DOI: 10.17117/na.2016.09.01.381

<http://ucom.ru/doc/na.2016.09.01.381.pdf>

Поступила (Received): 02.09.2016

Астахов Л.Д., Примакова О.В., Волощенко П.Ю. Исследование амплитудных и частотных характеристик волнового нелинейного элемента

Astakhov L.D., Primakova O.V., Voloshchenko P.Yu.
**Examination of amplitude and frequency characteristics
of the wave nonlinear element**

Приведены результаты символьного анализа амплитудных характеристик волнового нелинейного элемента методами комплексных амплитуд, эквивалентных синусоид и гармонической линеаризации на основе негatronной модели источников энергии и теории электронной волновой цепи

Ключевые слова: электронная волновая цепь, резистивно-негатронный элемент, волновой масштаб

The results of the analysis of the character of the wave amplitude characteristics of the nonlinear element methods of amplitude equivalent to sine waves and harmonic linearization based negatrons energy model and the theory of the electron wave circuit

Key words: electron wave circuit RC negatrons element, the scale of the wave

Астахов Лев Дмитриевич

Магистр

Южный федеральный университет
г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44

Astakhov Lev Dmitrievich

Master

Southern federal university
Taganrog, Nekrasovsky lane, 44

Примакова Ольга Викторовна

Магистр

Южный федеральный университет
г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44

Primakova Olga Viktorovna

Master

Southern federal university
Taganrog, Nekrasovsky lane, 44

Волощенко Пётр Юрьевич

Кандидат технических наук, доцент

Южный федеральный университет
г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44

Voloshchenko Petr Yurievich

Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor

Southern federal university
Taganrog, Nekrasovsky lane, 44

Известно, что изучение амплитудных и частотных, инерционных и пространственных свойств интеграции электронных приборов (ЭП) СВЧ в электромагнитном (ЭМ) поле следует проводить на основе негatronной макромоделей [1]. В этом случае она замещается одно-, двух- и трехмерной электрической цепью с двумя и большим числом активных и пассивных нелинейных элементов (НЭ). В ней наблюдаются явления диссипации и регенерации энергии сигнала, дифракции и интерференции ЭМ волн, циркулирует постоянный и переменный

ток. Ее характеристики моделируются графическим инвариантом составного волнового НЭ (ВНЭ) теории электронной волновой цепи (ЭВЦ) [2]. Он образован отрезками длинных линий, связывающих в единое целое множество эквидистантно и (или) апериодически расположенных резистивно-негатронных двухполюсников. Поэтому приоритетной задачей символьного анализа когерентного взаимодействия первичного и вторичных источников (ПИ и ВИ) СВЧ энергии является корректное формирование аналитических операторов в волновом масштабе, исследование характеристик электронных участков методами комплексных амплитуд и эквивалентных синусоид.

На первом этапе синтеза многоконтурного НЭ рассмотрим одномерную электрическую цепь, нагруженную негатронным, резистивным и энергоемким двухполюсниками. Она является базовой частью любой макромоделли длинной линии, шунтированной НЭ по постоянному току, в которой время передачи возмущения соизмеримо или больше длительности воздействия. Комплексные схемы замещения исследуемого ВНЭ, содержащего один электронный участок, приведены на рис.1а,б. Идеализированная цепь (рис.1а) является двусторонней. Поэтому ее невзаимные свойства описываются совместно входной и передаточной характеристиками. При ее обращенном символьном анализе считаем, что падающие волны напряжения и тока распространяются от сечения 2-2'.

Рис. 1а

Рис. 1б

Сосредоточенная графическая модель ВНЭ (рис.1б) необходима для адекватного расчета КПД изменения его электрического равновесия с помощью законов Кирхгофа и теоремы Телледжена. Диссипативный режим вынужденных колебаний в них обеспечивается одним и тем же ПИ гармонического сигнала, имеющим действительную амплитуду U_1 и частоту ω на входе линии. На рис.1а,б обозначены: $Y_2 = G_2 + jB_2 = G_{e2} + G_{н2} + j(B_{e2} + B_{н2})$ – суммарная активная и реактивная проводимость двухполюсного НЭ в сечении 2-2' схемы; $Y_{BX}(U_1)$ – входная комплексная проводимость длинной ветви, справа от сечения 1-1', $l, \beta, Z_0 = 1/Y_0$ – геометрическая длина отрезка, волновое число и сопротивление однородной линии передачи, $G_{н2}$ – частотно-независимая активная проводимость резистивной ("полезной") нагрузки на ее правом конце (рис.1а). Они являются элементами пассивной ветви нелинейной цепи, входной импеданс и коэффициент пе-

передачи которой меняется НЭ. Ток I_2 и напряжение U_2 связаны граничным условием $I_2 = U_2 G_2(U_2) = U_2 [G_{H2} - G_{e2}(U_2)]$ в точках 2-2' подключения негatrona. В ней выполняются следующие нелинейные импедансные условия: $G_{e2}(U_2) < 0$, $G_2(U_2) = G_{20}(1 + \frac{1}{G_{20}} \frac{\partial G_2}{\partial U_2^2} U_2^2) > 0$. Переменные $B_{e2}(U_2)$, $B_2(U_2)$, B_{H2} , учитывающие инерционность накопления и отбора ЭМ энергии электронной неоднородностью, не равны нулю. Необходимо провести совместное исследование величин U_1 , I_1 , U_2 , I_2 , $Y_{BX}(U_1, \omega)$ в области не только вещественного переменного, но и на комплексной плоскости как соотношения их действительной и мнимой частей от электрической длины $\theta = \beta l$ и волновой проводимости Y_0 линии, малосигнального параметра G_{20} НЭ и т.п.

Поэтому при формировании представления о происходящих сверхбыстрых энергетических процессах анализируем тестовый однегатронный случай, когда удастся найти решение уравнения электрического равновесия ЭВЦ в явном виде. Для этого потери и дисперсию в соединительном отрезке линии передачи не учитываем, а частотными производными $dB_{e2}/d\omega$, $dB_{H2}/d\omega$, $dG_2/d\omega$, $dG_{H2}/d\omega$ пренебрегаем. Реализация подобных граничных условий позволяет оценить критерии оптимизации и экстремальные значения нелинейных амплитудных и импедансных параметров взаимодействующего множества ЭП, исследовать режимы поглощения и усиления колебательной мощности ветвью с негatronом в ходе моделирования волновых процессов методом схем замещения. Отметим, что в современной теории электрических и радиотехнических цепей подобное математическое описание механизма когерентного взаимодействия свободных зарядов и ЭМ поля как и понятия резистивно-негатронного двухполюсника и ВНЭ отсутствуют. Эти операторы корректно иллюстрируют нелинейные процессы в ЭП и характерны именно для ЭВЦ.

Графические (рис.1) и аналитические операторы (1), (2) отображают нелинейное преобразование его выходного и входного напряжений и тока $U_2 = \text{Re}U_2 + j\text{Im}U_2$, $U_1 = \text{Re}U_1 + j\text{Im}U_1$, $I_2 = \text{Re}I_2 + j\text{Im}I_2$, $I_1 = \text{Re}I_1 + j\text{Im}I_1$ на комплексной плоскости. Вместе с тем для оптимизации ЭВЦ с энергетической точки зрения необходимо знать амплитудную и фазовую корреляцию этих величин в разных точках линии с НЭ и диапазонах частот ω воздействия. Из формул (1), (2) видно, что влияние энергоемкой части $B_2(U_2)$ сосредоточенного НЭ сказывается одновременно на активной $\text{Re}U_1(U_2)/U_2$ и реактивной $\text{Im}I_1(U_2)/U_2 Y_0$ составляющей напряжения и тока на входе ВНЭ. Резистивно-негатронная $G_{H2} - G_{e2}(U_2)$ проводимость синхронно варьирует мнимую $\text{Im}U_1(U_2)/U_2$ и действительную $\text{Re}I_2(U_2)/U_2 Y_0$ величину переменных в сечении 1-1' линии. В то же время, в соответствии со схемой (рис.1б), выражения (1), (2) можно анализировать как сумму нормированных токов двух параллельных ветвей и напряжений последовательно включенных элементов цепи Кирхгофа. Они имеют амплитудно-зависимое активное $[\cos\theta - b_2(U_2)\sin\theta]$ и реактивное $[g_{H2} - g_{e2}(U_2)]\sin\theta$ сопротивление, действительную $[g_{H2} - g_{e2}(U_2)]\sin\theta$ и мнимую $[\sin\theta + b_2(U_2)\cos\theta]$ проводимость, зависящие от длины l . Следовательно, изменение свойств ЭВЦ происходит под воздействием единого постоянного и переменного электрического поля. Вместе

с тем, например, выражение (1) комплексной амплитуды U_1 напряжения в линии можно привести к виду:

$$U_1 = U_2 e^{j\theta} - \{b_2(U_2) + j[1 - g_2(U_2)]\} U_2 \sin \theta \quad (3)$$

В правой части равенства (3) первый член соответствует «бегущей» (к сечению 1-1'), а второй – «стоячей» волне напряжения. Тогда, электрическое состояние нелинейной цепи с распределенными параметрами можно изучать как результат сосуществования бегущей волны, обуславливающей амплитудно-зависимую "постоянную" компоненту поля вдоль линии, и стоячей волны, образование которой вызывает его «переменную» составляющую. Суммарное или разностное значение амплитуды U_1 , U_2 «смешанной» волны действует на проводимость двухполюсных НЭ. Выражение (3) позволяет оценить изменение уровня напряжения при композиции сигналов в длинной линии, содержащей активный НЭ. Он является ВИ ЭМ энергии с электрически управляемой реакцией. Именно поэтому в теории ЭВЦ применяется модель электронной ветви в виде негатрона без конкретизации его внутреннего сопротивления, вольтамперной, колебательной и внешней характеристики, интенсивности и частоты воздействия и отклика.

Список используемых источников:

1. Астахов Л.Д., Примакова О.В., Волощенко П.Ю. Исследование однородной электронной цепи СВЧ // *Достижения вузовской науки. Новосибирск: Центр развития научного сотрудничества.* С. 124-129.
2. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Основы системного моделирования электрической структуры интеграции сверхбыстродействующих электронных приборов. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. 94 с.

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

*Исследование амплитудных и частотных
характеристик волнового нелинейного
элемента*

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

*Examination of amplitude and frequency
characteristics of the wave nonlinear element*