

Л. З. БОГУСЛАВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент, зав. отд. ИИПТ
НАН Украины, Николаев;

Л. Н. МИРОШНИЧЕНКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИИПТ
НАН Украины, Николаев;

Л. Е. ОВЧИННИКОВА, канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотр., ИИПТ
НАН Украины, Николаев;

С. С. КОЗЫРЕВ, канд. техн. наук, доцент, НУК, Николаев

ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА- ЦИИ РАЗНОИМПЕДАНСНЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Рассмотрены вопросы повышения эффективности электрофильтрации разноимпедансных газовых выбросов путем использования дополнительных импульсных источников питания с адаптивной системой управления. Адаптивная система управления с обратными связями, обеспечивает корректировку параметров импульсов генераторов в соответствии с текущим составом газовых выбросов, что дает возможность генерировать высоковольтные импульсы с параметрами, позволяющими вести эффективную деструкцию всех весомых составляющих на протяжении всего процесса обработки. Это способствует наиболее эффективному использованию энергии для деструкции каждого вида составляющих разноимпедансных газовых выбросов.

Ключевые слова: импульсные источники питания, адаптивная система управления, электрофильтрация, разноимпедансные газовые выбросы.

Введение. Наибольшее количество экологически опасных газовых выбросов приходится на долю промышленных предприятий металлургической, химической отраслей, на заводы стройматериалов, тепловые электростанции (ТЭС), которые являются источниками вредных газовых выбросов с удельным электрическим сопротивлением от 10^4 до 10^{10} Ом·м. Большинство систем электрофильтрации в Украине морально устарели. Их энергопотребление в 5-6 раз превосходит современные показатели развитых стран. При использовании высокозольного топлива (бурый уголь) появляются проблемы с осаждением высокоомных пылевых частиц, а также с деструкцией экологически опасных газовых выбросов. Поэтому работы по повышению эффективности электрофильтрации разноимпедансных газовых выбросов с использованием дополнительных управляемых импульсных источников питания являются актуальными.

Анализ предварительных исследований. Для обеспечения европейских норм газовых выбросов в условиях использования на ТЭС бурого угля в ИИПТ НАН Украины был разработан способ повышения эффективности работы существующих электрофильтров (ЭФ) с применением дополнительных

импульсных высокочастотных источников питания, формирующих специальные формы напряжения, обеспечивающие как дозарядку разноимпеданной пыли, так и эффективную деструкцию экологически опасных газовых выбросов путем использования стабильных стримерных разрядов в разноимпедансных газовых средах [1].

Наличие в газовых выбросах разноимпеданной пыли обуславливает необходимость корректировать основные параметры импульсов (мощность, длительность, крутизна, частота следования) в соответствии с составом и весовыми долями газовых выбросов. Применяемые в системах электрофильтрации дополнительные импульсные высокочастотные источники питания не имеют возможности текущего управления параметрами импульсов в процессе электрофильтрации, что существенно снижает их эффективность.

Целью работы является повышение эффективности систем электрофильтрации разноимпедансных газовых выбросов с помощью импульсных источников питания с адаптивными системами управления, позволяющими варьировать параметры импульса в процессе электрофильтрации и деструкции экологически опасных составляющих в зависимости от текущего состава и весовых долей газовых выбросов.

Материалы исследований. Комплексные системы электрофильтрации разноимпедансных экологически опасных газовых выбросов должны обеспечить решение с помощью дополнительных управляемых импульсных источников питания ряда ключевых вопросов, основными из которых являются осаждение высокоомных пылей и деструкция экологически опасных газовых выбросов. Для решения этих вопросов необходимо рассмотреть особенности процесса электрофильтрации разноимпедансных газовых выбросов, предложить способы повышения эффективности деструкции экологически опасных газовых составляющих, разработать адаптивные системы управления импульсными источниками питания для реализации этих способов.

Эффективность электрофильтра зависит от мощности, передаваемой в электрофильтр. Анализ зависимости эффективности улавливания летучей золы электрофильтром от переданной мощности показал, что эффективность улавливания золы выше 99 % возможно при увеличении удельной мощности короны до 300 Вт/с/м³. Таким образом, для повышения эффективности воздействия стримерного разряда на дымовые выбросы необходимо увеличивать передачу энергии в плазму. Следствием этого должно быть увеличение количества стримеров в межэлектродном промежутке электрофильтра, что в свою очередь должно привести к увеличению эффективности удаления аэрозольных частиц и уменьшению объема экологически опасных газов, выбрасываемых в атмосферу [2].

Первые опыты по применению метода импульсного питания показали, что запыленность на выходе из электрофильтра снижается в 1,5...1,6 раза, а мощность, потребляемая электрофильтром, в 20 раз [3]. При импульсном пи-

тании электрофильтров электрическая прочность воздушных промежутков выше их электрической прочности при постоянном напряжении, что позволяет увеличить амплитудное значение напряжения и получить больший удельный заряд пыли.

Как показали исследования, эффективность пылеулавливания на стандартных системах газоочистки падает в два раза при повышении удельного сопротивления золы от 10^6 до 10^{10} Ом·м. Для электрофильтрации высокоомной пыли необходимо сокращать фронт импульса, изменять длину импульсов и частоту их следования. Более того, для повышения эффективности электрофильтрации эти изменения необходимо согласовывать с текущим составом газовых выбросов, что требует адаптивного управления.

Проведенные в ИИПТ НАН Украины теоретические и экспериментальные исследования, в основу которых положен научный опыт исследований института в области теории импульсных процессов и преобразования энергии при коронном и объемном разрядах в конденсированных средах, создания импульсных источников энергии высокой плотности и систем управления ими, позволили создать специальный класс оборудования, обеспечивающего формирование высоковольтных высокочастотных импульсов с частотой следования до 10 кГц, напряжением до 100 кВ, крутизной фронта до сотен наносекунд. Такие параметры импульсов обеспечивают создание стримерных коронных и объемных разрядов в высокоомных газовых средах, необходимых для модернизации технологии очистки разноимпедансных газовых выбросов экологически опасных промышленных объектов.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования условий формирования стримерных коронных и объемных разрядов позволили сформулировать ряд условий, обязательных для формирования и поддержки таких разрядов. Так, для их формирования, в зависимости от состава пыли, необходим импульс с крутизной от микросекундного до наносекундного фронта. Для обеспечения эффективной дозарядки пыли длительность высоковольтных импульсов должна соответствовать ее электрическим параметрам (обычно это десятки-сотни микросекунд). Частота следования разрядных импульсов должна находиться в диапазоне от единиц до десятков килогерц - это условие обеспечения стабильного разряда при изменении характеристик среды в процессе работы устройства в значительном объеме обрабатываемого объекта [4].

Как отмечалось выше, наличие в газовых выбросах разноимпедансной пыли обуславливает необходимость корректировать в процессе очистки основные параметры импульсов (длительность, крутизна, частота следования) в соответствии с составом и весовыми долями газовых выбросов.

Суть предлагаемого способа деструкции разноимпедансных газовых выбросов экологически опасных промышленных объектов заключается в следующем: объемный разряд образуется в разноимпедансной газовой среде при подаче на многоострийную электродную систему по заданному алгоритму высоковольтных высокочастотных импульсов с коротким фронтом от им-

пульсных источников питания с длительностью и частотой следования импульсов, необходимыми для деструкции каждой из значимых разноимпедансных составляющих газовых выбросов [5]. Определить составляющие газовых выбросов можно предварительно согласно атласу пылей, либо используя непосредственный анализ структуры конкретной газовой смеси. В объеме опасных разноимпедансных выбросов определяют количество и весовой коэффициент наиболее значимых составляющих газовых выбросов, и в соответствии с этим определяется необходимый алгоритм работы импульсной системы питания, обеспечиваемый адаптивной системой управления. Подача высоковольтных высокочастотных импульсов, необходимых для деструкции разноимпедансной газовой смеси, осуществляется от импульсных источников, количество и длительность импульсов которых соответствуют количеству и величине долей весомых составляющих газовых выбросов.

Блок-схема импульсной системы питания с адаптивным управлением для электрофильтрации разноимпедансных газовых выбросов приведена на рис. 1. Импульсная система питания состоит из нескольких генераторов высоковольтных импульсов 1 (Г1-ГN), количество которых зависит от прогнозируемого состава газовых выбросов, которые работают на электрофильтр 2, являющийся общей нагрузкой для генераторов в виде многоострийной электродной системы, которая разделена на n секций соответственно количеству генераторов. Общая адаптивная система управления 3 (ОАСУ) подает управляющие сигналы на индивидуальные системы управления 4 (СУ1-СУN) генераторов 1 и имеет обратную связь с анализаторами 5 электрофильтра (нагрузки) 2. Генераторы высоковольтных импульсов 1 имеют в своем составе источник питания 6, регулятор напряжения 7, формирователь импульсов 8, высоковольтный импульсный трансформатор 9. Индивидуальные системы управления 4 генераторов 1 подают управляющие сигналы на регуляторы напряжения 7 и формирователи импульсов 8 соответствующих генераторов, а на них поступают сигналы обратной связи с источников питания 6, регуляторов напряжения 7, формирователей импульсов 8 и датчиков тока 10 (ДТ).

Электрофильтр (нагрузка) представляет собой многоострийную электродную систему, разделенную на n секций, через которые проходят газовые выбросы, деструкцию которых обеспечивает коронный объемный разряд, возникающий в межэлектродном пространстве, и имеет в своем составе два анализатора газовых выбросов 5, расположенных на входе и выходе.

Общая адаптивная система управления 3 подает управляющие сигналы 11 на индивидуальные системы управления 4 генераторов 1 и получает сигналы обратной связи 12 с анализаторов 5 и сигналы обратной связи 13 из индивидуальных систем управления 4 генераторов 1.

Наличие обратных связей обеспечивает коррекцию длины и частоты прохождения высоковольтных импульсов соответственно текущему составу газовых выбросов и дает возможность вести эффективную деструкцию всех составляющих газовых выбросов на протяжении всего процесса обработки.

Система импульсного электропитания электрофильтров с адаптивным управлением для очистки разноимпедансных газовых выбросов работает следующим образом. Общая адаптивная система управления 3 предварительно получает с анализаторов 5 по каналам связи 12 информацию о количестве весомых составляющих, которые имеют разные импедансы, в общем объеме разноимпедансных газовых выбросов, и по установленному алгоритму подключает необходимое количество генераторов высоковольтных импульсов 1, равняющееся количеству обнаруженных анализаторами весомых составляющих разноимпедансных газовых выбросов. Затем путем подачи необходимых управляющих сигналов на индивидуальные системы управления 4 генераторов 1 обеспечивается генерирование высоковольтных импульсов с параметрами (частота следования, форма импульса), которые необходимы для деструкции обнаруженных анализаторами 5 весомых составляющих разноимпедансных газовых выбросов. Значение параметров импульсов, необходимых для деструкции различных составляющих газовых выбросов, определяются в процессе предварительных исследований и заносятся в базу знаний общей адаптивной системы управления.

В процессе работы происходит деструкция весомых составляющих, соответственно изменяется текущий состав газовых выбросов. Благодаря наличию обратной связи 12, от анализаторов 5 в общую адаптивную систему управления 3 поступают сигналы, которые обрабатываются в соответствии с заложенным алгоритмом. При этом общая адаптивная система управления 3 генерирует управляющие сигналы, которые подаются в индивидуальные системы управления 4 генераторов 1 и корректируют длину и частоту высоковольтных импульсов в соответствии с текущим составом газовых выбросов.

Общая адаптивная система управления может реализовывать несколько алгоритмов работы в зависимости от исходных данных. Библиотека алгоритмов загружается в базу знаний и при поступлении информации в базу данных вызывается необходимый алгоритм. В процессе работы по обратным связям поступает информация о текущем состоянии объекта обработки (состав газовых выбросов) и происходит корректировка параметров высоковольтных импульсов генерируемых дополнительными импульсными источниками питания, а при необходимости и алгоритмов работы общей системы управления. Возможность корректировки параметров генерируемых импульсов позволяет обеспечить их оптимальные параметры для осаждения и деструкции всех весомых составляющих газовых выбросов, что позволяет вести эффективную деструкцию всех составляющих газовых выбросов на протяжении всего процесса обработки при минимальных затратах энергии.

Выводы. В результате проведенных исследований создана импульсная система питания для электрофильтрации с дополнительными импульсными источниками питания и общей адаптивной системой управления. Благодаря наличию адаптивной системы управления с обратными связями, обеспечива-

ється коректировка параметров імпульсов всіх генераторов в соответствии с текущим составом газових вибросов, что дает возможность генерировать высоковольтные імпульсы с параметрами, позволяющими вести эффективную деструкцию всех весомых составляющих на протяжении всего процесса обработки, что способствует наиболее эффективному использованию энергии для деструкции каждого вида составляющих разноимедансных газових вибросов.

Список литературы. 1. Пат. 90293 Украина, МПК (2014) B01D 53/32 (2006.01) C10K 1/00 H1T 19/00. Спосіб деструкції різноімедансних газових викидів небезпечних промислових об'єктів / Богуславський Л. З., Мирошніченко Л. М., Діордійчук В. В.; заявник та патентовласник Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України. – № у 2013 11731; заявл. 04.10.2013; опубл. 26.05.14. Бюл. № 10. 2. *Богуславский Л. З.* Влияние режимов работы высоковольтного источника питания на формирование стримерного коронного разряда и эффективность систем газоочистки / Л. З. *Богуславский, Л. Н. Мирошниченко, Ю. Г. Казарян, Н. С. Ярошинский* // Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силовая електроніка та енергоефективність. – 2011. – Ч. 1. – С. 44-49. 3. *Богуславский Л. З.* Создание макетных образцов высоковольтного оборудования комплексных систем электрофильтрации экологически опасных промышленных выбросов / Л. З. *Богуславский, Л. Н. Мирошниченко, В. В. Диордийчук, Д. В. Винниченко, Н. С. Ярошинский* // Вестник «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – № 52 (958). – С. 31-39. 4. *Богуславский Л. З.* Электрофильтрация разноимедансных газовых выбросов в комплексной системе пылегазоочистки экологически опасных промышленных объектов / Л. З. *Богуславский, Л. Н. Мирошниченко* // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – № 21. – С. 12-16. 5. Заявка № у 2014 07889 Україна, МПК (2014.01) H03K3/53 B01D 53/32 C10K1/00 Система імпульсного електроживлення електрофільтрів для очищення різноімедансних газових викидів / *Богуславський Л. З., Мирошніченко Л. М., Овчиннікова Л. Є.* Заявлено 14.07.2014.

Bibliography (transliterated): 1. Pat. 90293 Ukrayna, МПК (2014) B01D 53/32 (2006.01) C10K 1/00 H1T 19/00. Sposib destruktiviyi riznoimедansnykh hazovykh vykydiv nebezpechnykh promyslovykh ob'yektiv. Bohuslavskyy L. Z., Myroshnychenko L. M., Diordiychuk V. V.; zayavnyk ta patentovlasnyk Instytut impulsnykh protsesiv i tekhnolohiy NAN Ukrayiny. – № u 2013 11731; zayavl. 04.10.2013; opubl. 26.05.14. Бюл. № 10. Print. 2. Boguslavskij, L. Z., et all. Vlijanie rezhimov raboty vysokovoltного istochnika pitaniya na formirovanie strimerного koronного razrjada i effektivnost sistem gazoочistki. Tehn. elektrodinamika. Tem. vyp. Sylova elektronika ta energotfektyvnost. - 2011. 44-49 P. Print. 3. Boguslavskij, L. Z., et all. Sozdanіe maketnyh obrazcov vysokovoltного oborudovaniya kompleksnyh sistem elektrofiltracii ekologicheski opasnyh promyshlennyh vybrosov. Vestn. Khar'k. politehn. in-ta, № 52 (958), 2012. 31-39 P. Print. 4. Bohuslavskyy L. Z. Elektrofil'tratsyya raznoimедansnykh hazovykh vybrosov v kompleksnoy systeme pylеgazoочystky ekologicheskoy opasnykh promyshlennykh ob'yektiv. L. Z. Bohuslavskyy, L. N. Myroshnychenko. Vestn. Khar'k. politehn. in-ta, № 21, 2014. 12-16 P. Print. 5. Zayavka № u 2014 07889 Ukrayna, МПК (2014.01) H03K3/53 B01D 53/32 C10K1/00 Systema impulsного elektrozhivlennya elektrofil'triv dlya ochyshchennya riznoimедansnykh hazovykh vykydiv. Bohuslavskyy L. Z., Myroshnychenko L. M., Ovchynnikova L. Ye. Zayavleno 14.07.2014. Print.

Поступила (received) 03.10.2014

УДК 621.3.015.3:537.523.3:697.946

Імпульсні джерела живлення з адаптивним керуванням для ефективної електрофільтрації різноімпедансних газових викидів / Л. З Богуславський, Л. М. Мирошніченко, Л. С. Овчиннікова, С. С. Козирєв // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 49-55. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0740.

Розглянуто питання підвищення ефективності електрофільтрації різноімпедансних газових викидів шляхом використання додаткових імпульсних джерел живлення з адаптивною системою керування. Адаптивна система керування зі зворотними зв'язками забезпечує коригування параметрів імпульсів генераторів відповідно до складу газових викидів, що дає змогу генерувати високовольтні імпульси з параметрами, які дозволяють вести ефективну деструкцію усіх вагомих складових в процесі обробки. Це забезпечує найбільш ефективне використання енергії для деструкції кожного виду складових різноімпедансних газових викидів.

Ключові слова: імпульсні джерела живлення, адаптивна система керування, електрофільтрація, різноімпедансні газові викиди.

УДК 621.3.015.3:537.523.3:697.946

Импульсные источники питания с адаптивным управлением для эффективной электрофильтрации разноимпедансных газовых выбросов / Л. З Богуславский, Л. Н. Мирошніченко, Л. Е. Овчинникова, С. С. Козырев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 49-55. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0740.

Рассмотрены вопросы повышения эффективности электрофильтрации разноимпедансных газовых выбросов путем использованием дополнительных импульсных источников питания с адаптивной системой управления. Адаптивная система управления с обратными связями, обеспечивает корректировку параметров импульсов генераторов в соответствии с текущим составом газовых выбросов, что дает возможность генерировать высоковольтные импульсы с параметрами, позволяющими вести эффективную деструкцию всех весомых составляющих на протяжении всего процесса обработки. Это способствует наиболее эффективному использованию энергии для деструкции каждого вида составляющих разноимпедансных газовых выбросов.

Ключевые слова: импульсные источники питания, адаптивная система управления, электрофильтрация, разноимпедансные газовые выбросы.

Switched Power Supplies with adaptive control for efficient electrofiltration gas bursts with different impedance / L. Z. Boguslavsky, L. N. Miroshnichenko, L. E. Ovchinnikova, S. S. Kozyrev // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 50 (1092). – С. 49-55. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0740.

The problems of improving the effectiveness of electrofiltration differently impedance gas bursts through the use of additional switching power supplies with an adaptive control system. Established pulse power system for electrofiltration, thanks to an adaptive control system that provides adjustment parameters of the pulses of all generators in accordance with the current composition of the gaseous bursts, makes it possible to conduct effective destruction of all the tangible components throughout the treatment process, which promotes the most efficient use of energy for the destruction of each type of constructing different impedance gas bursts.

Keywords: Switched power supplies; adaptive control; electrofiltration; different impedance gas bursts.