НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

«На правах рукопису»
УДК 621.316

До захисту допущено:
В.о. завідувача кафедри
_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО
«16» грудня 2025 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: «Система регулювання напруги та реактивної потужності на підстанції 110/10 кВ із підключення відновлювального джерела енергії»

Виконав:
студент ІІ курсу, групи ЕК-41мп
Дишлюк Богдан Віталійович _____

Науковий керівник:
к.т.н., ст. викл.
Лавренова Д.Л. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 рік

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить пояснювальну записку, що складається з 78 сторінок та містить в своєму складі 24 рисунки, 18 таблиць, 8 листів графічної частини, 33 літературних посилань і 5 додатків.

Актуальність теми – сучасний етап розвитку електроенергетики України характеризується активною інтеграцією відновлюваних джерел енергії, зокрема вітрових електростанцій (ВЕС), до об'єднаної енергосистеми. Синхронізація ОЕС України з європейською мережею ENTSO-E у 2022 році створила нові вимоги до якості регулювання напруги та реактивної потужності на підстанціях з підключеними ВЕС. Нестабільність вітрової генерації призводить до значних коливань напруги, що загрожує надійності електропостачання споживачів. Традиційні засоби регулювання не забезпечують необхідної швидкодії для компенсації швидких змін потужності ВЕС, що обумовлює необхідність застосування сучасних пристроїв FACTS, зокрема STATCOM.

Мета дослідження – підвищення надійності та якості електропостачання споживачів підстанції 110/10 кВ шляхом розроблення комплексної системи регулювання напруги та реактивної потужності в умовах підключення вітрової електростанції потужністю 30 МВт.

Об'єкт дослідження – підстанція 110/10 кВ з підключеною вітровою електростанцією потужністю 30 МВт в нормальних та аварійних режимах роботи.

Предмет дослідження – система регулювання напруги та реактивної потужності на базі статичного синхронного компенсатора (STATCOM) та координованого керування РПН трансформаторів, БСК та інверторів ВЕС.

Методи дослідження – методи математичного та комп'ютерного моделювання електроенергетичних систем, методи розрахунку усталених режимів та перехідних процесів, методи аналізу якості електроенергії. Моделювання виконано в програмному середовищі DIgSILENT PowerFactory.

Результати роботи – на основі досліджуваного фрагменту підстанції 110/10 кВ розроблено комплексну систему регулювання напруги та реактивної потужності з багаторівневою ієрархічною структурою. Обґрунтовано вибір STATCOM ABB PCS6000 ±30 МВар зі швидкодією 5-20 мс. Виконано техніко-економічне обґрунтування проєкту з NPV +1,2 млн € та IRR 8,3%.

Практичне значення одержаних результатів – отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації підстанцій 110/10 кВ з підключенням вітрових електростанцій потужністю 20-50 МВт в умовах України. Технічні рішення забезпечують виконання вимог Grid Code ENTSO-E та можуть бути масштабовані для більших потужностей ВЕС (до 100 МВт).

Публікації за тематикою досліджень – Дишлюк Б.В., Лавренова Д.Л. Кластеризація енергосистеми при підключенні вітроенергетичних станцій // Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики".

Ключові слова: ПІДСТАНЦІЯ 110/10 КВ, ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, STATCOM, GRID CODE ENTSO-E, РПН ТРАНСФОРМАТОРА, БСК, DFIG, LVRT, ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

ABSTRACT

The master's thesis contains an explanatory note consisting of 78 pages and includes 24 figures, 18 tables, 8 sheets of graphic materials, 33 literature references and 5 appendices.

Relevance of the topic – the current stage of Ukraine's power industry development is characterized by the active integration of renewable energy sources, particularly wind power plants (WPP), into the unified power system. The synchronization of Ukraine's UPS with the European ENTSO-E network in 2022 created new requirements for voltage and reactive power regulation quality at substations with connected WPPs. Wind generation instability leads to significant voltage fluctuations threatening the reliability of consumer power supply. Traditional regulation means do not provide the necessary speed to compensate for rapid WPP power changes, necessitating the use of modern FACTS devices, particularly STATCOM.

Research objective – to improve the reliability and quality of power supply to consumers of a 110/10 kV substation by developing a comprehensive voltage and reactive power regulation system under conditions of connecting a 30 MW wind power plant.

Object of research – a 110/10 kV substation with a connected 30 MW wind power plant in normal and emergency operating modes.

Subject of research – voltage and reactive power regulation system based on static synchronous compensator (STATCOM) and coordinated control of transformer OLTC, capacitor banks and WPP inverters.

Research methods – methods of mathematical and computer modeling of power systems, methods for calculating steady-state modes and transient processes, power quality analysis methods. Modeling was performed in DIgSILENT PowerFactory software environment.

Research results – based on the studied fragment of the 110/10 kV substation, a comprehensive voltage and reactive power regulation system with a multi-level hierarchical structure was developed. The selection of ABB PCS6000 STATCOM ±30 MVAr with a response time of 5-20 ms was justified. A technical and economic feasibility study was performed with NPV +1.2 M€ and IRR 8.3%.

Practical significance of obtained results – the obtained results can be used in the design and modernization of 110/10 kV substations with wind power plants of 20-50 MW capacity in Ukraine. Technical solutions ensure compliance with ENTSO-E Grid Code requirements and can be scaled for larger WPP capacities (up to 100 MW).

Publications on the research topic – Dyshliuk B.V., Lavrenova D.L. Power system clustering when connecting wind power plants // International Scientific and Technical Journal "Modern Problems of Electrical Power Engineering and Automation".

Keywords: 110/10 KV SUBSTATION, WIND POWER PLANT, VOLTAGE REGULATION, REACTIVE POWER, STATCOM, ENTSO-E GRID CODE, TRANSFORMER OLTC, CAPACITOR BANK, DFIG, LVRT, POWER QUALITY.