поступила в редакцию  
11 июня 1980 г.

---

#### ИНФОРМАЦИЯ О НОВЫХ КНИГАХ

**Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И.** Геометрическая оптика неоднородных сред.—М.: Наука, 1980.—304 с.—3 р. 30 к.

Систематически излагается метод геометрической оптики — эффективный метод построения и вычисления волновых полей в неоднородных средах. Наряду с традиционными вопросами, относящимися к монохроматическим волнам, в книге отражены также различные обобщения метода, существенно расширяющие его возможности: пространственно-временная геометрическая оптика диспергирующих сред, теория взаимодействия нормальных волн в неоднородных анизотропных средах и нерегулярных волноводах, новые варианты теории возмущений для лучей и др. Важным нововведением является формулировка достаточных условий применимости геометрической оптики, опирающаяся на волновые представления.

Общая теория иллюстрируется многочисленными примерами, относящимися к радиофизике, оптике и акустике.

Книга предназначена для широкого круга научных работников, инженеров, аспирантов и студентов-старшекурсников физико-технических и радиофизических специальностей

**Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С.** Введение в статистическую радиофизику и оптику: Учебное пособие.—М.: Наука, 1981.—30 л.—В пер.: 1 р. 30 к.

В книге изложены основы теории статистических явлений в колебательных и волновых процессах. В отличие от традиционных курсов статистической радиофизики, в данном учебном пособии большое внимание уделено задачам статистической оптики. Наряду с такими разделами, как основы теории случайных функций и полей, шумов в линейных и нелинейных системах с сосредоточенными параметрами и т. п., рассмотрены временная и пространственная когерентность световых полей, статистика фототочетов, флуктуации в лазерах, статистические явления в нелинейной оптике. Значительное внимание уделено новым теоретическим методам статистической радиофизики и оптики. Ряд разделов книги иллюстрируется экспериментальными данными.

Книга предназначена для студентов старших курсов и аспирантов университетов, физико-технических и инженерно-физических институтов и будет полезна специалистам по радиофизике и квантовой электронике