

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 predecaci 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_{μ} – 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_{μ} – соответственно коллекторный ток, приведенный ток через нагрузку – реактор, ток намагничивания (показаны стрелками); V – вольтметр.

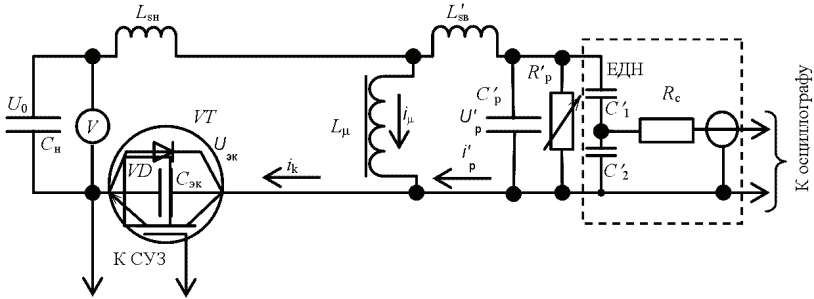


Рисунок 1 – Схема замещения генератора импульсов напряжения

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_μ 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.

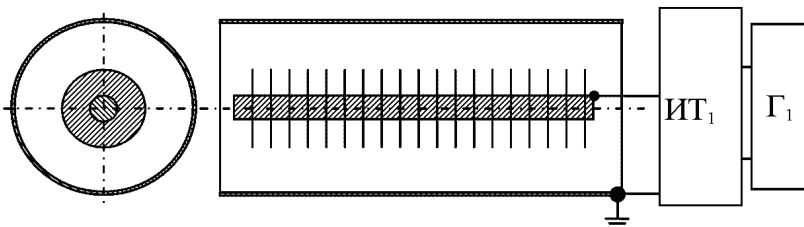


Рисунок 2 – Реактором с коронным разрядом в созданном опытном образце электрофизической установки

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

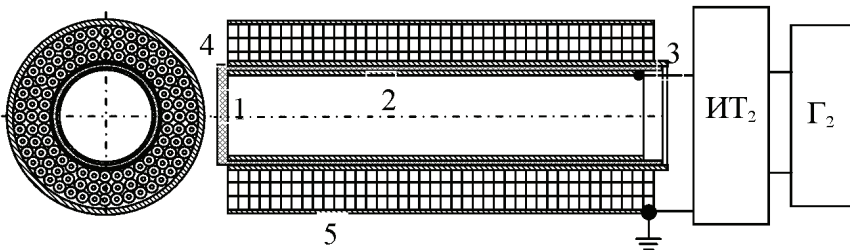


Рисунок 3 – Реактором с барьерным разрядом в созданном опытном образце электрофизической установки

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. ИТ₁ – импульсный трансформатор, к вторичной обмотке которого подсоединен реактор с импульсным коронным разрядом, а к первичной – низковольтный силовой генератор исходных импульсов Г₁.

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; ИТ₂ – импульсный трансформатор, к вторичной обмотке которого подсоединен реактор с импульсным барьерным разрядом и засыпкой никелевым катализатором, а к первичной – низковольтный силовой генератор исходных импульсов Г₂.

На рис. 4 представлены фото генераторов исходных импульсов Г₁ и Г₂ в установке, которые нагружаются на импульсные трансформаторы ИТ₁ и ИТ₂.

На рис. 5 и рис. 6 представлены фото импульсного трансформатора ИТ₁ для импульсного коронного разряда со стальным ленточным магнитопроводом и импульсного трансформатора ИТ₂ 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 ИТ₁



Рисунок 6 – Фотография импульсного трансформатора ИТ₂

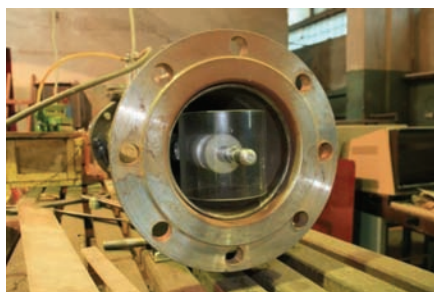


Рисунок 7 – Фотография реактора для получения импульсного коронного разряда



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.).

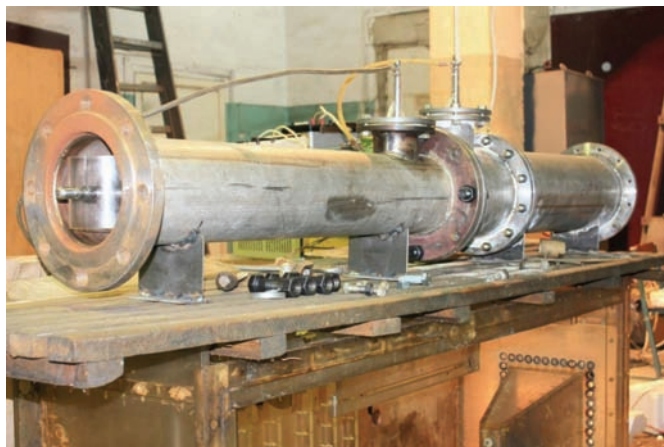


Рисунок 9 – Фотография двухступенчатой системы в сборе

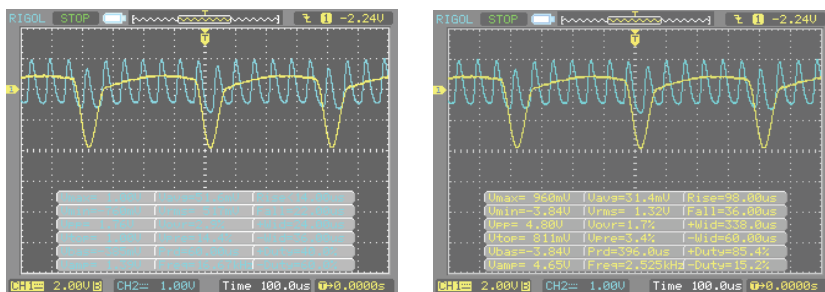


Рисунок 10 – Осциллограммы импульсов напряжения на реакторе с коронными разрядами (период повторения импульсов – примерно 400 мкс) и на реакторе с барьером из кварцевого стекла, заполненном никелевым катализатором (период повторения импульсов – примерно 60 мкс)

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. Евдощенко, 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. Евдощенко, 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. Евдощенко, 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'zovaniem ob'jomnyh vysokovol'tnyh impul'snyh razrjadov: koronnogo i bar'ernogo. N.I. Bojko, L.S. Evdoshenko, V.M. Ivanov, S.F. Konjaga. *Elektrotehnika i Elektromehanika*. 2014. No 4. 45-50 Print. 2. Bojko N.I. Vysokovol'tnye impul'snye transformatory v tehnologicheskix ustanovkax. 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-prakticheskaja konferencija MicroCAD-2012. Tezisy dokladov HX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi 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 i 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 «ХПИ»;
О. С. НЕДЗЕЛЬСКИЙ, вед. инженер, НТУ «ХПИ»;
Е. Г. ПОНУЖДАЕВА, зав. лаб., НТУ «ХПИ»;
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

УДК 621.319.53

Генератор електрофізичної установки на основі високовольтного імпульсного трансформатора / В.М. Іванов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2015. – № 20 (1129). – С. 36-43. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0740.

Створені й успішно пройшли апробацію в заводських умовах генератори високої напруги, що містять імпульсні трансформатори з напівпровідниковими IGBT ключами в низьковольтному ланцюзі трансформатора, зразка електрофізичної установки для конверсії метану в складі коксового газу в синтез-газ за допомогою високовольтних імпульсних об'ємних розрядів: коронного і бар'єрного. Режим роботи ключа, що розмикає, дозволяє уникнути обмеження по амплітуді імпульсів напруги на навантаженні і повністю передати накопичену енергію в індуктивному накопичувачі.

Ключові слова: електрофізична установка, високовольтний імпульсний трансформатор, напівпровідниковий ключ, імпульсний коронний розряд, імпульсний бар'єрний розряд.

УДК 621.319.53

Генератор электрофизической установки на основе высоковольтного импульсного трансформатора / В.М. Иванов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2015. – № 20 (1129). – С. 36-43. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0740.

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.

Generator of electrophysical plants based on high-voltage pulse transformer / V.M. Ivanov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2015. – № 20 (1129). – С. 36-43. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-0740.

High tension generators, pulse transformers containing semiconductor IGBT switches in low-voltage transformer circuit had been created and successfully tested at the plant, with the sample of electrophysical installations for methane conversion as part of coke oven gas into synthesis gas using high-voltage pulse of volumetric discharges: corona and barrier. Break mode switch allows you to avoid limiting the amplitude of the pulse voltage at the load and fully convey the energy stored in the inductive storage. The voltage across the load is proportional to the magnetizing current at the time of the opening of the key and limits the voltage that can withstand without failure of the transistor switch if it is open.

Keywords: electrophysical plants, high-voltage pulse transformer, semiconductor switch, pulse corona discharge, pulse barrier discharge.