

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІ «ЖВАНЕЦЬ» 110/10КВ АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ХМЕЛЬНИЦЬКОБЛЕНЕРГО»»

Виконав:

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

КАРМАЛЮК Роман Петрович

Керівник канд. техн. наук, професор

МИХАЙЛОВА Людмила Миколаївна

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

« ____ » _____ 2023 р.

Допускається до захисту:

« ____ » _____ 2023 р.

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

Ігор ГАРАСИМЧУК

м. Кам'янець-Подільський, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Загальний аналіз навантажень району електропостачання ПС 110 кВ..	10
1.2 Аналіз зони електропостачання трансформаторної підстанції 110 кВ...	11
1.3 Аналіз технічного стану комутаційного обладнання підстанції	11
1.4 Характеристика схеми електричних з'єднань ПС 110 кВ	12
1.5 Обґрунтування заміни оливних вимикачів на вакуумні.....	14
1.6 Аналіз навантажень на підстанцію та оцінювання ефективності її роботи	15
1.7 Потужність споживачів підстанції на стороні 10 і 35кВ	19
1.8 Висновки до розділу	21
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Визначення поняття та класифікація стійкості за напругою	22
2.2 Важливість дослідження показників стійкості за напругою	24
2.3 Методи ідентифікації найбільш небезпечних системних шин щодо стійкості за напругою	25
2.4 Визначення статичної стійкості ПС 110 кВ методом Q-U кривих.....	33
2.5 Висновки до розділу	36
3 ТЕХНОЛОГІЧНА АСТИНА.....	37
3.1 Оптимальні режими навантажень району електропостачання. Уточнені розрахунки	37
3.2 Режим найбільших навантажень	39
3.3 Режим найменших навантажень	42
3.4 Регулювання напруги підстанцією 110 кВ	43
3.5 Висновки до розділу	45
4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	46
4.1 Розрахунок струмів короткого замикання.....	46

4.2 Розрахунок струмів короткого замикання в точці К-1	48
4.3 Розрахунок струмів короткого замикання в точці К-2	52
4.4 Розрахунок струмів короткого замикання в точці К-3	55
4.5 Висновки до розділу	58
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	59
5.1 Вибір вимикачів	59
5.2 Вибір роз'єднувачів	63
5.3 Вибір струмоведучих частин	68
5.4 Вибір трансформатора власних потреб	69
5.5 Вибір запобіжників та автоматичних вимикачів	71
5.6 Вибір обмежувачів перенапруги 10 кВ	73
5.7 Висновки до розділу	75
6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	76
6.1 Показники економічної ефективності	76
6.2 Особливості економічного ефекту інвестицій у розвиток локальних електричних мереж	80
6.3 Висновки до розділу.....	85
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	86
7.1 Дія електричного струму на організм людини та заходи щодо зниження небезпеки ураження працівників трансформаторних підстанцій.....	86
7.2 Надання першої допомоги потерпілому при ураженні електричним струмом.....	87
7.3 Застосування технічних засобів електробезпеки на об'єктах енергетики...	90
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

АНОТАЦІЇ

У дипломній роботі проведений аналіз енергетичної стійкості району електропостачання ПС 110 кВ за показниками стійкості за напругою, а також розроблені заходи щодо підвищення надійності електропостачання споживачам. За вибраним методом для аналізу рівнів напруги відносно реактивної потужності проаналізовано статичну стійкість підстанції і побудовано математичну модель її стійкості за напругою. Проведено розрахунки усталених режимів схеми поточкорозподілу району електропостачання в режимах найбільшого і найменшого навантажень, а також післяаварійному, які враховувалися при аналізі статичної стійкості підстанції. Проведений розрахунок статичної стійкості ПС 110 кВ методом $Q-U$ кривих для максимального і післяаварійного режиму. Побудовані відповідні графіки. Коефіцієнт запасу статичної стійкості по напрузі відповідає нормативу.

ANNOTATION

In this diploma paper the analysis of the energy stability of the 110 kV substation of the power supply by the indicators of voltage stability has been carried out, as well as measures to improve the reliability of electricity supply to consumers have been developed. According to the chosen method for the analysis of the voltage levels relative to the reactive power, the static stability of the substation and the mathematical model of its resistance to the voltage have been analyzed. Calculations of the steady-state modes of the circuit of the distribution area of the power supply in the modes of maximum and minimum loads, as well as post- accident, which were taken into account in the analysis of static stability of the substation were carried out. The calculation of the static stability of 110 kV substations by $Q-U$ curves for the maximum and post-emergency conditions was carried out. Appropriate charts have been constructed. The factor of safety of static resistance on voltage corresponds to the norm.

РЕФЕРАТ

КАРМАЛЮК Роман Петрович. Розробка та дослідження методів підвищення енергетичної стійкості системи електропостачання трансформаторної підстанції «Жванець» 110/10 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», 2023.

У дипломній роботі проведений аналіз енергетичної стійкості району електропостачання ПС 110 кВ за показниками стійкості за напругою, а також розроблені заходи щодо підвищення надійності електропостачання споживачам.

За вибраним методом для аналізу рівнів напруги відносно реактивної потужності проаналізовано статичну стійкість підстанції і побудовано математичну модель її стійкості за напругою.

Проведено розрахунки усталених режимів схеми поточкорозподілу району електропостачання в режимах найбільшого і найменшого навантажень, а також післяаварійному, які враховувалися при аналізі статичної стійкості підстанції.

Проведений розрахунок статичної стійкості ПС 110 кВ методом $Q-U$ кривих для максимального і післяаварійного режиму. Побудовані відповідні графіки. Коефіцієнт запасу статичної стійкості по напрузі відповідає нормативу.

Проведено вибір і заміну комутаційного обладнання: короткозамикачів на елегазові вимикачі на стороні 110 кВ, оливних вимикачів на вакуумні на стороні 35 кВ.

Ключові слова: ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ЕНЕРГЕТИЧНА СТІЙКІСТЬ, КОМУТАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ, СХЕМО–ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ.

ВСТУП

Актуальність теми. В електричних мережах повинен зберігатися баланс у виробленні і споживанні активної і реактивної потужності. При відключенні потужних споживачів чи при різких змінах *навантаження* в електричних мережах цей баланс порушується, що може призвести до різких змін напруги в енергосистемах. Ця проблема спричинена обмеженою пропускною здатністю перетинів вузлів за умови статичної стійкості режимів роботи електричних мереж. Мова йде про стійкість за напругою. Стійкість за напругою - це здатність енергосистеми підтримувати стійкі та прийнятні рівні напруги на всіх системах шин як в нормальних, так і в післяаварійних та ремонтних режимах [11, 33].

Дослідження стійкості за напругою дозволяє визначати найбільш критичні системи шин електромережі та виявляти фактори, що можуть призводити до порушення стійкості в цих ділянках. Тому, отримані на етапі планування режимів запаси стійкості за напругою та допустимі перетоки через вузлові перетини потребують оперативного уточнення в режимі «*on-line*». За таких обставин автоматизований контроль за наявними резервами з реактивної потужності для забезпечення стабільної роботи енергосистеми є невід'ємною частиною роботи диспетчерських служб [14, 15].

Порушення стійкості за напругою та виникнення «лавини» напруги супроводжує практично кожен системну аварію. Тому особливу актуальність для національної енергосистеми набувають питання аналізу сьогоденних та перспективних режимів з точки зору оцінки статичної стійкості за напругою. Це дозволить ідентифікувати такі енерго райони в об'єднаній енергетичній системі України та запровадити заходи щодо усунення проблем, що виникають при цьому [21, 27].

Мета і завдання дослідження. Основною метою дипломної роботи є підвищення енергетичної стійкості понижувальної підстанції (ПС) на основі проведених досліджень статичної стійкості за напругою району електропостачання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз різних методів визначення стійкості за напругою, на основі чого вибрати найефективніший з методів аналізу стійкості ПС;
- провести розрахунки усталених режимів району електропостачання, а також визначити запас енергетичної стійкості ПС в умовах найбільших і найменших навантажень;
- провести аналіз комутаційного обладнання високої і середньої напруги для визначення його експлуатаційної придатності;
- провести розрахунки струмів короткого замикання на шинах високої і середньої напруги підстанції для вибору комутаційного обладнання.

Об'єкт дослідження - процес підвищення енергетичної стійкості району електропостачання ПС 110/10 кВ «Жванець» шляхом модернізації схемо-технічного рішення й високовольтного комутуючого обладнання.

Предмет дослідження - характеристики сучасного високовольтного комутаційного обладнання трансформаторної підстанції для заміни морально застарілого й з фізичним зносом.

Наукова новизна отриманих результатів.

– Отримало подальший розвиток застосування методів дослідження технологічної стійкості районів електропостачання трансформаторних підстанцій.

– Запропонована для подальшого дослідження модель для розрахунку запасу стійкості за напругою при найбільших і найменших навантаженнях на підстанцію.

Практичне значення отриманих результатів.

Впровадження результатів досліджень технологічної стійкості району електропостачання дозволить підвищити надійність функціонування електромережі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі проведений аналіз енергетичної стійкості району електропостачання ПС 110 кВ за показниками стійкості за напругою, а також розроблені заходи щодо підвищення надійності електропостачання споживачам.

Отримані такі результати:

1. Проведено аналіз району електропостачання з понижувальною трансформаторною підстанцією ПС 110/10 кВ «Жванець».
2. Проведено аналіз устаткування трансформаторної підстанції та стану комутаційного обладнання, а також аналіз потужності режимів навантажень і ефективності завантаження підстанції.
3. Досліджено, що основна причина втрати стійкості підстанцією є нездатність енергосистеми до підтримування балансу реактивної потужності після появи збурення.
4. Досліджено, що динамічна стійкість опорних підстанцій залежить від зростання відсотка відновлювальної енергетики в структурі генерації. Нетрадиційним генераторам (вітроелектростанціям) не під силу підтримування напруги в енергосистемі під час аварійних ситуаціях, а підстанції, в свою чергу, не завжди в змозі підтримати генерацію при різких поривах вітру.
5. Проведено розрахунки усталених режимів схеми поточкорозподілу району електропостачання в режимах найбільшого і найменшого навантажень, а також післяаварійному, які враховувалися при аналізі статичної стійкості підстанції.
6. Проведений розрахунок статичної стійкості ПС 110 кВ методом $Q-U$ кривих для максимального і післяаварійного режиму. Побудовані відповідні графіки $Q-U$ залежностей. Коефіцієнт запасу статичної стійкості по напрузі в максимальному і післяаварійному режимах відповідає нормативу.
7. Проведені розрахунки режимів максимальних, мінімальних навантажень та післяаварійних відключень показали, що відхилення напруги на

всіх підстанціях району електропостачання змінюється в межах від -6% до $+6,5\%$. Діапазон регулювання напруги підстанцією ($\pm 16\%$) є достатнім.

8. Проведено розрахунки струмів дво- і трифазних коротких замикань на шинах 110, 35 і 10 кВ підстанції. Розрахункові дані враховувалися при виборі комутаційного обладнання.

9. Проведено вибір і заміну комутаційного обладнання: короткозамикачів на елегазові вимикачі на стороні 110 кВ, оливних вимикачів на вакуумні на стороні 35 кВ для підвищення надійності електропостачання споживачів ПС 110/10 кВ.

Досліджені методи підвищення енергетичної стійкості трансформаторної підстанції 110/10 кВ та запропоновані заходи щодо її модернізації сприятимуть надійності електропостачання споживачів, а також безпечним умовам праці персоналу й недопущення забруднення довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авраменко В. М. Декомпозиційний аналіз коливань потужності по мережі ОЕС України / В. М. Авраменко, О. В. Мартинюк // Технічна електродинаміка. – 2018. - №4. – С. 98–101.
2. Авраменко В. М. Дослідження коливної статичної стійкості у перетині ОЕС України / В. М. Авраменко, Н. Т. Юнеєва та ін. // Вісник Вінницьк. політехн. ін-ту. – 2018. - №1. – С. 34–38.
3. Авраменко В. М. Дослідження моделей та інтелектуалізованих програмних засобів для автоматизації диспетчерського керування ЕЕС / В. М. Авраменко, П. О. Черненко та ін. // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2014. - №38. – С. 39–47.
4. Батлук В. А. Охорона праці. Підручник / В. А. Батлук, М. П. Кулик, Р. А. Яцюк. – Львів : Вид-цтво НУ «Львівська політехніка», 2009, 360 с.
5. Бахмачук С. В. Деякі аспекти техніко–економічного порівняння варіантів схем електричних з'єднань та видачі потужності електростанції / С. В. Бахмачук, Т. В. Завалко // Сучасні проблеми економіки та підприємництво. Аналіз діяльності підприємства. – 2014. – Вип. 14. – С. 236–243.
6. Бень Т. Г. До визначення економічної ефективності інвестицій // Економіка України. – 2007. - №4. – С. 12–19.
7. Бойчик І. М. Економіка підприємства. Навч. посіб. – Вид. 2-е, доп. і перероб. – К. : Атіка, 2007. – 528 с.
8. Бойчук Ю. Д. Екологія і охорона навколишнього середовища. Навч. посібн. / Ю. Д. Бойчук, Е. М. Солошенко, О. В. Бугай. – Суми : Університетська книга, 2012. – 284 с.
9. Бригхэм, Юджин Финансовый менеджмент. Теория и практика / Юджин Бригхэм, Майкл Эрхардт ; [пер. с англ. под ред. Е. А. Дорофеева]. – 10-е изд. – СПб. : Питер, 2009. – 960 с. : ил. – (Серия «Академия финансов»).
10. Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в

енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі : ГКД 340.000.002–97. – Офіц. вид. – К. : Міненерго України, 1997. – 52 с. – (Галузевий керівний документ).

11. Владимиров Ю. В. Влияние промышленных потребителей на потери в электрических сетях / Ю. В. Владимиров, В. С. Доля // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – №2. – С. 53–56.

12. Денисюк С. П. Особливості оцінки стійкості, надійності живлення тарівня ЕМС в системах живлення електрифікованого транспорту / С. П. Денисюк, Д. Г. Дерев'янка, В. В. Мирошніченко // Електрифікація транспорту. – 2012. - №3. – С. 53–56.

13. Денисюк С. П. Формування технологічного базису модернізації розподільних електричних мереж на основі концепції SMART GRID // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2012. - №1. – С. 90–97.

14. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Навч. посібник. – Вид. 2-е. – К. : Знання, 2002. – 203 с.

15. Економіка підприємства. Збірник практичних задач і конкретних ситуацій. Навч. посібн. / За ред. С. Ф. Покропивного. – Київ : Техніка, 1999.– 178 с.

16. Євдін О. М. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т. 1. Техногенна та природна небезпека. Посібник / За заг. ред. В. В. Могильниченка. – К. : КІМ, 2007. – 636 с.

17. Катеринич М. Б. Аналіз та оцінка інвестиційних проектів // Економічна наука. Інвестиції: практика та досвід. – 2007. - №16. – С. 11–17.

18. Кириленко А. В. Разработка иерархического оперативно-управляющего комплекса и внедрение его в энергообъединения Украины / А. В. Кириленко, В. Л. Прихно, П. А. Черненко // Наука та інновації. – 2008. – № 6. – С. 12-25.

19. Кодекс цивільного захисту України (від 02.10.2012 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

20. Кузнецов М. П. Фактори впливу вітрової енергетики на

стійкість енергосистеми // Відновлювальна енергетика. Вітроенергетика. – 2015. - №2. – С. 51–55.

21. Кулик В. В. Комплексне оцінювання ефективності встановлення додаткових джерел реактивної потужності у розподільних електричних мережах / В. В. Кулик, О. Б. Бурикін, В. М. Пірняк // Вісник Київ. нац. ун-ту технологій та дизайну. – 2018. - №4 (124). – С. 103–111.

22. Лисяк Г. М. Режими та характеристики енергоблоку електростанції з додатковим робочим трансформатором власних потреб / Г. М. Лисяк, О. Р. Пастух // Вісник Вінницьк. політехн. ін-ту. – 2016. - №2. – С. 116–121.

23. Попадченко С. А. Современные подходы к модернизации электрических сетей в электроэнергетической отрасли Украины // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2016. – №2. – С. 21–24.

24. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : ДНАОП 0.00-1.21-1998 / Вид. офіційне. Мінпраці України. – К. : Офіційний вісник України, 12.03.1998. - №8. – С. 394.

25. Правила улаштування електроустановок / Вид. офіційне. Міненерговугілля України. – Харків : Вид-во «Форт», 2017. – 760 с.

26. Прокопенко В. А. Особливості економічного ефекту інвестицій у розвиток локальних електричних мереж // Економічна наука. Інвестиції: практика та досвід. – 2016. - №17. – С. 38–44.

27. Слюсар А. А. Ризики при виникненні надзвичайних ситуацій / А. А. Слюсар, А. С. Борисова // Матеріали 20-ї ВНПК «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (9–10 жовтня 2018 р., м. Київ) : Зб. тез доп. – К., 2018. – С. 412–415.

28. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки : ГКД 34.20.575–2002. – Офіц. вид-ня Мін. палива та енергетики України. – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2002. – 23 с. – (Галузевий керівний документ).

29. Стогній Б. С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник,

С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. Електроенергетичні системи та установки. - 2012. - №5. – С. 52–67.

30. Стогній Б. С. Застосування засобів моніторингу перехідних режимів в ОЕС України при розв'язанні задач диспетчерського керування / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко та ін. // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України : Зб. наук. праць. – 2009. – Т. 23. – С. 147–155.

31. Стогній Б. С. Інтелектуальний вимірювальний перетворювач та нормативне забезпечення комунікаційного середовища високовольтних електроенергетичних об'єктів / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, Є. М. Танкевич та ін. // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України : Зб. наук. праць. – 2014. – Вип 38. – С. 56–64.

32. Стогній Б. С. Підвищення пропускної здатності «слабких» перетинів енергосистем з використанням технології гнучкої передачі змінним струмом (ГПЗС, FACTS) / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко та ін. // Технічна електродинаміка. Електроенергетичні системи та установки. – 2009. – №2. – С. 63–68.

33. Танкевич С. Є. Формування вимог до інтерфейсу електронних високовольтних вимірювальних перетворювачів струму та напруги // Технічна електродинаміка. – 2014. - №5. – С. 68–70.

34. Цифрова підстанція. Переваги та особливості / М. Ф. Сопель, С. П. Денисюк, О. В. Сподинський // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України : Зб. наук. праць. – 2011. – Вип 30. – С. 14–17.

35. Цифровые комбинированные трансформаторы тока и напряжения ЦТТН- 6 (10), 35, 110 кВ. Режим доступа: <https://digitrans.ru/ctrcttin/> .

36. Чернецька Ю. В. Система моніторингу технічного стану розподільчих електричних мереж / Ю. В. Чернецька, А. І. Замулко // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2011. - №9 (91). – С. 28–37.

37. Яндульський О. С. Підвищення якості роботи енергосистем засобами систем гнучких передач змінного струму / О. С. Яндульський, В. В. Мацейко // Вісник Чернігів. держ. технолог. ун-ту. – 2013. - №2 (65). – С. 178–

