

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ЕНЕРГОСИСТЕМОЮ

Марченко А.А., к.т.н., доцент, Язенок Ю.С., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Для сучасного світу важливим кроком для енергонезалежності та рішенням задач виробництва електроенергії, що повстали перед людством, є сучасні технології, пов'язані з підключенням вітрових електростанцій (ВЕС) до загальних енергосистем. Таке підключення дає додаткові потужності, що при ретельному використанні, дає можливість диверсифікувати джерела походження електроенергії, отже забезпечувати стабільне та безперебійне постачання до об'єктів споживання [1].

При використанні ВЕС виникають деякі проблеми, одна з них – коливання напруги при зміні різних факторів. Для вирішення цієї проблеми використовують різні методи регулювання напруги, один з них компенсація реактивної потужності [2] за допомогою СТАТКОМ. Такий вид регулювання розглянуто в даній роботі.

Мета роботи. Створення імітаційної моделі ВЕС для дослідження її режимів роботи та аналізу впливу встановлених пристроїв компенсації реактивної потужності з метою підвищення ефективності регулювання напруги.

Матеріали і результати досліджень. Створено окремі елементи та фрагмент електричної мережі з приєднанням ВЕС для проведення досліджень.

На рис. 1 показана схема досліджуваної системи в цілому.

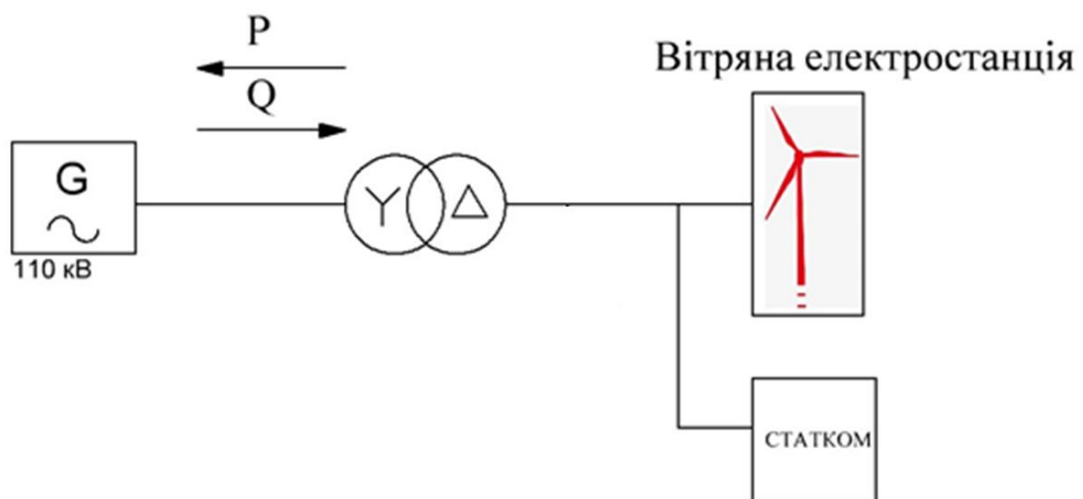


Рисунок 1 – Схема досліджуваної системи

Побудова імітаційної моделі досліджуваної системи виконано в програмному середовищі MatLab/Simulink представлена на рис. 2. Ця схема ілюструє симулятор вітрової електростанції потужністю 9 МВт з

використанням асинхронних генераторів (АГ), що керуються вітровими турбінами з змінною потужністю [3].

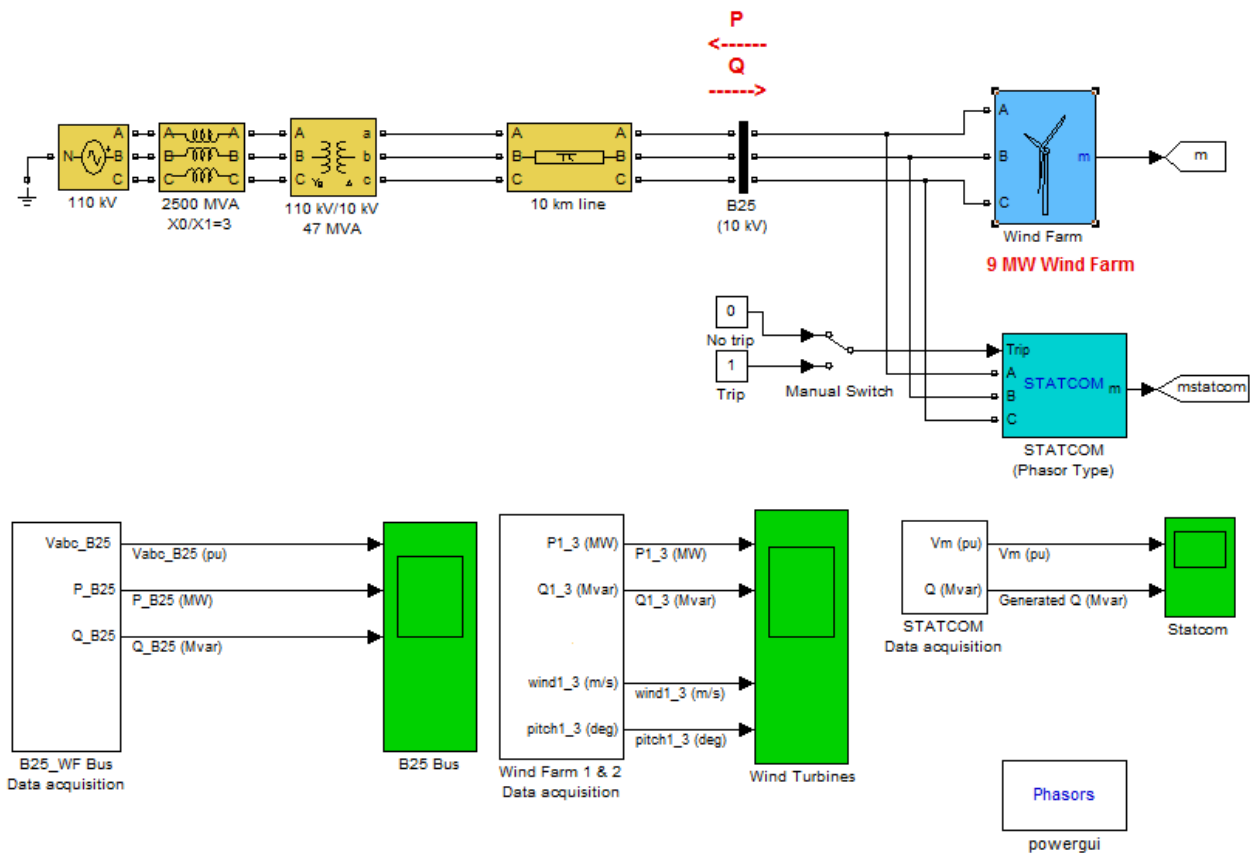


Рисунок 2 – Модель енергосистеми в MatLab

Вітрова електростанція, що складається з шести вітрових турбін потужністю 1,5 МВт, з'єднана з розподільчою системою 10 кВ, експортує потужність до мережі 110 кВ через 10-кілометрову лінію передачі 10 кВ. Обмотка статора АГ підключена безпосередньо до мережі 50 Гц, а ротор керується вітротурбіною. Кут нахилу лопаті регулюється для обмеження вихідної потужності генератора на його номінальне значення для вітрів, що перевищують номінальну швидкість (9 м / с). Для того, щоб генерувати потужність, швидкість АГ повинна бути трохи вище синхронної швидкості. Швидкість коливається приблизно від 1 в.о. без навантаження до 1.005 в.о. при повному завантаженні.

Реактивна потужність, що поглинається АГ, частково компенсується конденсаторними батареями, з'єднаними на кожній вітрової турбіні з низьковольтною шиною (400 кВ для кожної пари потужністю 1,5 МВт). Решта реактивної потужності, необхідна для підтримання напруги 10 кВ на шині B25, близька до 1 в.о., забезпечується 3-Mvar компенсатором реактивної потужності STATCOM [3].

Більш детально структуру ВЕС подано на (рис. 3).

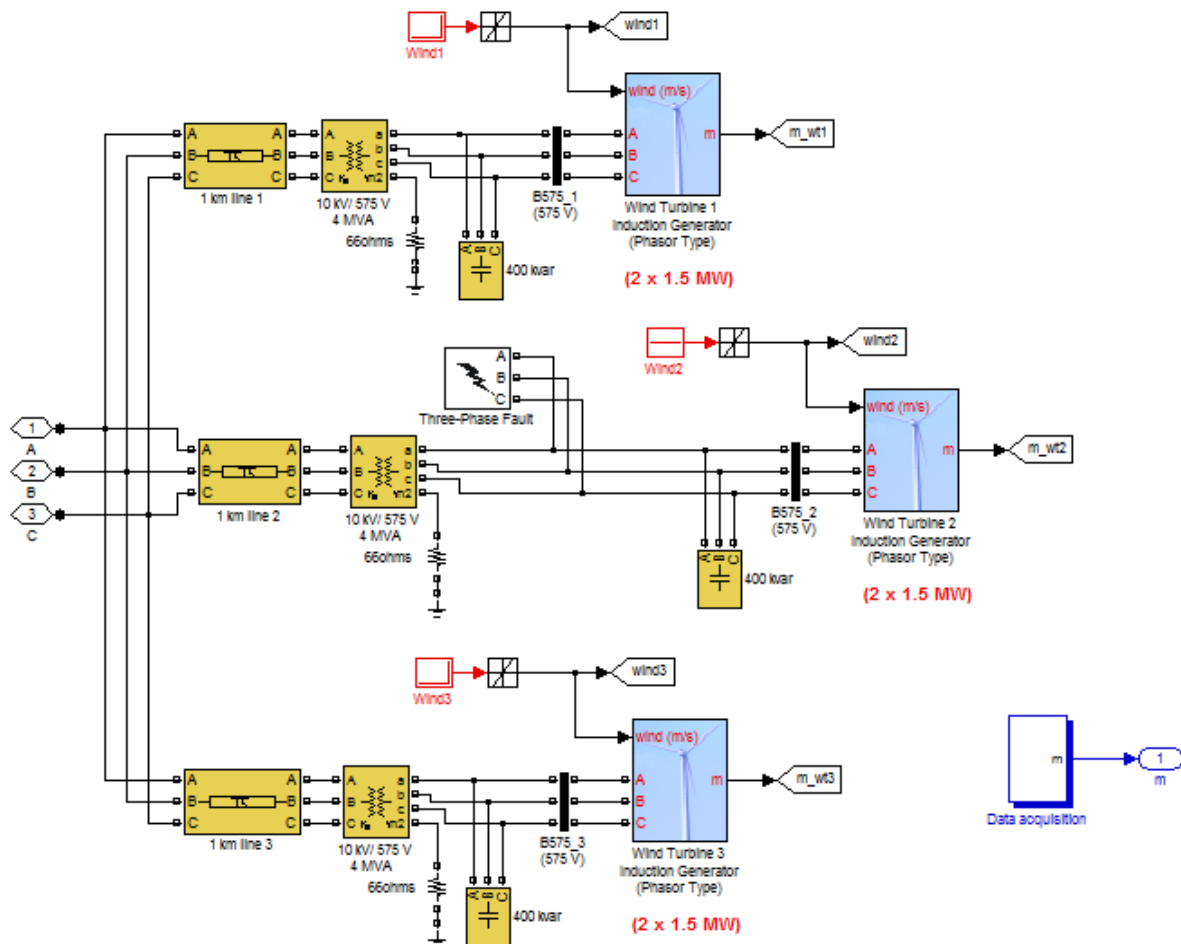


Рисунок 3 – Схема ВЕС в MatLab

Проведемо дослідження системи при зміні швидкості вітру. В блоках "Wind1"- "Wind3" встановимо початкову швидкість вітру на 8 м/с, після чого, починаючи з 2 секунди для першої вітрової турбіни, швидкість вітру зросте до 11 м/с. Такий же порив вітру з затримкою в 2 та 4 секунди, відповідно, подається на Турбіну 2 і Турбіну 3.

Результати дослідження (зміни швидкості вітру та кута нахилу лопаті) для вітрових турбін показані на рис. 4, 5.

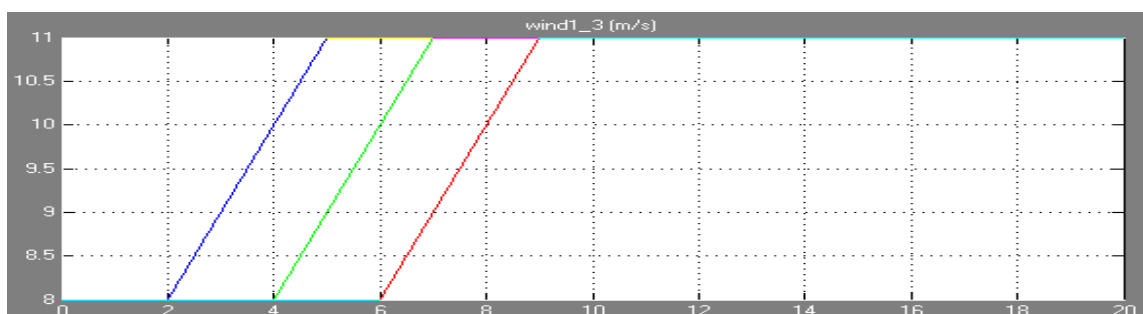


Рисунок 4 – Залежність швидкості вітру від часу

З рис. 4 видно, що швидкість вітру першої турбіни з 8 м /с зростає починаючи з 2 секунди до 11 м / с, швидкість вітру другої та третьої турбін зростає з затримкою в 2 та 4 секунди, відповідно, теж до 11 м / с.

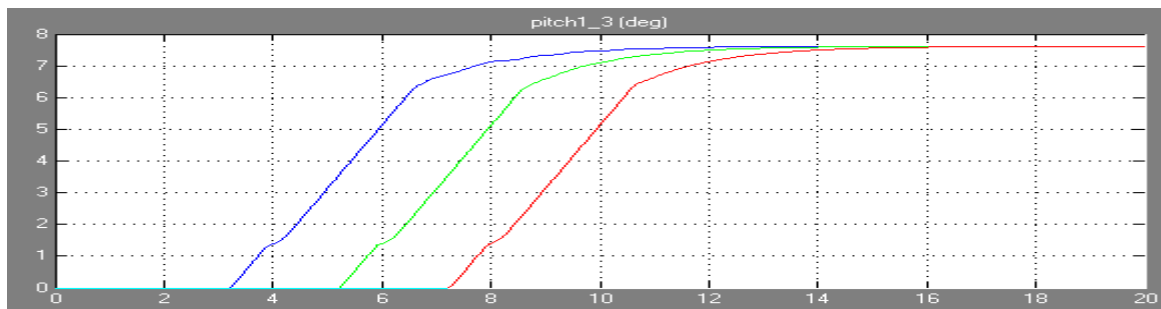


Рисунок 5 – Залежність кута нахилу лопаті від часу

З рис. 5 можна побачити, що кут нахилу лопаті першої вітрової турбіни з 3 секунди починає зростати до 7.7 градусів. Другої та третьої вітрових турбін з 5 та 7 секунд, відповідно, кут нахилу лопаті також зростає до 7.7 градусів.

Зміна напруги та реактивної потужності на СТАТКОМ за результатами дослідження зображені на рис. 6, 7.

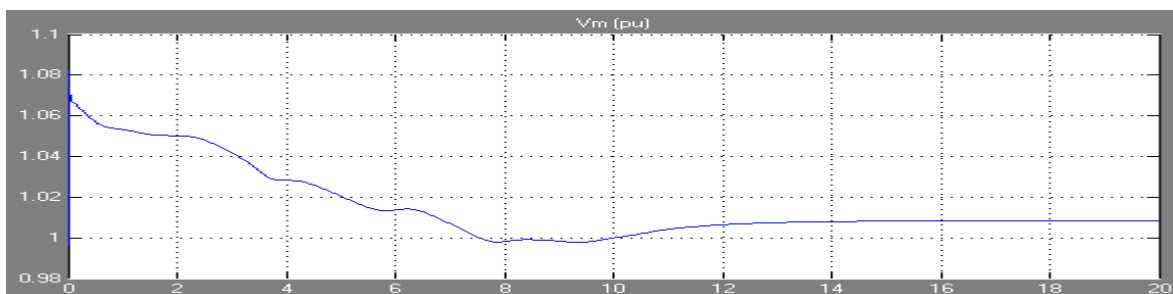


Рисунок 6 – Зміна напруги на СТАТКОМ в часі

З рис. 6 видно, що напруга спочатку спадає до 0.998 в.о., з 8 секунд починає зростати до 1.0085 в.о та залишається постійною.

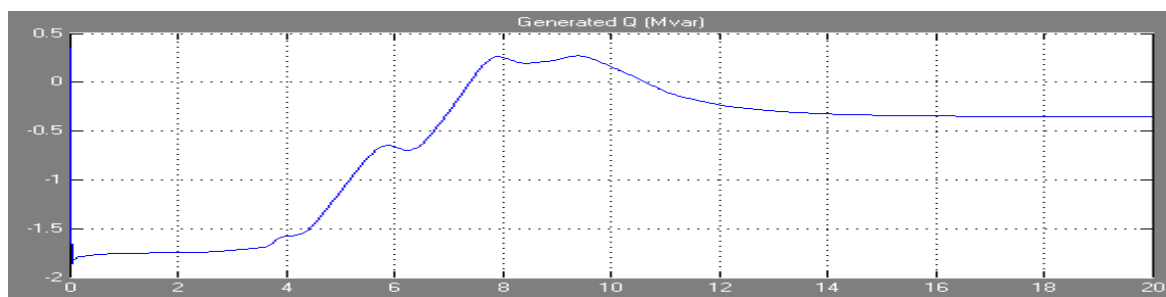


Рисунок 7 – Зміна реактивної потужності на СТАТКОМ в часі

З рис. 7 видно, що реактивна потужність спочатку зростає з -1.8 Мвар до 0.25 Мвар, з 9 секунди починає спадати до -0.35 Мвар.

При зростанні потужності генератора, оскільки генератор є асинхронним, споживання його реактивної потужності збільшується. На графіках вітрових турбін видно зростання споживання реактивної потужності, яку компенсує СТАТКОМ.

Проведемо дослідження системи при виникненні короткого замикання на шинях ВЕС. В блоках "Wind1"- "Wind3" встановлено початкову швидкість вітру на 8 м / с, після чого, починаючи з 2 секунди для першої вітряної турбіни,

швидкість вітру зростає до 11 м / с. Такий же порив вітру з затримкою в 2 та 4 секунди, відповідно, подається на Турбіну 2 і Турбіну 3.

Встановимо в блоці трифазного короткого замикання на 15 секунді двофазне коротке замикання, яке формується на клеммах низької напруги «Wind Turbine 2», на 15.2 секунді несправність ліквідується.

Результати дослідження зняті з вітрових турбін показані на рис. 8, 9.

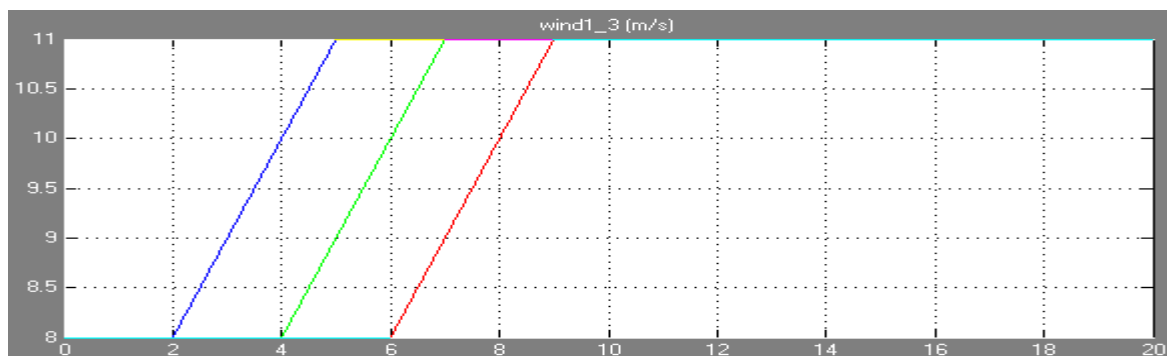


Рисунок 8 – Залежність швидкості вітру від часу

З рис. 8 видно, що швидкість вітру першої турбіни з 8 м / с зростає починаючи з 2 секунди до 11 м / с, швидкість вітру другої та третьої турбін зростає з затримкою в 2 та 4 секунди, відповідно, теж до 11 м / с.

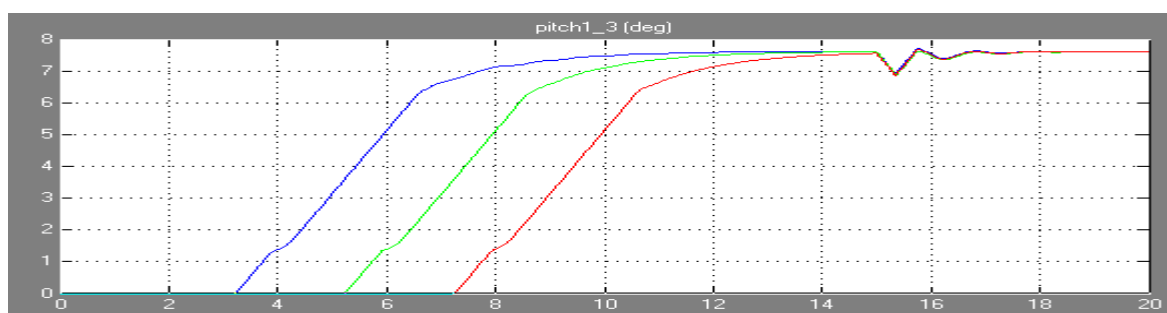


Рисунок 9 – Залежність кута нахилу лопаті від часу

З рис. 9 можна побачити, що кут нахилу лопаті першої вітрової турбіни з 3 секунди починає зростати до 7.7 градусів. Другої та третьої вітрових турбін з 5 та 7 секунд, відповідно, кут нахилу лопаті також зростає до 7.7 градусів. Також з 15 до 15.2 секунди на графіку видно провал до 6.86 градусів, але потім графік вирівнюється і залишається постійним.

Результатами досліду зображені на рис. 10-11.

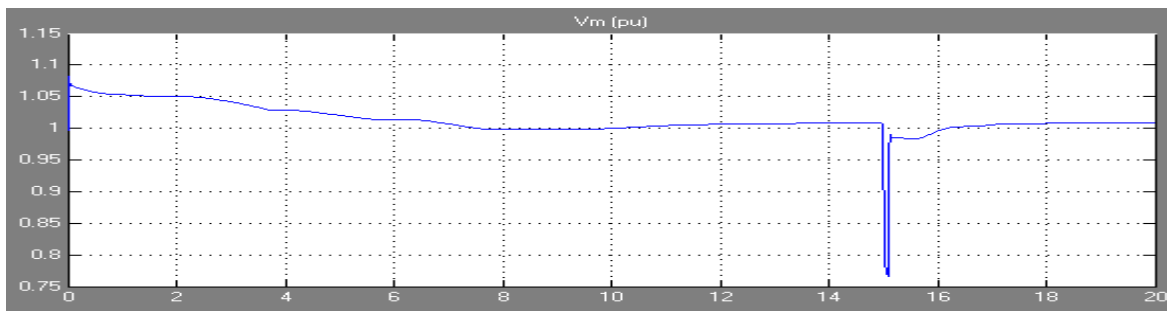


Рисунок 10 – Залежність напруги на СТАТКОМ від часу

З рис. 10 видно, що напруга спочатку спадає до 1 в.о., з 10 секунд починає зростати до 1.0085 в.о та залишається постійною. На графіку видно момент нестійкого короткого замикання, яке триває з 15 по 15.2 секунду.

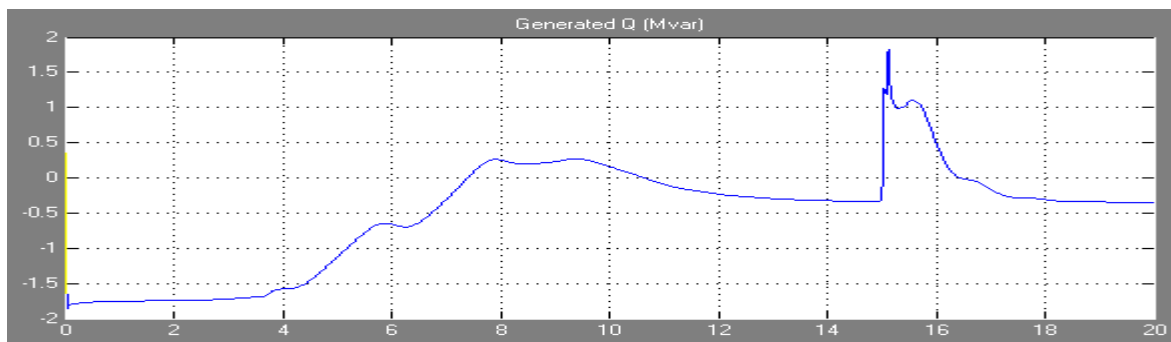


Рисунок 11 – Залежність реактивної потужності СТАТКОМ від часу

З рис. 11 видно, що реактивна потужність спочатку зростає з -1.8 Мвар до 0.25 Мвар, з 9 секунди починає спадати до -0.35 Мвар та залишається постійною до виникнення короткого замикання. На графіку видно момент нестійкого короткого замикання, яке триває з 15 по 15.2 секунду.

СТАТКОМ оперативно реагує на зміну напруги - збільшує реактивну потужність симетрично до зменшення напруги. При виникненні короткого замикання з 15 по 15.2 секунді спостерігається різке збільшення струму, падіння напруги, активної та реактивної потужностей. Після усунення нестійкого короткого замикання система повертається у свій попередній стан.

Висновки. Моделювання та аналіз показав, що при коливанні швидкості вітру та збуреннях в енергосистемі, порушення балансу реактивної потужності компенсує встановлений в вузлі з ВЕС компенсатор реактивної потужності СТАТКОМ, стабілізуючи напругу в допустимих межах.

Перелік посилань

1. Достоинства и недостатки ветровой энергетики [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/21-dostoinstva-i-nedostatki-vetrovoj-yenergetiki.html>
2. Способы регулирования напряжения в электрических сетях [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://studopedia.org/8-239656.html>
3. Wind Farm (IG) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://ch.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/windfarmig.html?searchHighlight=Wind%20Farm&s_tid=doc_srchtile