

ВПЛИВ РЕЖИМУ РОБОТИ ТРАНСФОРМАТОРА НА ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБМОТОК ТА ЇХНІХ ЧАСТИН

О Бучковський І.Р., Сабат М.Б., Никонець О.Л., 2011

На основі експериментальних досліджень виявлено явище багатократного підсилення величини магнітного потоку яке зумовлене виникненням за певних умов некомпенсованої додаткової намагнічувальної сили. Встановлені мінімальні значення частот, починаючи з яких характеристики неробочого ходу окремих частин обмотки перестають залежати від режиму обмоток інших фаз. Загальний характер отриманих залежностей дає змогу висунути припущення, що на параметри режиму магнітної системи трансформатора істотно впливають повздовжні ємності частин обмоток. Математичні моделі обмоток трансформатора та їхніх частин повинні адекватно відтворювати результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: трансформатор, частотна характеристика, магнітний потік, математична модель.

On the basis of the experimental researches found out the phenomenon of the frequent strengthening of size of the magnetic stream which is predefined by origin of the uncompensated additional magnetic force at the certain terms. The minimum values of frequencies are set, beginning from which descriptions of the non-working mode of separate parts of puttee stop to depend on the mode of puttee of other phases. General character of the given dependences allows to assume, that the longitudinal capacities of the parts of puttee influence on the parameters of the mode of the magnetic system of transformer substantially. The mathematical models of puttee of the transformer and their parts must adequately reproduce the results of the experimental researches.

Key words: transformer, frequency description, magnetic stream, mathematical model.

Постановка проблеми

Недостатня надійність виткової ізоляції [1] трансформаторів зумовлює необхідність прискіпливого аналізу взаємозв'язків між електромагнітними процесами в обмотках та електричними процесами в ізоляції трансформатора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В [2] обґрунтовано принциповий висновок, що внутрішні перенапруги в мережах з ізолюваною та компенсованою нейтраллю є визначальними для вибору повздовжньої ізоляції трансформаторів. Враховуючи це, в [3] опрацьована стратегія істотного підвищення надійності роботи устаткування мереж 6–35 кВ з обмотками високої напруги. Етапом цієї стратегії є дослідження розподілу перенапруг вздовж обмоток високої напруги трансформаторів [4, 5], який виявив істотну нерівномірність розподілу та наявність не однієї, а всього діапазону небезпечних резонансних частот.

Згадані результати досліджень ілюструють принципову можливість досягнення важливих практичних результатів, однак реалізація запропонованої стратегії вимагає поглиблених досліджень, зокрема, розроблення моделей основних типів обладнання для частот вільних складових внутрішніх перенапруг з можливістю дослідження розподілу перенапруг вздовж обмоток трансформатора. Очевидно, що такі моделі будуть значно складнішими від запропонованих в [6]. У [7] запропоновані методи

одержання множини частотних характеристик системи “обмотка-ізоляція” електроустаткування, за якими можна порівняно просто визначити розрахункові частотні характеристики двополюсників математичної моделі, що відтворюють електричні властивості обмоток та ізоляції.

Задача досліджень

Проаналізувати вплив режиму роботи трансформатора на частотні характеристики обмоток та їх частин.

Виклад основного матеріалу досліджень

Згідно з рекомендацією [7] була зібрана схема досліду (рис.1) та зняті частотні характеристики частин обмоток, для випадків розімкнених та замкнених обмоток НН трансформатора. Результати досліджень наведені на рис. 2–5.

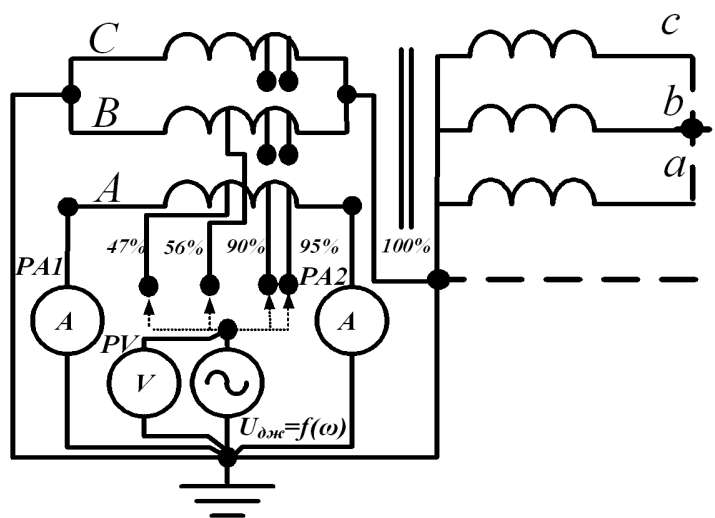


Рис. 1. Схема досліду

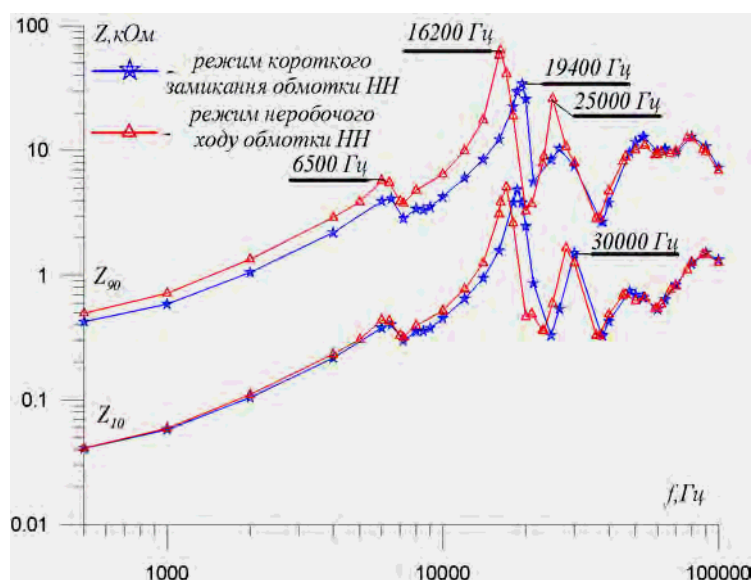


Рис. 2. Частотні характеристики частин обмотки ВН, що відповідають 90% (Z_{90}) та 10% (Z_{10}) її довжини

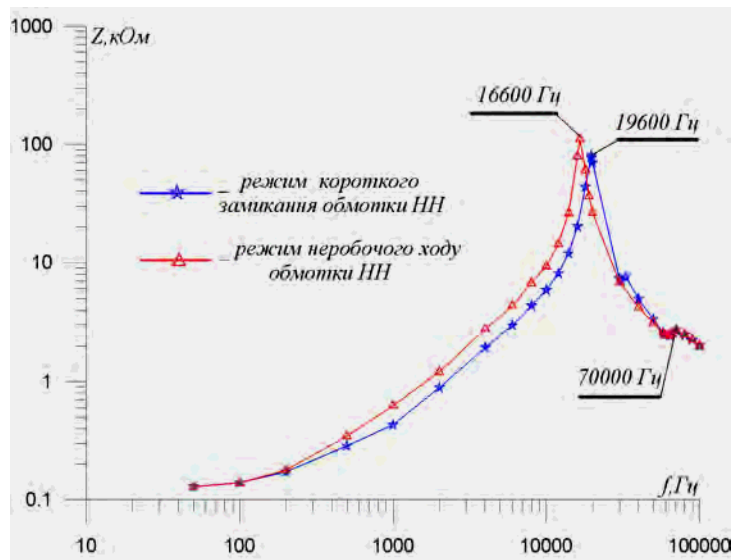


Рис. 3. Частотні характеристики частини обмотки ВН, що відповідає 47 % її довжини

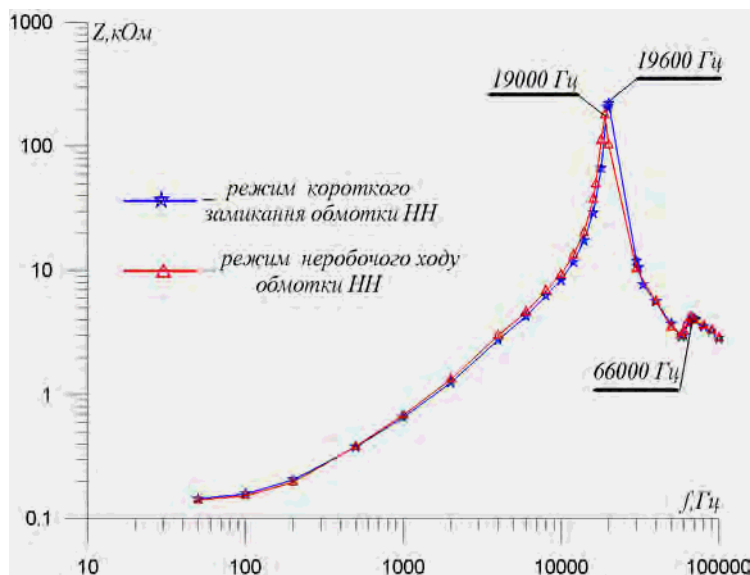


Рис. 4. Частотні характеристики частини обмотки ВН, що відповідає 53 % її довжини

Як бачимо з рис. 2–4, режим роботи обмотки НН впливає на характер частотних характеристик, що повинно бути враховано під час моделювання обмоток трансформатора. Причини зміни частотних характеристик рис. 2–4 пояснюють результати дослідження, що наведені на рис. 5, на якому наведено відношення значень напруги на розімкнених обмотках НН до напруги джерела в умовах знімання частотних характеристик (рис. 2–4). У магнітопроводі трансформатора за розімкненої обмотки НН виникають некомпенсовані магнітні потоки, що підтверджується наявністю на цій обмотці відповідної напруги. Так для варіанта ділення обмотки ВН на частини 47 та 53 % ці відносні напруги в діапазоні частот 500–20000 Гц становлять 0,054 від напруги джерела $U_{дж}$, а в діапазоні частот 40000–60000 Гц збільшуються до значення 0,082. Для варіанта ділення обмотки на частини 90 та 10 % ці напруги в діапазоні частот 1000–6000 Гц становлять 0,083, а в діапазоні частот 20000–30000 Гц збільшуються до значення 0,495. Трансформатор, характеристики якого досліджувались, має для варіанта ділення обмотки на частини, що відповідають 90 та 10 % довжини обмотки, відношення витків частин обмотки до кількості витків обмотки НН відповідно 47,25 та 5,25, а для відношення 47 та 53 % відповідно – 24,675 та 27,828.

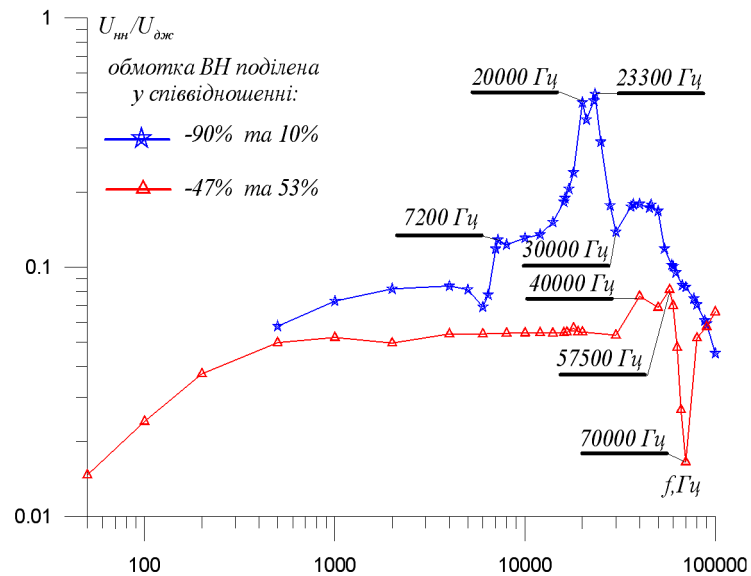


Рис. 5. Відношення значень напруги на розімкнених обмотках НН до напруги джерела за умови зняття частотних характеристик (рис. 2–4)

Отже, значення відносної електрорушійної сили, що наводиться в 10 % частині обмотки ВН трансформатора, можуть досягти значення 2,6, а для 90 % відповідно – 23,4 значення прикладеної напруги $U_{джер}$. Для варіанта прикладання напруги до виводу, що ділить обмотку на частини 47 та 53 % значення відносних електрорушійних сил досягають відповідно значень 2,02 та 2,28.

Отже, експериментально встановлено явище багатократного підсилення величини магнітного потоку за рахунок виникнення в досліді некомпенсованої додаткової намагнічувальної сили. Причини виникнення описаного явища – предмет подальших досліджень.

Якщо замкнути обмотку НН в досліді рис. 2–4 та виміряти значення струмів в замкненій обмотці НН, то з використанням результатів рис. 5 можна за методом еквівалентного генератора визначити значення внутрішнього опору трансформатора в досліді за схемою рис.1, приведеного до обмотки НН (рис. 6). Важливо, що зі збільшенням частоти значення внутрішнього опору трансформатора зростає, тобто має індуктивний характер.

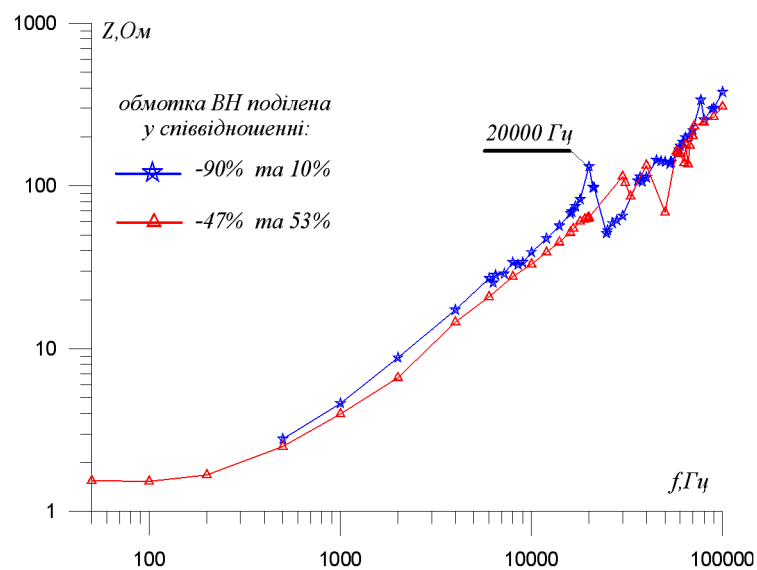


Рис. 6. Значення внутрішнього опору трансформатора за схемою досліду рис. 1, приведеного до обмотки НН

Для кількісного аналізу явища підсилення величини магнітного потоку необхідно встановити залежність характеристики неробочого ходу однієї фази трансформатора від режиму роботи інших фаз. Схема досліду наведена на рис. 7, а результати досліджень – на рис. 8–11. Як бачимо з рис. 8–11 за частот, вищих від 2050–2200 Гц (для варіанта 47 та 53 %) і 2150–2300 Гц (для варіанта 90 і 10 %) характеристики неробочого ходу збігаються і перестають залежати від режиму роботи обмоток інших фаз. Дещо відмінний характер залежностей рис. 8, 9 зумовлений несиметрією магнітної системи трансформатора. Загальний характер залежностей рис. 8–11 дає змогу висунути припущення, що на параметри режиму істотно впливають повздовжні ємності частин обмоток. Якщо на одну обмотку чи частину обмотки подати напругу, то в магнітопроводі трансформатора з'явиться відповідний магнітний потік, який наведе на іншій обмотці чи її частині ЕРС. Під дією цієї ЕРС через повздовжню ємність протікає струм. Характер цього струму залежатиме від кількісних співвідношень внутрішнього індуктивного опору трансформатора, приведеного до іншої обмотки (чи частини обмотки), та значення її ємнісного повздовжнього опору. Якщо значення ємнісного опору перевищує значення індуктивного, через іншу обмотку протікатиме ємнісний струм, який створить додаткові намагнічувальні ампервитки, що призведе до відповідного збільшення величини магнітного потоку. За резонансної частоти повинне відбутися багатократне збільшення ємнісного струму, і, відповідно, магнітного потоку. За частот, більших від резонансних, характер струму в іншій обмотці стає індуктивним, а відповідні ампервитки – розмагнічувальними. Тобто значення магнітного потоку повинно пропорційно зменшуватися.

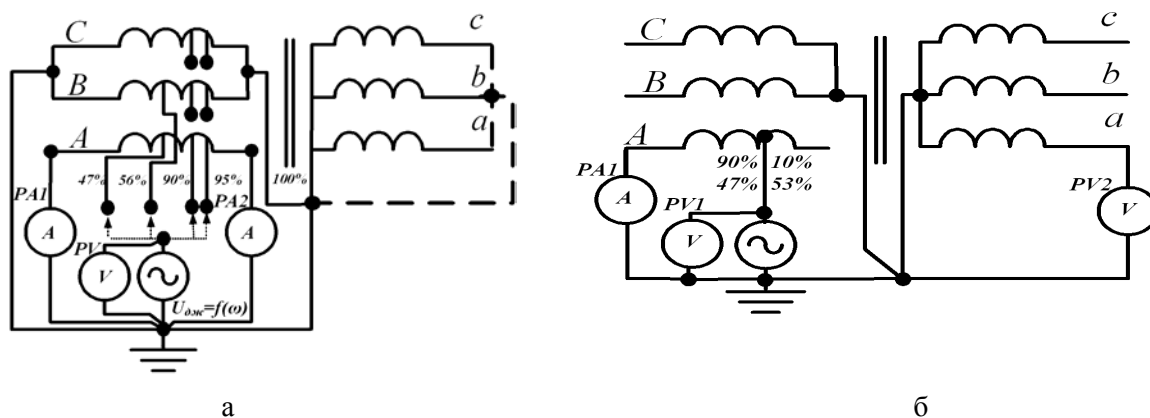


Рис. 7. Схема досліду неробочого ходу частин фази обмотки ВН
а – недосліджувані фази замкнені; б – недосліджувані фази розімкнені

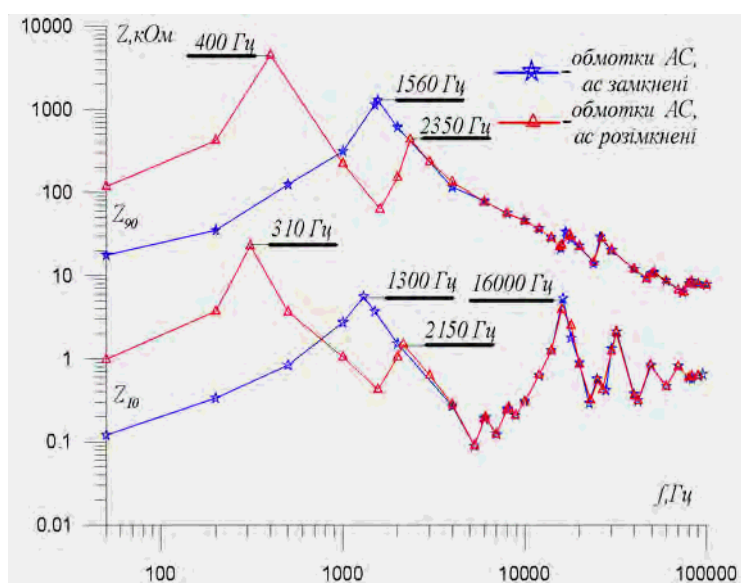


Рис. 8. Частотні характеристики внутрішнього опору для частин обмотки, поділеної у співвідношенні 90 % (Z_{90}) та 10 % (Z_{10}), фази В за різних режимів роботи обмоток фаз А і С

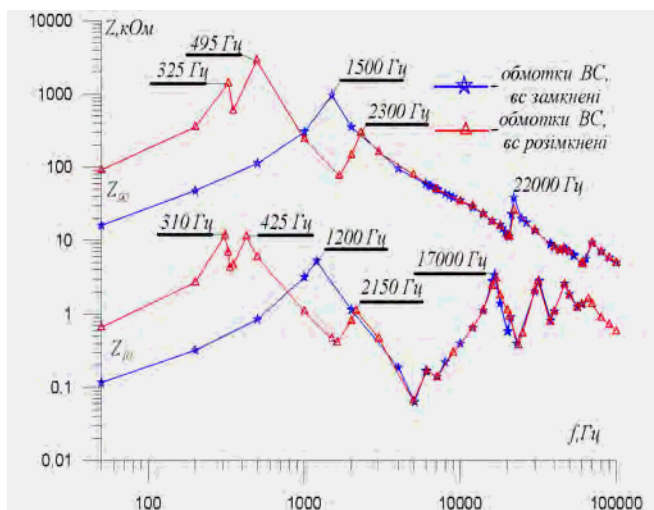


Рис. 9. Частотні характеристики внутрішнього опору для частин обмотки, поділеної у співвідношенні 90 % (Z_{90}) та 10 % (Z_{10}), фази А за різних режимів роботи обмоток фаз В і С

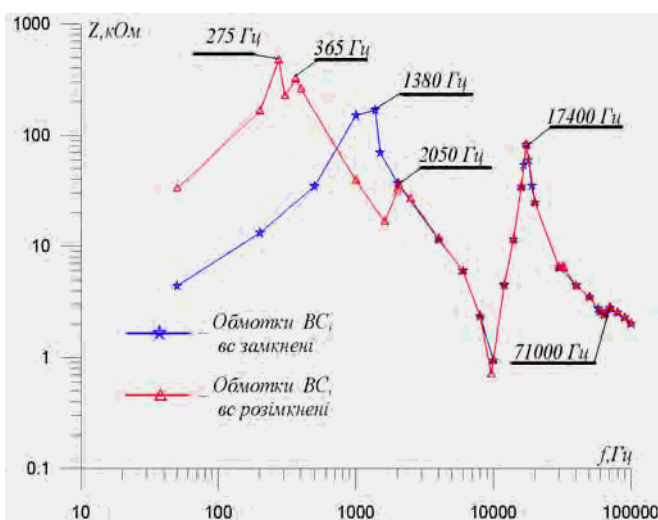


Рис. 10. Частотні характеристики внутрішнього опору для частини обмотки, що відповідає 47 % довжини фази А, за різних режимів роботи обмоток фаз В і С

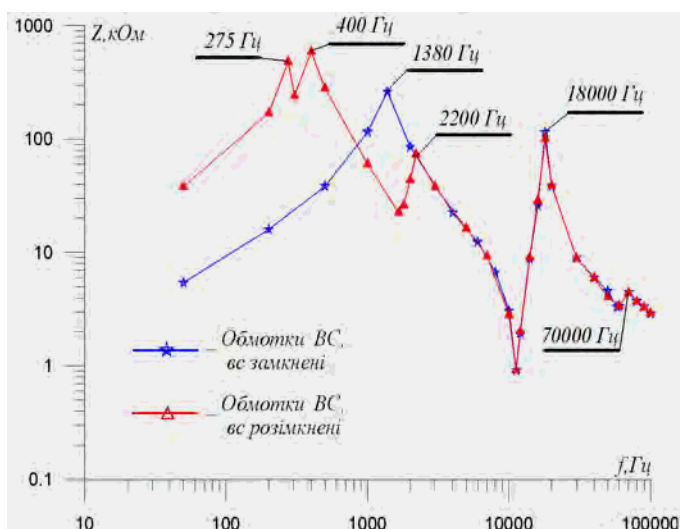


Рис. 11. Частотні характеристики внутрішнього опору для частини обмотки, що відповідає 53% довжини фази А, за різних режимів роботи обмоток фаз В і С

Висновки

1. На основі експериментальних досліджень виявлено явище багатократного підсилення величини магнітного потоку, яке зумовлене виникненням за певних умов додаткової некомпенсованої намагнічувальної сили.

2. Встановлені нижні межі діапазону частот, починаючи з яких характеристики неробочого ходу окремих частин обмотки перестають залежати від режиму обмоток інших фаз.

3. Загальний характер отриманих залежностей дає змогу висунути припущення, що на параметри режиму магнітної системи трансформатора істотно впливають повздовжні ємності частин обмоток.

4. Математичні моделі обмоток трансформатора та їхніх частин повинні адекватно відображати результати експериментальних досліджень.

1. Ахметшин Р.С., Рыбаков Л.М. Технические средства диагностирования силовых трансформаторов 10/0,4 кВ на основе частотных характеристик // *Электричество*. – 2005. – № 5.
2. Конторович Л.Н., Молнар М.М., Никонець О.Л. Влияние явления внутреннего резонанса на характер электромагнитных процессов в элементах конструкции трехфазного трансформатора со схемой з'єднання обмоток Y/Y_0 // *Новини енергетики*. – 2010. – № 5. С. 12–17.
3. Никонець Л.О., Федів Є. І., Молнар М.М. Стратегія істотного підвищення надійності роботи електрообладнання 6–35 кВ з обмотками високої напруги // *Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету*. – 2008. – Вип. 8 (140). – С. 38–41.
4. Никонець Л.О., Бучковський Р.В., Сабат М.Б., Бучковський І.Р. Распределение свободной составляющей нулевой последовательности внутренних перенапряжений вдоль обмотки 6–35 кВ соединенной в «звезду» трансформатора распределительной сети при внутреннем резонансе в системе «обмотка – изоляция» // *Новини енергетики*. – 2010. – № 7. – С. 38–43.
5. Никонець Л.О., Бучковський Р.В., Бучковський І.Р., Сабат М.Б. Распределение свободной составляющей нулевой последовательности внутренних перенапряжений вдоль обмотки соединенной в «треугольник» трансформатора или автотрансформатора распределительной сети при внутреннем резонансе в системе «обмотка – изоляция» // *Новини енергетики*. – 2010. – № 11. – С. 41–46.
6. Конторович Л.Н., Молнар М.М., Никонець О.Л. Математична модель трифазного трансформатора для частот вільної складової внутрішніх перенапруг мережі // *Новини енергетики*. – 2010. – № 3. – С. 40–46.
7. Маліновський А.А., Сабат М.Б., Бучковський І.Р., Никонець О.Л., Гуцин Є.Ю. Методи визначення параметрів елементів математичної моделі електроустаткування з обмотками високої напруги за дослідними частотними характеристиками // *Новини енергетики*. – 2011. – № 4. – С. 38–43.