

УДК 621.314

**С. Ю. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ».

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПН**

Метою даної роботи є експериментальне визначення електрофізичних параметрів ОПН при різних частотах діючої напруги, що дозволить виконувати аналіз режиму їх роботи в мережах з низькою якістю електричної енергії. Проведений аналіз результатів експериментів дозволив визначити усереднені значення електрофізичних параметрів ОПН, що суттєво спрощує розрахунки параметрів схем заміщення необхідні для аналізу роботи ОПН в зоні струмів витоку вольтамперних характеристик при аналізі впливу на них вищих гармонійних складових напруги.

**Ключові слова:** обмежувачі перенапруг, схеми заміщення ОПН, електрофізичні властивості ОПН, діелектричні втрати, сміність, діелектрична проникність, варистор-на кераміка.

**Постановка проблеми.** Визначення режиму роботи обмежувачів перенапруг нелінійних (ОПН) при дії найбільш допустимої на-

---

© С. Ю. Шевченко, 2015

пруги електричної мережі має велике значення при виборі цих захисних апаратів. ОПН повинен підтримувати тепловий баланс на протязі всього строку експлуатації. Розрахунок енергії, що виділяється в ОПН при протіканні по ньому струму витоку має враховувати електричні та фізичні властивості апарату. На перший погляд, подібний розрахунок не викликає складнощів, однак детальний аналіз роботи ОПН в зоні струмів витоку вольт – амперної характеристики (ВАХ) показує, що режим роботи ОПН в цій зоні визначається не тільки діючим напругою та струмом, а й електрофізичними та конструктивними особливостями апарату. Крім того наявність гармонійних коливань в мережі може суттєво спотворити напругу, яка діє на ОПН, що може призвести до виникнення порушень його теплового режиму

**Аналіз публікацій.** У вітчизняній та зарубіжній літературі розглянута велика кількість варіантів складів оксидноцинкової кераміки, які мають дуже великий спектр електрофізичних властивостей [1-16]. Дослідники електрофізичних властивостей варисторної кераміки на основі оксиду цинку розглядають кожен свій склад кераміки та відповідно отримують властивості тільки для цього складу. Точний склад оксидноцинкової кераміки, який використовують для виготовлення варисторів ОПН, відомий тільки виробникам. Цей факт показує необхідність вивчення електрофізичних властивостей ОПН в складеному стані, які необхідно враховувати в схемах заміщення при їх виборі та аналізі роботи.

**Ціль статті.** Метою даної роботи є експериментальне визначення електрофізичних параметрів ОПН при різних частотах діючої напруги, що дозволить виконувати аналіз режиму їх роботи в мережах з низькою якістю електричної енергії.

**Метод рішення.** Для аналізу втрат потужності в ОПН необхідно визначити їх характеристики, які будуть визначати параметри схеми заміщення. Окрім того, для коректного аналізу впливу гармонійних коливань напруги на теплові режими ОПН, необхідно знати чи існують залежності від частоти параметрів схеми заміщення та тангенса кута діелектричних втрат.

Для досліджень були використані ОПН виробництва ООО «Таврида Електрик Україна» ОПН ТЕМ 6/6,9 УХЛ1 заводський номер 4811, ОПН ТЕМ 6/6,9 УХЛ2 заводський номер 4620, ОПН ТЕМ 6/6,9 УХЛ1 учбовий примірник (з контактами виконаними з алюмінію), ОПН ТЕМ 6/6,9 УХЛ1 заводський номер 4810, ОПН ТЕМ 6/6,9 УХЛ1 заводський номер 4812, ОПН ТЕМ 10/12 УХЛ1 заводський номер 4731, ОПН ТЕМ 10/12 УХЛ1 заводський номер 4732, ОПН ТЕМ 10/12 УХЛ2 заводський номер 4005.

Дослідження виконані на кафедрі передача електричної енергії НТУ «ХПІ». В експериментах використовувалася вимірювач імметансу типу Е7-14 та цифровий вимірювач імметансу типу Е7-22. Були виконані три серії експериментів для визначення ємності та тангенсу кута діелектричних втрат для ОПН в зібраному стані.

Результати експериментального дослідження наведені на рис.1, рис.2 та рис.3. Вимірювання ємності та  $\text{tg } \delta$  виконані для трьох значень частоти 100 Гц, 1000 Гц, 10000 Гц. Такий вибір частот обумовлений тим що в електричних мережах України враховують гармонійні коливання до частот 41 гармоніки, що дорівнює 2050 Гц.

Як можна бачити на рис. 1 залежність  $\text{tg } \delta$  від частоти є суттєвою для частот суттєво більше 1000. У діапазоні частот, які потрібні для виконання аналізу впливу гармонік (до 2050 Гц)  $\text{tg } \delta$  різних зразків ОПН може відрізнятися в декілька разів на низьких частотах. Однак при зростанні частоти до 1 кГц ця різниця суттєво скорочується, для більш високих частот - практично відсутня. Тому для розрахунків потужності втрат у ОПН можна використовувати граничні значення  $\text{tg } \delta$  від 1,5 до 4 відсотків. Для вирішення задачі вибору ОПН, як правило слід застосовувати верхню межу інтервалу коливання  $\text{tg } \delta$  для отримання більших значень потужності, що діє на нього. Таке припущення дозволить вибирати ОПН з запасом по енергетичним характеристикам. На підставі того, що всі варистори якими укомплектовані досліджувані ОПН є виробництва фірми АВВ можна стверджувати, що для аналізу впливів гармонійних коливань на ОПН цього виробника може бути використане усереднене значення  $\text{tg } \delta$ , яке дорівнює 0,04.

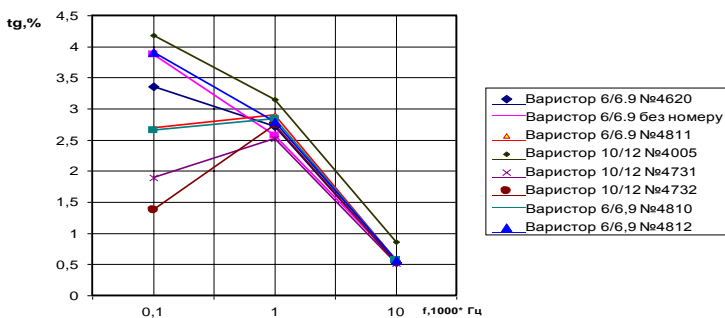


Рис. 1 Залежність тангенсу кута діелектричних втрат від частоти.

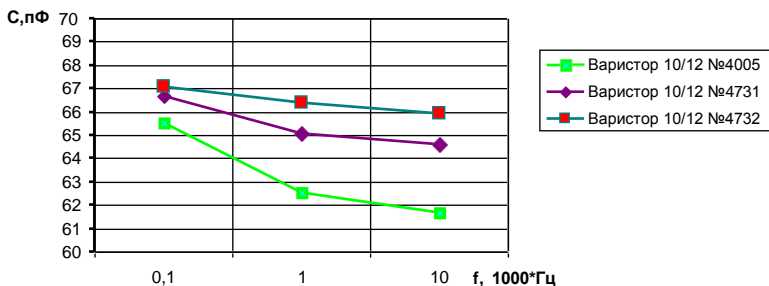


Рис. 2 Залежність ємності ОПН від частоти для ОПН 10 кВ

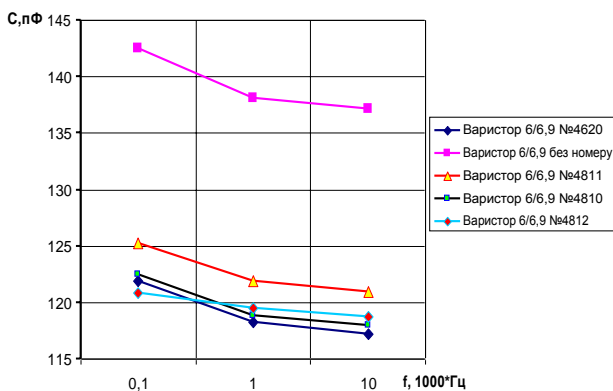


Рис. 3 Залежність ємності ОПН від частоти для ОПН 6 кВ.

Характер залежності ємності від частоти, що представлений на рис. 2. та рис. 3 свідчить, що у діапазоні частот, які потрібні для виконання аналізу впливу гармонік (до 2050 Гц) залежність ємності від частоти практично відсутня. Різниця між значеннями ємності при частотах 100 та 10000 Гц становить максимум 3,5%. Слід зазначити, що рис. 2. та рис. 3 відображають залежності ємності від частоти для двох різних

класів ОПН, які мають ємність у діапазонах 140-120 пФ та 65 пФ відповідно. Таке розташування кривих пов'язано з конструкцією досліджених ОПН. Конструктивно вони виконані з одних і тих самих варисторів, тільки ОПН TEL 6/6,9 має в своєму складі один варистор, а ОПН TEL 10/12 – два таких самих з'єднаних послідовно. Це добре корелюється зі значеннями їх ємностей, які відрізняються практично у два рази. Ємність ОПН може бути обчислена за виразом для плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \pi r^2}{h}, \quad (1)$$

де  $r$  - радіус обкладки ОПН;

$\varepsilon$  - відносна діелектрична проникність ОПН;

$h$  - висота колонки варисторів ОПН;

$\varepsilon_0$  - абсолютна діелектрична проникність.

Результати отримані при вимірюванні ємностей дозволяють зробити висновок, що для розрахунків енергетичних характеристик ОПН при впливі на них гармонійних коливань наружи можна проводити при фіксованому значенні їх ємності для всього діапазону частот, що розглядаються. Для ОПН з варисторами АВВ виробленими ООО Таврида Електрик Україна вони будуть становити Для ОПН на номінальну напругу 6 кВ 125 пФ, а для ОПН на номінальну напругу 10 кВ – 66 пФ відповідно.

Отримані результати дають можливість виконати розрахунки відносної діелектричної проникності матеріалу з якого виготовлені варистори. Визначення значення відносної діелектричної проникності для оксидноцинкової кераміки дозволить використати його для інженерних розрахунків ємності ОПН при розгляданні питання впливів на нього гармонійних коливань напруги на етапі його вибору. З виразу (1) отримаємо співвідношення, яке дасть можливість отримати значення відносної діелектричної проникності для досліджених ОПН.

$$\varepsilon = \frac{Ch}{\varepsilon_0 \pi r^2} \quad (2)$$

Результати розрахунку відносної діелектричної проникності для різних частот діючої напруги наведені на малюнку 4.

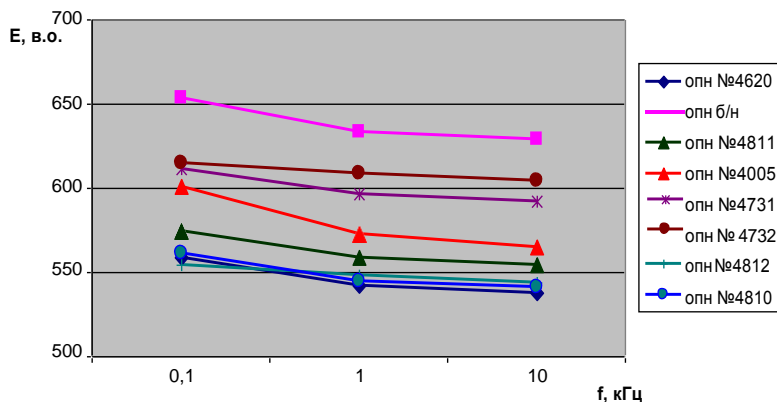


Рис. 4. Залежність відносної діелектричної проникності від частоти

Характер залежності діелектричної проникності, що представлений на рис. 4 дає можливість зробити висновок, що у дослідженому діапазоні частот значення відносної діелектричної проникності ОПН має слабку залежність від частоти. Цей факт дає можливість використовувати для інженерних розрахунків параметрів ОПН єдине усереднене значення для всіх частот, що характерні для електричних мереж, яке дорівнює 585. При цьому максимальна похибка визначення відносної діелектричної проникності становить менше 10 відсотків.

### Висновки

1. Виконані експериментальні дослідження електрофізичних властивостей ОПН при різних частотах діючої напруги.

2. Отримані результати вимірів електрофізичних властивостей ОПН дозволяють визначати параметри їх схем заміщення при виконанні розрахунків режимів роботи електричних мереж при наявності гармонійних складових напруги.

3. Проведений аналіз результатів експериментів дозволив визначити усереднені значення електрофізичних параметрів ОПН, що суттєво спрощує розрахунки параметрів схем заміщення необхідні для аналізу роботи ОПН в зоні струмів витоку вольтамперних характеристик при аналізі впливу на них вищих гармонійних складових напруги.

**Список литературы:**1.Балашов А.В., Голубева Н.П., Скидан Б.С. Керамика оксида цинка для варисторов //Стекло и керамика, 1999, № 2, с. 21-23.2. Бойко А.А., Данилевский С.С., Дмитриев В.Л., Лубков А.Н. Сравнение характеристик варисторов, используемых для комплектации нелинейных ограничителей перенапряжений отечественными производителями // Сб. трудов ОАО НИИПТ. – СПб, 2004, № 59. –С 56-63. 3. Alternative Transient Program Rule Book (ATPRB), 1997. Can/Am EMTP User Group,USA. 4.Fernandez F., Diaz R., 2001. Metal-oxide surge arrester model for fast transient simulations , paper 144, International Conference On Power System Transients, IPST'01, 20 -24 June 5. "Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems", International standard IEC 60099-4, Ed 2.0 5. Хинрихсен Фолькер. Siemens. Металлоксидные ограничители. Основы. – АО «Сименс», 2000.– 111 с.6. IEEE Working Group 3.4.11: "Modeling of metal oxide surge arresters", IEEE Transactions on Power Delivery 1992; 7(1):302-309. 7.Darveniza. M, Roby. D, Tumma. LR, "Laboratory and analytical studies of the effects of multipulse lightning current on metal oxide arresters", IEEE Transactions on Power Delivery 1994; 9:764-771. 8.Darveniza. M, Tumma. LR, Richter. B, Roby. D, "Multipulse lightning currents and metal-oxide arresters", IEEE Transactions on Power Delivery 1997; 12:1168-1175. 9. ABB MWK Surge Arrester Datasheet, Medium Voltage Products & Systems 7. Magro. MC, Giannettoni. M, Pinceti. P, "Validation of ZnO surge arresters model for overvoltage studies", IEEE Transactions on Power Delivery 2004; 19:1692-1695. 10. Pinceti. P, Giannettoni. M.; "A simplified model for zinc oxide surge arresters", IEEE Transactions on Power Delivery 1999; 14(2):393-398.11. Exlim. Техническая информация. Руководство по выбору высоковольтных ограничителей перенапряжений производства фирмы АББ. – ЗАО АББ УЭТМ, 1996. – 24 с.12. Гриб О.Г., Шевченко С.Ю., Гапон Д.А., Иерусалимова Т.С., Жданов Р.В. Работа средств защиты от перенапряжения при наличии в электрических сетях высших гармоник Вісник НТУ «ХПИ» – Харків, 2014. – №41(1084) 13. Выбор, испытание и применение металлоксидных ограничителей перенапряжений в сетях среднего напряжения. Правила выбора. ABB High Voltage Technologies Ltd. – Швейцария, Ветинген, май, 1994. 14. Металлоксидные ограничители перенапряжений. Выбор ограничителей перенапряжений и их применение в распределительных сетях среднего напряжения: Информация Тайко Электроникс Райхем Гмбх. – Киев, 2011. – 18 с.

**Bibliography (transliterated):**1. Balashov A.V., Golubeva N.P., Skidan B.S. Keramika oksida zinka dlaj varistorov /Steklo i keramika 1999 No2 21-23 2. Bojko A.A., Danilevskij S.S., Dmitriev V.L., Lubkov A.N. Sravnienie harakteristik varistorov ispolzuemih dlaj komplektachii nelinejnih ogranichitelej perenaprjazenij otechestvennimi proizviteljami // Sb. Trudov ОАО НИИПТ –2004,№ 59 56-63. 3. Alternative Transient Program Rule Book (ATPRB), 1997. Can/Am EMTP User Group,USA. 4.Fernandez F., Diaz R., 2001. Metal-oxide surge arrester model for fast transient simulations , paper 144, International Conference On Power System Transients, IPST'01, 20 -24 June 5. "Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems", International standard IEC 60099-4, Ed 2.0 5. Henrehsen Folkner. Siemens. Metalooksidnie ogranichiteli. Osnovi. – АО «Siemens», 2000.– 111 . 6. IEEE Working Group 3.4.11: "Modeling of metal oxide surge arresters", IEEE Transactions on Power Delivery 1992; 7(1):302-309. 7.Darveniza. M, Roby. D, Tumma. LR, "Laboratory and analytical studies of the effects of multipulse lightning current on metal oxide arresters", IEEE Transactions on Power Delivery 1994; 9:764-771. 8. Darveniza. M, Tumma. LR, Richter. B, Roby. D, "Multipulse lightning currents and metal-oxide arresters", IEEE Transactions on Power Delivery 1997; 12:1168-1175 9. ABB MWK Surge Arrester Datasheet, Medium Voltage Products & Systems 8. Magro. MC, Giannettoni. M, Pinceti. P, "Validation of ZnO surge arresters model for overvoltage studies", IEEE Transactions on Power Delivery 2004; 19:1692-1695. 10. Pinceti. P, Giannettoni. Moscow: "A simplified model for zinc oxide surge arresters", IEEE Transactions on Power Delivery 1999; 14(2):393-398. 11. Exlim. Tehnicheskaja informachija. Rukovodstvo

po izboru visokovoltnih ograniciteljev perenaprjaznih proizvodstva firni АББ. – ЗАО АББ UETM, 1996. – 24 . **12.** Grib O.G., Shevchenko S.U., Gapon D.A., Ierusalimova T.S., Zdanov R.V. Rabota sredstv pfschini ot perenaprjazenij pri nalichii v tletricheakih setjah visshih garmonik Elektrotehnika ta elektromehanika. – Rharkiv, 2014. –No 4. **13.** Vibor ispitaniya i primeneniye . Metalooksidnih ograniciteluj perenaprjazeniya v aetjah srednego naprjazeniya. АBB High Voltage Technologies Ltd. – 1994.**14.** Metalooksidnie ograniciteli perenaprjazeniya . Vibor i primeneniye . Metalooksidnih ograniciteluj perenaprjazeniya v aetjah srednego naprjazeniya: Informachija Tayko electronics Rayhem GmbH. – Kyiv, 2011. – 18 .

*Надійшла (received) 21.04.2015*