DOI: 10.17117/na.2016.02.02.314

Поступила (Received): 29.02.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.02.02.314.pdf>

**Астахов Л.Д., Примакова О.В., Волощенко П.Ю.
Анализ четверть волнового трансформатора,
нагруженного нелинейным элементом СВЧ**

**Astakhov L.D., Primakova O.V., Voloshchenko P.Yu.
Analysis of a quarter wave transformer loaded with non-
linear element of the microwave**

Проанализированы нелинейные инерционные процессы в интегральной схеме СВЧ на примере четвертьволнового трансформатора с нелинейным элементом при регулировке отрицательной проводимости негatrona
Ключевые слова: интегральная схема, электронная волновая цепь, гига- и терагерцевый диапазоны

Analyzed non-linear inertial processes in the integrated circuit of the microwave on the example of a quarter of the transformer with a nonlinear element when adjusting the negative conductivity negatron
Key words: integrated circuit, electronic wave circuit, giga and terahertz

Астахов Лев Дмитриевич
Магистр
Южный федеральный университет
г. Таганрог, ГСП-17а, пер. Некрасовский, 44

Astakhov Lev Dmitrievich
Master
Southern federal university
Taganrog, GSP-17A, Nekrasovsky lane, 44

Примакова Ольга Викторовна
Бакалавр
Южный федеральный университет
г. Таганрог, ГСП-17а, пер. Некрасовский, 44

Primakova Olga Viktorovna
Bachelor
Southern federal university
Taganrog, GSP-17A, Nekrasovsky lane, 44

Волощенко Пётр Юрьевич
Кандидат технических наук, доцент
Южный федеральный университет
г. Таганрог, ГСП-17а, пер. Некрасовский, 44

Voloshchenko Peter Yurievich
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Southern federal university
Taganrog, GSP-17A, Nekrasovsky lane, 44

Известно, что интегральные схемы (ИС) СВЧ, содержащие негatronы лавинно-пролетные и резонансно-туннельные диоды (ЛПД и РТД), могут рассматриваться как материальная среда, осуществляющая превращение энергии электромагнитного (ЭМ) поля. В этом случае совокупность электронных приборов (ЭП), характеризуется диэлектрической и магнитной проницаемостью, скоростью распространения фронта волн и подвижностью свободных носителей заряда, зависящих от интенсивности сигналов. Они обобщенно отражают инерционные и нелинейные электрические свойства областей ИС с точки зрения макроскопической теории электромагнетизма. В тоже время подобное представление игнорирует

внутреннее устройство ИС, образованное изолирующими, выпрямляющими и омическими участками, металлическими электродами ввода постоянного тока и выводами сигнала. Вместе с тем них наблюдается накопление и обмен колебательной энергии, явления интерференции и дифракции ЭМ волн вдоль кондукторных и беспроводных межсоединений. Поэтому конструктивный синтез гига- и терагерцовых (ГГц и ТГц) ИС необходимо осуществить на основе междисциплинарного подхода, учитывающего особенности традиционного моделирования микроволновых процессов. При этом упорядоченную структуру множества взаимосвязанных ЛПД (или РТД) в общем ЭМ поле правомерно изучать как электронную волновую цепь совместной циркуляции обобщенного и полного тока. В них невозможно применение статических методов расчета КПД, базирующихся на принципе суперпозиции, априорных концепциях дискретности энергетического состояния и неразличимости, взаимодействующих ЭП, образующих композиционный материал микро- и наноэлектроники. Тогда первоначальное исследование ИС сводится к составлению и решению семейства уравнений ее электрического равновесия и устойчивости многомодовых режимов методами комплексных амплитуд, эквивалентных синусоид, двух узлов, колебательных характеристик и гармонической линеаризации параметров ПП[1,2]. В качестве неизвестных величин макромоделей интеграции ЭП фигурируют постоянное и переменное напряжение и ток резистивно-негатронных нелинейных элементов (НЭ), замещающих коррелировано работающие ЭП. На рис. 1, а условно изображена конструкция базового элемента «мощной» ИС в виде пары корпусных ЛПД (1,2) трехсантиметрового диапазона, расположенных на ее «виртуальных» границах по технологии когерентной электроники. Они соединены отрезками полосковых линий 3,4 друг с другом и нагрузкой, источником колебательной энергии и питания постоянным током. Нелинейные инерционные процессы в электронных ветвях и контурах схемы замещения ИС рассматриваем на примере четвертьволнового трансформатора, нагруженного НЭ при регулировке отрицательной проводимости негatrona. Известно, что использование отрезка линии такой длины оптимизирует передачу ЭМ энергии в цепях с распределенными параметрами. Для исследования композиции одно тоновых сигналов в ИС СВЧ воспользуемся графическими и аналитическими операторами ее макромоделей, корректно полученной в [1,2]. На рис.1,б приведены зависимости $x = f(y)$ описывающие связь квадратов амплитуд x, y напряжения на концах полосковой линии 3. Они иллюстрируют механизм суммирования волн в ней для значений мало сигнальной нормированной проводимости НЭ ЛПД 2 (рис.1,а): графики 1 – $g_{e02} = 2, 2 - g_{e02} = 1, 3 - g_{e02} = 0$ негatrona и шунтирующей его фиксированной нагрузке $g_{H2} = 2$. В этом случае функция $y = x[g_2^2(x)]$. Поэтому в об-0 реализуется неравенство $x > y$ и режим «большого» сигнала нелинейной $g_{22} \approx (g_{H2} - g_{e02})^2$. С другой стороны, при $y \rightarrow 1$ проводимость $g_{22} \rightarrow g_{H22}$, а переменная $x < y$ что соответствует режиму «малого» сигнала НЭ в волновом масштабе. (Тестовый график 4 на рис.1,б характеризует равенство $x = y$). В случае компенсации негatronом резистивных «полезных» потерь $g_{H2} - g_{e02} = 0$, трансформация нелинейных параметров ЛПД 2 иллюстрируется формулами: $g_2(U_2^2) = \sqrt[3]{g_{e02} y} = \sqrt[3]{g_{H2} y}$.

Рис. 1. Базовый элемент «мощной» ИС в виде пары корпусных ЛПД
 а) – условное изображение конструкции, б) – зависимость
 квадратов амплитуд напряжения на концах полосковой линии 3

Одновременно, передача колебательной энергии в многомодовой цепи носит однонаправленный характер и наблюдается режим бегущей волны при любой величине $g n_2 > 1$, когда произведение $1/2 g n_2 y = g e_0 2 v U_1 =$. Регулировка мощности воздействия сопровождается изменением расположения минимума и максимума стоячей волны напряжения и рабочей точки НЭ в конце линии. В этом случае результирующая амплитуда волн напряжения в идеализированной цепи ограничена суммарной проводимостью электронных ветвей. Таким образом, положение минимума и максимума потенциала электрического поля СВЧ в элементе ИС зависит от интенсивности его возмущения и явления интерференции вдоль межсоединений. «Согласование» параметров ЭП и длинной линии обеспечивается регулировкой нелинейных характеристик негatrona. Вместе с тем, размещение ЛПД (или РТД) в узле либо пучности стоячей волны напряжения соответствует принципиально разным его рабочим точкам и устойчивым режимам коллективного взаимодействия смежных диодов, интегрируемых по технологии когерентной электроники.

Список используемых источников:

1. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Методология математического моделирования нелинейных волновых и колебательных электрических процессов в изделиях когерентной ра-дио-, микро- и наноэлектроники. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. 110 с.

© 2016, Астахов Л.Д., Примакова О.В.,
 Волощенко П.Ю.

Анализ четверть волнового трансформатора,
 нагруженного нелинейным элементом СВЧ

© 2016, Astakhov L.D., Primakova O.V.,
 Voloshchenko P.Yu.

Analysis of a quarter wave transformer loaded with
 non-linear element of the microwave