

УДК 621.314.223

В. В. Кирик, д-р техн. наук, проф.;

Р. В. Нагорний, асп.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У НЕНАВАНТАЖЕНОМУ СИЛОВОМУ АВТОТРАНСФОРМАТОРІ У РАЗІ ГЕОМАГНІТНИХ ЗБУРЕНЬ

Досліджено вплив геомагнітних індукційних струмів на режим роботи ненавантаженого силового автотрансформатора типу АОДЦТН–333000/750/330 кВ. На основі моделі, створеної в середовищі Matlab, встановлено залежності впливу значення поверхневої напруги на гармонічний склад струму неробочого ходу та споживання реактивної потужності автотрансформатора, яка виникає у разі геомагнітних збурень.

### Вступ

Геомагнітні збурення викликаються космічною погодою, проявом якої вважаються сонячні спалахи, під час яких у простір випромінюється велика порція енергії. Магнітні збурення викликають коливання магнітосфери, що спричиняє протікання геомагнітних індукційних струмів на Землі [1].

Мета роботи — дослідити вплив геомагнітних індукційних струмів на елементи електричної мережі 750 кВ.

### Матеріали та результати дослідження

З метою оцінки впливу в середовищі Matlab був досліджений ненавантажений автотрансформатор АОДЦТН–333000/750/330 кВ, який знаходиться на ПС «Західно-Українська» і приєднаний мережею 750 кВ до Рівненської АЕС (рис. 1).

За нормованих робочих умов автотрансформатор працює в лінійній області кривої намагнічування на межі насичення матеріалу магнітопроводу з наявністю певного допустимого насичення, що підтверджується результатами дослідження (рис. 2) і гармонічним складом струму неробочого ходу (рис. 3), якщо  $U_{ГІС} = 0$  В/км.

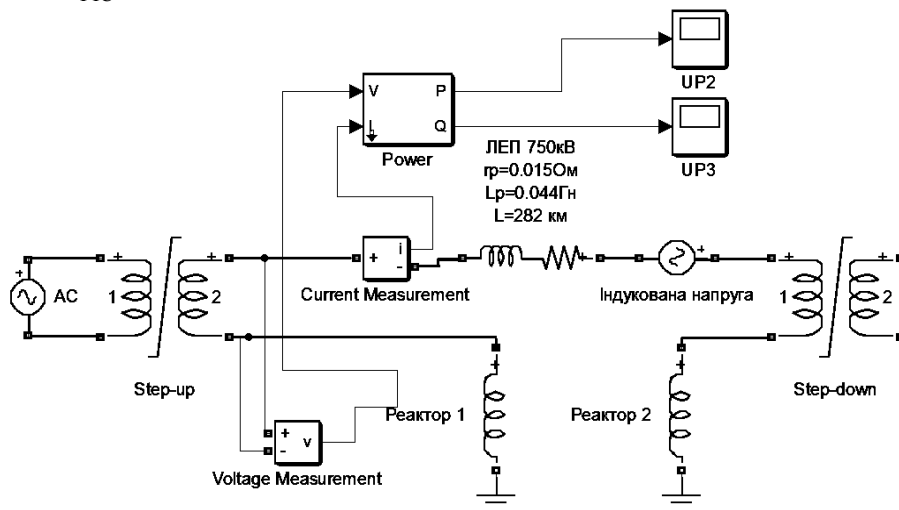


Рис. 1. Однолінійна схема моделювання роботи ненавантаженого автотрансформатора в середовищі Matlab

В процесі моделювання в однолінійну схему введено джерело змінної напруги частотою 1 Гц напругою 1, 3, 5, 10 та 15 В/км, яке спричиняє протікання у вітті намагнічування АТ квазі-постійного струму. Викликаний цим струмом потік, накладаючись з основним потоком, створює результуюче потокощеплення

$$\psi = \omega \left[ \int U_1 \sqrt{2} \sin(\pi/2 - \omega_1 t) dt + \int U_{a\bar{n}} \sqrt{2} \sin(\pi/2 - \omega_{a\bar{n}} t) dt \right] = \omega (\Phi_1 \cos \omega_1 t + \Phi_{a\bar{n}} \cos \omega_{a\bar{n}} t).$$

Отримане потокощеплення, відповідно до нелінійної кривої намагнічування, викликає несинусоїдальний струм намагнічування  $I_{mag}$ , який разом зі струмом  $I_{Rm}$ , що представляє втрати на перемагнічування та вихрові струми, дають результуючий струм неробочого ходу, криві якого для різних значень поверхневої напруги показані на рис. 2—6.

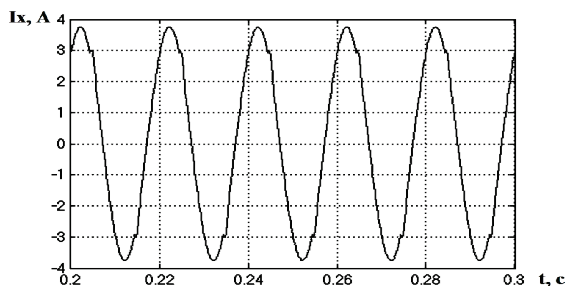


Рис. 2. Крива струму неробочого ходу для значення поверхневої індукованої напруги  $U = 0$  В/км

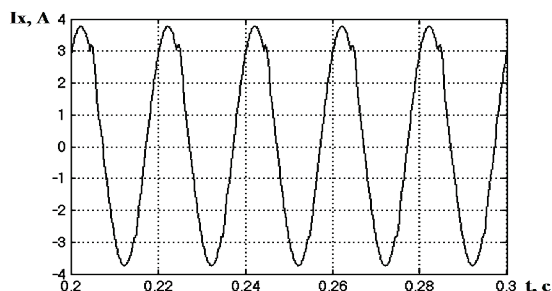


Рис. 3. Крива струму неробочого ходу для значення поверхневої індукованої напруги  $U = 1$  В/км

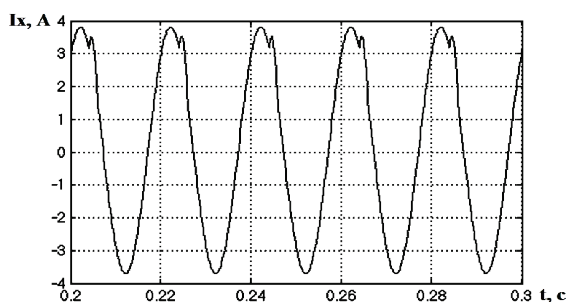


Рис. 4. Крива струму неробочого ходу для значення поверхневої індукованої напруги  $U = 3$  В/км

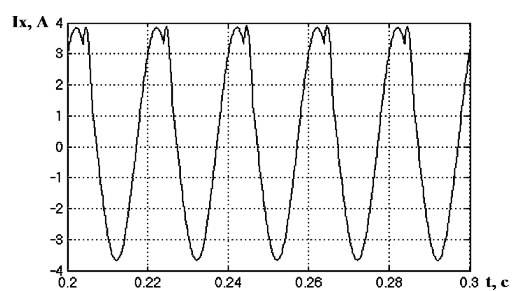


Рис. 5. Крива струму неробочого ходу для значення поверхневої індукованої напруги  $U = 5$  В/км

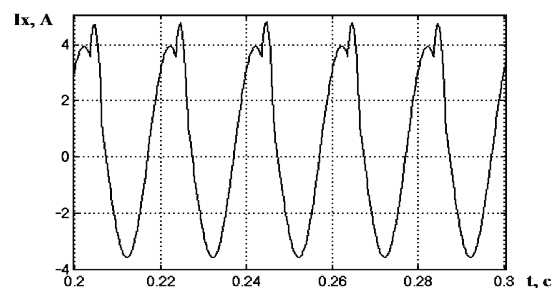


Рис. 6. Крива струму неробочого ходу для значення поверхневої індукованої напруги  $U = 10$  В/км

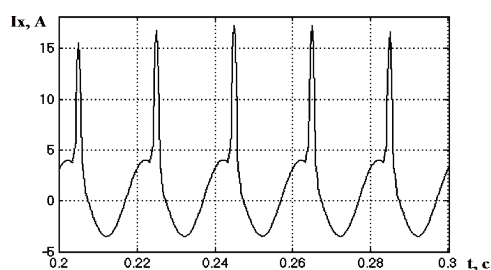


Рис. 7. Крива струму неробочого ходу для значення поверхневої індукованої напруги  $U = 15$  В/км

Ефект насичення магнітопроводу струмами ПС називають ще півциклічним насиченням, оскільки воно виникає в момент, коли крива потоку знаходиться над віссю часу [2]. Півциклічне насичення деформує криву струму намагнічування (див. рис. 7), тим самим спричиняючи високі піки струму в кожному циклі насичення. Цей струм складається як з основної, так і непарних компонентів гармонічного складу струмів (рис. 8).

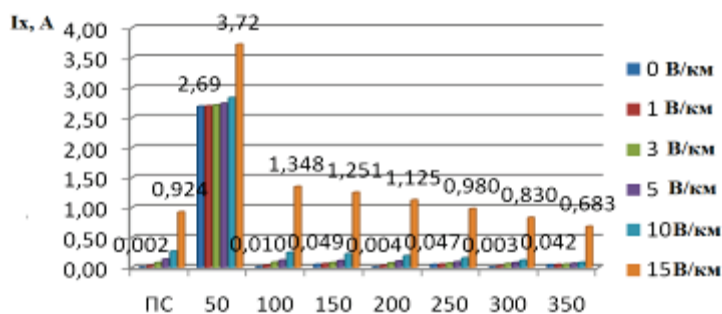


Рис. 8. Гістограма розподілу амплітудних значень гармонік в залежності від значення поверхневої напруги

Оскільки опори обмоток в автотрансформаторах є чисто індуктивними, то струм намагнічування, який відстає від напруги на 90 градусів, спричиняє втрати реактивної потужності прямо пропорційні до струму намагнічування. Причому втрати стають тим більші, чим «глибше» магнітопровід знаходиться в насиченні.

В результаті впливу ГС частина магнітного потоку в автотрансформаторах витісняється з магнітопроводу, створюючи потік розсіювання, який замикається через зовнішні деталі конструкції — стінки бака та конструктивні елементи автотрансформатора, тому за ненормального збільшення струму збудження можуть бути викликані великі зовнішні втрати реактивної потужності, перегрівання конструктивних частин, збільшення рівня часткових розрядів, шумів та ін. [3, 4].

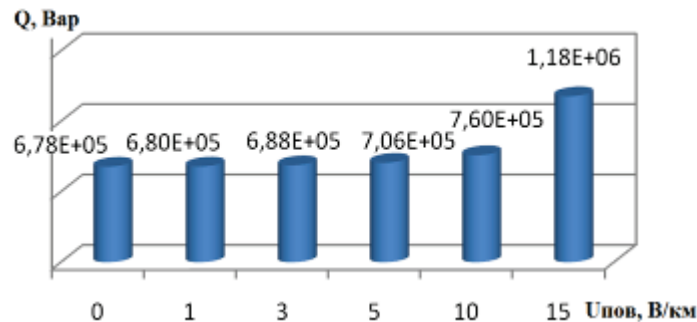


Рис. 9. Гістограма споживання реактивної потужності  $Q$ , Вар автотрансформатора в залежності від значення поверхневої напруги, В/км

Підвищення наведеної поверхневої напруги (рис. 9) до 15 В/км викликає збільшення споживання реактивної потужності в 1,73 рази.

Окрім того, постійна складова практично не передається через трансформатори струму. Тому традиційний релейний захист не реагує на індуковані струми, які насичують автотрансформатор, і останній може просто вийти з ладу. Наприклад, у 1989 році помірна сонячна буря призвела до виходу з ладу декількох високовольтних силових трансформаторів і покрила темрявою Канадську провінцію Квебек на 9 годин, причому за різними оцінками значення індукованої напруги становило 20 В/км.

### Висновки

Оскільки насичення магнітопроводу викликає збільшення споживання реактивної потужності і відповідно її дефіцит, то в мережі спостерігається зниження напруги, запасу стійкості та пропускної здатності ЛЕП. При цьому відбувається надмірне перегрівання ізоляції та масла, поява газів, тому необхідно враховувати вплив геомагнітних інструкційних станів під час експлуатації електричних мереж в періоди сильних магнітних бур і застосовувати заходи попередження їх впливу на етапі проектування мереж.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Risto Pirjola. Review on the calculation of surface electric and magnetic fields and of geomagnetically induced currents in ground-based technological systems / Risto Pirjola // Surveys in Geophysics. — 2002. — 23, № 1. — P. 71—90.
2. Siti R. M. Study the harmonic characteristics of DC bias on the single phase power transformer / Siti R. M., Hassan S., Anuar M. N. K. // Power Engineering and Optimization Conference (PEDCO) Melaka, Malaysia, 2012 IEEE International. — 2012. — P. 501—504.
3. Вахнина В. В. Тепловая нагрузка бака силового трансформатора при глубоком насыщении магнитной системы / В. В. Вахнина // Вектор науки ТГУ. — 2011. — № 4 (18). — С. 74—79.
4. Amuanyena L. A. T., Gaunt C.T. Effects of geomagnetically induced currents (GICs) on power transformers and reactors // 12th Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC). — 2003.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 15.10.2013  
Рекомендована до друку 4.11.2013

**Кирик Валерій Валентинович** — завідувач кафедри, **Нагорний Роман Владиславович** — аспірант.

Кафедра електричних мереж та систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ