

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Melvill W.S. The Use of Saturall Reactors as Discharge Devices for Pulse Generators // Proc. IEE. — 1951. — V. 98. — № 53. — P. 185.
1. Гарбер И.С. Магнитные импульсные модуляторы. — М.: Советское радио, 1964. — 159 с.
2. Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф., Кандыкин В.М. Магнитные генераторы импульсов. — М.: Советское радио, 1968. — 475 с.
2. Зозулев В.И., Калюжный А.А. Применение узлов магнитного сжатия в генераторах возбуждения лазеров на парах меди // Техн. електродинаміка, Темат. вип.: Проблеми сучасної електротехніки. — 2002. — Ч. 6. — С. 67–70.
3. Зозулев В.И. Основные подходы к анализу и оптимальному построению компрессионных магнитно-полупроводниковых генераторов // Техн. електродинаміка. Темат. вип.: Проблеми сучасної електротехніки. — 2006. — Ч. 3. — С. 77–81.
4. Волков И.В., Зозулев В.И., Шолох Д.А. Магнитно-полупроводниковые генераторы с разнофункциональными узлами магнитной компрессии импульсов // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. — Київ: ІЕД НАНУ. — 2010. — Вип. 26. — С. 79–89.
3. Важаев В.А., Катаев И.Г. Магнитополупроводниковый формирователь импульсов с управляемым узлом сжатия // Приборы и техника эксперимента. — 1992. — № 6. — С. 128–134.
5. Русин Ю.С., Чепарухин А.М. Проектирование индуктивных элементов приборов. — Л.: Машиностроение, 1981. — 172 с.
4. Важаев В.А., Катаев И.Г. Магнитополупроводниковый формирователь импульсов с управляемым узлом сжатия // Приборы и техника эксперимента. — 1992. — № 6. — С. 128–134.
5. Одноключовой магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних інверсних імпульсів: пат. № 44910 Украина. Заявл. 12.01.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.
6. Двоключовой магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних інверсних імпульсів: пат. № 41501 Украина. Заявл. 18.12.2008; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10.

Поступила 01.09.2010 г.

УДК 621.314

МАГНИТНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ С РАСШИРЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ИХ ПРИМЕНЕНИЙ

И.В. Волков, В.И. Зозулев, А.А. Калюжный, Д.А. Шолох

Институт электродинамики НАН Украины, г. Киев

E-mail: dep8ied@elan-ua.net

Представлены основные результаты исследований трех групп магнитно-полупроводниковых генераторов: одноконтных однополярных; двухтактных однополярных и разнополярных. Показано, что с помощью этих трех групп генераторов эффективно решаются основные задачи по расширенным возможностям их применений. Достигаются: адекватность с генераторами на базе ионных коммутаторов, оцениваемой по выходным параметрам нагрузок; высокая надежность; расширенные и новые функции; измеримые и лучшие другие показатели.

Ключевые слова:

Магнитно-полупроводниковый генератор, магнитный генератор, узел магнитной компрессии, дроссель насыщения, коммутационный дроссель.

Key words:

Semiconductor-magnetic generator, magnetic generator, magnetic compression nod, saturated reactor, switching reactor.

В современных передовых сферах науки, техники и промышленности распространены импульсные электротехнологические устройства, в которых до последнего времени применялись преимущественно тиратронные генераторы импульсов (ТГИ) и тиратронно-магнитные ГИ. Основы по магнитным ГИ были изложены еще до и в 60-х гг. прошлого столетия в [1, 2], а позднее — в ряде публикаций по магнитно-полупроводниковым ГИ (МПП) [3–5]. МПП в сравнении с ТГИ имеют лучшие массогабаритные и энергетические показатели и не менее чем на порядок реализовать ряд качественно новых параметров, характеристик и функций.

Опыт исследований МПП показал, что построение эффективных МПП достигается в основном за счет применения в них разнофункциональных узлов. При этом под эффективными МПП подразуме-

ваются такие, которые адекватно и лучше могут заменить генераторы, базирующиеся на ионных коммутаторах; обладают высокой надежностью за счет исключения ионных коммутаторов, непригодности полупроводниковых приборов на высоковольтной стороне МПП и обеспечения им щадящих режимов коммутации; формируют разнообразные по форме и параметрам выходные импульсы МПП.

В соответствии с изложенными положениями представляются следующие три группы МПП: одноконтные однополярные, двухтактные однополярные, и разнополярные.

1. Магнитно-полупроводниковый генератор однополярных прямых импульсов (МПП-1). Схема этого МПП представлена на рис. 1, а, описана в [6]. Схема МПП-1 отработана совместно с газоразрядной трубкой (ГРТ) до уровня ее практического приме-

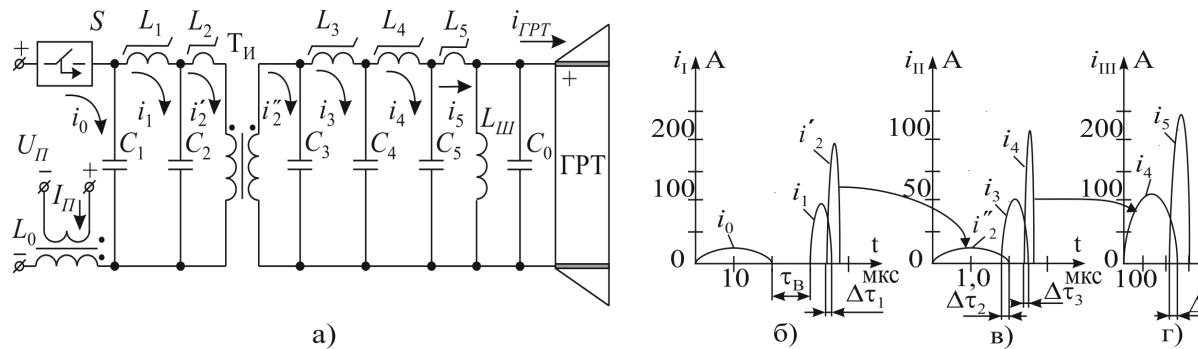


Рис. 1. Схема МПГ-1 (а): U_{Π} – источник DC-питания; S – однонаправленный полупроводниковый ключ; L_0 – линейный зарядный дроссель; $C_1 \dots C_5$ – накопительные конденсаторы; C_0 – обостряющий конденсатор; $L_1 \dots L_5$ – коммутационные дроссели; ГРТ – газоразрядная трубка лазера; эпюры импульсных токов в элементах МПГ-1 (б–г)

нения. Ключ S работает в благоприятном режиме, что вместе с остальными пассивными элементами обеспечивает высокую надежность. В угоду этому свойству дроссель L_1 имеет несколько завышенный массогабаритный показатель. Остальные элементы, благодаря введению согласующих узлов (на L_2 , L_3), выбраны оптимально. Это первая представляемая схема и, согласно публикациям, одна из первых схем МПГ, с помощью которой достигнута мощность излучения медного лазера на 10...15 % больше, чем при возбуждении этого же лазера тиратронным ГИ. В эксперименте использовалась ГРТ типа KULON LT-1,5 Cu, которая возбуждалась импульсами тока: $I_{ГРТ}^m = 220 \dots 250$ А, длительность импульсов $\tau_{ГРТ} = 80 \dots 90$ нс. Согласование МПГ с низкоомной ГРТ достигнуто, пожалуй, единственным способом: за счет нарастающего перекрытия смежных импульсов токов – $\Delta\tau_2 \dots \Delta\tau_4$ на рис. 1.

2. Одноключевой магнитно-полупроводниковый генератор однополярных инверсных импульсов (МПГ-2). Схема МПГ-2 представлена на рис. 2, а, имеет такие же характеристики и особенности, что и МПГ-1 (рис. 1, а). Исключение то, что магнитопровод трансформатора $T_{и}$ перемагничивается практически по полной петле гистерезиса. Описание схемы МПГ-2 дано в [7], вытекает она из схемы [5], но в схеме МПГ-2 ключ на основе IGBT-транзистора (1200 В, 400 А, коммутирующий ток длительностью ≈ 3 мкс) заменен на переключающий дроссель L_1 , а 2-й УМК, выполненный на со-

гласующем дросселе L_2 , обеспечивает формирование импульсов тока через первичную обмотку трансформатора $T_{и}$ с оптимальной длительностью $\approx 1,2 \dots 1,5$ мкс. Этим обеспечивается благоприятный режим работы ключа S , высокая надежность и, предположительно, меньшая стоимость в сравнении со схемой [5].

3. Двухключевой магнитно-полупроводниковый генератор однополярных инверсных импульсов (МПГ-3). Схема МПГ-3 представлена на рис. 3, а. МПГ-3 имеет такие же характеристики и особенности, что и МПГ-1 (рис. 1, а) и МПГ-2 (рис. 2, а). Исключение то, что разряд конденсатора C_1 происходит через дополнительные ключ S_2 и линейный дроссель L_{02} . Это позволяет уменьшить импульсный отбор энергии от источника U_{Π} , улучшить защитные свойства схемы и уменьшить время $\tau_{в2}$ для восстановления ключа S_2 . Схема в большей мере соответствует принципу построения схемы [5] и описание ее дано в [8]. С помощью макета этой схемы достигнуты несколько лучшие результаты, чем для МПГ-1: $I_{ГРТ}^m = 240 \dots 270$ А, $\tau_{ГРТ} = 70 \dots 80$ нс; мощность излучения ГРТ на 15...25 % больше, чем при ее тестировании на тиратронном генераторе.

Кроме того схема МПГ-3 в экспериментах работала наиболее устойчиво.

4. Магнитно-полупроводниковый генератор однополярных перезарядно-инверсных импульсов (МПГ-4). Схема МПГ-4 представлена на рис. 4, более подробное описание ее дано в [9]. Перезарядно-компрессионный узел выполнен на элементах L_{02} , S_2 ,

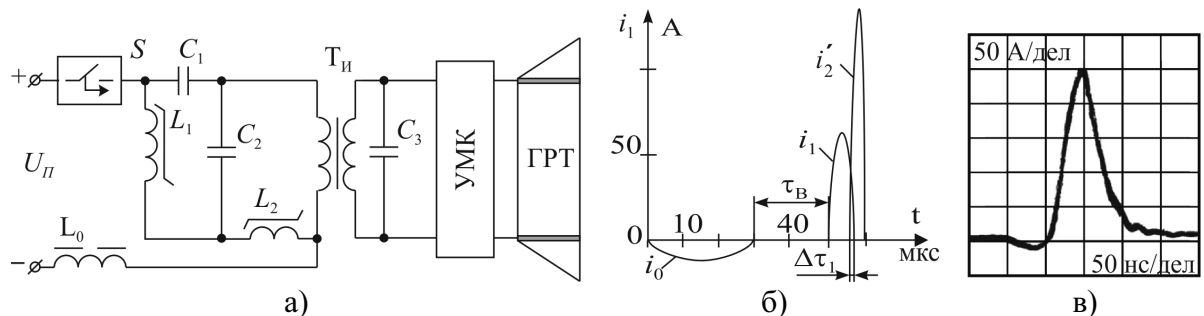


Рис. 2. Схема МПГ-2 (а): УМК – узлы магнитной компрессии схемы рис. 2 (а); остальные обозначения соответствуют схеме рис. 2 (а и б). Эпюры импульсных токов в элементах L_0 , L_1 , L_2 – (б); реальный импульс тока, возбуждающий ГРТ – (в)

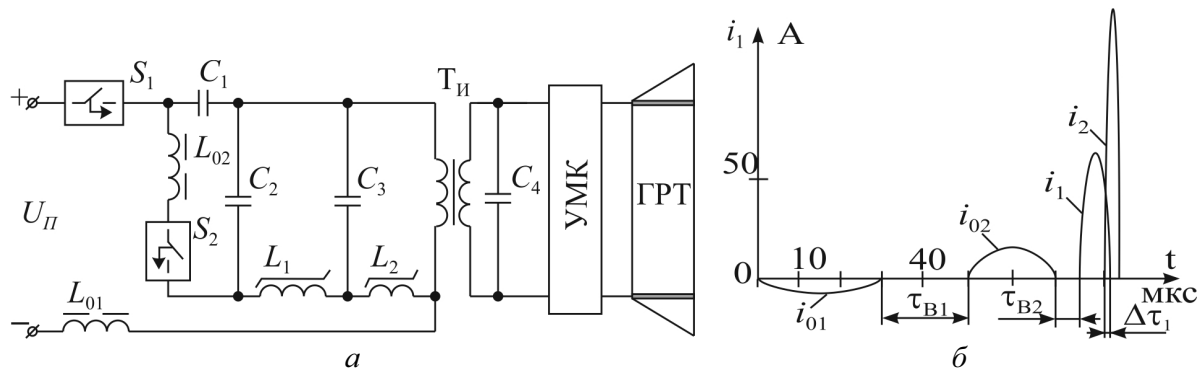


Рис. 3. Схема МПГ-3 (а): S_2 , L_{02} – дополнительные ключ и линейный дроссель; остальные обозначения соответствуют схеме рис. 3 (а). Эпюры импульсных токов в элементах L_{01} , L_{02} , L_1 , L_2 (б)

L_1 , Z_μ , VD, C_2 . При заряде конденсатора C_1 ток через дроссель L_1 блокируется диодом VD. По истечению времени $\tau_{S1} \geq \tau_B$ отпирается ключ S_2 . Конденсатор C_1 перезаряжается по цепи: L_{02} , S_2 , L_2 , w_1 , подзаряжая конденсатор C_2 и перематнивая дроссель L_1 через Z_μ . После перезаряда конденсатора C_1 насыщается дроссель L_1 и конденсатор C_1 передает накопленную энергию при токе i_1 в конденсатор C_2 по цепи: C_2 , VD, L_1 . Далее процессы магнитной компрессии импульсов соответствуют схеме рис. 1, а. Индуктивные элементы L_1 , L_2 , $T_И$ функционируют практически при полной петле перематнивания их сердечников. Экспериментально подтверждено, что в результате применения перезарядно-компрессионного узла удалось уменьшить длительность разрядного тока через дроссель L_1 с 4,2...4,5 до 2,0...2,2 мкс, через дроссель L_2 – с 2,0...2,4 до 1,0...1,2 мкс.

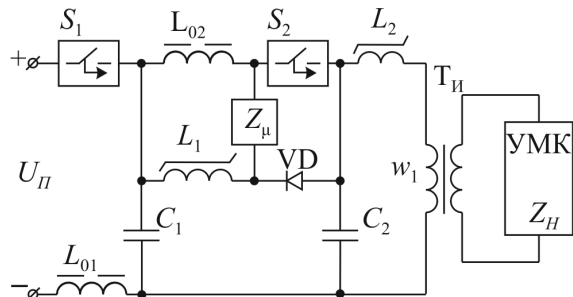


Рис. 4. Схема МПГ-4: S_2 , L_{02} – дополнительные ключ и линейный дроссель; Z_μ – сопротивление для перематнивания дросселя L_1 ; УМК, Z_H – узлы магнитной компрессии и нагрузка, соответствующие рис. 1 (а); VD – блокирующий диод; обозначение остальных элементов соответствуют схеме рис. 1 (а)

Элемент Z_μ может быть выполнен в виде совсем небольшого дросселя и подключен к отпайке дросселя L_{02} . И, как видно, МПГ-4 обладает свойством инверсии полярности источника $U_П$, что может быть важным, если нет трансформатора $T_И$.

5. Магнитно-полупроводниковый генератор с дроссельным узлом формирования двухтактных однополярных импульсов (МПГ-5). Схема МПГ-5 представлена на рис. 5, а), описание ее приведено в [10]. Дроссельный узел формирования двухтакт-

ных однополярных импульсов [11] выполнен на элементах L_4 ($L'_4 + L''_4$), L_5 ($L'_5 + L''_5$), C_5 . Инвертор $E_П$ через дроссель L_0 заряжает конденсатор C_1 . Далее с помощью УМК-1 и 2, $T_И$, C_3 , L_3 производится компрессия импульсов тока инвертора $E_П$ до импульсов тока i_3 аналогично как в схеме рис. 1, а), но только в разнополярном режиме. Фазировка подмагничивания током $I_П$ определена так, что при токе i^3 , насыщается дроссель L_4 и через его составляющие L'_4 , L''_4 формируется ток i^4 . При токе i^3 насыщается дроссель L_5 и через его составляющие L'_5 , L''_5 формируется ток i^5 . То есть в узле (L_4 , L_5) в одном процессе происходит «L-выпрямление», вернее, L-однополяризация входных разнополярных импульсов тока i_3 и их компрессия по длительности, в результате чего формируются двухтактные однополярные импульсы i^4 и i^5 . По завершению их формирования возникает отрицательные токи i^4 и i^5 , которые при больших скажностях импульсов ($Q \geq 20...50$) имеют значение не более 2,0...3,0 % от амплитудных значений токов I^4 , I^5 .

Узел (L_4 , L_5) помимо однополяризации и компрессии импульсов способен, при соответствующем изменении тока $I_П$, регулировать амплитуду импульсов, создавать их асимметричность, изменять их полярность, в том числе в виде разнополярных пачек импульсов и выполнять другие функции. То есть существенно расширяются функциональные возможности МПГ-5, что дает право определить его также как универсальный МПГ. При этом следует особо подчеркнуть, что по сравнению с МПГ [12], где тиратрон заменен на составной ключ из IGBT-транзисторов в схеме МПГ-5 их заменяет всего один, «лишний» дроссель L_5 . Очевидно, что надежность МПГ-5 значительно выше, стоимость, скорее всего, меньше и есть возможность дополнительно реализовать приведенные выше функциональные возможности.

6. Магнитно-полупроводниковый генератор с трансформаторным узлом формирования одноктактных однополярных импульсов (МПГ-6). Схема МПГ-6 представлена на рис. 6, описание ее приведено в [9]. Трансформаторный узел формирования двухтактных однополярных импульсов выполнен

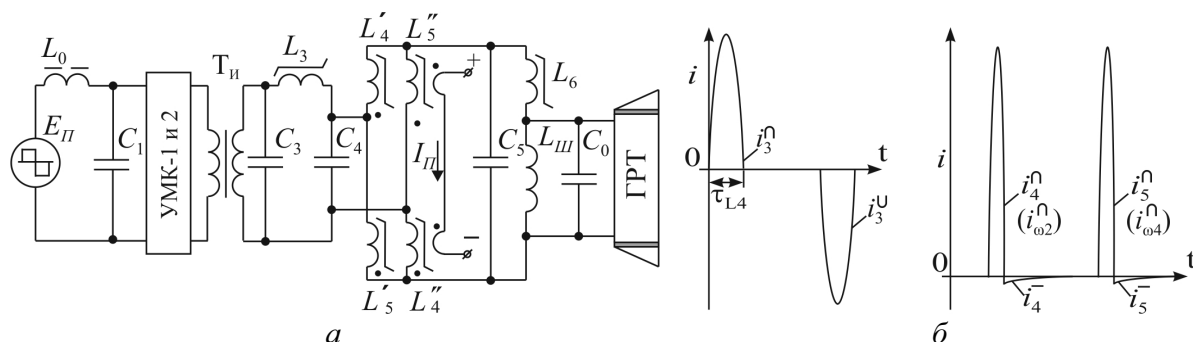


Рис. 5. Схема МПГ-5 (а): E_{II} – источник АС-питания; УМК-1 и 2 – узлы магнитной компрессии аналогично L_1, L_2 (рис.1, а); L'_4, L'_5 и L''_4, L''_5 – соответственно двухобмоточные переключающие дроссели L_4, L_5 ; I_{II} – ток подмагничивания дросселей L_4, L_5 ; остальные обозначения элементов соответствуют схеме рис. 1 (а). Эпюры импульсов тока в элементах $L_3, L_4(L'_4 + L''_4), L_5(L'_5 + L''_5)$ – (б)

на элементах T_1, T_2, C_5 . Формирование тока i_3 соответствует схеме рис. 5. Фазировка тока I_{II} трансформаторов T_1, T_2 определена так, что при токе i_3^n насыщается трансформатор T_2 , а T_1 работает в линейном режиме, трансформируя в обмотку w_2 ток $i_3^{w_2}$ (рис. 5, б). При токе i_3^n насыщается трансформатор T_1 , а T_2 работает в линейном режиме, трансформируя в обмотку w_4 ток $i_3^{w_4}$. В обоих тактах встречные токи $i_3^{w_4}$ и $i_3^{w_2}$ насыщенных трансформаторов T_1 и T_2 находятся в соотношениях с трансформируемыми токами: $i_3^{w_4} \ll i_3^{w_2}, i_3^{w_2} \ll i_3^{w_4}$. Поэтому без заметного ослабления трансформирующих свойств трансформаторов T_1 и T_2 в цепи w_2, C_5, w_4 (w_4, w_2, C_5) формируются однополярные импульсы в первом такте – $i_3^{w_2}$, и во втором такте – $i_3^{w_4}$, которые в одном процессе однополяризации («Т-выпрямления») импульсов тока i_3 также сжимается по их длительности. МПГ-6 имеет такие же характеристики и преимущества как МПГ-5, но имеет еще важное функциональное свойство: вторую гальваническую развязку с нагрузкой. Массогабаритные показатели T_1, T_2 и L_4, L_5 (рис. 6, а) примерно одинаковые. С помощью МПГ-5, МПГ-6 получена мощность излучения ГРТ типа KULON LT-1,5 соизмеримая с полученной от достаточно отработанных МПГ-1, МПГ-3.

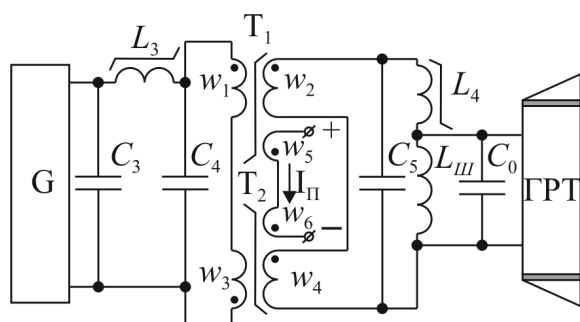


Рис. 6. Схема МПГ-6: G – часть МПГ-5 до конденсатора C_3 , T_1, T_2 – переключающие трансформаторы с обмотками w_1, w_2, w_5 и w_3, w_4, w_6 ; остальные обозначения соответствуют схеме рис. 6 (а); $i_3^{w_2}, i_3^{w_4}$ на рис. 6 (б) – трансформируемые токи в обмотках w_2, w_4

В МПГ-5 и МПГ-6 все индуктивные элементы, кроме окончных, работают при симметричной петле перемагничивания их сердечников, для этих МПГ можно применить серийные инверторы. В экспериментах МПГ-5, МПГ-6 работали наиболее устойчиво из всех МПГ, даже при нагреве ГРТ, скорее всего, за счет их токостабилизирующих свойств.

7. Магнитно-полупроводниковый генератор однополярных прямых и инверсных импульсов. Схема МПГ-7 представлена на рис. 7. Структуры формирования прямых импульсов – $L_{01}, C_1, w_1 (L_{03}), S_1, C_2, L_1, w_1 (T_{II})$ и инверсных импульсов – $L_{02}, C_3, w_2 (L_{03}), S_2, C_4, L_2, w_1 (T_{II})$ – функционируют соответственно структурам МПГ-1 (рис. 1, а) и МПГ-2 (рис. 2, а), включая обмотку $w_1 (T_{II})$. Описание схемы дано в [13]. МПГ-7 свойственна также универсальность в формировании выходных импульсов, рассмотренная для МПГ-5 и 6, высокая надежность и преимущества перед МПГ, в котором однополярные импульсы формируются на высокой стороне с помощью IGBT-транзисторов [10].

8. Магнитно-полупроводниковый генератор разнополярных импульсов (МПГ-8). Схема МПГ-8 представлена на рис. 8. На месте дросселя L_4 схемы рис. 8 в МПГ-5 и МПГ-6 установлены соответственно дроссельный и трансформаторный узлы однополяризации разнополярных импульсов. Сравнительные экспериментальные испытания МПГ-5, МПГ-6 с МПГ-8 показали, что потребляемая мощность от сети МПГ-5 и 6 ($P_{5,6}^c$) и МПГ-8 (P_8^c) находится в соотношении $P_{5,6}^c \approx 1,03 \cdot P_8^c$. То есть на однополяризацию импульсов расходуется дополнительно всего $\approx 3,0\%$ мощности. Функционирование схемы части G МПГ-8 соответствует схеме МПГ-5, а далее – схеме МПГ-1, но для разнополярных импульсов. Потенциально МПГ-8 является наиболее простым, его все индуктивные элементы работают при симметричной петле гистерезиса, что вместе улучшает его массогабаритные и надежность показатели. Предполагается, что главное преимущество разнополярных МПГ заключается в повышении ресурса работы ГРТ и других нагрузок, если их выполнить разнополярными.

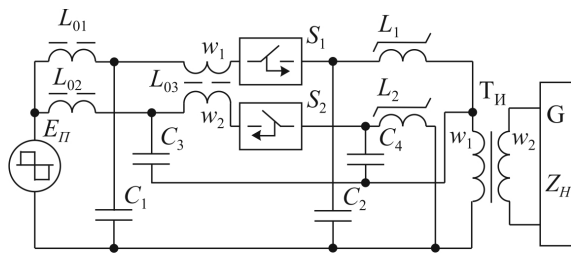


Рис. 7. Схема МПГ-7: E – источник АС питания; L_{01}, L_{02}, L_{03} – линейные дроссели; S_1, S_2 – ключи; L_1, L_2 – согласующие дроссели; T_n – импульсный трансформатор; G, Z_H – часть МПГ-1, рис. 2 (а) и его нагрузки

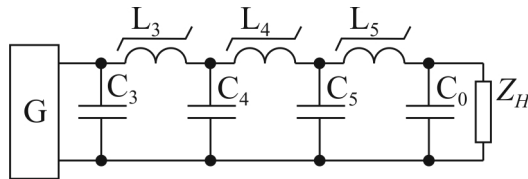


Рис. 8. Схема МПГ-8: G – часть МПГ-5 до конденсатора C_3 ; L_3, L_4 и L_5 – переключающие и согласующие дроссели; C_3 – C_5, C_0 – накопительные и обостряющий конденсаторы; Z_H – комплексная нагрузка

9. Магнитно-полупроводниковый генератор парно-разнополярных импульсов (МПГ-9). Схема МПГ-9 представлена на рис. 9.

Фазировка тока I_{II} и индуктивность дросселей L_4, L_5 определены так, что при импульсе тока i^{β} (или i^{β}) с длительностью τ_3 дроссели L_4, L_3 не достигают режима насыщения, конденсатор C_3 передает заданную энергию в конденсаторы C_4, C_5 . По завершению импульса тока i^{β} (i^{β}) дроссель L_4 (L_5) насыщается, а дроссель L_5 (L_4) на время $\tau_3 + \tau_4$ ($\tau_3 + \tau_5$) остается в режиме намагничивания. При разряде конденсатора C_4 (C_5) через насыщенный дроссель L_4 (L_5) формируется положительный импульс тока i^{α} (i^{β}) на нагрузке R_H . По окончании импульса тока i^{α} (i^{β}) насыщается дроссель L_5 (L_4) и при разряде конденсатора C_5 (C_4) через насыщенный дроссель L_5 (L_4) на нагрузку R_H формируется отрицательный импульс тока i^{β} (i^{α}). МПГ-9 обладает всеми особенностями и преимуществами, что и МПГ-5, если имеется необходимость в парно-

разнополярных импульсах (ПРИ). К настоящему времени прорабатывается применение ПРИ для возбуждения ЛПМ. Причем при создании асимметрии между токами i^{α} и i^{β} , так как установлено, что мощность излучения ГРТ возрастает, если фронт импульсов начинается в предимпульсной его отрицательной части (рис. 2, в).

В заключение по оригинальным двухтактным однополярным схемам МПГ-5–МПГ-7 можно отметить, что они обладают рядом отмеченных положительных свойств. То же относится в определенной мере к МПГ-4, МПГ-9. Этих свойств нельзя достичь в однократных МПГ. Схемные решения этих МПГ и в большей степени их расширенные варианты содержат, по нашему убеждению, соответствующую в перспективе востребованность для импульсных лазеров, электротехнологий и других традиционных и нетрадиционных применений.

Выводы

Улучшение основных показателей МПГ дополнительно достигается путем использования в структурах МПГ разнофункциональных УМК: зарядно-стабилизирующих; перезарядных; формирующих в низковольтной или высоковольтной части МПГ двухтактные однополярные импульсы из разнополярных (дроссельного и трансформаторного типа), которые также расширяют функциональные возможности МПГ. К ним относятся: управление амплитудой импульсов, потактовые их корректировка и асимметрирование; изменение полярности импульсов, создание пакетов импульсов и др.

В дополнение к [3] предлагается классификация на примере рассмотренных МПГ.

По вырабатываемым импульсам: однократные однополярные (МПГ-1–МПГ-4); двухтактные однополярные (МПГ-5–МПГ-7); разнополярные (МПГ-8), парно-разнополярные (МПГ-9).

По соотношению зарядных и формируемых импульсов: прямых (МПГ-1,5,6,8,9), инверсных (МПГ-2, 3), прямых и инверсных (МПГ-7), перезарядно-инверсных (МПГ-4) и перезарядно-прямых импульсов.

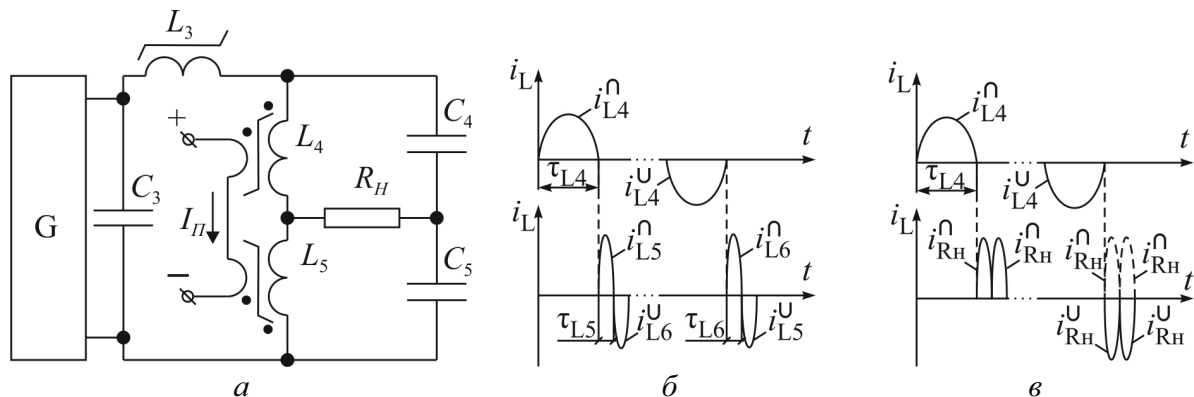


Рис. 9. Схема МПГ-9 (а): G – часть МПГ-5 до конденсатора C_3 , рис. 7 (а); L_3, L_4, L_5 – переключающие дроссели; C_3, C_4, C_5 – накопительные конденсаторы; R_H – нагрузка. (б, в) – элюры импульсов тока i_{L3}, i_{L4}, i_{L5} соответственно в элементах L_3 – L_5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарбер И.С. Магнитные импульсные модуляторы. — М.: Советское радио, 1964. — 159 с.
2. Меерович Л.А., Ватин И.М., Зайцев Э.Ф., Кандыкин В.М. Магнитные генераторы импульсов. — М.: Советское радио, 1968. — 475 с.
3. Dai Yuhang. Pulsed Power Supply Employing Magnetic Pulse Compression Technology // Proc. PEMC'98. — Prague, Czech Republic, 1998. — V. 2. — P. 2—185—2—188.
4. Вайдаев В.А., Катаев И.Г. Магнитополупроводниковый формирователь импульсов с управляемым узлом сжатия // Приборы и техника эксперимента. — 1992. — № 6. — С. 128—134.
5. Nakhe S.V., Rajanikanth B.S., Bratnager R. Energy disposition studies in a copper vapour laser under different pulse excitation schemes // Measurement Science and Technology. — 2003. — № 14. — P. 608.
6. Магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних наносекундних імпульсів: пат. № 40523 Україна МПК H03K 7/00; заявл. 28.11.2008; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.
7. Одноключовий магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних інверсних імпульсів: пат. № 44910 Україна. Заявл. 12.01.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.
8. Двоключовий магнітно-напівпровідниковий генератор однополярних інверсних імпульсів: пат. № 41501 Україна. Заявл. 18.12.2008; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10.
9. Волков И.В., Зозулев В.И., Шолох Д.А. Магнитно-полупроводниковые генераторы с разнофункциональными узлами магнитной компрессии импульсов. // Препринт Ин-ту электродинамики НАН України: 36. наук. пр. — Київ: ІЕД НАНУ, 2010. — Вип. 26. — С. 79—89.
10. Магнітно-напівпровідниковий генератор з дросельним вузлом формування двотактних однополярних імпульсів: пат. № 51753 Україна. Заявл. 01.03.2010; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14.
11. Магнітний вузол формування двотактних однополярних імпульсів: пат. № 6627А, Україна, МПК. Заявл. 18.09.2003; опубл. 15.04.2004, Бюл. № 4.
12. Малашин М.В., Мошкунов С.И., Хомич В.Ю. Система накачки лазера на парах меди на основе составного твердотельного коммутатора // Лазеры на парах металлов: Тез. докл. Симпозиума (ЛПМ-2010). — Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2010. — С. 64.
13. Магнітно-напівпровідниковий генератор двотактних однополярних імпульсів: пат. № 46235 Україна. Заявл. 17.03.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.

Поступила 01.09.2010 г.

УДК 621.791

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СВАРКИ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ ДУГИ

А.Ф. Князьков, О.С. Бирюкова

Томский политехнический университет
E-mail: bos1983@tpu.ru; kaf@tpu.ru

Рассмотрен процесс формирования импульсов сварочного тока, обеспечивающих устойчивое горение дуги в динамическом режиме. Разработано устройство с формирующим элементом, выполненным на базе искусственной формирующей линии. Проведены исследования при сварке неплавящимся электродом в среде аргона. Показаны преимущества сварного соединения при сварке дугой, горящей в динамическом режиме.

Ключевые слова:

Сварочная дуга, динамический режим горения, искусственная формирующая линия.

Key words:

Dynamic mode of burning, welding arc, artificial forming line.

Перспективным направлением совершенствования сварочных систем питания является создание устройства, обеспечивающего концентрированный ввод тепловой энергии в свариваемое изделие за счет импульсного питания дуги. Выделяют динамический режим горения дуги между неплавящимся электродом и изделием с гарантированным качеством сварного шва во всех пространственных положениях. Динамический режим горения дуги достигается при длительности импульсов менее 450...500 мкс [1] вследствие отставания перехода дуги к статическому состоянию из-за быстрого изменения значения тока и напряжения. Быстрое изменение тока приводит к возникновению динамических «всплесков» напряжения [3]. Существование «всплесков» объясняется несоответствием термической эмиссии электронов с катода текущему

значению тока вследствие тепловой инерции. Недостаток термической эмиссии восполняется автоэлектронной эмиссией, что обеспечивает рост напряжения дуги. При этом наблюдается контрагирование столба дуги и уменьшение размеров анодного пятна на изделии, что увеличивает глубину проплавления [1].

Одним из вариантов устройства для импульсного питания сварочной дуги является применение искусственной формирующей линии (ИФЛ), состоящей из LC ячеек [4].

На рис. 1 представлена схема устройства для формирования импульсов сварочного тока. Устройство состоит из трехфазного выпрямителя В, обладающего жесткой внешней вольтамперной характеристикой и регулируемым напряжением холостого хода. К выходным клеммам для умень-