

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КОХАНСЬКИЙ БОГДАН ПАВЛОВИЧ

УДК 621.311 : 681.3

**РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
СТІЙКОСТІ РАЙОНУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТП 110/10 КВ**

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль
2019

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя міністерства освіти і науки України.

Керівник роботи: доктор технічних наук, професор, професор кафедри електричної інженерії
Євтух Петро Сильвестрович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно– інтегрованих технологій
Левицький Віталій Васильович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 26 грудня 2019 року о 9⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №39 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46018, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус №7, ауд. 310.

ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

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 пропускнуою 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.

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.

Особливу гостроту проблема динамічної стійкості за напругою набуває разом із зростанням частки відновлювальної енергетики в структурі генерації. Нетрадиційні генератори (на вітроелектростанціях) мають недостатні можливості щодо підтримки напруги під час аварійних ситуацій в енергосистемі. Паралельна робота «нетрадиційних» генераторів дозволяє проходити короткотривалі «провали напруги», не від'єднуючись від системи. Для аналізу коливальної стійкості енергосистем з інтегрованими вітроелектричними станціями в якості малих збурень розглядається швидке скидання або зростання генерації.

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.

Мета і завдання дослідження. 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 110/35/10 кВ «Микулинці» 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.

Апробація. Результати досліджень за темою дипломної роботи були представлені на VIII-й Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» на базі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 8-и розділів, висновків, переліку посилань (42 найменування).

Загальний обсяг текстової частини - 109 стор., 22 табл., 12 рис.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи та визначені задачі дослідження.

У **першому розділі «Аналітична частина»** проведено стислий аналіз району електропостачання понижувальної підстанції 110/35/10 кВ «Микулинці» потужністю 20 МВ·А. Проведено аналіз потужності режимів навантажень і ефективності завантаження підстанції, а також технічного стану електрообладнання.

У **другому розділі «Науково-дослідна частина»** розглянуто поняття статичної стійкості за напругою та її класифікацію. Проаналізовано різні методи визначення стійкості за напругою, їх переваги і недоліки. На основі проведеного аналізу згідно методу дослідження побудовано графіки для визначення критичних напруг в розглянутих режимах роботи електричної мережі та розраховані коефіцієнти запасу статичної стійкості за напругою.

У **третьому розділі «Технологічна частина»** проведені аналіз і розрахунки оптимальних режимів навантажень району електропостачання ПС «Микулинці». На основі цих даних визначались максимальні коливання напруги і потужності при різних режимах роботи підстанції. Результати

розрахунків були враховані при визначенні статичної стійкості підстанції.

У четвертому розділі «Проектно-конструкторська частина» проведений розрахунок струмів коротких замикань на шинах 110, 35 і 10 кВ. Розрахункові дані враховувалися при виборі комутаційного обладнання ПС 110/35/10 «Микулинці».

У п'ятому розділі «Спеціальна частина» проведений аналіз і здійснено вибір високовольтних вимикачів на стороні 110 кВ. Техніко–економічний розрахунок з врахуванням технічних характеристик дав можливість замість оливних вимикачів встановити елегазові. Здійснено вибір високовольтних вимикачів на стороні 35 кВ методом заміни оливних вимикачів на вакуумні. Проведена реконструкція із заміною силових гнучких шин трансформаторів підстанції на стороні напруг 110/35 кВ, а також заміна на сухий оливного трансформатора власних потреб.

У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» досліджені особливості економічного ефекту інвестицій у розвиток локальних електричних мереж. Зроблені висновки щодо обґрунтування ефективності проектних рішень в електричних мережах.

У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання дії електричного струму на організм людини та запропоновані заходи щодо зниження небезпеки ураження працівників та застосування технічних засобів електробезпеки на об'єктах електроенергетики. Розглянута організація інженерно-технічних заходів цивільного захисту на об'єктах електроенергетики.

У восьмому розділі «Екологія» проведено аналіз екологічних проблем, пов'язаних з передаванням електричної енергії лініями електропередачі на далекі відстані.

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:

Проведено аналіз району електропостачання з понижувальною трансформаторною підстанцією ПС 110/35/10 кВ «Микулинці».

Проведено аналіз устаткування трансформаторної підстанції та стану комутаційного обладнання, а також аналіз потужності режимів навантажень і ефективності завантаження підстанції.

Досліджено, що основна причина втрати стійкості підстанцією є нездатність енергосистеми до підтримування балансу реактивної потужності після появи збурення.

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.

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 $Q-U$ залежностей. Коефіцієнт запасу статичної стійкості по напрузі в максимальному і післяаварійному режимах відповідає нормативу.

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.

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

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 110/35/10 кВ.

Досліджені методи підвищення енергетичної стійкості трансформаторної підстанції 110/35/10 кВ та запропоновані заходи щодо її модернізації сприятимуть надійності електропостачання споживачів, а також безпечним умовам праці персоналу й недопущення забруднення довкілля.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Євтух П. С. Аналіз методів дослідження стійкості електромережі підстанції 110/10 кВ / П. С. Євтух, О. О. Вакуленко, П. М. Оліярник, Б. П. Коханський // Матеріали VIII МНТК молодих учених та студентів ТНТУ «Актуальні задачі сучасних технологій» (27–28 листопада 2019 р., Тернопіль) : Зб. тез доп. Т. 3. – Тернопіль, 2019. – С. 18–19.

АНОТАЦІЯ

Коханський Б. П. Розробка методів підвищення енергетичної стійкості району електропостачання ТП 110/10 кВ. 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕМ-61. – Тернопіль : ТНТУ, 2019.

Стор. - 109; рис. - 12; табл. - 22; креслень - 6; джерел - 42; додатків - .

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.

ANNOTATION

Kokhanskyi B. Development of methods for increasing the energy stability of the power supply area of 110/10 kV transformer substation. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group EEm-61. - Ternopil : TNTU, 2019.

Pages - 109; Illustrations - 12; Tables - 22; Drawings - 6; Sources - 42; Applications -.

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.

Selection and replacement of switching equipment: short circuits on 110 kV gas switches, oil switches on 35 kV vacuum switches were carried out.

Key words: electrical network, energy resistance, commutation equipment, diagram-technical solutions.