

ЗАХИСТ ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ ВІД ФЕРОРЕЗОНАНСНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Журахівський А.В., Кенс Ю.А., Батенько П.В., Мельник С.Т.

Державний університет "Львівська політехніка", Західна електроенергетична система rostmed@polynet.lviv.ua

This paper is research the conditions of appearance and varieties of ferroresonance processes in nets, which work with effectivelly grounded neutral and establishing the reasons of damages of voltage transformers. Offers a new principels of protection a TV from FRP, founded on introduction of active resistance into secondary winding of the TV before turn off the breacer. The results may be used in Crimean substations.

У сучасних умовах енергозабезпечення споживачів спостерігається підвищена пошкоджуваність електромагнітних трансформаторів напруги у мережах 110-500 кВ (за даними деяких авторів – до 10 % в рік від встановлених на підстанціях енергосистем). Це пов'язано з тим, що за неоплату спожитої електроенергії або у зв'язку з дефіцитом потужності на електростанціях, у години максимуму, споживачів вимушено вимикають, чим провокуються умови для створення резонансних контурів, виникнення ферорезонансних процесів (ФРП) в них,

які супроводжуються пошкодженням обладнання підстанції і, в першу чергу, трансформаторів напруги (ТН). А вихід з ладу ТН може призвести як до розладу енергопостачання цілих регіонів, оскільки від них живляться пристрої захисту, автоматики та регулювання, так і до суперечностей між окремими суб'єктами енергоринку, оскільки втрачатиметься облік відпущеної та спожитої електроенергії.

Відомо, що ферорезонансні контури у мережах з заземленою нейтраллю виникають між нелінійною індуктивністю трансформаторів напруги, ємністю шин на землю та ємністю ємнісних ділянок напруги повітряних вимикачів. Причому можуть виникати як паралельний, так і послідовний ферорезонанси, з яких більш небезпечними є послідовні резонанси [1,2]. Нами ж встановлено, що ферорезонансні процеси можуть виникати і за неповнофазних режимів мереж, що містять блоки: олійний вимикач, лінія, силовий трансформатор. На кафедрі ЕМС ДУ "Львівська політехніка" під час дослідження можливих варіантів виникнення ФРП проаналізовано схему блоку лінія-трансформатор з олійним вимикачем (ОВ) при невмикненні однієї з фаз вимикача ЛЕП-220 кВ під час виводу з роботи силового трансформатора Т1 (рис. 1).

При цьому можливою причиною пошкодження ТН найвірогідніше може бути послідовний ферорезонансний процес. На рис.2 наведено трифазну розрахункову схему для дослідження ФРП за неповнофазних режимів ЛЕП-220 кВ (рис. 1) [3]. Результати досліджень говорять про незаперечне

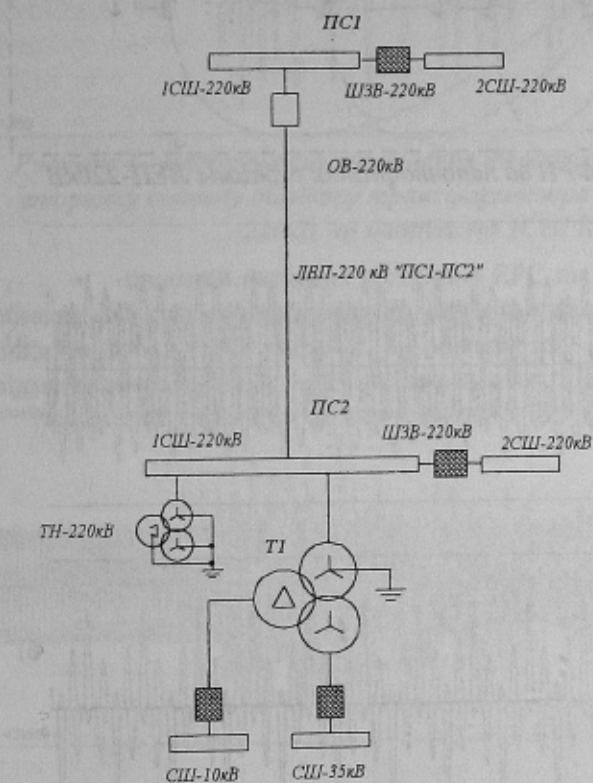


Рисунок 1 - Схема блоку лінія-трансформатор з олійними вимикачами

виникнення ФРП у цій схемі і свідчать про те, що саме ФРП є причиною пошкодження ТН. Схема без врахування втрат на корону дає 3-кратні перенапруги на шинах ПС-2, про існування яких свідчило би спрацювання розрядників, чого на практиці не було. Дослідження на математичній моделі проводились з двокаскадною схемою заміщення ТН при різних кроках обрахунку. Встановлено, що оптимальною матмоделлю є трифазна схема з двокаскадним заміщенням ТН та врахуванням втрат на корону в ЛЕП-220 кВ. Оптимальний крок обрахунку становив 0,001 мс.

Результати обрахунку на математичній моделі підтвердили існування ферорезонансного процесу на ПС-2 за невмикнення однієї чи двох фаз ЛЕП-220 кВ (рис.3). Наслідком цього ФРП є збільшення струму у первинній обмотці ТН. Цей струм, в свою чергу, викликає перегрів обмотки та обуглювання ізоляції; крім цього значно зростає і прикладена до ТН напруга. Але передача енергії через міжфазні ємності ЛЕП недостатня, і тому видимих пошкоджень ТН на цьому етапі, як правило, не відбувається. При вимкненні останньої фази вимикача ферорезонансний процес припиняється. І тільки за наступного ввімкнення вже фактично пошкодженого ТН під

робочу напругу, тобто за відтворення початкової схеми, відбувається руйнування ТН внаслідок внутрішнього к.з. [4,5].

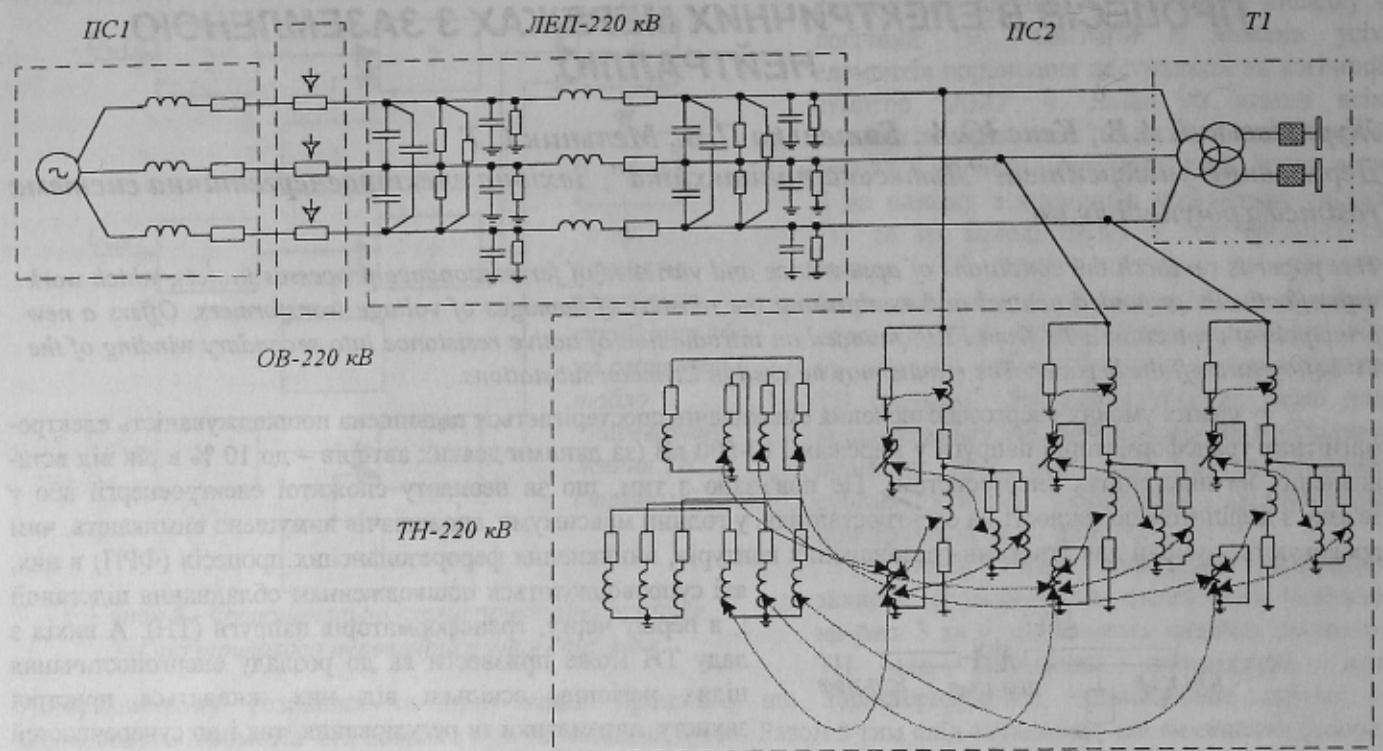


Рисунок 2 - Трифазна розрахункова схема для дослідження ФРП за неповнофазних режимів ЛЕП-220кВ

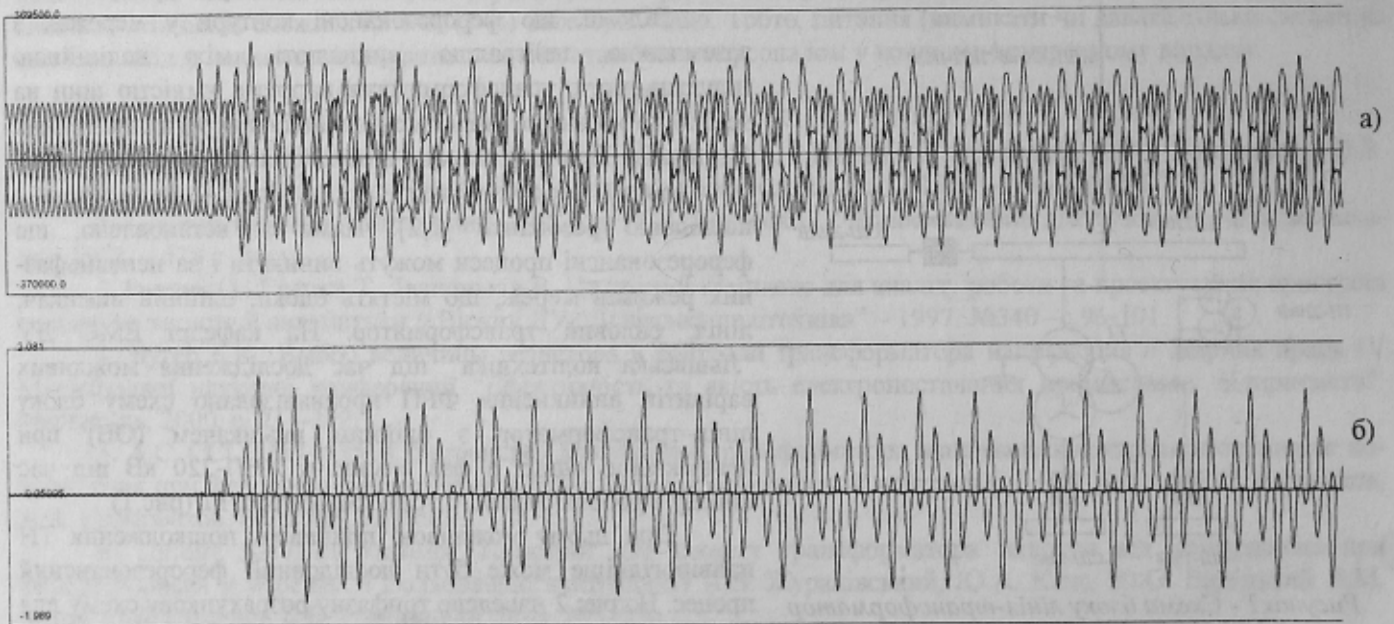


Рисунок 3 - Ферорезонансний процес у схемі з двокаскадним заміщенням трансформатора напруги:
а) напруга на 1СШ ПС2; б) струм у первинній обмотці ТН

За допомогою математичної моделі було проаналізовано існуючі засоби боротьби з ФРП [2,6]. Оскільки вони розраховані на ФРП у мережі з повітряними вимикачами, тобто з врахуванням впливу ємнісних ділянок напруги вимикачів, то у даному випадку не всі вони можуть бути прийнятними. Так обрахунки показали, що збільшення ємності шин сприяє розвитку потужнішого ФРП за умови неповнофазного режиму лінії ПС1-ПС2.

Реальними засобами боротьби з ФРП у даній схемі є введення резистора у вторинну основну обмотку після виникнення ФРП (рис.4), введення зустрічної ЕРС у вторинну основну обмотку ТН (рис.5), чи випереджуюче каскадне введення опорів у цю ж обмотку ТН (рис.6).

Кожен з цих способів має певні переваги і недоліки:

- введення резистора у вторинну основну обмотку після виникнення ФРП потребує пристрою, який би швидко визначав вміст 3 та 5 гармонік, які свідчать про виникнення ФРП. Після встановлення наявності ФРП пристрій повинен каскадно вводити в основну вторинну обмотку ТН опори, які придушують ФРП. Для

ефективного придушення ФРП проміжок між часом вимкнення вимикачів і введенням опорів у вторинну обмотку повинен становити не більше 0,1с.

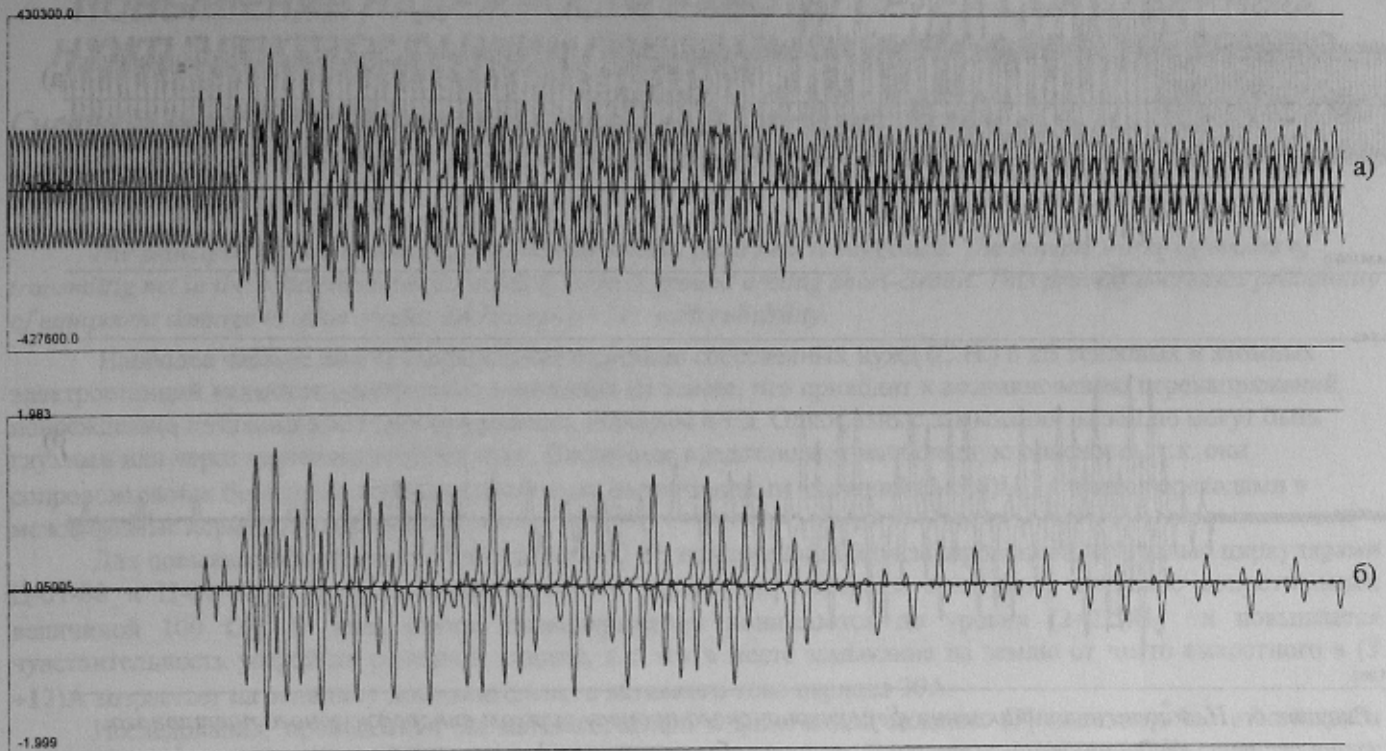


Рисунок 4 - Недопущення виникнення ферорезонансного процесу шляхом поетапного введення опорів у вторинну основну обмотку трансформатора напруги після неповнофазного вимкнення вимикача ОВ-220кВ: а) напруга на ІСШ ПС2; б) струм у первинній обмотці ТН

- пристрій введення зустрічної ЕРС гасить ФРП, але навіть незначна ЕРС (40 В), індукує у первинній обмотці ТН струми, що граничні чи перевищують струми термічної стійкості ТН. І цей струм існує весь час, поки подається ЕРС, тобто до вимкнення всіх фаз вимикача. Отже, якщо цей процес тривалий, то можлива відмова джерела ЕРС та відповідно розвиток ФРП і пошкодження ТН.

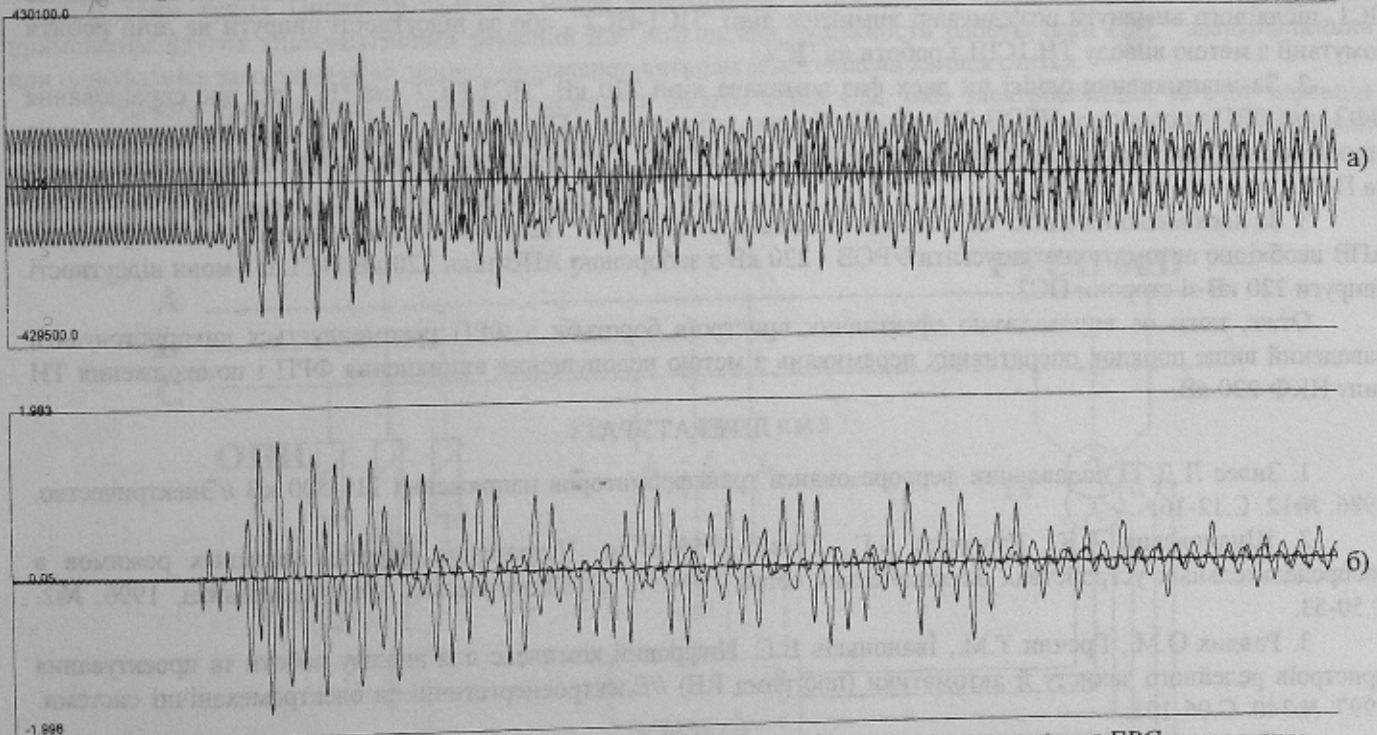


Рисунок 5 - Недопущення виникнення ферорезонансного процесу введенням зустрічної ЕРС у вторинну основну обмотку ТН: а) напруга на ІСШ ПС-2; б) струм у первинній обмотці ТН

- при каскадному введенні опорів у вторинну основну обмотку ТН до вимкнення фаз вимикачів, ФРП згасає на протязі 3-5 с, опори виводяться з вторинної обмотки і далі ТН працює у нормальному режимі роботи. Струм, який спричиняє нагрів вторинної обмотки ТН ($I_{д\text{ вн}} = 0,3\text{А}$; $I_{д\text{ нн}} = 170\text{ А}$) існує не більше 1,8 с. Але цей спосіб не може використовуватись, поки відсутні високошвидкісні та надійні канали зв'язку між ПС2 та ПС1.

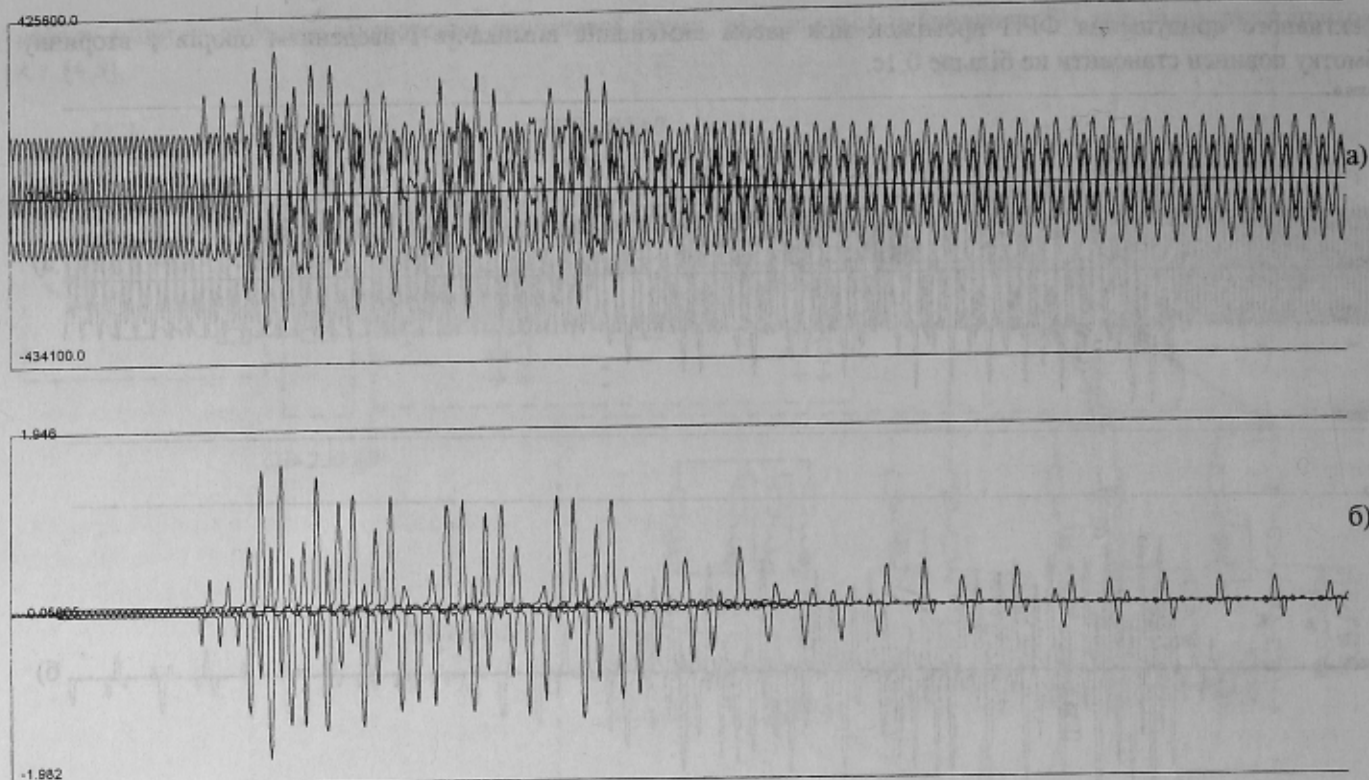


Рисунок 6 - Недопущення виникнення феррорезонансного процесу шляхом випереджуючого поетапного введення опорів у вторинну основну обмотку трансформатора напруги:
 а) напруга на 1СШ ПС2; б) струм у первинній обмотці ТН

Тому, на даний час можна рекомендувати наступний порядок оперативних перемикачів для недопущення тривалого неповнофазного режиму, а отже недопущення тривалого ФРП.

1. При невимкненні однієї чи двох фаз вимикача лінії "ПС1-ПС2" на ПС1 під час виведення з роботи силового трансформатора на ПС2, необхідно проводити швидке АПВ (ручне чи автоматичне) цієї лінії. Це обмежить тривалість існування надструмів ФРП за неповнофазних режимів часом, необхідним для АПВ. Після цього на ПС1 необхідно перевести всіх споживачів, крім ПС2, на іншу систему шин та вимкнути ШЗВ 220 кВ ПС1, після чого вимкнути роз'єднувачі вимикача лінії "ПС1-ПС2", або за відсутності напруги на лінії робити комутації з метою виводу ТН 1СШ з роботи на ПС2.

2. За невимкнення однієї чи двох фаз вимикача лінії 220 кВ "ПС1-ПС2" на ПС1 під час спрацювання ДФЗ цієї ЛЕП спрацює УРОВ-220 кВ. Необхідно заборонити АПВ шин на ПС1, оскільки при цьому може опинитися під напругою непошкоджена фаза ЛЕП "ПС1-ПС2" і спричинити розвиток ФРП та пошкодження ТН на ПС2.

3. За невимкнення однієї чи двох фаз вимикача лінії 220 кВ "ПС1-ПС2" на ПС1 вручну, чи від пристрою АПВ необхідно автоматично запускати УРОВ - 220 кВ з заборонаю АПВ шин 220 кВ ПС1 за умови відсутності напруги 220 кВ зі сторони ПС2.

Отже, поки не впроваджено ефективних пристроїв боротьби з ФРП рекомендується використовувати наведений вище порядок оперативних перемикачів з метою недопущення виникнення ФРП і пошкодження ТН типу НКФ-220 кВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зилес Л.Д. О подавлении феррорезонанса трансформаторов напряжения 110-500 кВ //Электричество. 1986. №12. С.12-16.
2. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И и др. Устранение феррорезонансных режимов в распределительных устройствах электрических сетей 110-750 кВ //Техническая электродинамика. 1996. №2. С.50-53.
3. Равлик О.М., Гречин Т.М., Іваноньків В.С. Цифровий комплекс для аналізу роботи та проектування пристроїв релейного захисту й автоматики (програма RE) //Електроенергетичні та електромеханічні системи. 1997. №340. С.96-101.
4. Павлов В.И., Ложкин С.И. Опыт подавления феррорезонанса на шинах 220 кВ подстанций //Энергетика. 1992. №8. С.30
5. Алексеев В.Г. Условия феррорезонанса с трансформаторами напряжения в сети 220 кВ //Электрические станции. 1994. №10. с.54-57.
6. Журахівський А.В., Бахор З.М., Батенько П.В. Огляд методів виявлення та подавлення феррорезонансних процесів у мережах з ефективно заземленою нейтраллю. //Вісник ДУЛП. №372, 1999 р.