

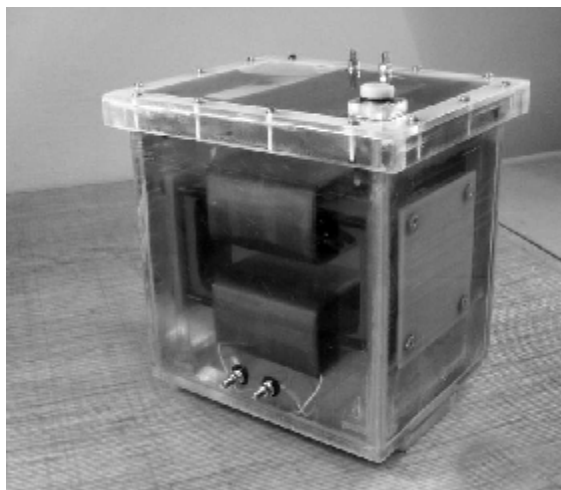
возрастают. С увеличением габаритных размеров магнитопровода возрастает реактивная составляющая тока холостого хода, увеличиваются потери в магнитопроводе и обмотках, то есть энергетический КПД трансформаторов уменьшается. Нужно отметить, что отличительной особенностью высокопотенциальных трансформаторов является преимущественное применение стержневых магнитопроводов в отличие от низковольтных трансформаторов, в которых наиболее часто применяется броневые магнитопроводы.

В качестве основного диэлектрика потенциальной обмотки от первичной обмотки и корпуса применяется как бумажномасляная, так и твердая (на основе эпоксидных компаундов) изоляция. При этом литературные источники рекомендуют твердую изоляцию использовать в высокопотенциальных трансформаторах в основном при напряжениях до 30 кВ [1]. Но в 2007 г. в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» разработаны, изготовлены и успешно эксплуатируются у заказчика высокопотенциальные трансформаторы с твердой (эпоксидной) изоляцией напряжением 50 кВ для питания инжекторов ионов водорода и гелия в ускорителе на 50 кэВ [2].

Бумажно-масляная изоляция применяется в высокопотенциальных трансформаторах напряжением 100 кВ и выше [3].

В настоящее время при разработке некоторых видов нанотехнологий возникла потребность в применении ускорителей ионов энергией 100 кэВ. Для питания инжекторов этих ускорителей понадобились высокопотенциальные трансформаторы на 100 кВ, которые бы удовлетворяли ряду условий:

- минимально возможный вес;
- простота изготовления;
- надежность в работе;
- минимально возможная высота и др.



Общий вид высокопотенциального трансформатора напряжением 100 кВ с масляной изоляцией

С учетом этих условий был разработан и создан (см. рисунок) высокопотенциальный трансформатор 220 В/220 В напряжением 100 кВ и мощностью 100 Вт в изоляционном корпусе с масляной изоляцией обмоток от магнитопровода и между ними, что позволило исключить процесс сушки и вакуумирования изоляции (в отличие от использования бумажно-масляной изоляции).

Впервые изоляция первичной и вторичной обмоток была выполнена на напряжение 50 кВ каждая, а не изолировалась на полное напряжение 100 кВ только одна вторичная. Это позволило значительно уменьшить весогабаритные характеристики трансформатора.

**Список литературы:** 1. И.И.Белопольский, Е.И.Каретникова, Л.Г.Пикалова Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. – М.: «Энергия», 1973. – 400 с. 2. В.С.Гладков, А.А.Гученко, В.Я.Хайло Компактный источник питания ускорителей ионов гелия и водорода энергией 50 кэВ // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – № 21. – С. 43-49. 3. В.А.Бочаров, В.С.Гладков, Ю.П.Зябка, П.Н.Мельников Высоковольтный источник питания ускорителя положительных ионов // Приборы и техника эксперимента – М.: 1999. – № 2. – С. 160-161.

Поступила в редколлегию 18.08.2009

УДК 621.315.615:2.004.1

**В.С.ГЛАДКОВ**, канд.техн.наук, пров.наук.співр, НТУ «ХПИ»;  
**О.А.ГУЧЕНКО**, зав.сектором, НТУ «ХПИ»;  
**О.В.ШЕСТЕРІКОВ**, наук.співр., НТУ «ХПИ»

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Наведено результати експериментальних досліджень очищення трансформаторного масла на створеному макеті електрофізичної установки, які показали високу ефективність очищення.

The experimental results of purification of transformer oil to create model of electrophysical installation, which showed high cleaning efficiency are given.

**Вступ.** Метою цієї роботи є експериментальна перевірка ефективності електрофізичного очищення трансформаторного масла за допомогою запропонованої в [1] системи електродів типу «квадрупольна лінза», яка дозволяє створювати просторове неоднорідне електричне поле в усьому об'ємі системи електродів.

Типову картину неоднорідного електростатичного поля в системі квадрупольної лінзи наведено на рис.1. [2]

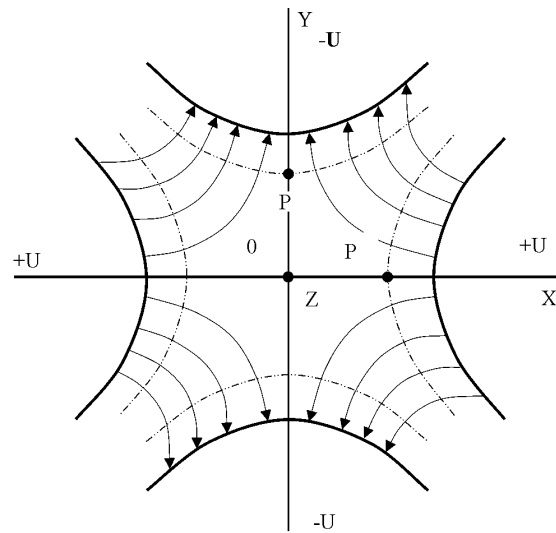
У такій системі подовжня складова поля відсутня, тому потенціал на осі буде постійним. Напруженість поля в декартовій системі координат з центром

на осі симетрії визначається виразом

$$E(x, 0) = \frac{2U}{l} \sqrt{x^2 + 0^2}, \quad (1)$$

де  $U$  – напруга,  $l$  – довжина проміжка,  $x$ ,  $y$  – координати.

Розглянемо рух позитивного іона, який входить у поле зі швидкістю, що паралельна осі  $Z$ . Якщо він вступає в поле в точці  $P_1$ , то на нього буде діяти сила, яка відхиляє його до осі  $Z$ . Тобто, в площині  $XZ$  поле збирає позитивно заряджені частки, а в площині  $YZ$  воно їх розсіює. Якщо іон знаходиться в якій-небудь точці, що не лежить у жодній з площин симетрії, то на нього діє сила, яка відхиляє його від площини  $XZ$  і наближує до площини  $UX$ . Внаслідок цього, будь-яка заряджена частка при будь-якому відхиленні від осі  $Z$  буде рухатися до електродів.



— — лінії поля, - - - лінії екіпотенційні

Рисунок 1 – Електричне поле квадрупольної системи електродів

Якщо розглядати краплі вологи та домішки радіуса  $a$  як диполі з моментом  $P$ , то сила, з якою діє електричне поле  $E$ , має вигляд [2]

$$F_1 = 4pa^3 \epsilon F \frac{dE}{dx}, \quad (2)$$

де  $\epsilon$  – діелектрична проникність.

У той же час на краплі вологи та домішки діє гравітаційна сила [2]

$$F_q = \frac{4}{3} \rho a^3 (r_a - r_i), \quad (3)$$

де  $\rho_v$  – густина вологи (чи домішок),  $\rho_m$  – густина трансформаторного ма-

сла,  $q$  – прискорення сили тяжіння.

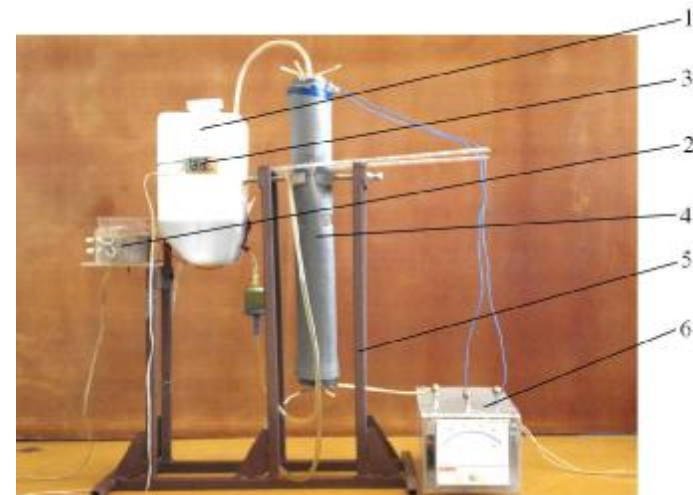
Для визначення гравітаційної сили, яка діє на домішки в (3)  $\rho_v$  треба замінювати на густину домішки  $\rho_s$ .

При  $F_l > 0$  краплі вологи та домішки будуть рухатися до електродів і створювати ланцюжки (за умови групування [2])

$$U = \sqrt{\frac{l^2}{12x} \frac{r_a - r_i}{e} q}. \quad (4)$$

У центрі квадрупольної лінзи напруженість електричного поля дорівнює 0, тому крапля вологи (чи частка домішок), що знаходиться там, рухається тільки під дією сили  $F_q$ . Але це становище нестійке, тому крапля вологи (частка домішок) при найменшому відхиленні від осі симетрії починає рухатися до електрода за траєкторією, яка наближується до горизонтальної лінії при своєму просуванні до електрода. Коли краплі вологи (частки домішок) досягнуть електрода, то вони змінять первісну картину поля, тобто збільшать неоднорідність електричного поля. Краплі вологи (частки домішок), що знаходяться навколо цих крапель, будуть прямувати до них, створюючи ланцюжки (укрупнення), які під дією сили  $F_q$  будуть осідати.

**Основна частина.** Для експериментальної перевірки ефективності просторової системи електродів для електрофізичної фільтрації трансформаторного масла було розроблено та виготовлено експериментальний зразок установки очищення трансформаторного масла (див. рис. 2). Критерієм оцінювання ефективності системи електродів служила якість очищення, яка перевірялася в лабораторії контролю якості АТЗТ «ЕТМА» на аналізаторі ФС-151 на відповідність ГОСТ 17216-71.



- 1 – резервуар для масла, яке очищується, 2 – джерело живлення насосу, 3 – давач температури, 4 – електрофізичний фільтр у термоізоляційній оболонці, 5 – несна конструкція, 6 – високовольне джерело енергії.

Рисунок 2 – Загальний вигляд експериментального зразка установки очищення трансформаторного масла

Експериментальні дослідження показали, що система просторових електродів типу «квадрупольна лінза» (з 4-х електродів), чи інші системи, які є кратними квадрупольній лінзі з 4-х електродів, дозволяють проводити глибоку фільтрацію трансформаторного масла. Після того, як була встановлена найбільш оптимальна система електродів у фільтр експериментального зразка, дослідження проводилося за температури +50 °С в такому порядку:

- вихідне масло піддавалося дії електричного поля протягом 1 години при швидкості течії 6 л/год. (напруга живлення насосу 2 В);
- вихідне масло піддавалося дії електричного поля протягом 3 годин при швидкості течії 9 л/год. (напруга живлення насосу 3 В).

Результати цих досліджень фіксувалися в протоколах випробування трансформаторного масла на вміст механічних домішок на аналізаторі ФС-151. Аналіз результатів випробування показав:

- в результаті обробки масла протягом 1-єї години його якість підвищилася з 11 класу чистоти до 9 класу чистоти, тобто це масло можна заливати в потужні трансформатори класів 330 кВ та 500 кВ;
- підвищення швидкості течії масла в 1,5 рази зі збільшенням часу дії електричного поля в 3 рази дало такий самий результат (клас чистоти масла), що і при швидкості течії 6 л/год. з часом дії поля протягом 1-єї години.

Було також проведено очищення за температури +50 °С дуже брудного масла від Харківобленерго, непрозорість якого не дозволяла проводити його аналіз на аналізаторі ФС-151 через технічні можливості останнього. В результаті очищення масла на експериментальному зразку установки при швидкості 6 л/год. протягом 3 годин його якість підвищилася до 10 класу чистоти.

#### Основні висновки:

1. Створений експериментальний зразок установки електрофізичного очищення трансформаторного масла дозволяє проводити експериментальні дослідження процесів очищення масла в залежності від часу дії електричного поля, швидкості течії та температури.

2. Проведені експериментальні дослідження показали:

- запропонована конфігурація системи просторових електродів типу «квадрупольна лінза» ефективно очищує трансформаторне масло від забруднень різного походження;
- задану продуктивність очищення трансформаторного масла у реальних установках фільтрації можна отримувати використанням паралельно з'єднаних систем просторових електродів типу «квадрупольна лінза»[3].

**Список літератури:** 1. Гладков В.С., Гученко А.А., Шестеріков А.В. та ін. Розробка енергозберігаючих електрофізичних способів фільтрації та вимірювання газовологовмісту у діелектричних рідинах, Звіт з НДР // НТУ «ХПІ», Харків, ГР № 0208U006806. – 2008р. – 71 с. 2. Кельман В.М., Явор С.Я. Электронная оптика. – Ленинград, Наука, 1968. – 488 с. 3. Гладков В.С., Ваєрів Л.В., Гученко А.А., Шестеріков А.В. К вопросу о выборе системы электродов для электрофизических устройств электрической обработки трансформаторного масла // Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 34. – С. 35-38.

Надійшла до редколегії 30.10.2009

УДК 621.317.7

**Н.Д.ЖИВОТОВ**, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;  
**Ю.С.НЕМЧЕНКО**, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;  
**А.И.САРАЕВ**, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

#### ОТКРЫТАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА

Створено майданчик для вимірювання напруженості поля індустриальних радіозавад в смузі частот від 9 кГц до 1 ГГц, який повністю відповідає вимогам міжнародного стандарту CISPR-16-1-1999.

Area for measurement of the tension of the field industrial radio disturbances in band of the frequencies from 9 kHz to 1 GHz is created, and she completely meets the demands of international standard CISPR-16-1-1999.

**Постановка задачі.** Измерения напряженности поля индустриальных радиопомех (ИРП) в полосе частот от 9 кГц до 1 ГГц проводят на открытых измерительных площадках (ОИП) стандартных размеров и удовлетворяющих требованиям к затуханиям, установленным в CISPR-16-1-1999 [1].

ОИП должна быть равной и оборудована проводящей поверхностью (пластиной заземления) выполненной из металла. Проводящая поверхность должна закрывать полностью всю площадь между испытываемым ТС и антенной.

**Подготовка к измерениям.** В высоковольтном зале НИПКИ «Молния» построена открытая измерительная площадка. Проводящая поверхность площадки выполнена из листового металла размером 4×6,5 м и установлена на изоляторы высотой 1 м. Величина неровностей площадки не превышает 0,15 λ (4,5 см) для частоты 1000 МГц.

В соответствии с CISPR-16-1-1999 для измерения затухания ОИП применяются две антенны: приемная и передающая. При этом передающая антенна должна устанавливаться на высоте 1 м при горизонтальной поляризации, и на высоте 1,25 м при вертикальной поляризации, а приемная антенна должна быть смонтирована на непроводящей мачте, которая должна обеспечивать подъем антенны от 1 до 4 м. ОИП аттестовалась для стандартного измерительного расстояние 3 м между передающей и приемной антеннами.

Обе антенны были соединены со стандартными измерительными приборами антенными кабелями, которые при измерениях в соответствии с CISPR-16-1-1999 были проложены ортогонально продольным осям элементов антенн, а расстояние между задней кромкой антенны и вертикальным сн