



ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ СВЧ.

О.В. Примакова, П.Ю. Волощенко, Л.Д. Астахов



ЮФУ, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения

Известно, что сверхскоростные интегральные схемы (ИС), содержащие транзисторы, лавинно-пролетные и резонансно-туннельные диоды (ЛПД и РТД), могут рассматриваться как материальная среда, осуществляющая превращение энергии электромагнитного (ЭМ) поля. Она обобщенно отражает инерционные и нелинейные электрические свойства областей ИС, выполненных из различных материалов, и динамические возможности веществ, используемых при ее изготовлении с точки зрения макроскопической теории электромагнетизма. В этом случае совокупность электронных приборов (ЭП), характеризуется диэлектрической и магнитной проницаемостью, удельным и волновым сопротивлением, скоростью распространения фронта волн и подвижностью свободных носителей заряда, зависящих от интенсивности воздействия и реакции.

На рис. 1 условно изображен фрагмент открытой конструкции базового элемента «мощной» ИС в виде пары корпусных ЛПД трехсантиметрового диапазона, расположенных на ее «виртуальных» границах по технологии когерентной электроники. Они соединены отрезком полосковой линии друг с другом и нагрузкой, источником колебательной энергии и питания постоянным током.

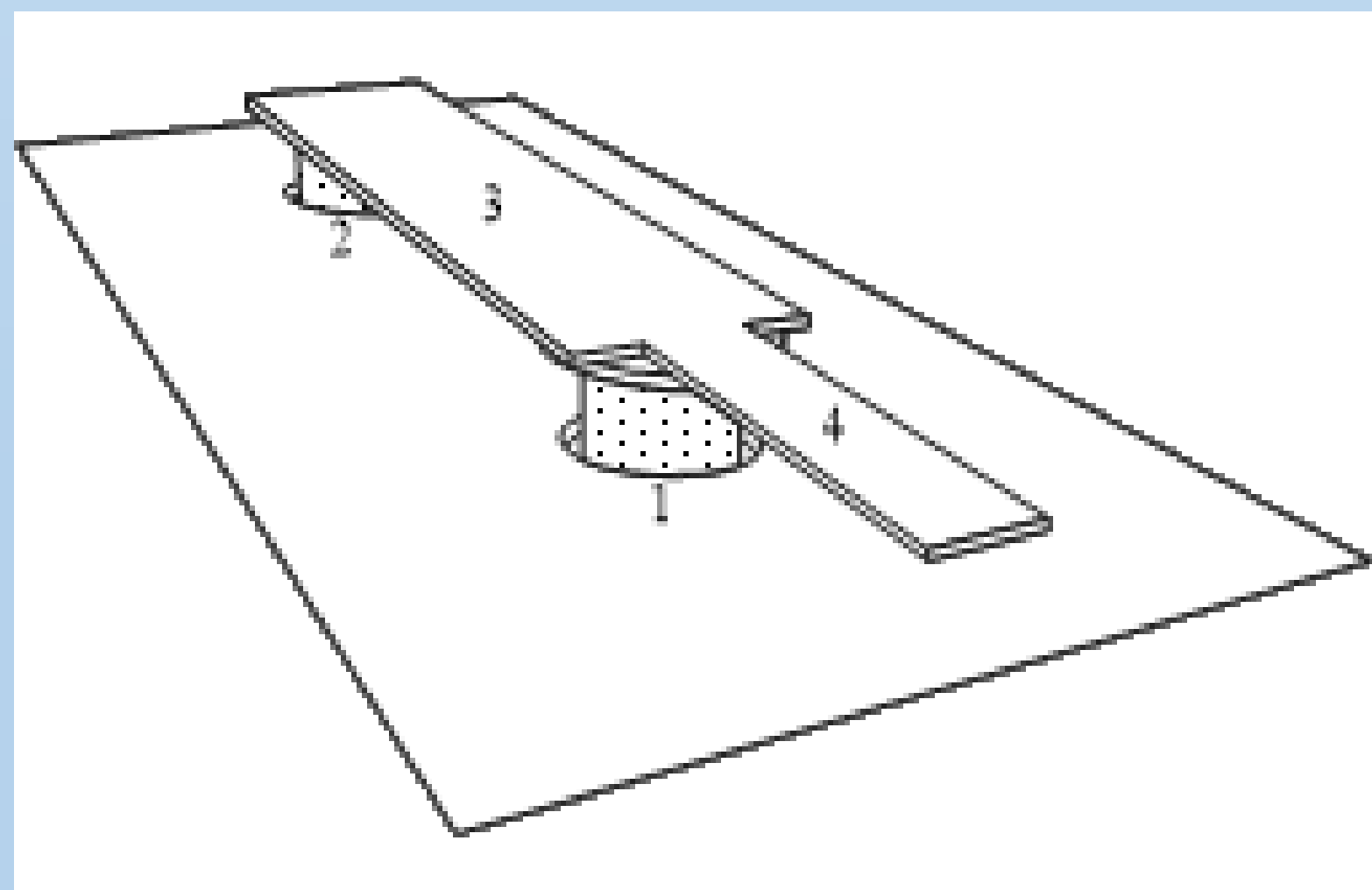


Рис. 1

Рис.2 графически иллюстрирует топологию инерционных кондуктивных и полевых, положительных и отрицательных, прямых и обратных связей ЭП с помощью эквивалентной одномерной схемы фрактальной структуры при волновых и нелинейных электрических процессах

между электронными неоднородностями.

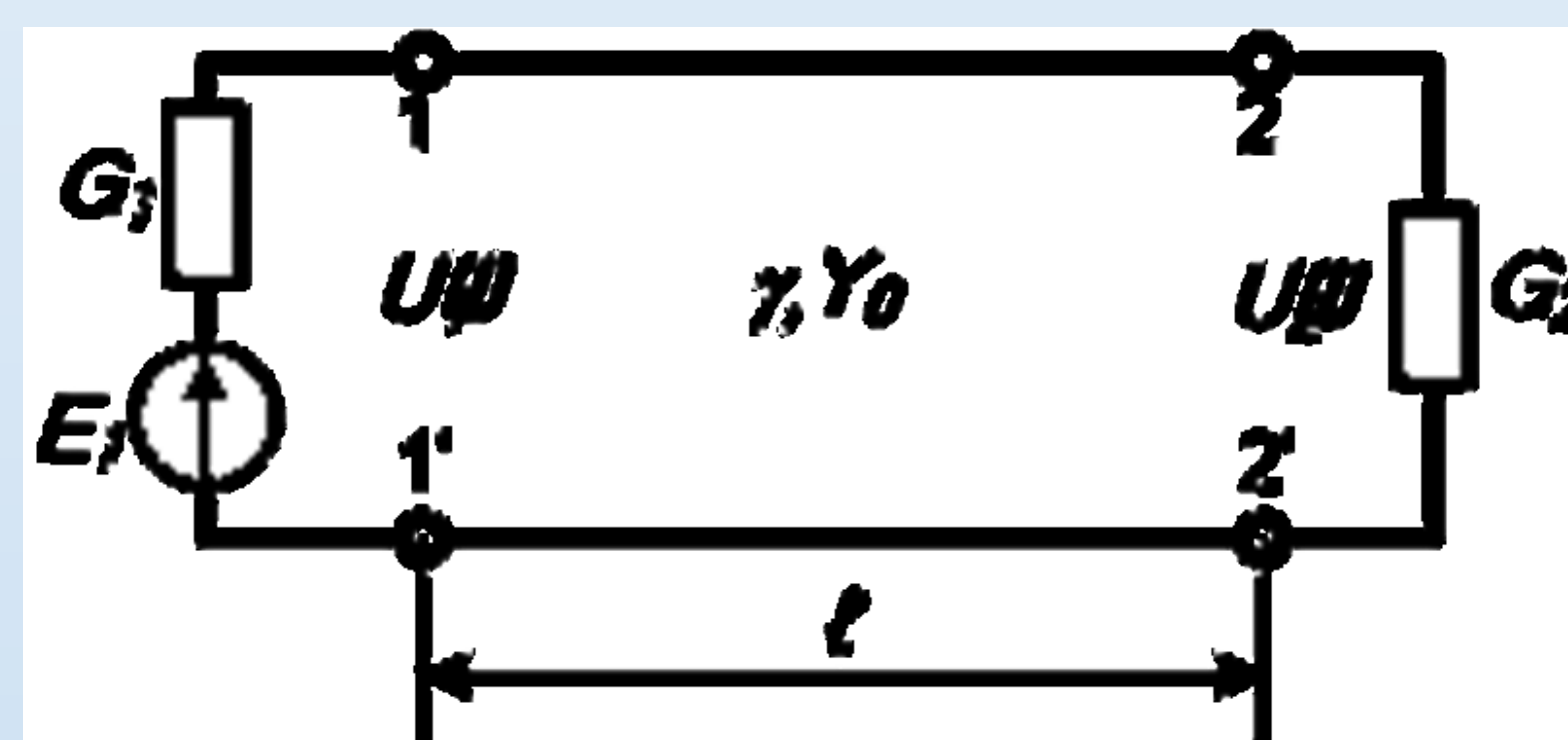


Рис. 2

Запишем решение волнового уравнения для электронной цепи с распределенными параметрами в виде суммы стоячих волн напряжения [1,2]:

$$U_1(E_1) = U_2(U_1) \cos \theta + jI_2[U_2(U_1)]Z_0 \sin \theta, \quad (1)$$

где $\theta = \beta l = 2\pi l / \lambda$ - электрическая длина межсоединения, λ - длина волны ЭМ колебаний, задающая пространственный период упорядоченной структуры.

Используя формулу (1) и теорему Телледжена получаем уравнение, описывающее явления дифракции и интерференции однотоновых сигналов вдоль линии связи и фронта ЭМ волн в аналоговой СВЧ и цифровой сверхскоростной ИС:

$$F(U_1^2, U_2^2) = U_1^2 - U_2^2 [\cos^2 \theta + g_2^2 (U_2^2) \sin^2 \theta] = 0, \quad g_2 = G_2 / Y_0 \quad (2)$$

На рис.3. приведены зависимости $x = f(y)$ четвертьволнового отрезка линии с НЭ, иллюстрирующие результат наложения волн в сечении 2-2' схемы (рис.2) для значений $g_{n2}=2$ «полезной» нагрузки и разной малосигнальной проводимости негatrona: графики 1- $g_{e02}=2$, 2- $g_{e02}=1$, 3- $g_{e02}=0$. В этом случае функция $y = x[g_2^2(x)]$. Поэтому в области возмущений $y \rightarrow 0$ реализуется неравенство $x > y$ и режим «большого» сигнала нелинейной цепи, т.к. величина $g_2^2 \approx (g_{n2} - g_{e02})^2$. С другой стороны, при $y \rightarrow 1$

проводимость $g_2^2 \rightarrow g_{n2}^2$, а переменная $x < y$, что соответствует режиму «малого» сигнала НЭ [1,2]. (Тестовый график 4 на рис.3 характеризует равенство квадратов амплитуд $x=y$ на входе и выходе линии, имеющей $\theta = \pi$). Для величины $g_{e02}=0$ импеданса вторичного источника когерентных волн переменная $x = y / g_{n2}^2$ является линейной.

Для величины $g_{e02}=0$ импеданса вторичного источника когерентных волн переменная $x = y / g_{n2}^2$ является линейной функцией интенсивности волны, бегущей от источника E_1 , обратно пропорциональной квадрату проводимости $g_2^2 = g_{n2}^2$.

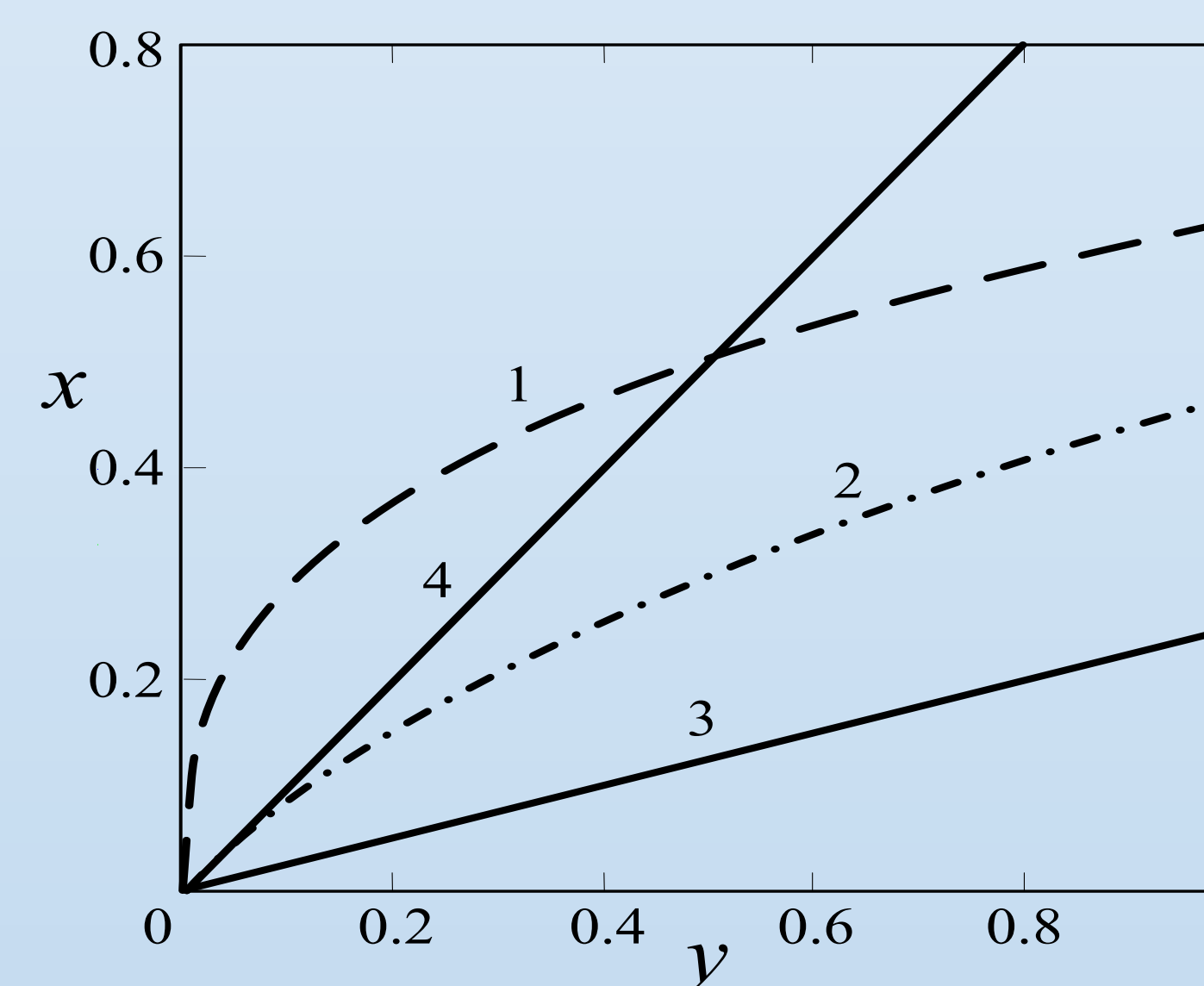


Рис. 3

Таким образом, граничные условия в начале и конце исследуемой одномерной электронной цепи, положения узла и пучности электрического поля СВЧ относительно ЭП зависят от интенсивности первичного источника, явлений дифракции и интерференции. Поэтому уровень ее выходного сигнала можно увеличивать и уменьшать при фиксированном воздействии, варьируя соответствующим образом амплитудно-зависимую реакцию НЭ вторичного источника когерентных волн. «Согласование» параметров электронной ветви и длинной линии обеспечивается регулировкой нелинейных характеристик негatrona. Вместе с тем, размещение ЛПД или РТД в минимуме либо максимуме стоячей волны напряжения соответствует принципиально разным его «рабочим» точкам и устойчивым режимам коллективного взаимодействия смежных диодов, интегрируемых по технологии когерентной электроники. Поэтому авторы считают, что на первом этапе моделирования ИС ГГц и ТГц диапазона различного назначения, невозможен аналитический и численный расчет мгновенного состояния отдельного ЭП, предполагающих выполнение условия «малых возмущений» или «слабой нелинейности».