

Безрук В.М. Выбор оптимальных речевых кодеков методами экспертного оценивания / В. М. Безрук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 3/2 (57). – С. 19-24. 6. Brtlett B. Recording music on location: capturing the live performance / B. Brtlett. – 2014. – Burlington, USA. 7. FLAC – format. Режим доступа: <http://manual.freeshell.org/flac-1.2.1/html/format.html>. – Дата послания : 09 березня 2015.

**Bibliography (transliterated):** 1. Vologdin E.I. Standarti i sistemy cifrovoy zvukozapisi. SP: GOU-VOPO, 2012. 156. Print. 2. Eremenko A.S. Isledovanie metodov potokovoy peredaci multimediynih danih s ispolzovaniem TCP/HTTP. Vostochno-Evropeyskiy jurnal peredovih tehnologiy. 2013. 2/9 (62). 42-47 Print. 3. Veksler, G.S. et al. Podavlenije elektromagnitnyh pomeh v cepjah elektropitanija. Kyiv: Technika, 1990. Print. 4. Chigov I.I., Sozonova T.N. O novom metode kompresii rechevih signalov. Nauchnie vedomosti. Belgorodskiy gosudarstvenniy universitet, 2009. № 7. 173-180 Print. 5. Bezruk V.M. Vibor optimalnih rechevih kodekov metodami ekspertnogo ochenivaniya. Vostochno-Evropeyskiy jurnal peredovih tehnologiy. 2012. 3/2 (57). 19-24 Print. 6. Brtlett B. Recording music on location: capturing the live performance. Burlington, USA. 2014 Print. 7. FLAC – format >.. Web. 09 March 2015 < <http://manual.freeshell.org/flac-1.2.1/html/format.html> >.

*Надійшла (received) 15.04.2015*

УДК 621.319.53

**В.М.ИВАНОВ**, старш. научн. сотр., НИПКИ «Молния», НТУ «ХПИ», Харьков

## **ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

Созданы и успешно прошли апробацию в заводских условиях генераторы высокого напряжения, содержащие импульсные трансформаторы с полупроводниковыми *IGBT* ключами в низковольтной цепи трансформатора, образца электрофизической установки для конверсии метана в составе коксового газа в синтез-газ при помощи высоковольтных импульсных объемных разрядов: коронного и барьерного. Размыкающий режим работы ключа позволяет избежать ограничения по амплитуде импульсов напряжения на нагрузке и полностью передать запасенную энергию в индуктивном накопителе.

**Ключевые слова:** электрофизическая установка, высоковольтный импульсный трансформатор, полупроводниковый ключ, импульсный коронный разряд, импульсный барьерный разряд.

**Введение.** Для многих электротехнологий и физических исследований создание импульсных генераторов напряжения позволяющих получать и использовать высокие напряжения и большие токи является актуальной зада-

© В.М.Иванов, 2015

чей. Такие генераторы, как правило, состоят из накопителя энергии, устройства умножения напряжения, коммутирующего элемента и системы управления и защиты. Ответственным элементом системы умножения установки является трансформатор. Сейчас в качестве устройства умножения интенсивно развивается новый специфический класс высоковольтных импульсных трансформаторов, так называемых трансформаторов Тесла, которые широко используются в установках для получения мощных импульсов напряжения. Он рассчитывается и изготавливается для каждого типа технологической операции. Разработан и изготовлен ряд высоковольтных импульсных генераторов на основе таких трансформаторов, что позволяет использовать возможности новых электротехнологических процессов, основанных на использовании прямого воздействия на материал сильных электрических и магнитных полей, применении плазмы газового импульсного коронного разряда для плазмохимических преобразований газовой среды и материалов, электроимпульсных методов воздействия на материал.

**Цель статьи.** Данная работа направлена на создание и апробацию генератора образца электрофизической установки, на основе высоковольтных импульсных трансформаторах с полупроводниковыми коммутаторами, получения импульсных высоковольтных разрядов для использования их при конверсии сырого коксового газа в газ, который содержит в основном синтез-газ.

**Схема и особенности установки.** Экспериментальный вариант установки – высоковольтного комплекса, описан в [1]. Схема замещения генератора образца электрофизической установки на основе импульсного трансформатора (ИТ) с полупроводниковым коммутатором в низковольтной цепи для осуществления в заводских условиях электротехнологии получения синтез-газа с высоковольтных разрядов приведена на рис. 1.

Отличительной чертой установки является наличие двух генераторов импульсов, работающих каждый на свою нагрузку – реактор с импульсным коронным или барьерным разрядом. В качестве высоковольтного источника импульсов напряжения используется усовершенствованный ИТ [2]. Каждый из двух генераторов состоит из источника питания, низковольтного генератора стартовых импульсов с *IGBT* ключом, импульсного повышающего трансформатора ИТ с нелинейной высоковольтной нагрузкой в виде реактора с коронным или барьерным разрядом и системы управления и защиты СУЗ. Высоковольтные импульсы от генераторов имеют различную амплитуду, форму и частоту следования. Нагрузкой одного генератора является реактор с импульсным коронным разрядом, а нагрузкой второго – реактор с импульсным барьерным разрядом.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $V_T$  – транзисторный *IGBT* коммутатор,  $V_D$  – встроенные в транзисторы обратные диоды *IGBT* ключа,  $C_H$  – низковольтная исходно заряженная емкость;  $C'_p$ ,  $C_p$  – приведенная и реаль-

ная емкость высоковольтного реактора соответственно,  $C'_p = \kappa^2 C_p$ ;  $C_{ЭК}$  – емкость «эмиттер-коллектор» *IGBT* ключа,  $C_{ЭК} \ll C'_p \ll C_H$ ;  $L_{\mu}$  – индуктивность намагничивания ИТ;  $L_{сн}$ ,  $L'_{сб}$  – индуктивности рассеяния первичной и приведенная вторичной обмоток ИТ соответственно;  $C'_1$ ,  $C'_2$  – емкости высоковольтного и низковольтного плеч ЕДН (в не приведенном к первичной обмотке ИТ виде, т.е. реальные емкости  $C_1 \approx 2,8$  пФ, а  $C_2 = 14,7$  нФ, коэффициент деления  $K_d \approx 5250$ ) с согласующим сопротивлением  $R_c$ ;  $R'_p$  – приведенное активное сопротивление  $R_p$  коронного разряда в реакторе,  $R'_p = R_p/\kappa^2$ ;  $i_k$ ,  $i'_p$ ,  $i_{\mu}$  – соответственно коллекторный ток, приведенный ток через нагрузку – реактор, ток намагничивания (показаны стрелками);  $V$  – вольтметр.

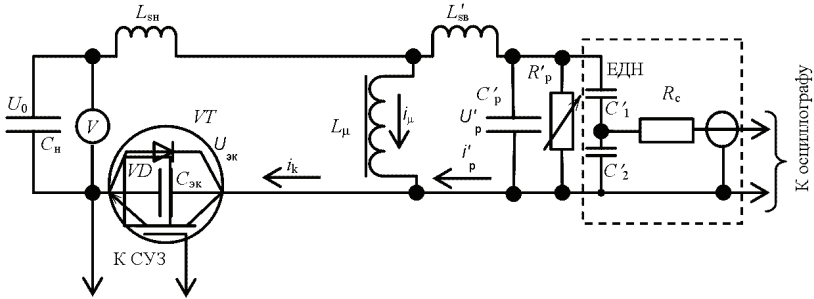


Рисунок 1 – Схема замещения генератора импульсов напряжения

Коммутирующим элементом в обоих генераторах выбраны *IGBT* транзисторы. Транзисторные ключи работают в режиме размыкающих коммутаторов. В этом режиме энергия, предварительно накопленная в конденсаторах низковольтной цепи каждого из двух импульсных генераторов, передается в нагрузку – реактор с импульсным объемным коронным или барьерным разрядом, через промежуточный индуктивный накопитель, которым является индуктивность намагничивания каждого импульсного трансформатора. Такой способ передачи энергии в нагрузку позволяет избежать принципиальных ограничений по амплитуде импульсов напряжения на нагрузке, имеющих место, когда транзисторный ключ работает в режиме замыкающего коммутатора [3].

Для нормальной работы генераторов с транзисторными *IGBT*-ключами в качестве размыкающих коммутаторов необходимо обеспечить отсутствие протекания тока в нагрузке – реакторе в момент размыкания ключа. Наличие такого тока приводит к появлению коротких и больших по амплитуде перенапряжений на транзисторных ключах. Эти перенапряжения могут превысить допустимые напряжения между коллектором и эмиттером в транзисторах ключа и привести к выходу из строя транзисторного ключа. Нормальный режим работы каждого генератора, при котором ток в реакторе отсутствует, обеспечивается соблюдением условий  $U_0 = U'_p$ ,  $U_{ЭК} = 0$  в момент размыкания

транзисторного ключа. Коллекторный ток  $i_k$  и ток намагничивания  $i_\mu$  при этом равны друг другу. При таком режиме коммутации энергии из индуктивного накопителя в емкость  $C_p$  нагрузки реактора путем размыкания транзисторного ключа имеется возможность полной передачи энергии независимо от величин этих емкости и индуктивности.

$$L_\mu \times i_\mu^2 = C'_p \times U_p'^2 = C_p \times U_p^2,$$

откуда

$$U_p = i_\mu \times (L_\mu / C_p)^{1/2}. \quad (1)$$

При выборе варианта работы коммутирующего ключа, когда транзисторный ключ работает в режиме закорачивающего коммутатора, полностью энергия передается из основного низковольтного накопителя  $C_n$  в емкость нагрузки реактора  $C'_p$  только при выполнении условия равенства этих емкостей, то есть  $C'_p = C_n$ .

Из (1) следует, что напряжение на реакторе  $U_p$  пропорционально току намагничивания в момент размыкания ключа. Напряжение на реакторе ограничивается напряжением, которое может выдержать без выхода из строя транзисторный ключ при его размыкании.

Импульсное напряжение на реакторах контролировалось при помощи специально разработанного и изготовленного емкостного делителя напряжения [4].

**Полученные результаты.** Опытный образец установки состоит из двух генераторов исходных импульсов, двух высоковольтных импульсных трансформаторов, двух реакторов с объемными высоковольтными разрядами. В одном из двух реакторов создавался импульсный коронный разряд, в другом – импульсный барьерный разряд с использованием в рабочем объеме промышленного никелевого катализатора. В данной установке впервые применена двухступенчатая обработка высоковольтными объемными разрядами парогазовой смеси с целью парового риформинга метана в составе прямого (сырого) коксового газа в синтез-газ.

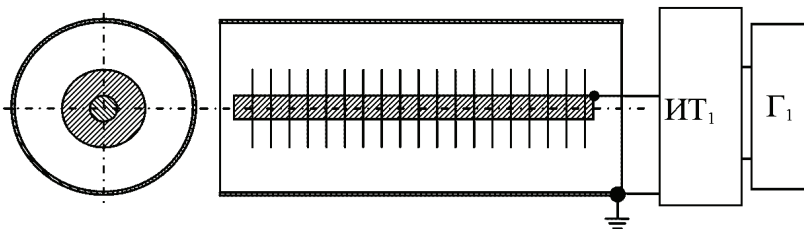


Рисунок 2 – Реактором с коронным разрядом в созданном опытном образце электрофизической установки

На рис. 2 и рис. 3 представлены в виде эскизов результирующие варианты конструкции реакторов с ИКР и ИБР в составе генератора высоковольтных импульсов.

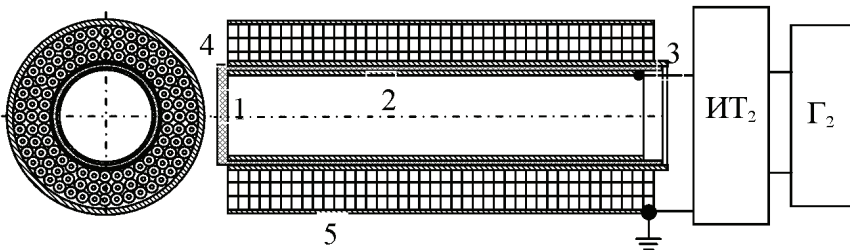


Рисунок 3 – Реактором с барьерным разрядом в созданном опытном образце электрофизической установки

В реакторе с коронным разрядом на рис. 2 электродная система выполнена соосной. Осевой электрод системы является высоковольтным коронирующим и представляет собой металлический стержень, на который нанизаны с определенным шагом тонкие параллельные друг другу коронирующие алюминиевые диски, плоскости которых перпендикулярны оси стержня. Внешний трубчатый электрод – заземленный. ИТ<sub>1</sub> – импульсный трансформатор, к вторичной обмотке которого подсоединен реактор с импульсным коронным разрядом, а к первичной – низковольтный силовой генератор исходных импульсов Г<sub>1</sub>.

На рис. 3 приняты следующие обозначения: 1 – цилиндрический кварцевый барьер с торцевой стенкой, перекрывающий путь прохождению обрабатываемого газа мимо катализаторов; 2 – цилиндрический высоковольтный электрод, прилегающий изнутри к барьеру 1; 3 – цилиндрический промежуточный электрод, охватывающий барьер 1 снаружи; 4 – засыпка промышленным никелевым катализатором; 5 – цилиндрический внешний заземленный электрод барьерного реактора; ИТ<sub>2</sub> – импульсный трансформатор, к вторичной обмотке которого подсоединен реактор с импульсным барьерным разрядом и засыпкой никелевым катализатором, а к первичной – низковольтный силовой генератор исходных импульсов Г<sub>2</sub>.

На рис. 4 представлены фото генераторов исходных импульсов Г<sub>1</sub> и Г<sub>2</sub> в установке, которые нагружаются на импульсные трансформаторы ИТ<sub>1</sub> и ИТ<sub>2</sub>.

На рис. 5 и рис. 6 представлены фото импульсного трансформатора ИТ<sub>1</sub> для импульсного коронного разряда со стальным ленточным магнитопроводом и импульсного трансформатора ИТ<sub>2</sub> для барьерного коронного разряда с ферритовым магнитопроводом.

Фотографии изготовленных реакторов для получения импульсного коронного разряда и импульсного барьерного разряда показаны на рис. 7 и рис. 8, а на рис. 9 показана фотография двухступенчатой системы в сборе.



Рисунок 4 – Фотография низковольтный генераторов импульсов созданной электрофизической установки



Рисунок 5 – Фотография импульсного трансформатора ИТ<sub>1</sub>

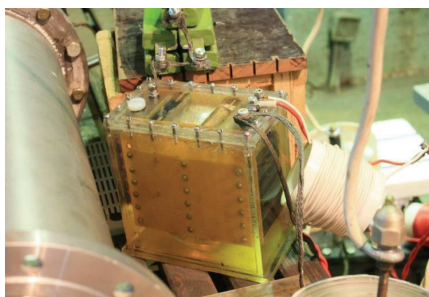


Рисунок 6 – Фотография импульсного трансформатора ИТ<sub>2</sub>



Рисунок 7 – Фотография реактора для получения импульсного коронного разряда

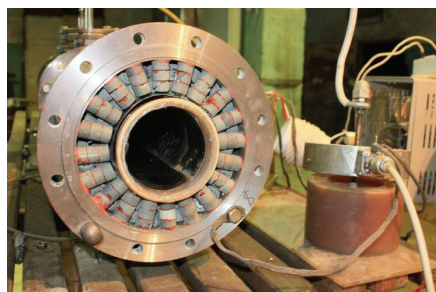


Рисунок 8 – Фотография реактора для получения импульсного барьерного разряда с катализатором

На рис. 10 приведены осциллограммы импульсов напряжения на коронном и барьерном реакторах, полученные при помощи емкостных делителей напряжения и двухканального цифрового осциллографа типа RIGOL во вре-

мя проведения экспериментов на установке с использованием высоковольтных импульсных разрядов и токов непосредственно на ПАО «ЯКХЗ» (Макеевка, Донецкая обл.).

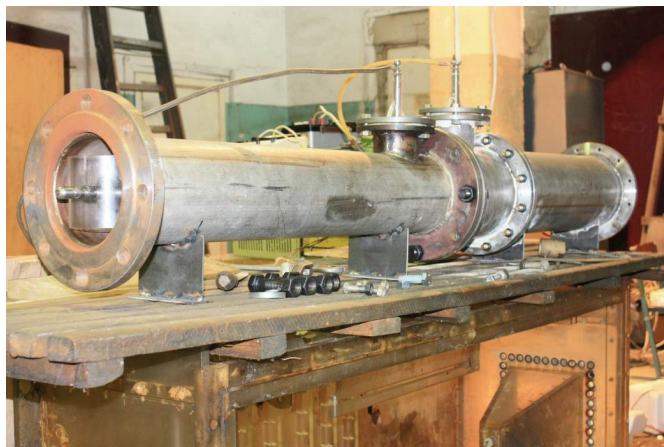


Рисунок 9 – Фотография двухступенчатой системы в сборе

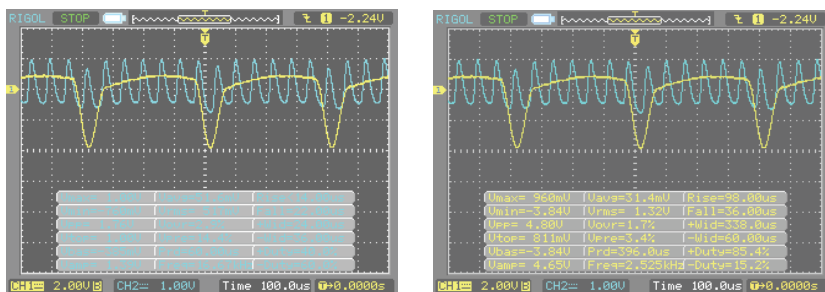


Рисунок 10 – Осциллограммы импульсов напряжения на реакторе с коронными разрядами (период повторения импульсов – примерно 400 мкс) и на реакторе с барьером из кварцевого стекла, заполненном никелевым катализатором (период повторения импульсов – примерно 60 мкс)

**Выводы.** В заводских условиях успешно апробован и отработаны оптимальные режимы работы высоковольтного генератора импульсного напряжения, содержащего повышающий высоковольтный импульсный трансформатор и полупроводниковые *IGBT* ключи в низковольтной цепи, электрофизической установки для конверсии метана в составе коксового газа в синтез-газ при помощи высоковольтных импульсных объемных разрядов: коронного и барьерного с засыпкой никелевым катализатором.

**Список литературы:** 1. *Бойко Н.И.* Электротехнология получения синтез-газа с использованием объемных высоковольтных импульсных разрядов: коронного и барьерного / *Н.И. Бойко, Л.С. Евдошенко, В.М. Иванов, С.Ф. Коняга* // *Электротехника і електромеханіка*. – 2014. – № 4. – С. 45-50. 2. *Бойко Н.И.* Высоковольтные импульсные трансформаторы в технологических установках / *Н.И. Бойко, А.В. Борцов, А.В. Евдошенко, А.И. Зароченцев, В.М. Иванов* // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – X.: НТУ «ХПІ», 2006. – № 36. – С. 8-13. 3. Международная научно-практическая конференция MicroCAD-2012 Тезисы докладов XX международной научно-практической конференции. – Ч.IV. – X.: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 69. 4. *Бойко Н.И.* Компактный емкостный делитель напряжения на 70 кВ с экранированным промежуточным электродом / *Н.И. Бойко, Л.С. Евдошенко, В.М. Иванов, О.А. Христенко* // *Электротехника і електромеханіка*. – 2012. – № 6. – С. 41-46.

**Bibliography (transliterated):** 1. Bojko N.I. Jelektrotehnologija poluchenija sintez-gaza s ispol'zovanіem ob'jomnyh vysokovol'tnyh impul'snyh razrjadov: koronnogo і bar'ernogo. N.I. Bojko, L.S. Evdoshenko, V.M. Ivanov, S.F. Konjaga. *Elektrotehnika і Elektromehanika*. 2014. No 4. 45-50 Print. 2. Bojko N.I. Vysokovol'tnye impul'snye transformatory v tehnologіcheskіh ustanovkakh. N.I.Bojko, A.V.Borcov, L.S.Evdoshenko, A.I.Zarochencev, V.M.Ivanov. *Visnik NTU «KhPI»*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2006. No 36. 8-13 Print. 3. Mezhdunarodnaja nauchno-praktіcheskaja konferencija MicroCAD-2012. Tezisy dokladov HX mezhdunarodnoj nauchno-praktіcheskoj konferencii. Part. IV. Kharkiv, NTU «KhPI». 2012. 69 Print. 4. Bojko N.I. Kompaktnyj jomkostnyj delitel' naprjazhenija na 70 kV s jekranirovannym promezhutochnym jelektrodom. N.I. Bojko, L.S. Evdoshenko, V.M. Ivanov, O.A. Hristenko. *Elektrotehnika і elektromehanika*. 2012. No 6. 41-46 Print.

*Поступила (received) 01.04.2015*

УДК 519.2

**Г. М. КОЛИУШКО**, канд. тех. наук., ст. науч. сотр., НТУ «ХПІ»;  
**О. С. НЕДЗЕЛЬСКИЙ**, вед. инженер, НТУ «ХПІ»;  
**Е. Г. ПОНУЖДАЕВА**, зав. лаб., НТУ «ХПІ»;  
**Р. К. БОРИСОВ**, канд. тех. наук., вед. науч.сотр., НИУ «МЭИ», Москва, Россия;  
**Д. И. КОВАЛЕВ**, ст. преподаватель, НИУ «МЭИ», Москва, Россия

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ**

В статье описаны конструкции четырех разработанных опытных образцов устройства блокировки оперативных переключений (УБОП) коммутирующих аппаратов высокого напряжения, используемых на энергообъектах, представлены преимущества и недостатки опытных образцов. В результате устранения недостатков разработан и изготовлен оптимальный вариант конструкции устройства, сохраняющий все преимущества, с которым можно ознакомиться в данной статье.

© Г. М. Колиушко, О. С. Недзельский, Е. Г. Понуждаева, Р. К. Борисов, Д. И. Ковалев, 2015