

9. Nikolaev, E. V., Makarkin, I. M. (2013). Proverka ispravnosti gidronasosa rulevogo upravlenija. Traktory i sel'hozmashiny, 12, 41.
10. Merkusheva, Ju. E. (2014). Raschetnye shemy gidrosistemy rulevogo upravlenija. Omskij nauchnyj vestnik, 1 (127), 138–140.
11. Domanov, V. I., Domanov, A. V. (2014). Analiz sistemy upravlenija rulevogo mehanizma. Promyshlennye ASU i kontroly, 01, 4–9.
12. Murog, I. A., Dragunov, G. D., Zabolotnikov, A. S. (2013). Reshenie uravnenij matematicheskoj modeli rulevogo upravlenija s usilitelem gidravlicheskoj tipa. Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Mashinostroenie, 13 (1), 22–27.
13. Zhdanov, A. V., Merkusheva, Ju. E. (2013). Teoreticheskie issledovanija rabochih processov, protekajushhijh v raspredeliteljah gidravlicheskih rulevyh mehanizmov. Omskij nauchnyj vestnik, 1 (117), 88–91.
14. Balabanov, V. I. (1999). Povyshenie dolgovechnosti dvigatelej vnutrennego sgoranija sel'skohozjajstvennoj tehniki realizaciej izbiratel'nogo perenosa pri trenii. Moscow: Moskovskij agroinzhenernyj universitet im. V. P. Gorjachkina, 305.
15. Gavriljuk, M. R., Chukmarev, A. S., Vasil'kov, O. A. (1994). Povyshenie jeffektivnosti smazocznyh materialov. Jeffekt bezyznosnosti i tribotehnologii, 1, 40–42.
16. Dzhost, P. (1996). Tribologija – istoki i perspektivy (doklad). Mirovye dostizhenija v oblasti tribologii. Trenie i iznos, 7 (4), 593–603.
17. Djakin, S. I. (1994). Opyt povyshenija nadezhnosti i resursa uzlov trenija s ispol'zovaniem metalloplakirujushhijh smazocznyh materialov. Jeffekt bezyznosnosti i tribotehnologii, 3-4, 3–9.
18. Zajcev, V. O. (2001). Udoskonalennja tehnologii kontrolju ta diagnostuvannja gil'z cilindriv teplovoznih dizeliv. Kharkiv, 156.
19. Kogaev, V. P., Drozdov, Ju. N. (1991). Prochnost' i iznosostojkost' detalej mashin. Moscow: Vyssh. shk., 319.
20. Nekrasov, S. S., Strel'cov, V. V. (1997). Primenenie masel s metalloplakirujushhimi prisadkami v karbjuratornyh dvigateljah. Jeffekt bezyznosnosti i tribotehnologii, 2, 66–71.
21. Poljakov, A. A. (1996). Trenie na osnove samoorganizacii. Jeffekt bezyznosnosti i tribotehnologii, 3-4, 47–122.
22. NANO-tehnologii i ih primenenie. Patent Respubliki Uk-raina №2442A s prioritetom ot 22.04.97.
23. Cypkin, V. I., Strel'cov, V. V. (1994). Issledovanie svojstv sverhtonkih poroshkov metal-lov, dobavljajemyh v smazocznye masla dlja realizacii jeffekta izbiratel'nogo perenosa pri trenii. Jeffekt bezyznosnosti i tribotehnologii, 3-4, 39–47.
24. Daleka, V. H., Goltvjans'kij, M. A. (2004). Remont ruhomogo skladu mis'kogo elektrotransportu. Kharkiv; HNAMG, 306.
25. Sergeev, V. P. (1984). Avtotraktornyj transport. Moscow, 304.
26. Kolchin, A. I. (1971). Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej. Moscow.
27. Orlin, A. I. (1970). Dvigateli vnutrennego sgoranija. Moscow, 384.
28. GOST 12.0.003-74. SSBT. Opasnye i vrednye proizvodstvennye faktory. Klassifikacija. Available at: http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_12000374_SSBT_Opasnye_i_v.html
29. GOST 12.1.007-76 SSBT. Vrednye veshhestva. Available at: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/4/4655/index.php

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Калкаманов С.А.
Дата надходження рукопису 09.08.2014

Зубенко Денис Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра "Електричного транспорту", Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Революції, 12, м. Харків, 61002
E-mail: Denis04@ukr.net

УДК 621.396.67

ХАОТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТОНКОПРОВОЛОЧНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ С НЕЛИНЕЙНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ИМПЕДАНСА

© А. И. Лучанинов, Д. С. Гавва, С. Р. Уайд

Рассмотрены результаты моделирования неконвергентных устройств. Приведены результаты исследования для тонкопроволочного излучателя с нелинейными свойствами поверхностного импеданса. Показано, что в режиме сильной нелинейности присутствуют явные признаки режима динамического хаоса

Ключевые слова: нелинейность, конвергентность, динамический хаос

The work examines simulation results for non-convergent devices. Investigation results for a thin-wire radiator with non-linear surface impedance are represented. It is demonstrated that explicit attributes of the dynamic chaos regime are observed in the strong nonlinearity mode

Keywords: nonlinearity, convergence, dynamic chaos

1. Введение

Современные телекоммуникационные системы активно используют беспроводные каналы передачи данных. При этом одним из основных

компонентов в них являются антенные системы. Для улучшения характеристик и возможностей последних, сегодня применяют и новые материалы конструкций и новые подходы, при которых в

электродинамическую структуру антенны включаются различного рода управляющие элементы, позволяющие изменять электрическую конфигурацию антенны и проводить определенную обработку сигнала еще до поступления его на вход приемного тракта. Как правило эти материалы (например, высокотемпературные сверхпроводники) и управляющие элементы (полевые транзисторы, переключающие диоды, MEMS-переключатели и т.п.) в той или иной степени обладают нелинейными свойствами. Данное обстоятельство приводит к тому, что поверхностный импеданс антенн становится нелинейным, и, соответственно, антенна в целом уже является нелинейным устройством, обладающим целым рядом свойств, которые не присущи устройствам с линейными характеристиками. Одним из таких свойств является свойство конвергентности [1, 2]. Под конвергентным понимается такое устройство, у которого при периодическом внешнем воздействии вне зависимости от начальных условий существует единственный установившийся периодический режим с тем же периодом, что и период внешнего воздействия. Если нелинейное устройство не является конвергентным, то его режим при периодическом внешнем воздействии не обязательно является периодическим и может иметь более сложный характер (например, режим динамического хаоса). Изучение возможностей возникновения таких режимов является одной из актуальных задач анализа нелинейных электродинамических устройств.

2. Анализ литературных данных и постановка задачи

В [3, 4] показано, что электродинамические устройства (ЭДУ), обладающие поверхностным импедансом индуктивного или емкостного характера являются неконвергентными устройствами. Ранее, в большинстве работ по исследованию нелинейных эффектов, возникающих в разнообразных ЭДУ с включенной сосредоточенной нелинейностью [5-9] и с распределенным нелинейным поверхностным импедансом [10 - 12]) для расчета их режима применялись методы анализа в частотной области и, в частности, либо метод гармонического баланса, либо его модификации, либо метод рядов Вольтерра. Однако, использование указанных методов предполагает априорное задание конечного набора дискретных частот тех колебаний, которые могут существовать в исследуемом устройстве. При таком подходе существует риск пропустить режим образования колебаний, в спектре которых могут существовать частоты, не учитываемые в процессе анализа. Вследствие этого, указанные методы практически неприменимы для моделирования устройств с сильной нелинейностью, колебания в которых имеют непрерывный спектр, что характерно для хаотических колебаний [13]. В этом случае более корректным является анализ устройства во временной области. Такой подход использован в некоторых работах (см. например, [14, 15]). Однако авторы этих работ рассматривали только случай, когда в электродинамическую структуру включены

нелинейные элементы с сосредоточенными параметрами.

В настоящей работе рассматривается задача исследования нелинейного режима ЭДУ с распределенным нелинейным поверхностным импедансом в следующей постановке.

В качестве исследуемой структуры выбран показанный на рис. 1 прямолинейный вибратор в свободном пространстве, на участке поверхности которого от z_{NLmin} до z_{NLmax} выполняются нелинейные граничные условия вида:

$$\mathbf{n} \times \mathbf{E}(z, t) = \mathbf{n} \times \left[\mathbf{n} \times \mathbf{h}_0 \hat{Z}_s(z, |\mathbf{H}(z, t)|) \right], \quad (1)$$

где: $\mathbf{E}(z, t)$ и $\mathbf{H}(z, t)$ – мгновенные значения векторов напряженности электрического и магнитного полей на поверхности проводника в в точке с продольной координатой ξ ; \mathbf{n} – нормаль к поверхности проводника в той же точке; $\hat{Z}_s[\cdot]$ - нелинейный оператор, описывающий свойства поверхностного импеданса проводника; \mathbf{h}_0 – единичный вектор, определяющий направление $\mathbf{H}(z, t)$.

Рассмотрено монохроматическое возбуждение данной структуры на частоте $\omega_0 = 2\pi f_0$ (длина волны λ_0). Диаметр проводников выбран таким образом, чтобы на частоте наивысшей спектральной составляющей f_{max} выполнялись условия тонкопроволочного приближения $a \ll \lambda_{min} = c / f_{max}$. Значение f_{max} было оценено по результатам предварительных расчетов и принято равным $f_{max} = 30$ ГГц.

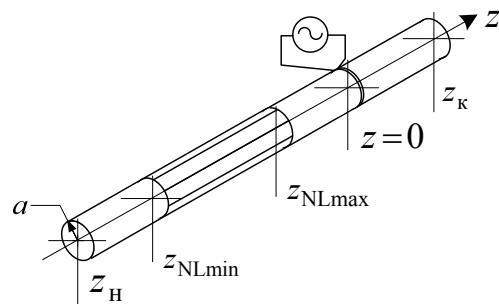


Рис. 1. Эскиз моделируемой структуры с нелинейным поверхностным импедансом

Основное внимание уделено анализу особенностей режима неконвергентных нелинейных электродинамических устройств. Поэтому, предполагается, что поверхностный импеданс излучателя на участке от z_{NLmin} до z_{NLmax} имеет индуктивный характер. В этом случае оператор \hat{Z} можно записать в виде:

$$\mathbf{n} \times \left[\mathbf{n} \times \mathbf{h}_0 \hat{Z}_s(z, |\mathbf{H}(z, t)|) \right] = \mathbf{n} \times \left\{ \mathbf{n} \times \mathbf{h}_0 \hat{L}[\xi, |\mathbf{H}(z, t)|] \frac{d}{dt} |\mathbf{H}(z, t)| \right\}. \quad (2)$$

Здесь $\hat{L}[\cdot]$ - оператор, описывающий индуктивность поверхностного импеданса проводника.

Расчет нелинейного режима был основан на решении нелинейных интегральных уравнений, полученных в [10] и детально рассмотренных в [16].

Усредненная величина эквивалентной нелинейной индуктивности, необходимая для вычисления элементов вектора $\aleph[I(z,t)] = (\aleph_1, \aleph_2, \dots, \aleph_M)^T$ ([16]), может быть получена путем умножения (2) на весовые функции и интегрирования вдоль проводников излучателя. При использовании кусочно-постоянных базисных и весовых функций $\Phi_n^{(N)}(z)$ [16] для $\aleph[I(z,t)]$ получим:

$$\aleph[I(z,t)] = L(I(z,t)) \frac{dI(z,t)}{dt}, \quad (3)$$

где: $L(I(z,t)) = \Delta z \hat{L}[z, I(z,t) / (2\pi a)]$, Δz - интервал определения базисной функции, которой принадлежит точка z , $I(z,t)$ - временная зависимость полного тока через поперечное сечение проводника с координатой z .

Все приведенные ниже результаты получены для полиномиальной зависимости индуктивности от тока в виде:

$$L(I(z,t)) = L_0(z) + L_2(z)I^2(z,t), \quad (4)$$

где: $L_0(z)$ и $L_2(z)$ - коэффициенты, описывающие линейную и нелинейную части индуктивности.

В ходе исследований, описанных в данной работе, основное внимание уделялось влиянию нелинейности импеданса и поэтому было положено $L_0(z) = 0$. Полагалось также, что вся поверхность вибратора обладает одинаковым импедансом, т.е. $z_{NL \min} = z_n$, $z_{NL \max} = z_n$, $L_2(z) = L_2 = const$.

Для расчетов использованы два пакета программ - NANO_WIRE (разработан на кафедре OPT ХНУРЭ) и AWR DESIGN ENVIRONMENT (AWRDE) компании Applied Wave Research [17]. При помощи первой из них определялись матрицы собственных и взаимных сопротивлений вибраторов с линейным поверхностным импедансом на частотах от 1 Гц до 30 ГГц с шагом 250 МГц. Для расчета характеристик линейной части интегрального уравнения базисные функции были определены на интервале $\Delta z = (z_n - z_n) / 20$. Полученные результаты, описывающие электродинамические структуры в виде многополюсника с линейными параметрами затем импортировались в AWRDE как внешние файлы формата Touchstone. Далее на основе таких многополюсников формировалась эквивалентная схема (см. [16]) антенны или рассеивателя с нелинейными свойствами поверхностного импеданса. Режим полученной схемы проводился во временной области. Результатом расчета являлось распределение тока вдоль излучателя $I(z,t)$.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследований заключалась в поиске возможности получения режима динамического хаоса в описанной выше электродинамической структуре за счет выбора величины нелинейности поверхностного импеданса и/или уровня возбуждения.

Для достижения данной цели следует провести расчет распределения тока при различных значениях L_2 . В ходе расчетов величина L_2 изменялась от 0,1 мкГн/А² до 100 мкГн/А², то есть от "слабой" и до "сильной" нелинейности импеданса. При этом контролировались спектр и вид временной зависимости тока в заранее выбранном сечении излучателя z_{ind} . Так как характеристика нелинейности определена соотношением (4), то для конвергентного устройства спектр $I(z_{ind}, t)$ будет дискретным и в нем должны присутствовать только высшие гармоники с нечетными номерами. Предполагалось, что в устройстве существует хаотический режим если выполняются следующие условия:

а) спектр колебания $I(z_{ind}, t)$ является непрерывным;

б) вид временной зависимости $I(z_{ind}, t)$ существенно изменяется при незначительном изменении уровня внешнего воздействия.

Поэтому на первом этапе решалась задача решалась задача определения временной зависимости и спектра $I(z_{ind}, t)$ при заданном значении L_2 и заданном уровне внешнего воздействия P_{in} . Если в результате расчета наблюдалось появление спектральных составляющих с четными номерами или колебания имели непрерывный спектр, т.е. выполнялось условие а), то на втором этапе проводился расчет $I(z_{ind}, t)$ при малых отклонениях от P_{in} (проверялось выполнение условия б)).

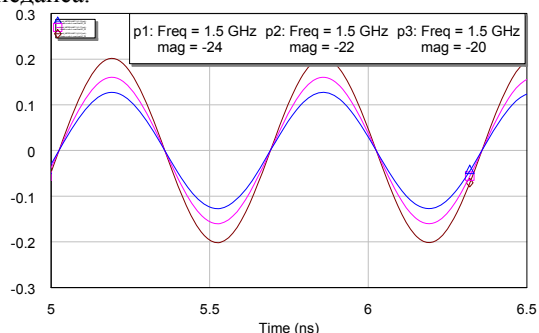
4. Нелинейный режим полуволнового вибратора с НПИ

Результаты моделирования методом гармонического баланса показали, что при относительно слабой нелинейности поверхностного импеданса электродинамической структуры ($L_2 = 0,1$ мкГн/А²) существует почти линейная зависимость уровня мощности возбужденного сигнала от уровня входного воздействия на основной частоте и нечетных гармониках, то есть в устройстве наблюдается режим "слабой" нелинейности и нет образования четных гармоник в отклике устройства.

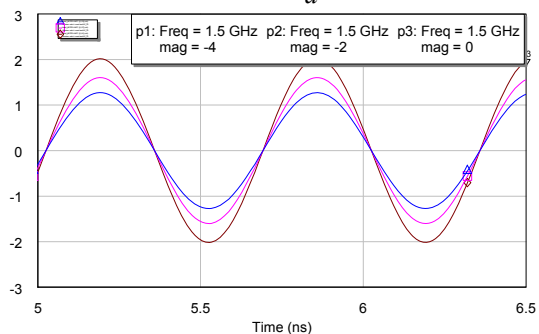
Рост нелинейности поверхностного импеданса приводит к тому, что при определенных уровнях входного воздействия $P_{in} \sim 12$ дБм) и значении коэффициента L_2 порядка нескольких мкГн/А², наблюдается довольно резкий рост четных гармоник (второй, четвертой), что нельзя объяснить только лишь возрастанием уровня нелинейных искажений за счет роста уровня входного воздействия. Генерация четных гармоник может быть объяснена лишь тем, что анализируемое устройство теряет свойство конвергентности. В этом случае, как было отмечено ранее, при расчете нелинейного режима, метод гармонического баланса не применим из-за того, что изначально предполагается существование установившегося периодического режима с заранее

известным периодом основной частоты. Поэтому в дальнейшем в AWRDE применялись методы анализа во временной области (режим APlac Transient).

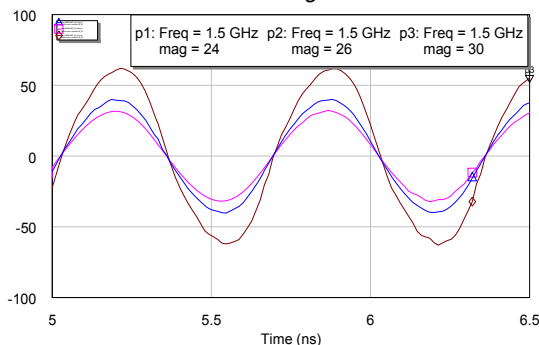
Используя данный режим, для различных уровней возбуждения и значений НПИ, были рассчитаны временные зависимости тока $I(z_{ind}, t)$ при $z_{ind} - z_n = 0,2\lambda_0$ и его спектральные плотности. Так, для временных зависимостей токов характерно то, что форма сигнала практически не изменяется при относительно низких уровнях входного воздействия (-30 – 0 дБм) и различных коэффициентах L_2 (рис. 2, а, б - рис. 5, а, б). При этом амплитуда $I(z_{ind}, t)$ зависит от уровня входного воздействия и практически не зависит от степени нелинейности импеданса.



а



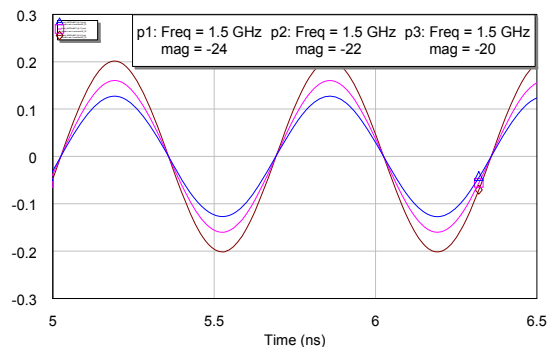
б



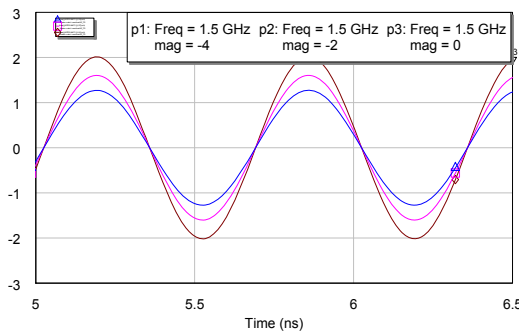
в

Рис. 2. Временные зависимости тока $I(z_{ind}, t)$ при $z_{ind} - z_n = 0,2\lambda_0$, $L_2 = 0,1$ мкГн/А² и различных уровнях входного воздействия: а – $P_{in} = -24$ дБм, $P_{in} = -22$ дБм, $P_{in} = -20$ дБм; б – $P_{in} = -4$ дБм, $P_{in} = -2$ дБм, $P_{in} = 0$ дБм; в – $P_{in} = 24$ дБм, $P_{in} = 26$ дБм, $P_{in} = 30$ дБм;

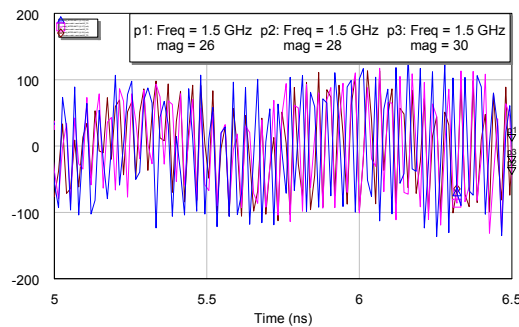
Если вибратор возбуждается достаточно большим уровнем мощности $P_{in} \sim (25...30)$ дБм, то проявляется зависимость от коэффициента L_2 не только амплитуды тока, но и изменение вида временной зависимости тока (рис. 2, в - рис. 5, в). При этом есть определенные значения нелинейности поверхностного импеданса (в нашем случае $L_2 = 1...10$ мкГн/А²), где незначительные изменения мощности возбуждения $P_{in} \pm 2$ дБм существенно изменяют форму $I(z_{ind}, t)$. В некоторых случаях наблюдается отличие частоты колебаний тока от частоты внешнего возбуждения (рис. 6, а - б).



а



б



в

Рис. 3. Временные зависимости тока $I(z_{ind}, t)$ при $z_{ind} - z_n = 0,2\lambda_0$, $L_2 = 1$ мкГн/А² и различных уровнях входного воздействия: а – $P_{in} = -24$ дБм, $P_{in} = -22$ дБм, $P_{in} = -20$ дБм; б – $P_{in} = -4$ дБм, $P_{in} = -2$ дБм, $P_{in} = 0$ дБм; в – $P_{in} = 26$ дБм, $P_{in} = 28$ дБм, $P_{in} = 30$ дБм

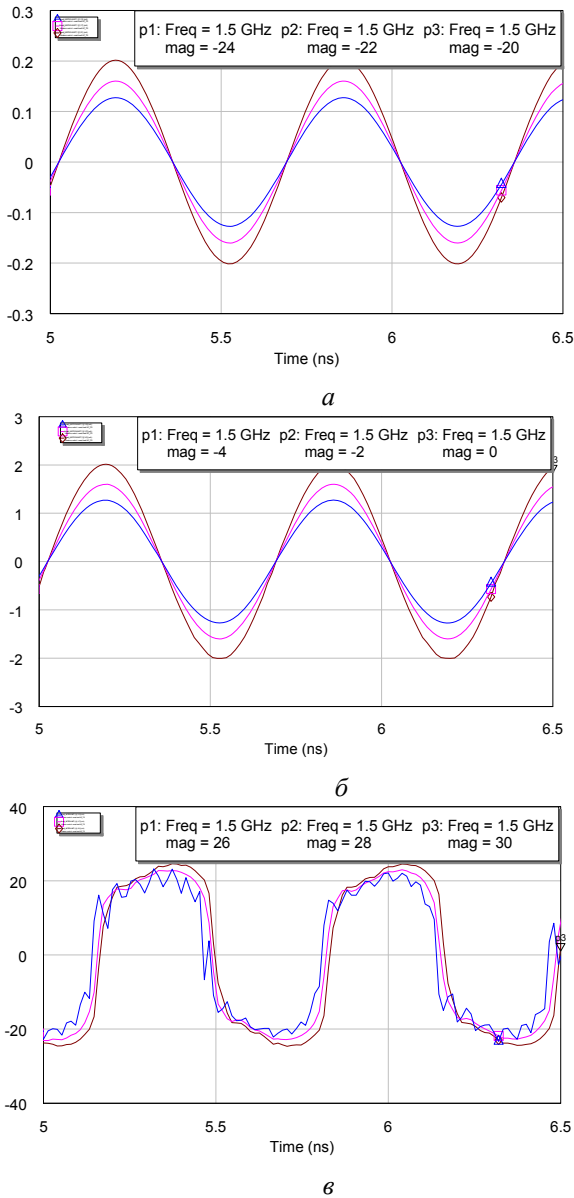


Рис. 4. Временные зависимости тока $I(z_{ind}, t)$ при $z_{ind} - z_n = 0,2\lambda_0$, $L_2 = 10$ мкГн/А² и различных уровнях входного воздействия: а – $P_{in} = -24$ дБм, $P_{in} = -22$ дБм, $P_{in} = -20$ дБм; б – $P_{in} = -4$ дБм, $P_{in} = -2$ дБм, $P_{in} = 0$ дБм; в – $P_{in} = 26$ дБм, $P_{in} = 28$ дБм, $P_{in} = 30$ дБм

Последнее видно на графиках спектральной плотности тока (рис. 7, б). Заметно, что при значительных мощностях возбуждения $P_{in} = 30$ дБм и $L_2 = 1$ мкГн/А² в спектре появляются высокочастотные составляющие (см. область вблизи частот 25–27 ГГц) значительного уровня. При входном воздействии малого уровня ($P_{in} = 0$ дБм) и небольших нелинейностях поверхностного импеданса ($L_2 = 1$ мкГн/А²) уровень высокочастотных составляющих спектра меньше уровня основной составляющей на (-40 ...-100) дБ (рис. 7, а). При росте нелинейности в этом спектре появляются составляющие с частотами 3-й, 5-й, 7-й гармоник (рис.7, в, г), что и приводит к изменению вида временной зависимости тока $I(z_{ind}, t)$

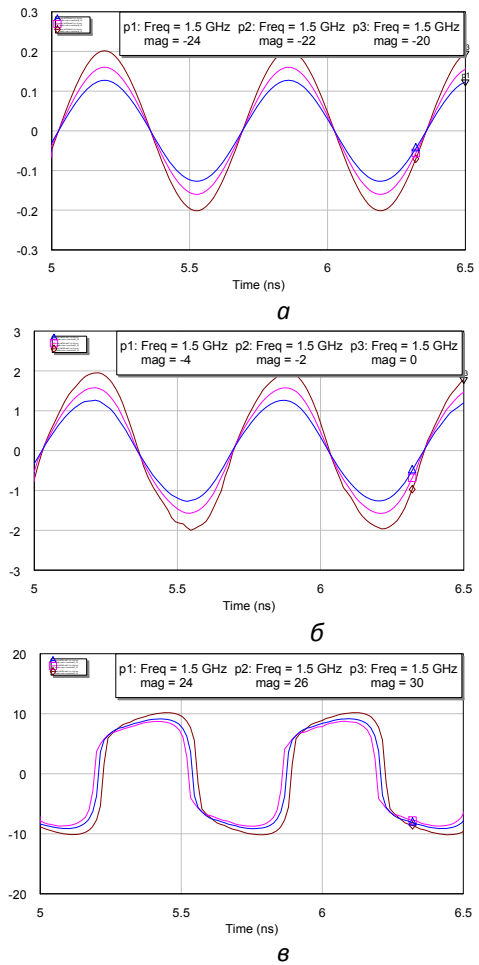


Рис. 5. Временные зависимости тока $I(z_{ind}, t)$ при $z_{ind} - z_n = 0,2\lambda_0$, $L_2 = 100$ мкГн/А² и различных уровнях входного воздействия: а – $P_{in} = -24$ дБм, $P_{in} = -22$ дБм, $P_{in} = -20$ дБм; б – $P_{in} = -4$ дБм, $P_{in} = -2$ дБм, $P_{in} = 0$ дБм; в – $P_{in} = 24$ дБм, $P_{in} = 26$ дБм, $P_{in} = 30$ дБм

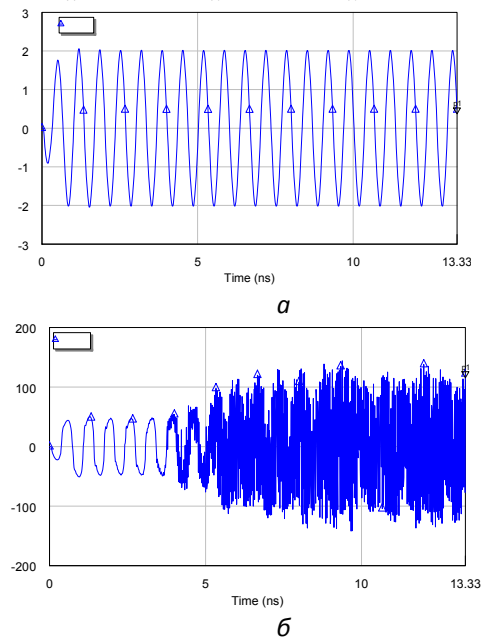


Рис. 6. Временные зависимости тока $I(z_{ind}, t)$ при $z_{ind} - z_n = 0,2\lambda_0$ при $L_2 = 1$ мкГн/А²: а – $P_{in} = 0$ дБм, б – $P_{in} = 30$ дБм

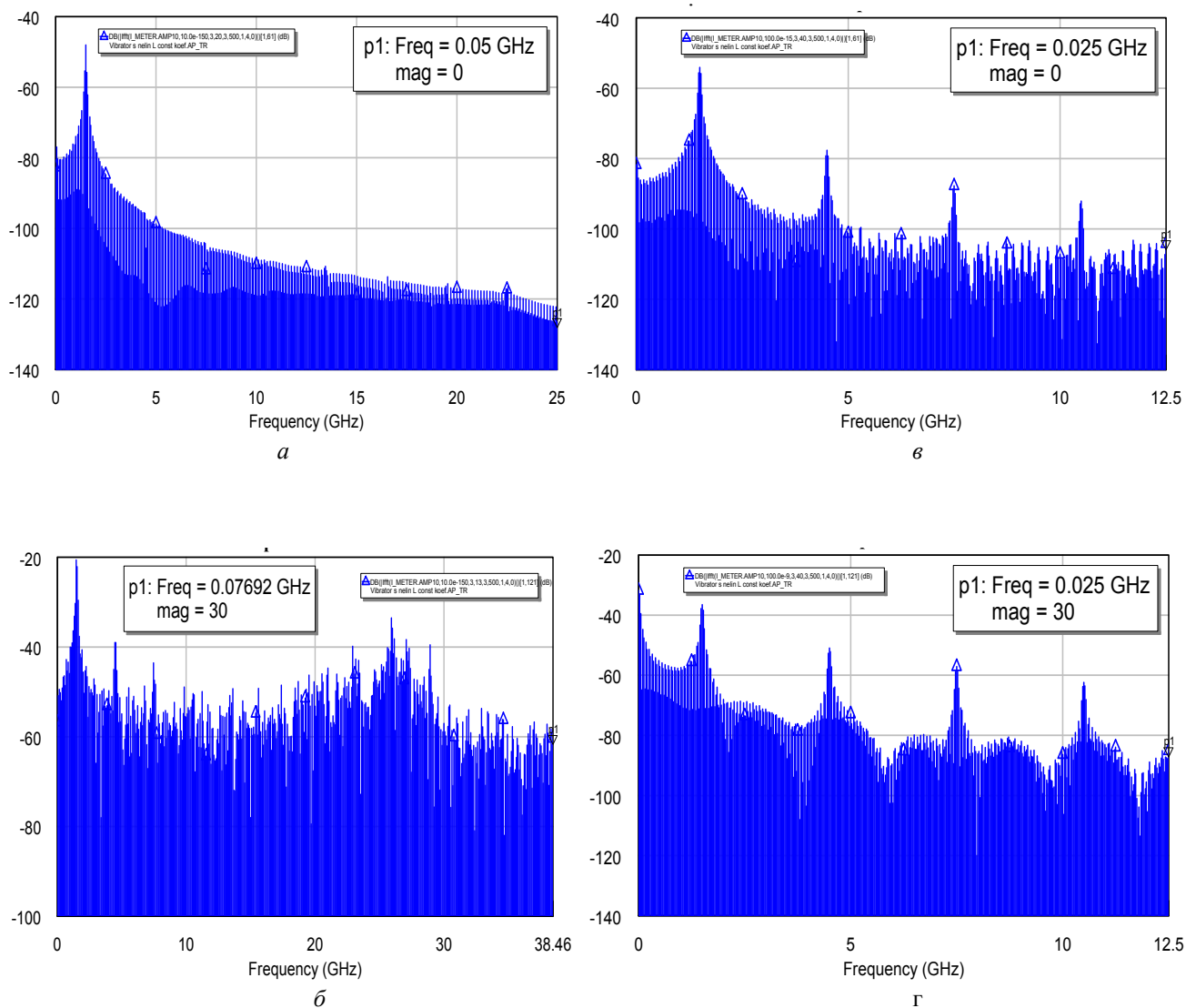


Рис. 7. Спектральные плотности тока $I(z_{ind}, t)$ при $z_{ind} - z_n = 0, 2\lambda_0$, различных уровнях возбуждения P_{in} и степени нелинейности поверхностного импеданса L_2 : а – $P_{in} = 0$ дБм, $L_2 = 1$ мкГн/А²; б – $P_{in} = 30$ дБм, $L_2 = 1$ мкГн/А²; в – $P_{in} = 0$ дБм, $L_2 = 100$ мкГн/А²; г – $P_{in} = 30$ дБм, $L_2 = 100$ мкГн/А²

Представляет интерес поведение нелинейного ЭДУ при изменении частоты внешнего воздействия. Для этого были проведены исследования поведения $I(z_{ind}, t)$ при возбуждении вибратора синусоидальным колебанием с частотой $f_0 = 3$ ГГц, результаты которых приведены на рис. 8. Существенное отличие от предыдущего случая заключается в том, что режим с признаками динамического хаоса наблюдается в значительно

большем диапазоне изменений степени нелинейности (значение L_2) и уровня внешнего воздействия (P_{in}) (рис. 8, а–е). При этом в большей мере проявляются хаотические процессы связанные с генерацией гармоник и субгармоник, многократным увеличением периода колебаний при различных начальных условиях, причем даже при низких значениях нелинейности поверхностного импеданса

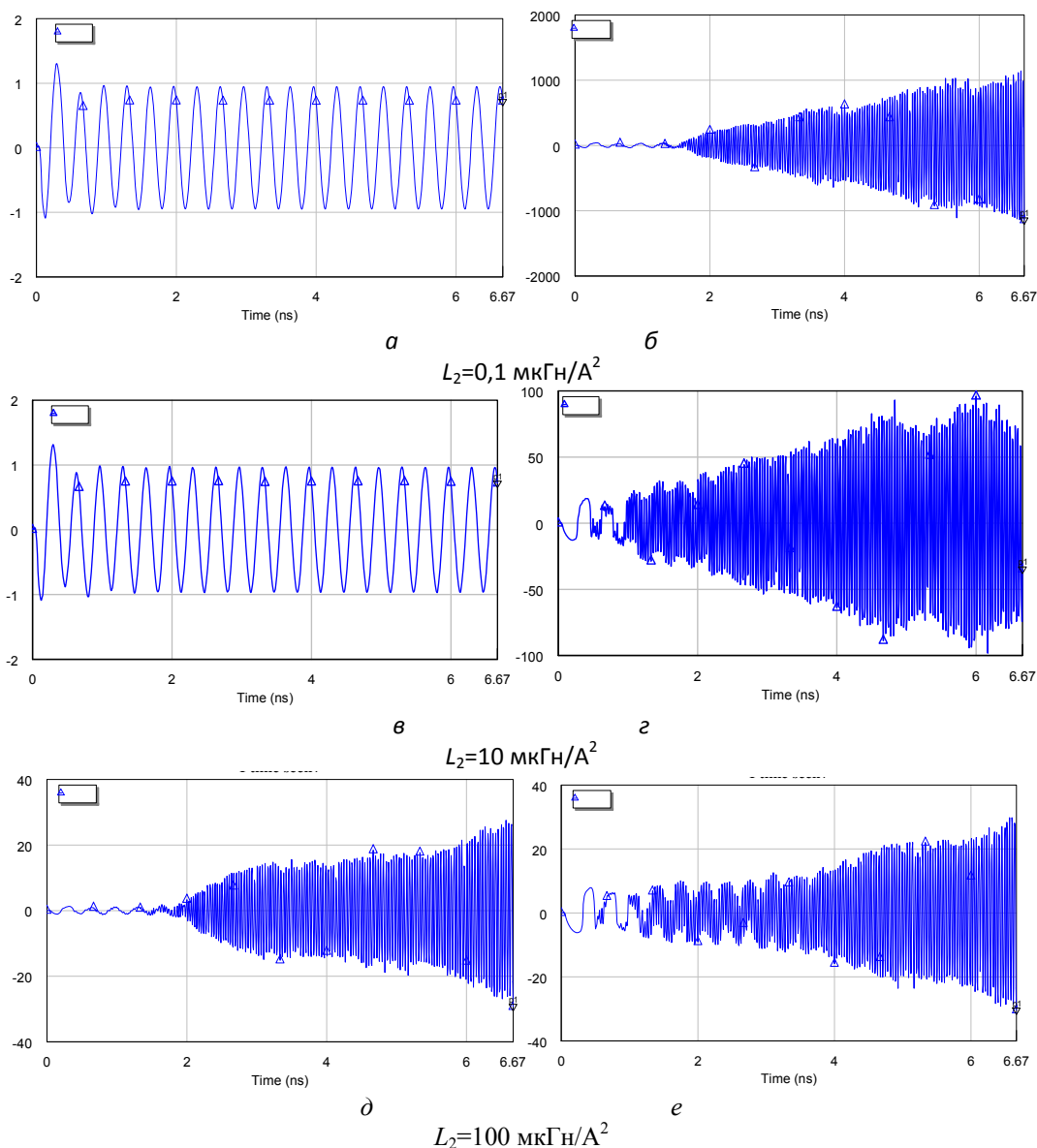


Рис. 8. Временные зависимости тока $I(z_{ind}, t)$ при $z_{ind} - z_n = 0,4\lambda_0$, различных уровнях стороннего возбуждения и разной степени НПИ L_2 . (возбуждение на частоте $f_0 = 3 \text{ ГГц}$): а – $P_{in} = 0 \text{ дБм}$, $L_2 = 0,1 \text{ мкГн/А}^2$; б – $P_{in} = 30 \text{ дБм}$, $L_2 = 0,1 \text{ мкГн/А}^2$; в – $P_{in} = 0 \text{ дБм}$, $L_2 = 10 \text{ мкГн/А}^2$; г – $P_{in} = 30 \text{ дБм}$, $L_2 = 10 \text{ мкГн/А}^2$; д – $P_{in} = 0 \text{ дБм}$, $L_2 = 100 \text{ мкГн/А}^2$; е – $P_{in} = 30 \text{ дБм}$, $L_2 = 100 \text{ мкГн/А}^2$

Сравнивая приведенные зависимости можно видеть также, что для существования режима динамического хаоса условия, соответствующие меньшей нелинейности (L_2) и большему уровню входного воздействия (P_{in}) и условия соответствующие большей нелинейности поверхностного импеданса но меньшему уровню входного воздействия – эквивалентны.

6. Выводы

На примере вибратора с нелинейными свойствами поверхностного импеданса показано, что в нелинейных электродинамических устройствах с индуктивным характером НПИ режимы слабой и сильной нелинейности имеют существенные различия. При этом, в режиме сильной нелинейности не соблюдаются условия конвергентности и при

определенных значениях нелинейности и уровня внешнего воздействия наблюдаются явные признаки режима динамического хаоса: непрерывный спектр колебаний; сильная зависимость формы колебаний тока от незначительных изменений начальных условий. Учитывая, что в настоящее время наблюдается значительный интерес к использованию хаотических сигналов в системах связи, представляется целесообразным дальнейшее проведение более детальных исследований в этом направлении.

Литература

1. Данилов, Л. В. Нелинейные конвергентные электрические цепи [Текст] / Л. В. Данилов // Теоретическая электротехника. – 1970. – Вып. 9. – С. 87–93.

2. Сеницкий, Л. А. О периодическом режиме в электрической цепи, содержащей нелинейные сопротивления [Текст] / Л. А. Сеницкий // Автоматический контроль и измерительная техника. Киев, АН УССР. – 1960. – Вып. 4. – С. 54–57.

3. Лучанинов, А. И. Электродинамические устройства с нелинейными свойствами поверхностного импеданса. Условие конвергентности [Текст] / А. И. Лучанинов, В. В. Журбенко // Радиотехника. — 2005. — Вып. 140. — С. 19–27.

4. Luchaninov, A. I. Convergence Condition for Non-Linear Electrodynamic Devices [Text] / A. I. Luchaninov, D. S. Gavva, E. V. Krikun. - Radioelectronics and Communications Systems. - 2011. - Vol. 54, Issue 2. - P. 104-113. doi:10.3103/s0735272711020063

5. Франческетти, Дж. Антенны с нелинейной нагрузкой [Текст] / Дж. Франческетти, И. Пинто ; под ред. П. Усленги. – Нелинейные электромагнитные волны. - М.: Мир, 1983. - С. 221–249.

6. Шифрин, Я. С. Антенны с нелинейными элементами. Справочник по антенной технике. Т. 1. [Текст] / Я. С. Шифрин, А. И. Лучанинов; под ред. Л. Д. Бахраха и Е. Г. Зелкина. – М.: Изд-во ИПРЖР, 1997. – С. 207–235.

7. Шифрин, Я. С. Структурная модель антенны с нелинейными элементами [Текст] / Я. С. Шифрин, А. И. Лучанинов, А. С. Посохов // Радиотехника. — 2001. — Вып. 122. — С. 22–34.

8. Sheshyekani, K. A Combined MoM-AOM Approach for Frequency Domain Analysis of Nonlinearly Loaded Antennas in Presence of a Lossy Ground [Text] / K. Sheshyekani, S. H. Sadeghi, R. Moini // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. - 2008. - Vol. 56, Issue 6. - P. 1717-1724. doi:10.1109/tap.2008.923352

9. Зінченко, М. В. Моделювання ансамблю симетричних вібраторів з нелінійними навантаженнями рядами Вольterra-Пікара [Текст] / М. В. Зінченко, Ю. Ф. Зінковський // Вісник КПІ. Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. - 2010. - Вип. 41. - С. 148-156.

10. Шифрин, Я. С. Анализ антенн с распределенной нелинейностью [Текст] : сб. ст. / Я. С. Шифрин, А. И. Лучанинов, М. А. Омаров // Антенны. - 2000. - Вып. 1(44). - С. 70–83.

11. Collado, C. Nonlinear Simulation and Characterization of Devices with HTS Transmission Lines Using Harmonic Balance Algorithms [Text] / C. Collado, J. Mateu, J. M. O'Callaghan // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. - 2001. - Vol. 11, Issue 1. - P. 1396-1399. doi:10.1109/77.919612

12. Лучанинов, А. И. Исследование свойств нелинейных неконвергентных электродинамических устройств [Текст] / А. И. Лучанинов, Д. С. Гавва, Е. В. Крикун, Ю. В. Вишнякова, В. А. Назаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 6, № 5 (54). - С. 68-72.

13. Лоскутов, А. Ю. Введение в синергетику [Текст] / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

14. Landt, J. A. Network loading of thin-wire antennas and scatterers in the time domain [Text] / J. A. Landt // Radio Science. - 1981. - Vol. 16, Issue 6. - P. 1241-1247. doi:10.1029/rs016i006p01241

15. Porti, J. A. Numerical Analysis of Wire Antennas Loaded with Varistor-Composite Materials [Text] / J. A. Porti, J. A. Morente // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. - 1994. - Vol. 36, Issue 1. - P. 23-31. doi:10.1109/15.265476

16. Гавва, Д. С. Расчет параметров проволочных излучающих структур произвольной конфигурации [Текст] / Д. С. Гавва, А. И. Лучанинов, М. А. Омаров,

В. М. Шокало; под ред. Б. Л. Кашеева, Е. Г. Прошкина, М. Ф. Лагутина. – Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли. – Харьков, 2002. – С. 399-425.

17. AWR Design Environment 2010. User Guide [Text] / AWR Corporation, 2010. - 378 p.

References

1. Danilov, L. V. (1970). Nelinejnye konvergentnye jelektricheskie cepi. Teoreticheskaja jelektrrotehnika, 9,87–93.

2. Sinickij, L. A. (1960). O periodicheskom rezhime v jelektricheskoj cepi, soderzhashhej nelinejnye soprotivlenija. Avtomaticheskij kontrol' i izmeritel'naja tehnika. Kiev, AN USSR, 4, 54–57.

3. Luchaninov, A. I., Zhurbenko, V. V. (2005). Jelektrodinamicheskie ustrojstva s nelinejnymi svojstvami poverhnostnogo impedansa. Uslovie konvergentnosti. Radiotehnika, 140, 19–27.

4. Luchaninov, A. I., Gavva, D. S., Krikun, E. V. (2011). Convergence condition for non-linear electrodynamic devices. Radioelectron.Commun.Syst., 54 (2), 104–113. doi:10.3103/s0735272711020063

5. Fpanchesketti, Dzh., Pinto, I.; Uslengi, P. (Ed.) (1983). Antenny s nelinejnoj nagpuzkoj. Nelinejnye jelektpomagnitnye volny. Moscow: Mir, 221–249.

6. Shifrin, Ja. S., Luchaninov, A. I.; Bahrah, L. D., Zelkin, E. G. (Ed.) (1997). Antenny s nelinejnymi jelementami. Spravochnik po antennoj tehnike. Vol. 1. Moscow: Izd-vo IPRZhR, 207–235.

7. Shifrin, Ja. S., Luchaninov, A. I., Posohov, A. S. (2001). Strukturnaja model' anteny s nelinejnymi jelementami. Radiotehnika, 122, 22–34.

8. Sheshyekani, K., Sadeghi, S. H. H., Moini, R. (2008). A Combined MoM-AOM Approach for Frequency Domain Analysis of Nonlinearly Loaded Antennas in the Presence of a Lossy Ground. IEEE Trans. Antennas Propagat., 56 (6), 1717–1724. doi:10.1109/tap.2008.923352

9. Zinchenko, M. V., Zin'kovs'kyj, Ju. F. (2010). Modeljuvannja ansamblju symetrychnyh vibratoriv z nelinijnmy navantazhennjamy rjadjamy Vol'terra-Pikara. Visnyk KPI. Serija Radiotehnika. Radioaпаратobuduvannja, 41, 148–156.

10. Shyfrin, Ja. S., Luchanynov, A. Y., (2000). Omarov, M. A. Analiz antenn s raspredelenoj nelynejnost'ju. Antenni, 1 (44), 70–83.

11. Collado, C., Mateu, J., O'Callaghan, J. M. (2001). Nonlinear simulation and characterization of devices with HTS transmission lines using harmonic balance algorithms. IEEE Trans. Appl. Supercond., 11 (1), 1396–1399. doi:10.1109/77.919612

12. Luchaninov, A. I., Gavva, D. S., Krikun, E. V., Vishnjakova, Ju. V., Nazarenko, V. A. (2011). Investigation of the properties of nonlinear non-convergent electrodynamic devices. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/5(54), 68–72.

13. Loskutov, A. Ju., Mihajlov, A. S. (1990). Vvedenie v sinergetiku. Moscow: Nauka, 272.

14. Landt, J. A. (1981). Network loading of thin-wire antennas and scatterers in the time domain. Radio Science, 16 (6), 1241–1247. doi:10.1029/rs016i006p01241

15. Porti, J. A., Morente, J. A. (1994). A numerical analysis of wire antennas loaded with varistor-composite materials. IEEE Trans. Electromagn. Compat., 36(1), 23–31. doi:10.1109/15.265476

16. Gavva, D. S., Luchaninov, A. I., Omarov, M. A., Shokalo, V. M.; Kashheeva, B. L., Proshkina, E. G., Lagutina, M. F. (Ed.) (2002). Raschet parametrov provolochnyh izluchajushhh struktur proizvol'noj konfiguracii. Distancionnye

metody i sredstva issledovaniya processov v atmosfere Zemli.
Khar'kov, 399–425.

17. AWR Design Environment 2010. User Guide
(2010). AWR Corporation, 378.

Дата надходження рукопису 10.08.2014

Лучанинов Анатолий Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра основ радиотехники, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: ailuchaninov@yahoo.com

Гавва Дмитрий Сергеевич, Кандидат технических наук, доцент, кафедра основ радиотехники, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: gavvads@gmail.com

Сальман Рашид Уайд, аспирант, кафедра основ радиотехники, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: owaidsalman@yahoo.com

УДК 361.31

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО АДАПТЕРА ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

© Ю.Ю. Бсловол

В статті обґрунтовано доцільність застосування технології смугового обробітку ґрунту в лісостеповій зоні України та визначено перспективні напрямки вдосконалення ґрунтообробних знарядь для її виконання. Для запропонованого технічного рішення вертикально-смугового адаптера аналітично визначено оптимальні показники кінематичного режиму та кількості робочих елементів. За результатами експериментальних досліджень оптимізовано параметри адаптера згідно показників якості.

Ключові слова: смуговий обробіток ґрунту, вертикально-фрезерний адаптер, оптимізація параметрів, показники якості

The feasibility of strip-till technology using in the forest-steppe zone of Ukraine is grounded in the article and the perspective areas for improvement tools for strip-till technology are determined. The optimal kinematic mode of operation and the number of work items have been identified for the proposed technical solutions vertical milling adapter. In the article the feasibility of technology bandpass cultivation in the steppe zone of Ukraine and identifies promising areas for improvement tillage tools for its implementation. The proposed technical solution vertically-band adapter analytically the optimal values of the kinematic regime and the number of work items. According to experimental results the adapter quality is optimized.

Keywords: strip-till, vertical milling adapter, parameter optimization, quality indicators

1. Вступ

Важливим завданням агропромислового комплексу України є забезпечення населення достатньою кількістю якісного продовольства, розвиток внутрішнього ринку та підвищення експорту продукції рослинництва, створення умов економічного зростання галузі. Ринкова економіка змушує виробників при виборі технології обробітку ґрунту керуватися критеріями економічної доцільності та конкурентоспроможності кінцевої продукції. Висока собівартість продукції рослинництва зумовлена використанням застарілих технологій із застосуванням енергоємних технічних засобів. У зв'язку з цим вдосконалення технології обробки ґрунту технічних засобів для її виконання є важливим завданням аграрної науки.

2. Постановка проблеми

Врожайність вирощуваних культур залежить

від якості виконання передпосівної обробки ґрунту, яка згідно ГОСТ 26244, повинна забезпечувати наступне: утворення дрібно-грудкуватої структури кореневмісного шару; отримання рівного профілю обробленої поверхні; видалення сходів бур'янів; заробляння мінеральних добрив і пестицидів (за необхідності) із рівномірним розміщенням їх у ґрунті; утворення ущільненого насінневого ложа [1].

Це можливо за умови раціонального вибору технології передпосівної обробки та знарядь для її виконання. Вибір технології визначається фізико-механічними властивостями ґрунту; кліматичними умовами регіону; культурою-попередником та біологічними особливостями культури. Проте, вирішальним фактором для сучасного сільськогосподарського виробника є економічна доцільність технології.

Надмірна сільськогосподарська освоєність земель зумовлює деградацію ґрунтів, що спричинена