

Заклад вищої освіти „Подільський державний університет”
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ ДУГОВИХ ПЕРЕНАПРУГ В ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ НОМІНАЛЬНОЮ НАПРУГОЮ 35 КВ»

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми навчання
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-професійної
програми «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»

СОРОКІВСЬКИЙ Святослав Олегович

Керівник канд. техн. наук, доцент

ДУМАНСЬКИЙ Олександр Васильович

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

« ____ » _____ 2024 р.

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
канд. техн. наук, доцент

Павло ПОТАПСЬКИЙ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПЕРЕНАПРУГ В МЕРЕЖАХ З МАЛИМИ ЄМНІСНИМИ СТРУМАМИ НА ЗЕМЛЮ.....	10
1.1 Фізична сутність явища ферорезонансу.....	11
1.2 Огляд існуючих методик аналізу дугових перенапруг в мережах 6-35 кВ.....	19
1.3 Розвиток перенапруг при перемежованому дуговому замиканні на землю в трифазній мережі з ізольованою нейтраллю.....	33
1.4 Перенапруги при перемежованому дуговому замиканні на землю і обриві проводу.....	40
1.5 Перенапруги при перемежованому дуговому замиканні на землю в мережі з дугогасною котушкою.....	42
Висновки до розділу 1.....	44
2 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ СЕРЕДНЬОГО КЛАСУ НАПРУГИ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB.....	45
2.1 Модель електромережі середнього класу напруги.....	46
2.2 Модель електромагнітного трансформатора напруги.....	52
2.3 Модель режиму роботи нейтралі в мережі.....	62
2.3.1 Модель ізольованої нейтралі.....	63
2.3.2 Модель нейтралі заземленої через дугогасний реактор.....	64
2.3.3 Модель нейтралі заземленої через резистор.....	67
2.3.4 Модель нейтралі із комбінованим заземленням.....	70
2.4 Модель однофазного дугового замикання на землю.....	71
Висновки до розділу 2.....	82

3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОПЕРЕЧНИХ ЄМНОСТЕЙ МЕРЕЖІ НА ХАРАКТЕР ПЕРЕНАПРУГ ПРИ ОДНОФАЗНИХ ДУГОВИХ ЗАМИКАННЯХ НА ЗЕМЛЮ.....	83
3.1 Залежність кратностей дугових перенапруг від величини поперечної ємності мережі.....	83
3.2 Вплив напруги джерела живлення на дугові перенапруги в мережі.....	88
3.3 Вплив поперечної ємності мережі на характер горіння заземляючої дуги.....	93
3.4 Вплив поперечної ємності на характер горіння заземляючої дуги при включенні в мережу антирезонансних ТН.....	97
Висновки до розділу 3.....	102
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104
Додатки.....	106

АНОТАЦІЇ

В кваліфікаційній роботі розглянуто процес однофазних дугових замикань на землю, їх вплив на повітряні лінії електропередавання, а також режими роботи нейтралі, як засіб підвищення надійності роботи мережі. Проведено моделювання режимів роботи нейтралі та вплив на неї поперечних ємностей при дугових замиканнях. Сформовано рекомендації щодо вибору оптимальних режимів роботи нейтралі при різних дугових перенапругах в мережі.

ABSTRACTS

The thesis examines the process of single-phase arcing to the ground, their impact on overhead power lines, as well as neutral operating modes as a means of increasing network reliability. Modeling of the operating modes of the neutral and the effect on it of transverse capacitances during arcing was carried out. Recommendations have been made for choosing the optimal operating modes of the neutral at various arc overvoltages in the network.

РЕФЕРАТ

СОРОКІВСЬКИЙ Святослав Олегович. Дослідження процесів виникнення дугових перенапруг в повітряних лініях номінальною напругою 35 кВ. 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Факультет енергетики та інформаційних технологій. Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024.

В кваліфікаційній роботі написано вступ, розглянуто процес однофазних дугових замикань на землю, їх вплив на повітряні лінії електропередавання, а також режими роботи нейтралі, як засіб підвищення надійності роботи мережі. Проведено моделювання режимів роботи нейтралі та вплив на неї поперечних ємностей при дугових замиканнях. Сформовано рекомендації щодо вибору оптимальних режимів роботи нейтралі при різних дугових перенапругах в мережі. Написані висновки до дипломної роботи. Оформлено список використаних джерел та додатки.

Ключові слова: РЕЗИСТОР, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, ЄМНІСТЬ, РОЗПОДІЛЬНА МЕРЕЖА, ЗАЗЕМЛЕННЯ, НЕЙТРАЛЬ, ІЗОЛЬОВАНА НЕЙТРАЛЬ, НАПРУГА НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ, ОДНОФАЗНЕ ДУГОВЕ ЗАМИКАННЯ, ТРАНСФОРМАТОР НАПРУГИ.

ВСТУП

Актуальність теми. Розподільчі мережі 6–35 кВ є найпротяжнішими з найбільш важким режимом роботи електроустаткування щодо дії внутрішніх перенапруг. Найпоширенішими причинами аварійних пошкоджень в цих електромережах є дугові та комутаційні перенапруги, а також ферорезонансні процеси. Одним зі способів зменшення рівнів внутрішніх перенапруг в електромережах є зміна режиму заземлення нейтралі. Електричні мережі 6–35 кВ можуть працювати в режимі з ізолюваною, резистивно- та резонансно-заземленою нейтраллю. Водночас, в науковому середовищі немає однозначної думки щодо застосування того чи іншого способу заземлення нейтралі. Це пов'язано з тим, що застосування електромереж з ізолюваною та резонансно-заземленою нейтраллю має як переваги, так і значні недоліки, а досвід застосування резистивного заземлення нейтралі в електромережах України практично відсутній.

Метою кваліфікаційної роботи є розвиток математичних моделей, методів і засобів, що дозволяють на основі аналізу квазістаціонарних режимів і перехідних процесів мінімізувати негативні наслідки однофазно-несиметричних режимів, що виникають в розподільних мережах 6-35 кВ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- змодельовати конфігурацію електричної мережі;
- змодельовати чотири режими роботи нейтралі;
- при відповідній конфігурації електричних мереж домогтися появи ФРП;
- змодельовати однофазне дугове замикання на землю;
- змодельовати однофазне дугове замикання;
- на основі проведених моделювань зробити аналіз даної проблематики та висунути пропозицію щодо рішення проблеми виникнення перехідних процесів у мережах з ізолюваною нейтраллю.

Об'єкт дослідження: електричні мережі середнього класу напруги з ізолюваним режимом роботи нейтралі.

Предмет дослідження: процеси у схемі нульової послідовності, викликані однофазними замиканнями.

Методи дослідження. В основу роботи покладено імітаційне математичне моделювання процесів виникнення дугових перенапруг в повітряних лініях електропередавання номінальною напругою 35 кВ. Обробка результатів дослідження виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного середовища SimPowerSystem пакету програм MATLAB.

Наукова новизна результатів полягає в розроблені імітаційних моделей електричної мережі 35 кВ, трансформаторів напруги, режимів роботи нейтралі, однофазних дугових замикань.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розглянуто процес однофазних дугових замикань на землю, їх вплив на повітряні лінії електропередавання, а також режими роботи нейтралі, як засіб підвищення надійності роботи мережі. Проведено моделювання режимів роботи нейтралі та вплив на неї поперечних ємностей при дугових замиканнях. Сформовано рекомендації щодо вибору оптимальних режимів роботи нейтралі при різних дугових перенапругах в мережі.

У кваліфікаційній роботі описувались насупні елементи електричної мережі, які були змодельовані у середовищі MATLAB: електрична мережа середнього класу напруги, електромагнітний трансформатор напруги, чотири режими роботи нейтралі (ізолювана, резонансно-заземлена, резистивно-заземленої нейтраль, а також комбіноване заземлення нейтралі) та модель дугового замикання на землю. Безперечною перевагою MATLAB/Simulink є можливість побудови моделей складних електротехнічних систем на основі методів імітаційного та функціонального моделювання.

Одним зі способів зменшення рівнів внутрішніх перенапруг в електромережах є зміна режиму заземлення нейтралі. При збільшенні довжини живлячого кабелю кратність комутаційних перенапруг знижується незалежно від режиму роботи нейтралі. заземлення нейтралі через дугогасний реактор також ефективно знижує рівні дугових перенапруг, але при роз лаштуванні компенсації може спостерігатись значний ріст перенапруг, особливо при перекомпенсації.

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач вищої освіти _____ Святослав СОРОКІВСЬКИЙ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Селиванов В. Н. Исследование феррорезонансных колебаний в воздушных сетях 35 кВ с изолированной нейтралью с электромагнитными трансформаторами напряжения: дисс.на соискание уч. степени канд. техн. наук: – К., 2003. – 178 с.
2. Собчук В.С., Собчук Н.В., Бурикін О.Б. Перенапруги і блискавкозахист в електричних системах. Навчальний посібник. — Вінниця : Вінницький національний технічний університет (ВНТУ), 2010. — 145 с.
3. Яцейко А.Я., Козак К.В. Вплив режиму роботи нейтралі електромережі 6-35 кВ на рівні внутрішніх перенапруг // Львівська політехніка. – 2013. – с. 25-32.
4. Масляк Р.Я. Феррорезонансні процеси та захист трансформаторів напруги в електричних мережах 6-35 кВ. Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. – 2014. – 188 с.
5. Бесараб О.Б., Тугай Ю.І. Моделювання феррорезонансного процесу в трансформаторі напруги прямим методом // Праці Інституту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – 2011. – Вип. 30. – С. 87–90.
6. Stosur M., Piasecki W., Florkowski M., Fulczyk M. ATP/EMTP Study of Ferroresonance Involving HV Inductive VT and Circuit Breaker Capacitance // Power Quality and Utilization, Journal – 2008. – Vol. XIV, No. 2. – P. 49–52.
7. Бессонов Л.А. Электрические цепи со сталью. – М.Л.: Госэнергоиздат, 1946. – 171с.
8. Chan J.H., Vladimirescu A., Gao X.C., Liebmann P., Valainis J. Nonlinear Transformer Model for Circuit Simulation // IEEE transactions on computer-aided design. – 1991. – Vol. 10, 4 – P. 476–482.
9. Jiles D.C., Atherton D.L. Theory of ferromagnetic hysteresis // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1986. – Vol. 61. – P. 48–60.
10. Амелин С.А., Новиков А.А., Строев К.Н. Модификация модели Джилса-Атертона для учета частотных свойств ферромагнетиков. // Электричество. – 1995. – №11. – С. 60–63.

11. Тугай Ю.І., Бесараб О.Б. Модель електромагнітного трансформатора напруги для дослідження ферорезонансних процесів // Енергетика та електротехніка, 2016. – с. 45-50.
12. Лаптев О.И. Исследование эффективности антирезонансных трансформаторов напряжения типа НАМИ в электрических сетях высокого и среднего напряжений: Диссертация на соискание уч. ст. к.т.н. – 2007. – 246 с.
13. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
14. Яцейко А., Горошко О. Дослідження перенапруг під час дугових замикань на землю в електромережах 35 кВ // Енергетика та системи керування : матеріали IV Міжнародної конференції молодих вчених ERECS-2013, 21–23 листопада 2013 року, Україна, Львів / Національний університет "Львівська політехніка". – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – С. 12–15.
15. Верещаго Е.Н., Костюченко В.И. Модель электрической дуги в MATLAB/SIMULINK //Електротехніка та електроенергетика, № 2. ISSN 1607-6761, 2013 – с. 40-46.
16. Vepryk Yu. N., Lebedka S. N., Petrovskyj M. V. –Perenapryazheniya v elektrycheskyh setyah 6-35 kV i sovremennye sredstva yih ogranicheniya pry zamykanniah na zemlyul // The surges in electrical networks 6-35 kV and modern means of limiting earth fault. Journal of SumSU. Series of technical science, vol. 4, 2008 – pp. 59-69
17. Myronov Y. Mode of neutral grounding in networks 6-35 kV. Do we have to give up the compensation capacitor current ground fault? // Electrical news vol. 6(24), 2003. – Available: <http://www.news.elteh.ru/arh/2003/24/>. [Accessed: Feb. 10, 2013].
18. Кондрашов В. Е., Королев С. Б. MATLAB как система научных технических расчетов. – М. : МИР, 2002. – 633 с.