

УДК 621.31

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

© 2019 г. Н. В. Коровкин<sup>1, \*</sup>, Н. И. Игнатьев<sup>2</sup><sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>Дальневосточный Федеральный Университет, Владивосток, Россия

\*e-mail: nikolay.korovkin@gmail.com

Поступила в редакцию 04.10.2018 г.

В работе рассматриваются вопросы раннего обнаружения развивающихся дефектов и использования электромагнитного контроля как одного из методов оценки состояния высоковольтного оборудования под рабочим напряжением. Предоставлены результаты исследований, позволяющие расширить и углубить возможности одного из вариантов способа электромагнитного контроля, основанного на анализе спектров собственного электромагнитного излучения контролируемого оборудования. Описаны понятие диагностической электромагнитной обстановки, а также процедура ее определения и оценки. Показана возможность контроля как внешних, так и внутренних конструктивных элементов контролируемого оборудования. Рассмотрена возможность использования свойств и характеристик фликкер-шума для оценки состояния оборудования. Описаны квалификационные свойства спектров в информационных частотных полосах и процедура их использования для электромагнитной паспортизации оборудования. Определены принципы применения электромагнитного контроля в системах комплексной диагностики.

*Ключевые слова:* электромагнитное излучение, контроль состояния, высоковольтное оборудование, трансформаторы, фликкер-шум, паспортизация, диагностическая обстановка

DOI: 10.1134/S0002331019010084

### ВВЕДЕНИЕ

На прошедших за последние годы сессиях СИГРЭ специалисты активно обсуждают новые подходы к организации контроля и диагностики высоковольтного оборудования. В первую очередь это касается трансформаторов, реакторов и их компонентов. В центре внимания исследовательского комитета А2 (Трансформаторы) сессии 2016 г. были такие вопросы, как развитие и повышение эффективности систем мониторинга для раннего обнаружения развивающихся дефектов, развитие методов диагностики трансформаторного оборудования, применение индексов состояния и ранжирование оборудования.

В России разработаны положения о технической политике<sup>1, 2</sup>, согласно которым техническое диагностирование и мониторинг электросетевого оборудования в современных условиях должны проводиться в основном под рабочим напряжением без вывода оборудования из работы. К числу методов, отвечающих требованиям перехода к

<sup>1</sup> Положение ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. М.: 2017. 196 с.

<sup>2</sup> Положение о технической политике ОАО «ФСК ЕЭС». М.: 2011. 147 с.

новой системе технического обслуживания и ремонта можно отнести и способ электромагнитного контроля.

Российские и зарубежные электроэнергетические компании начали активно включать способ электромагнитного контроля в перечень методов, используемых для комплексной диагностики высоковольтного оборудования. Среди Российских компаний следует отметить ЗАО НПО Техносервис-электро, Электросетьсервис, ДИМРУС и другие [1]. Использование электромагнитного контроля в указанных компаниях подразумевает выявление силового оборудования с повышенным уровнем разрядной активности.

За рубежом практическое использование методов контроля разрядной активности началось с шестидесятых годов прошлого века. В настоящее время подобные системы используются в основном для регистрации и анализа амплитуд потока импульсов от разрядных явлений как в режиме онлайн, так и при интервальных испытаниях [2–7].

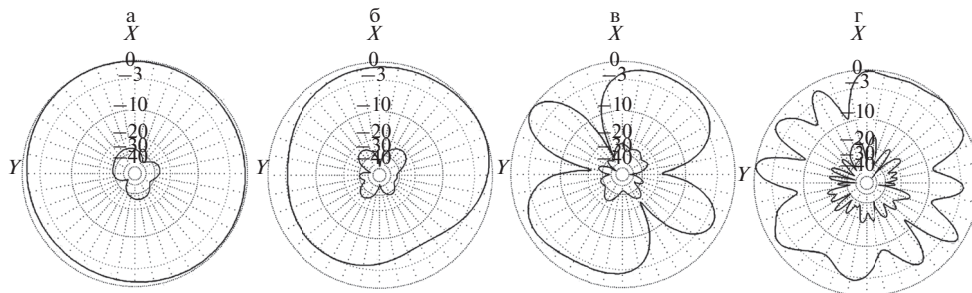
В [8–10] рассмотрен способ электромагнитного контроля, основанный на анализе спектров собственного электромагнитного излучения (ЭМИ) высоковольтного электроэнергетического оборудования (ВВЭО). В вышеуказанных работах отмечено, что накопление экспериментального материала, сравнение с результатами других испытаний поможет постепенно расширить и углубить возможности данного вида электромагнитного контроля, включить его в состав методов комплексной диагностики электроэнергетического оборудования. За истекший период научными коллективами Дальневосточного федерального университета и Института автоматики и процессов управления ДВО РАН сделаны существенные шаги в вышеуказанных направлениях.

**Целью настоящей работы** является предоставление информации по вопросам, касающимся расширения и углубления возможностей способа электромагнитного контроля путем создания новых методик, учитывающих такие компоненты, как диагностическая электромагнитная обстановка, состояние внутренних и внешних конструктивных элементов, спектральные составляющие низкочастотного диапазона.

### ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

Электромагнитный контроль, основанный на анализе спектров собственного электромагнитного излучения, базируется на положении, что спектральный состав внешнего электромагнитного поля исправного и дефектного оборудования отличаются друг от друга. В теории электромагнитной совместимости используется понятие “электромагнитной обстановки” (ЭМО), под которой в частности понимается совокупность электромагнитных полей в широком частотном диапазоне. Как показывают исследования, выявление степени дефектности оборудования по результатам анализа спектров ЭМИ целесообразно проводить в так называемых информационных полосах [11]. Количество и ширина этих полос определяется резонансными свойствами конструктивных элементов оборудования. Информационные полосы находятся в области высоких и сверхвысоких частот, а именно от 3 до 3000 МГц [12, 13]. Например, резонансные частоты вводов силовых автотрансформаторов 500 кВ присутствуют в диапазоне от 15 до 190 МГц. При диагностике по составляющим первой гармоники спектра собственного ЭМИ информационные частотные полосы занимают этот же диапазон. Если в процессе диагностирования учитывать составляющие высших гармоник, то информационные полосы будут располагаться в диапазоне до нескольких гигагерц.

Электромагнитной обстановке, ассоциированной с информационными частотными полосами, целесообразно дать определение “диагностической”. В понятие диагностической ЭМО рекомендуется также включать результаты оценки особенностей распределения электромагнитного поля вблизи оборудования, в том числе вопросы отражения и выявления направленных свойств излучателей. Учет диагностической ЭМО



**Рис. 1.** Диаграммы направленности автотрансформатора 500 кВ для частот: (а) – 17.6 МГц; (б) – 27 МГц; (в) – 125 МГц; (г) – 167 МГц.

позволит получать информацию о состоянии ВВЭО, обладающую детерминированной ценностью (минимизируется или исключается влияние случайных факторов).

Таким образом, оценка диагностической обстановки по существу сводится к определению наиболее существенных особенностей распределения электромагнитного поля в информационных частотных полосах. Процедура получения и оценки диагностической ЭМО требует определенной последовательности, включающей в себя следующие основные этапы:

1. Составление излучающих моделей для обследуемого оборудования.
2. Выявление информационных частотных полос, характеризующих техническое состояние основных конструктивных элементов оборудования.
3. Расчет диаграмм направленности.
4. Определение мест расположения измерительных комплексов, предназначенных для регистрации спектров ЭМИ.

В качестве примера на рис. 1 приведены рассчитанные с помощью программы MMANA-GAL диаграммы направленности для четырех информационных частот автотрансформатора 500 кВ, а именно 17.6, 27, 167, 125 МГц, соответствующих резонансным частотам вводов 500, 220, 11 кВ и ввода нейтрали. Из рисунков видно, что на частотах до 30 МГц диаграммы направленности имеют относительно сглаженный вид, в то время как при более высоких частотах они могут иметь сильную изрезанность. Эти особенности диагностической ЭМО необходимо учитывать в процессе выбора места расположения измерительной аппаратуры при проведении обследований.

## РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ

Углубление и расширение возможностей электромагнитного контроля в первую очередь может быть связано с разработкой новой методики, учитывающей информацию как о внешних, так и о внутренних конструктивных элементах контролируемого оборудования. Анализ спектров в этом случае предусматривает оценку мощности излучения в пределах узкополосных участков, соответствующих резонансным частотам внутренних конструктивных элементов. Такой подход требует более тщательной регистрации спектров ЭМИ, выделения дополнительных информационных частотных полос  $\Delta f_i$ , занесения их в базу данных и использования для оценки технического состояния оборудования.

Спектр собственного ЭМИ однофазного автотрансформатора 500 кВ, подготовленный для выполнения вышеуказанного анализа, изображен на рис. 2. В нем выделены полосы, соответствующие обмоткам высокого ( $\Delta f_{S1}$  и  $\Delta f_{S2}$ ), низкого ( $\Delta f_{S4}$  и  $\Delta f_{S5}$ ) на-

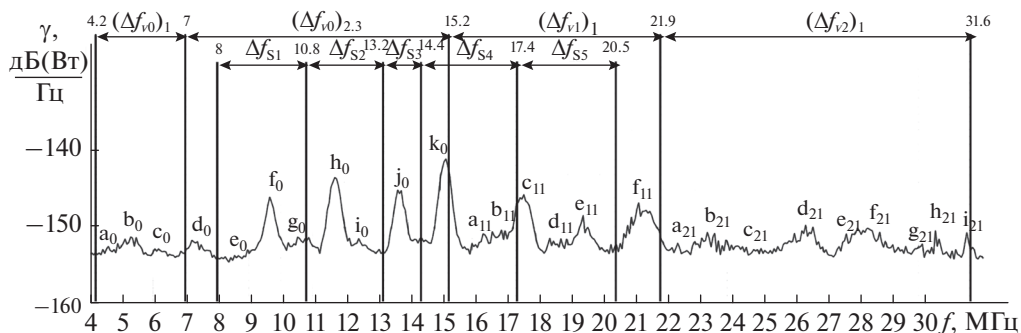


Рис. 2. Спектр электромагнитного излучения автотрансформатора 500 кВ.

прядения и регулировочной обмотке ( $\Delta f_{S3}$ ). Излучение от этих обмоток регистрируется в пределах полосы пропускания излучателей, роль которых выполняют высоковольтные вводы автотрансформатора и спуски к ним (полосы  $(\Delta f_{v1})_1$  и  $(\Delta f_{v0})_{2,3}$ ).

Степень дефектности  $i$ -го внутреннего конструктивного элемента целесообразно определять по характеру изменения максимальной интенсивности пиков ЭМИ, расположенных внутри соответствующего частотного диапазона  $\Delta f_i$ . Рост интенсивностей пиков ЭМИ, отображающих состояние конкретного внутреннего элемента будет свидетельствовать о росте его дефектности. Данное обстоятельство позволяет использовать информацию о пиках ЭМИ как для оценки технического состояния внутренних элементов, так и для ранжирования оборудования по степени дефектности.

Результаты исследований спектрального состава ЭМИ при частотах ниже одного мегагерца позволяют расширить возможности электромагнитного контроля путем использования свойств и характеристик фликкер-шума. Фликкер-шум (или  $1/f$ -шум) — это избыточный шум, генерируемый случайными флуктуациями тока, причины которого могут быть связаны с дефектами в ВВЭО. В отличие от белого шума, представляющего собой равномерную спектральную плотность с одинаковой энергией шумового сигнала в любой заданной полосе частот, спектральная плотность фликкер-шума снижается с ростом частоты. Его частотный спектр занимает низкочастотную область и затухает при приближении к единицам мегагерц. Процедура оценки технического состояния на основе анализа характера изменения спектральных составляющих фликкер-шума может состоять из следующих этапов:

1. Выделение компонентов белого шума и фликкер-шума на спектре ЭМИ. Различный характер проявления упомянутых компонентов шума позволяет визуально достаточно точно разделить спектр ЭМИ ВВЭО на зоны доминирования белого и фликкерного шумов. Для этого следует представить спектр ЭМИ в логарифмическом масштабе в диапазоне частот от 3 кГц до 300 МГц. Тогда с учетом статистической погрешности локальные минимумы излучений будут образовывать наклонную прямую на участке с преобладанием фликкер-шума и горизонтальную прямую на участке с преобладанием белого шума. Вышеприведенные утверждения проиллюстрированы на рис. 3 и 4, где приведены спектры силового автотрансформатора 500 кВ. На рисунках локальные минимумы участка с преобладанием фликкерного шума и участка с доминированием белого шума выделены и обозначены точками “a..y” и “A..Y” соответственно.

2. Определение частоты раздела областей доминирующего действия белого шума и фликкер-шума. Указанные компоненты шума на некоторых участках спектра ЭМИ могут быть скрыты за интенсивными квазигармоническими колебаниями. На таких



когда частоты раздела имеют различные значения, для оценки технического состояния ВВЭО целесообразно использовать их наибольшее значение. В приведенных на рис. 3 и рис. 4 спектрах наибольшей частоте раздела соответствует значение  $f_2 = 261$  кГц с точками  $z_2'$  и  $z_2$ , имеющими спектральные плотности величиной  $-157.6$  и  $-153.5$  дБ(Вт)/Гц соответственно.

4. Оценка разности спектральных плотностей фликкерных компонентов шума между имеющимися спектрами ЭМИ однотипного ВВЭО. Эти данные можно использовать в качестве критерия оценки технического состояния трансформаторов по спектральным составляющим фликкер-шума. Обоснование и выработка численных критериев уровней дефектности ВВЭО по разности спектральных плотностей фликкерных компонентов шумов требует проведения дальнейших исследований и накопления статистических данных.

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Результаты электромагнитного контроля на основании анализа спектров собственного электромагнитного излучения целесообразно представлять в виде электромагнитного паспорта. В паспорте в удобной табличной форме приводятся значения электромагнитных характеристик оборудования, полученные в результате обработки спектров в выбранных для паспортизации информационных диапазонах. К перечню паспортных электромагнитных характеристик следует отнести квалификационные свойства спектров в информационных частотных полосах основной гармоник, высших гармоник, в областях действия белого шума и фликкер-шума.

Процедуру электромагнитной паспортизации ВВЭО целесообразно начинать с выбора информационных частотных диапазонов, квалификационные свойства которых будут использованы для процедуры паспортизации. При этом следует избегать наложения гармоник внешних конструктивных элементов друг на друга. В качестве квалификационных характеристик спектров, значения которых заносятся в паспорт, целесообразно использовать:

- интегральную мощность излучения для каждого информационного частотного диапазона;
- спектральные плотности пиков ЭМИ;
- количество пиков, превышающих граничный уровень;
- интенсивность фликкерного компонента шума на максимальной частоте его доминирующего действия.

Электромагнитная паспортизация позволяет формировать и использовать электромагнитные характеристики обследуемого оборудования на нескольких этапах диагностирования, в том числе при ранжировании и оценке степени дефектности внутренних элементов.

Следует отметить, что эффективность диагностики можно существенно расширить, если электромагнитные паспорта составлять на всех этапах эксплуатации оборудования, а именно:

- при заводских испытаниях;
- при приложении испытательных напряжений;
- в режимах холостого хода и под нагрузкой;
- при введении оборудования в эксплуатацию;
- после проведения регламентных испытаний;
- после длительных перерывов в эксплуатации.

## МЕСТО И РОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ В КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ ДИАГНОСТИКИ

Включение электроэнергетическими компаниями электромагнитного контроля в комплексную систему диагностики обусловлено в первую очередь желанием в полной мере использовать его достоинства:

- информация о появлении локальных дефектов немедленно появляется в информационном электромагнитном поле;
- обследование проводится дистанционно без вмешательства в технологический процесс;
- фиксацию дефекта можно считать ранней, поскольку имеется резерв времени для оценки степени опасности дефекта;
- возможна организация мониторинга состояния оборудования в режиме реального времени.

Авторами проведены исследования по определению места и роли электромагнитного контроля в комплексной системе диагностики. При этом принималось во внимание, что основной подход к управлению техническим состоянием электрооборудования можно сформулировать как обеспечение надежности функционирования энергетических объектов, основанное на индивидуальном наблюдении за реальными изменениями технического состояния оборудования в процессе эксплуатации. Совершенствование системы технической эксплуатации включает в себя [14]:

- оптимальную организацию диагностики и контроля технического состояния;
- оценку и прогнозирование эксплуатационной надежности;
- оптимизацию сроков и объемов проведения технического обслуживания и ремонта;
- выбор рациональной стратегии проведения технического обслуживания и ремонта;
- планирование технического обслуживания и ремонта с учетом технического состояния.

Основная задача состоит в том, чтобы знать текущее состояние электротехнического оборудования и иметь возможность отслеживать его текущие изменения, планировать режим его работы и мероприятия по обслуживанию, а также прогнозировать будущее техническое состояние объекта и меры по его ремонту и замене. Персонал отделов диагностики все чаще сталкивается с проблемой выбора систем мониторинга, обеспечивающих надежность и своевременность отслеживания изменений в техническом состоянии того или иного оборудования [15–17].

Переход к системе технического обслуживания и ремонта по текущему состоянию предусматривает создание оптимального варианта комплексной диагностики под рабочим напряжением без вывода оборудования из работы, который состоит из нескольких ступеней, включающих в себя функциональную диагностику, ранжирование оборудования, техническое диагностирование. Опыт применения электромагнитного контроля показывает, что его использование на любом из вышеперечисленных этапов достаточно, чтобы получить информацию о техническом состоянии ВВЭО и характеризовать его такими показателями как нормальное, ухудшенное, предаварийное или аварийное, что представляет первостепенный интерес для обслуживающего персонала. Проведение очередных обследований позволяет не только отслеживать факт появления дефекта, но и фиксировать скорость его развития, сопоставлять данные электромагнитного контроля с результатами других испытаний, входящих в перечень комплексной диагностики, прогнозировать изменение технического состояния контролируемого оборудования, рекомендовать дальнейшие эксплуатационные мероприятия по обеспечению его надежной и безаварийной работы.

Авторами разработаны и апробированы варианты применения электромагнитного контроля в системах комплексной диагностики. В каждом варианте использованы вы-

шеприведенные положения и методы по улучшению и расширению его возможностей, а именно:

- оценка диагностической электромагнитной обстановки;
- учет информации о состоянии внутренних конструктивных элементов в спектре ЭМИ;
- отслеживание изменения общего технического состояния ВВЭО по характеру изменения спектральных составляющих фликкер-шума;
- создание электромагнитных паспортов обследуемого оборудования.

В методику комплексной диагностики включен также пункт, предусматривающий составление диагностических карт, отражающих состояние оборудования с учетом данных регламентных и диагностических испытаний. Заполнение диагностических карт имеет целью не столько формальное отображение результатов регламентных испытаний или обследований, ранжирования, сколько выводы о степени дефектности, рекомендации по оптимизации сроков и объемов проведения технического обслуживания и ремонта, необходимости проведения испытаний другими диагностическими методами, выбор рациональной стратегии и планирования технического обслуживания и ремонта. Таким образом достигается индивидуализация проведения диагностических мероприятий и оценка технического состояния. Проведение вышеперечисленных мероприятий с использованием электромагнитного контроля позволяет в целом повысить надежность эксплуатации оборудования, оптимизировать финансовые затраты на диагностические работы, а также сократить сроки оценки имеющегося парка.

## ВЫВОДЫ

1. Работы по исследованию характеристик всех составляющих спектров собственного ЭМИ ВВЭО, в том числе низкочастотного диапазона позволяют существенно расширить и углубить возможности метода электромагнитного контроля.
2. Качественный учет диагностической обстановки вблизи обследуемого оборудования принципиально важен для получения достоверных результатов регистрации его ЭМИ.
3. Накопление экспериментальной информации об ЭМИ и техническом состоянии ВВЭО с занесением ее в соответствующие электромагнитные паспорта позволит получить новые численные критерии оценки технического состояния ВВЭО.
4. Включение электромагнитного контроля в системы комплексной диагностики ВВЭО позволит в целом повысить надежность эксплуатации, оптимизировать финансовые затраты на диагностические работы, а также сократить сроки оценки имеющегося парка оборудования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, договор № 5577ГУ2/2014.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.С., Сазонов В.Н. Дистанционная локация мест возникновения дефектов в изоляции высоковольтного оборудования подстанции // Электроэнергия, ежеквартальный спецвыпуск, 2016. № 1. С. 34–37.
2. Yao C., Chen P., Huang C., Chen Y., Qiao P. Study on the Application of an Ultra-High-Frequency Fractal Antenna to Partial Discharge Detection in Switchgears. *Sensors*, 2013, 13 (12), 17362–17378. 10.3390/s131217362
3. Аксенов Ю.П., Голубев А.В., Завидей В.И., Юрин А.В., Ярошенко И.В. Результаты длительной периодической диагностики силовых трансформаторов // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2006. № 1. С. 28–35.
4. Mirzaei H.R., Akbari A., Gockenbach E., Miralikhani K. Advancing new techniques for UHF PD detection and localization in the power transformers in the factory tests. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2015, V. 22. № 1. P. 448–455. 10.1109/TDEI.2014.004249



5. *Álvarez F., Garnacho F., Ortego J., Sánchez-Urán M.* Application of HFCT and UHF Sensors in On-Line Partial Discharge Measurements for Insulation Diagnosis of High Voltage Equipment. *Sensors*, 2015. 15(4). 7360–7387. 10.3390/s150407360
6. *Sagar S.R., Narasimham S.V.L.* Application of Wavelet Transform Technique for Extraction of Partial Discharge Signal in a Transformer. *International J. of Engineering Studies*, 2016. V. 8. № 2. P. 247–258.
7. *Liu Y., Zhou W., Li P., Yang S., Tian Y.* An Ultrahigh Frequency Partial Discharge Signal De-Noising Method Based on a Generalized S-Transform and Module Time-Frequency Matrix. *Sensors*, 2016. 16(6). 941. 10.3390/s16060941
8. *Силин Н.В., Коровкин Н.В.* Электромагнитный контроль электроэнергетического оборудования // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки, 2008. № 63. С. 186–192.
9. *Силин Н.В., Коровкин Н.В., Шамкин И.С.* Электромагнитная паспортизация высоковольтного электроэнергетического оборудования // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки, 2010. № 95. С. 120–125.
10. *Силин Н.В., Коровкин Н.В., Шамкин И.С.* Об особенностях организации эксплуатационного обслуживания высоковольтного оборудования // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки, 2010. № 100–2. С. 19–22.
11. *Кинит Н.В., Лосев В.Л., Силин Н.В., Клоков В.В., Попович А.Б., Белушкин М.Ю.* О способе контроля высоковольтного оборудования на основе анализа спектров его собственного электромагнитного излучения // Промышленная энергетика, 2007. № 4. С. 24–29.
12. *Soomro I.A., Ramdon M.N.* Study on different techniques of partial discharge detection in power transformers winding: Simulation between paper and EPOXY resin using UHF method. *International J. of Conceptions on Electrical and Electronics Engineering*, 2014, V. 2. № 1. 10.1109/TVT.2007.897640
13. *Силин Н.В.* Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого электромагнитного поля // Известия Российской академии наук. Энергетика, 2008. № 3. С. 86–91.
14. *Таджибаев А.И., Назарычев А.Н.* Основные принципы управления техническим состоянием оборудования // Известия Академии Электротехнических наук РФ, 2009. № 2. С. 27–31.
15. *Чернецов В.А., Мягких К.В.* Анализ выбора и опыт применения систем мониторинга силовых трансформаторов ПАО “Ленэнерго” // Электроэнергия, 2016. № 1. С. 42–48.
16. *Adalev A.S., Korovkin N.V., Hayakawa M.* “Identification of electric circuits: problems and methods of solution accuracy enhancement,” IEEE International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS’05, Kobe, Japan, May 23–26, 2005. P. 40.
17. *Bondarenko A., Hayakawa M., Korovkin N., Selina E.* “A General Modeling Method of Synthesis of Complex Technical and Biological Systems”, IEEJ Trans. FM. V. 125. № 7. 2005. P. 577–582.

## Improvement of the Electromagnetic Control Method of High-Voltage Equipment

N. V. Korovkin<sup>a, #</sup> and N. I. Ignatev<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia*

<sup>b</sup>*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: nikolay.korovkin@gmail.com*

The article deals with issues of early developing defects detection and implementation the electromagnetic control method as one of high-voltage equipment condition assessment methods which functions under working voltage. The study reports the results of researches allowing amplifying and specifying possibilities of one electromagnetic control method, that based on the analysis of equipment own electromagnetic radiation spectra. The paper describes the concept of diagnostic electromagnetic environment and procedure of its definition and assessment. The article shows the control possibility of both external and internal structural elements of the equipment. It considers the possibility of flicker noise properties and characteristics implementation for the equipment condition assessment. The article describes qualitative properties of spectra at information frequency ranges and shows the procedure of its use for the equipment electromagnetic certification. The paper defines the principles of the electromagnetic control application in the systems of complex diagnostics.

*Keywords:* electromagnetic radiation, condition assessment, high-voltage equipment, transformers, flicker noise, certification, diagnostic environment