

углом, отсчитываемым по часовой стрелке от направления на север, по радиусу откладывается число наблюдений.

С ноября 1964 г. ведется исследование дрейфа одновременно на четырех уровнях слоя путем записи обыкновенного и необыкновенного компонентов волны на двух различных частотах. На рис. 3 приводится образец полученных кривых зависимости направления и величины скорости дрейфа в области F для 28 января 1965 г. в 14 ч 05 мин. По оси ординат отложены величины скорости дрейфа (сплошная линия) и направление скорости дрейфа (пунктирная линия). По оси абсцисс отложена истинная высота, рассчитанная по методу Келсо [3] из высотно-частотной характеристики. Всего было произведено около 40 сеансов, из них только для 10 случаев удалось произвести расчет параметров методом подобия. Для всех этих кривых характерны довольно резкие изменения направления и величины дрейфа при разнице в высотах в несколько километров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березин Ю. В. «Геомагнетизм и аэрономия», № 1, 606, 1961.
2. Миркотан С. Ф., Кушнеревский Ю. В. Неоднородная структура и движение в ионосфере, № 12. М., «Наука», 1964.
3. Келсо Дж. М. Проблемы современной физики, вып. 5, № 122, 1953.

Поступила в редакцию
5. 5. 1965 г.

Кафедра
физики атмосферы

И. В. ПОЛЯКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЗАТУХАЮЩИХ СИГНАЛОВ В НЕОДНОРОДНЫХ АКТИВНЫХ ЛИНИЯХ

УДК 621.372.2.09

В работах [1, 2] показано, что в однородных линиях передачи, в которых зависимость тока утечки от напряжения имеет падающий участок, при определенных условиях могут распространяться незатухающие стационарные (т. е. неизменные по форме и амплитуде) сигналы, соответствующие переключению линии из одного устойчивого состояния во второе. Интересно рассмотреть неоднородные линии такого типа, т. е. линии, параметры которых меняются от точки к точке по определенному закону. В таких линиях есть активный элемент и, по-видимому, в них также смогут распространяться незатухающие, а при некоторых условиях и стационарные сигналы. Однако так как в неоднородных линиях условия распространения сигналов зависят от направления распространения, то и свойства стационарных сигналов, распространяющихся в противоположных направлениях, могут различаться. Также и другие свойства неоднородных активных линий могут существенно отличаться от свойств линий однородных.

В случае произвольной зависимости параметров линии от x решение задачи невозможно, поэтому исследуем более простой случай. Рассмотрим неоднородную распределенную RC -линию с нелинейным активным сопротивлением утечки, эквивалентная схема которой показана на рис. 1, а, погонные параметры которой меняются вдоль линии по закону

$$R(x) = R_0 e^{x/x_0}, \quad C(x) = C_0 e^{-x/x_0}, \quad I_d(u, x) = I_{d0}(u) e^{-x/x_0},$$

$$I_{cm}(x) = I_{cm0} e^{-x/x_0}.$$

Для напряжения в линии справедливо уравнение

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - R_0 C_0 \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{1}{x_0} \frac{\partial v}{\partial x} - R_0 \Phi_0(v) = 0, \quad (1)$$

где

$$\Phi_0(v) = I_{d0}(u) - I_{cm0}, \quad v = u - u_{cm},$$

$u_{см}$ — напряжение смещения за счет тока $I_{см}$, которое для стационарных сигналов, т. е. решений вида $v(\xi = x - at)$ (где a — скорость распространения стационарного сигнала) превращается в уравнение

$$\frac{d^2 v}{d\xi^2} + \left[R_0 C_0 a - \frac{1}{x_0} \right] \frac{dv}{d\xi} - R_0 \Phi_0(v) = 0. \quad (2)$$

Ищем стационарные сигналы, соответствующие переключению линии из одного устойчивого состояния в другое, при этом $v(\xi)$ должно удовлетворять условиям $v(\xi = +\infty) = 0$, $v(\xi = -\infty) = v_2$, где $v=0$ и $v=v_2$ — напряжения, соответствующие устойчивым состояниям [1].

Аппроксимируем $\Phi_0(v)$ кусочно-линейной функцией, показанной на рис. 1, б. Как

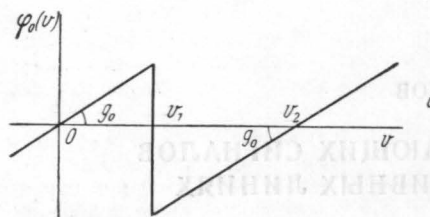
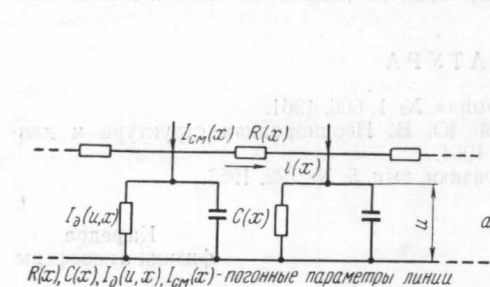


Рис. 1

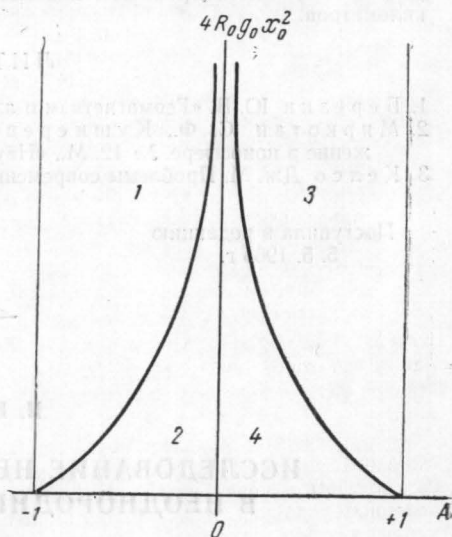


Рис. 2

показано в [2, 3], для рассматриваемых процессов принципиальным является знакопеременность тока утечки, а не конкретный вид функции $\Phi_0(v)$, поэтому принятая аппроксимация вполне допустима. Тогда для $v < v_1$ и $v > v_2$ решение (2) может быть легко найдено. В решение $v = v(\xi)$ войдет неизвестная пока скорость распространения стационарного сигнала a . Для ее определения проинтегрируем (2) по ξ в пределах от $+\infty$ до $-\infty$ учитывая при этом граничные условия и то, что для стационарного сигнала все производные по ξ при $\xi = \pm\infty$ равны нулю [3]. В результате найдем скорость распространения стационарного сигнала, бегущего в сторону возрастания $R(a > 0)$ и соответствующее переключению линии из состояния с $v=0$ в состояние с $v=v_2$

$$a = \frac{1}{R_0 C_0} \left[\frac{1}{x_0} \pm \sqrt{4R_0 D_0 \frac{A^2}{1-A^2}} \right] \begin{matrix} (+) \text{ если } A < 0 \\ (-) \text{ если } A > 0 \end{matrix} \quad A = 2 \frac{v_1}{v_2} - 1. \quad (3)$$

Область значений параметров, при которых возможен такой стационарный сигнал, показана на рис. 2 (области 1, 2, 4), граница области определяется уравнением

$$4R_0 D_0 x_0^2 = \frac{1}{A^2} - 1. \quad (4)$$

Чтобы определить области существования и скорости распространения стационарных сигналов, соответствующих переключению линии из состояния с $v=v_2$ в состояние $v=0$, а также стационарных сигналов, распространяющихся в сторону уменьшения $R(a < 0)$, необходимо соответствующим образом изменить граничные условия для $v(\xi)$ и знак a . При переключении линии из состояния с $v=0$ в состояние с $v=v_2$ стационарный сигнал, бегущий в сторону уменьшения $R(a < 0)$, существует в области значений параметров 1 и скорость его распространения определяется выражением (3). Для обратного переключения линии, т. е. из $v=v_2$ в $v=0$, стационарные сигналы существуют в об-

ластях значений параметров β , α , β (для $a > 0$) и β (для $a < 0$), а скорости их распространения определяются выражением

$$a = \frac{1}{R_0 C_0} \left[\frac{1}{x_0} \pm \sqrt{4R_0 D_0 \frac{A^2}{1 - A^2}} \right] \begin{matrix} (+) \text{ если } A > 0 \\ (-) \text{ если } A < 0 \end{matrix} \quad (5)$$

Анализ рис. 2 и выражений (3)—(5) показывает: 1. В неоднородных линиях при определенных условиях могут распространяться стационарные по форме и амплитуде сигналы. 2. Мощность стационарного сигнала, распространяющегося в направлении уменьшения R ($a < 0$), увеличивается по мере распространения, так как амплитуда сигнала постоянна, а характеристическое сопротивление линии уменьшается. Это свойство неоднородных линий может быть использовано для создания усилителей мощности с бегущей волной. 3. Если параметры линии соответствуют областям 2 и 4 (рис. 2), то вдоль линии в направлении увеличения R может распространяться импульс напряжения, состоящий из двух стационарных перепадов. Так как скорость распространения этих перепадов различна, то длительность импульса будет изменяться при распространении. 4. Если параметры линии соответствуют областям 2 и 4 (рис. 2), то линия обладает свойством односторонности: стационарный сигнал может распространяться лишь в направлении увеличения R , но никак не в противоположном.

Таким образом, неоднородные активные RC -линии существенно отличаются от линий однородных, которые не обладают последними тремя из перечисленных свойств [5]. (Свойства однородных RC -линий можно получить, если везде положить $x_0 = \infty$). Свойства 2 и 4 присущи только неоднородным активным линиям.

В рассмотренной неоднородной линии ток утечки изменялся вдоль линии по закону $\varphi(v, x) = \varphi_0(v) e^{-x/x_0}$, т. е. с изменением x кривая $\varphi(v)$ растягивалась или сжималась, вдоль оси токов. Рассмотрим случай, когда при изменении x происходит растягивание кривой $\varphi(v)$ вдоль оси напряжений, т. е. ток утечки изменяется вдоль линии по закону $\varphi(v, x) = \varphi(v e^{x/x_0})$.

Практической моделью такой линии может служить искусственная RC -линия с несколькими последовательно соединенными туннельными диодами в цепи утечки. Как показано в [4], цепочка из N последовательно соединенных туннельных диодов при определенных условиях эквивалентна элементу с вольтамперной характеристикой, подобной характеристике одного туннельного диода, но растянутой в N раз вдоль оси напряжений. Необходимые для этого условия могут быть выполнены, если фронт распространяющегося сигнала достаточно крутой.

Процессы в такой линии описываются уравнением (1) для функции $V = v e^{x/x_0}$, где v — напряжение в линии. Подобная линия будет обладать свойствами, аналогичными свойствам рассмотренной выше неоднородной линии, но стационарной функцией будет V , а амплитуда v будет изменяться вдоль линии. В такой линии также можно получить усиление мощности стационарного сигнала, причем наряду с этим происходит и увеличение амплитуды напряжения сигнала.

В рассмотренных неоднородных линиях вдоль линии изменялись все параметры. Если вдоль линии изменяются только C и $\varphi(v)$ или только R , то стационарных сигналов в таких линиях не существует. Однако уравнения, описывающие процессы в таких линиях, допускают стационарные решения вида $v(\psi)$, где $\psi = x_0 e^{x/x_0} - at$, бегущие в направлении увеличения R или уменьшения C ($a > 0$). В координатах x , t такое стационарное решение соответствует незатухающему сигналу, который по мере распространения сжимается в направлении оси x , а скорость его распространения непрерывно уменьшается. При этом изменение сигнала во времени одинаково в любой точке линии. В противоположном направлении ($a < 0$) также будет распространяться незатухающий сигнал.

Анализ неоднородных LC -линий даже при сделанных выше упрощающих предположениях чрезвычайно сложен. Однако некоторые выводы можно сделать. Неоднородные LC -линии, в эквивалентной схеме которых учтены только низкочастотные потери (сопротивление R , включенное последовательно с индуктивностью L), будут обладать свойствами, аналогичными свойствам неоднородных RC -линий. Если же в эквивалентной схеме учтены только высокочастотные потери (сопротивление r , включенное последовательно с C) и $\varphi(v)$, а $R = 0$, то в такой неоднородной линии стационарный сигнал будет иметь амплитуду, отличную от v_2 . Это связано с тем, что в такой линии ток i вдоль линии не падает до нуля при достижении $v(\xi)$ стационарного значения (как при $R \neq 0$) а остается постоянным, причем его величина зависит от характеристического сопротивления линии, которое монотонно меняется. Поэтому токи i_1 и i_2 , втекающие и вытекающие через произвольное поперечное сечение линии, не равны между собой. Разность этих токов создает дополнительный ток утечки (помимо тока смещения I_{cm}), что и приводит к тому, что стационарный сигнал имеет амплитуду больше или меньше v_2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Scott A. C. IRE Trans., CT—9, 2, 1962.
2. Ильинова Т. М., Хохлов Р. В. «Радиотехника и электроника», 8, вып. 12, 2006, 1963.
3. Воронцов Ю. И. «Радиотехника и электроника», 9, вып. 9, 1709, 1964.
4. Воронцов Ю. И., Поляков И. В. «Радиотехника и электроника», 10, вып. 5, 1965.
5. Кожевникова М. И. Дипломная работа. МГУ, 1965.

Поступила в редакцию
22. 6 1965 г.

Кафедра
физики колебаний

Э. М. РЕЙХРУДЕЛЬ, Э. П. ШЕРЕТОВ, Э. Х. ИСАКАЕВ

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗРЯДА В СКРЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ

УДК 537.525

Формированию разряда в высоком вакууме в скрещенных электрическом и магнитном полях посвящено мало работ. В работе [1] показано, что в холодном разряде типа Пеннинга в высоком вакууме наблюдается «затягивание» зажигания, достигающее нескольких минут. В работе [2] исследовалось статистическое время запаздывания зажигания подобного разряда.

В данной работе исследовались особенности формирования разряда в цилиндрическом магнетроне с холодным катодом в высоком вакууме при импульсном питании разрядного промежутка. Схема экспериментальной трубки приведена на рис. 1. В ней a/r_k было близко к единице. Во внутренний цилиндр (катод) был вмонтирован подогреватель. Исследования проводились осциллографическим методом. От специального генератора на анод подавались прямоугольные импульсы регулируемой амплитуды (0—6 кэв, длительности 20—0,05 мсек) и скважности равной двум. Изучались время формирования τ_0 , отсчитываемое от момента подачи импульса анодного напряжения до момента установления тока разряда, и ход нарастания тока разряда во времени. На рис. 1 приведены типичные кривые зависимости времени формирования разряда τ_0 от различных параметров его. Из этого рисунка видно, что в области давлений порядка 10^{-4} — 10^{-5} мм рт. ст. произведение τ_0 и давления p стремится к постоянной величине, определяемой анодным напряжением и напряженностью магнитного поля. В области более низких давлений ($\sim 10^{-6}$ мм рт. ст.) $\tau_0 p$ резко возрастает. С увеличением анодного напряжения $\tau_0 p$ переходит через минимум (рис. 2, б), а с увеличением напряженности магнитного поля вначале резко, а потом плавно уменьшается. После продолжительного обезгаживания катода время формирования разряда увеличивается (рис. 2, а). Было заметно, что при импульсной подаче анодного напряжения на времени формирования разряда практически не сказывалось статистическое запаздывание зажигания. Причем при увеличении частоты следования импульсов анодного напряжения время формирования уменьшалось. Это указывает на то, что к моменту прихода очередного импульса анодного напряжения в разрядном промежутке или на стенках его существует достаточное количество заряженных частиц, дающих начало развития лавин. С увеличением времени, прошедшего после импульса тока, число частиц уменьшается. Так как время ухода электронов из разрядного промежутка на несколько порядков меньше времени между импульсами (подачей положительного смещения на ограничивающие разрядный промежуток диски) уменьшалось время ухода электронов до 10^{-8} сек), можно предположить, что источниками заряженных частиц являются ограничивающие разрядный промежуток поверхности. Существенную роль в этом должны играть пленки газов, адсорбированные на электродах.

Исследование закона нарастания тока разряда во времени показало, что в области больших $\tau_0 p$ (при низких давлениях) кривая нарастания тока близка к экспоненте. Если учесть, что в разряде в скрещенных полях скорость движения положительных ионов в сторону катода много больше скорости перемещения электронов в сторону анода, расчет постоянной нарастания тока при экспоненциальном законе [3] для азота приводит к выражению для τp в виде