

УДК 621.314

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ В СОГЛАСУЮЩИХ УЗЛАХ  
МАГНИТНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

**И.В.Волков**, чл.-корр. НАН Украины, **В.И.Зозулев**, канд.техн.наук, **В.М.Спирин**, канд.техн.наук, **Д.А.Шолох**,  
Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

*Изложены результаты исследований формирования импульсов микро- и наносекундного диапазонов в согласующих узлах магнитно-полупроводниковых генераторов. Установлены зависимости амплитуды и длительности импульсов тока в этих узлах от времени их перекрытия с предыдущими импульсами тока. Библи. 2, рис. 6.*  
**Ключевые слова:** магнитно-полупроводниковый генератор, узел магнитной компрессии, дроссель насыщения.

**Введение.** Магнитно-полупроводниковые генераторы импульсов (МПИГ) микро- и наносекундного диапазонов широко используются в средствах различных высокотехнологичных применений. МПИГ содержат, как правило, не менее двух узлов магнитной компрессии импульсов (УМК), имеющих на выходе звенья с индуктивной составляющей. Исследование таких УМК с помощью известных методов, например, [1], не приводит к оптимальному результату. В [2] предложено экспериментально обоснованное решение улучшения этих УМК, составляющее предмет его дальнейшего теоретического развития.

**Анализ процесса формирования выходных импульсов согласующих узлов МПИГ.** Схема для анализа и моделирования согласующего оконечного УМК-п показана на рис. 1. Здесь  $L_{n-1}^S, L_n^S$  – индуктивности соответственно насыщенных дросселей  $L_{n-1}$  и  $L_n$  после их коммутации, что отвечает моменту замыкания условных ключей  $S_{n-1}$  и  $S_n$ ;  $C_{n-1}, C_n$  – накопительные конденсаторы;  $L_d, R_d$  – индуктивное и активное сопротивления нагрузки. Значения  $L_d, R_d$  являются заданными;  $C_{n-1}, L_{n-1}^S$  установлены постоянными в зависимости от величин  $L_d, R_d$ ;  $C_n, L_n^S$  выбраны также в зависимости от величин  $L_d, R_d$ , но с возможностью их варьирования с целью нахождения наибольшей амплитуды импульса тока  $I_d^{max}$  при возможно меньшей его длительности  $\tau_d^{min}$ .

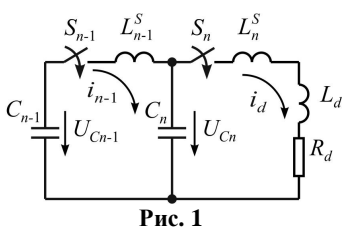


Рис. 1

Расчет схемы на рис. 1 производился с помощью метода приспосабливания. Анализ проводился на двух временных интервалах. Первый интервал: от  $t_1$  – момента замыкания ключа  $S_{n-1}$  (насыщения дросселя  $L_{n-1}$ ) до  $t_2$  – момента замыкания ключа  $S_n$  (насыщения дросселя  $L_n$ ). Второй интервал: от момента  $t_2$  до  $t_3$  – момента завершения импульса тока в нагрузке  $i_d$ . На первом интервале схема описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка, согласно которой находятся напряжения на конденсаторах  $C_{n-1}$  и  $C_n$  и ток в дросселе  $L_{n-1}$ . Значения этих величин задают начальные условия для системы дифференциальных уравнений четвертого порядка, которая описывает схему на втором интервале. Эта система составляется для контурных токов  $i_{n-1}$  и  $i_d$ . Ей соответствует дифференциальное уравнение для определения токов  $i_{n-1}$  и  $i_d$

$$L_{n-1}L_{\Sigma}C_{n-1}C_n \frac{d^4 i_x}{dt^4} + L_{n-1}C_{n-1}C_nR_d \frac{d^3 i_x}{dt^3} + (L_{n-1}C_{n-1} + L_{\Sigma}C_{n-1} + L_{\Sigma}C_{n-1}) \frac{d^2 i_x}{dt^2} + (R_dC_{n-1} + R_dC_n) \frac{di_x}{dt} + i_x = 0,$$

где  $i_x$  – ток  $i_{n-1}$  или  $i_d$ ,  $L_{\Sigma} = L_n^S + L_d$ .

Решить эти дифференциальные уравнения можно с помощью численных методов при определенных параметрах. Для рассматриваемой схемы типовыми параметрами ее элементов являются:  $U_{C_{n-1}}^0 = 8\text{кВ}$ ,  $C_{n-1} = 500\text{пФ}$ ,  $L_{n-1}^S = 4,5\text{мкГн}$ ,  $L_d = 0,5\text{мкГн}$ ,  $R_d = 32\text{Ом}$  (применительно для МПИГ лазера KULON LT-1,5Cu).

По этим данным, при дискретных значениях  $t_2$  в пределах (120...200) нс проведены расчеты данной схемы численными методами при использовании программы Maple 15. На рис. 2 показаны расчетные эпюры импульсов тока  $i_{n-1}$  и  $i_d$  при  $t_2^{opt}$ , которое соответствует оптимальному перекрытию этих импульсов во времени, а на рис. 3 – экспериментальные эпюры импульсов тока  $i_{n-1}$  и  $i_d$ , которые, как видно, достаточно хорошо совпадают с расчетными эпюрами. А на рис. 4 показаны зависимости:  $I_d^m = f(t_2)$  – рис. 4, а;  $\tau_d = f(t_2)$  – рис. 4, б, по которым можно решить задачу выбора значений  $I_d^{max}$ ,  $\tau_d^{min}$ .

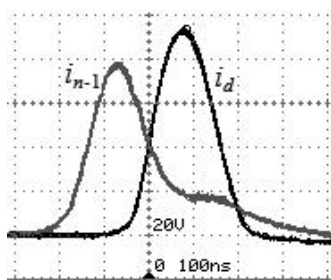


Рис. 2

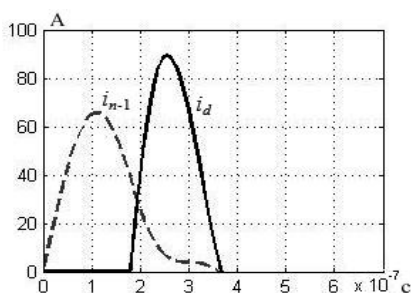


Рис. 3

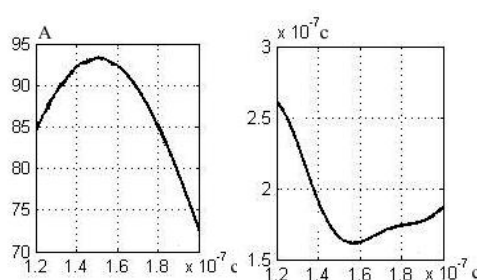


Рис. 4, а, б

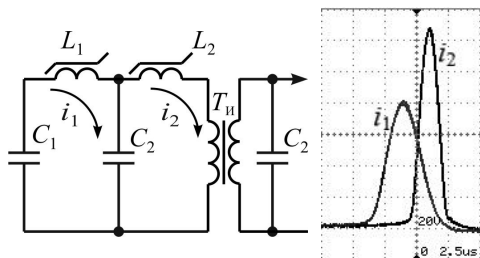


Рис. 5

Рис. 6

Фрагмент схеми МПГ з предтрансформаторним согласуючим УМК-Т<sub>П</sub> показан на рис. 5. Для этой схемы сняты экспериментальные эпюры токов  $i_1, i_2$  ориентировочно при  $t_2^{opt}$  (рис. 6). Аналитическая и расчетная части аналогичны изложенным для рис. 1. С учетом индуктивности рассеяния трансформатора определены также значения  $I_2^{max}, \tau_2^{min}$ .

**Выводы. 1.** В узлах магнитной компрессии (УМК) магнитно-полупроводниковых генераторов (МПГ), имеющих выход на звенья с индуктивной составляющей ( $L_{Tn}^S, L_d$ ), необходимо создавать условия, при которых формируемые этими узлами импульсы тока перекрываются во времени с предыдущими импульсами тока на некоторое время  $\Delta t^{opt}$ . Это способствует достижению наибольшей амплитуды импульсов тока  $I_{Tn}^{max}$  и  $I_d^{max}$  при наименьшей их длительности  $\tau_{Tn}^{min}$  и  $\tau_d^{min}$ .

2. Значения  $\Delta t_{Tn}^{opt}$  и  $\Delta t_d^{opt}$  определяются путем варьирования значениями индуктивностей соответственно дросселей  $L_2$  и  $L_n$ , при котором  $L_2 \rightarrow L_2^{opt}(I_{Tn}^{max}, \tau_{Tn}^{max})$  и  $L_n \rightarrow L_n^{opt}(I_d^{max}, \tau_d^{max})$ .

1. Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф., Кандыкин В.М. Магнитные генераторы импульсов. – М.: Советское радио, 1968. – 475 с.

2. Патент №40523, Україна, МПК НОЗ К7/00. Магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних наносекундних імпульсів / Волков І.В., Гапченко Л.М., Зозульов В.І., Шиманський О.Л. // Промислова власність.– 2009. – №7.

УДК 621.314

**Особливості формування імпульсів в погоджувальних вузлах магнітно-напівпровідникових генераторів**  
**І.В.Волков, чл.-кор. НАН України, В.І.Зозульов, канд.техн.наук, В.М.Спірін, канд.техн.наук, Д.О.Шолох,**  
**Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.**

*Викладено результати досліджень формування імпульсів мікро- та наносекундного діапазонів в узгоджувальних вузлах магнітно-напівпровідникових генераторів. Встановлено залежності амплітуди і тривалості імпульсів струму в цих вузлах від часу їх перекриття з попередніми імпульсами струму. Бібл. 2, рис. 6.*

**Ключові слова:** магнітно-напівпровідниковий генератор, вузол магнітної компресії, дросель насичення.

**Features of formation pulses in matching nodes of magnetic semiconductor generators**

**I.V.Volkov, V.I.Zozulev, V.M.Spirin, D.O.Sholokh,**  
**Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,**  
**Peremogy pr., 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.**

*The results of studies of formation pulses of micro- and nanosecond ranges of matching nodes magnetic semiconductor generators are analyzed. The dependences of the amplitude and duration of the current pulse in these nodes from the time of its overlap with the previous current pulses is determined. References 2, figures 6.*

**Key words:** magnetic semiconductor generator, magnetic compression node, saturation choke.

1. Meerovich L.A., Vatin I.M., Zaitsev E.F., Kandykin V.M. The magnetic pulse generators. – Moskva: Sovetskoe radio. – 1968. – 475 p. (Rus)

2. Patent №40523, Ukraine, MPK NO3 K7/00. Magnetic semiconductor generator of unipolar nanosecond pulses // Volkov I.V., Hapchenko L.M., Zozulov V.I., Shymanskyi O.L. // Promyslova vlasnist. – 2009. – № 7. (Ukr)

Надійшла 27.12.2011

Received 27.12.2011