Научная статья

Original article

УДК 002.304

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИИ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF THE PRINCIPAL SCHEME OF POWER DISTRIBUTION SUBSTATION OF A WIND POWER PLANTS TO THE POWER SYSTEM

Кощеева Анна Григорьевна, Студентка магистратуры 2 курс, кафедра Электрические станции НИУ «МЭИ», Россия, г. Москва

Тимофеев Александр Андреевич, Студент магистратуры 2 курс, кафедра Электрические станции НИУ «МЭИ», Россия, г. Москва

Koshcheeva Anna Grigorievna,2nd year master's student, Department of Power PlantsNational Research University "MPEI", Russia, Moscow

Timofeev Alexander Andreevich, 2nd year master's student, Department of Power Plants National Research University "MPEI", Russia, Moscow

Аннотация: Рассмотрены существующие методы оценки надежности типовых схем подстанции выдачи мощности (ПВМ) ветряных электростанций (ВЭС). Определены показатели оценки надежности типовых принципиальных схем ПВМ ВЭС. Разработаны модели надежности типовых принципиальных схем ПВМ ВЭС в программном комплексе (ПК) ETAP. Проведено исследование надежности выбранных принципиальных схем ПВМ ВЭС. Получены результаты показателей надежности рассмотренных схем ПВМ.

Annotation: The existing methods of assessing the reliability of typical power distribution substation (PDS) schemes of wind power plants (WPP) are considered. The indicators of reliability assessment of typical circuit PDS wind farms are determined. Reliability models of typical PVM WPP circuit diagrams in the ETAP software package (PC) have been developed. A study of the reliability of the selected schematic diagrams of the PDS WPP was carried out. The results of reliability indicators of the considered PDS schemes are obtained.

Ключевые слова: надежность, подстанция выдачи мощности, ветряная электростанция, SAIDI, SAIFI, CAIFI.

Keywords: reliability, power distribution substation, wind power plants, SAIDI, SAIFI, CAIFI.

С помощью ДПМ ВИЭ (договора о предоставлении мощности на оптовый рынок на основе возобновляемых источников энергии) - программы стимулирования развития генерации электроэнергии в Единой энергетической системе России, к концу 2024 года в России будет построено 5,86 ГВт генерации ВИЭ без учета крупных ГЭС. Это эквивалентно 2,5% от установленной мощности и 1% от генерации электроэнергии. Около 60% программы будет покрыто за счет ветроэнергетики, еще почти 40% – за счет солнечной энергетики. В 2019 году было принято решение о продлении программы ДПМ ВИЭ до 2035 года [1]. В январе 2022 года производство электроэнергии ВЭС составило 598,8 млн кВт·ч. Общая мощность составила 0,6 ГВт [2].

В данной статье произведен анализ надежности типовых схем ПВМ ВЭС.

Основной причиной перерывов в электроснабжении потребителей являются отказы в распределительной системе. Анализ статистики показал, что данные отказы составляют до 70% от общего количества отказов оборудования, поэтому оценка надёжности распределительных систем

является наиболее важной при выборе схем распределительных устройств (РУ) электрических станций.

Под надежностью понимается свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования с течением времени.

В расчете надежности учитываются:

- плановый ремонт;
- наложение отказа оборудования на плановый ремонт.

Анализ надежности может также использоваться для проведения технико-экономического обоснования установки нового оборудования или реконструкции старого. Путем сравнения стоимости капитальных вложений и снижения величины ущербы от недоотпуска электроэнергии потребителю в результате повышения надежности схемы ПВМ.

В настоящее время во всем мире электросетевые компании прилагают максимальные усилия для решения проблем, связанных с перебоями электроснабжения потребителей; с этой целью компании измеряют индексы надежности. В соответствии со стандартом IEEE [3] этими индексами являются:

1. SAIDI (индекс средней продолжительности отключений по системе) – средняя продолжительность прекращения передачи электрической энергии потребителям услуг в каждом расчетном периоде. Этот показатель рассчитывается следующим образом:

$$SAIDI = \frac{\sum r_i * N_i}{N_T},$$

где N_i - общее количество отключений потребителей;

r_i - время восстановления нормального режима работы системы для каждого перерыва электроснабжения;

N_T - общее количество обслуживаемых потребителей;

2. SAIFI (индекс средней частоты отключений по системе) – средняя частота прекращения передачи электрической энергии потребителям услуг в

каждом расчетном периоде. Этот показатель рассчитывается следующим образом:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T},$$

где N_i - общее число отключений потребителей,

N_T - общее количество обслуживаемых потребителей;

3. CAIDI (индекс средней продолжительности прерывания работы потребителя) – среднее время, необходимое для восстановления электроснабжения потребителя. Данный показатель рассчитывается следующим образом:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}.$$

Для оценки надежности были смоделированы принципиальные схемы ПВМ в ПК ETAP. С помощью выбранного программного комплекса можно рассчитать показатели надежности электроснабжения для оценки ущерба от недоотпуска электроэнергии. Параметризация расчетных моделей ПВМ ВЭС проводилась на основе [4, 5].

В ПК были смоделированы сдедующие типовые принципиальные электрические схемы РУ подстанций (ПС) согласно [6]:

Вариант №1 – 4Н – Схема два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий. Тупиковая или ответвительная двухтрансформаторная ПС, с полным резервированием отказа одного блока. Мощность одного трансформатора равна мощности ВЭС.

Вариант №2 – 4Н – Схема два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий. Тупиковая или ответвительная двухтрансформаторная ПС, при этом выдача электроэнергии ВЭС ограничивается нагрузочной способностью одного трансформатора. Мощность трансформатора равна половине мощности ВЭС.

Вариант №3 – 3Н – Схема блок (линия - трансформатор) с выключателем. Мощность одного трансформатора равна мощности ВЭС.

Вариант №4 – 6 – Схема заход-выход. Проходные или ответвительные однотрансформаторные ПС с двумя линиями. Мощность одного трансформатора равна мощности ВЭС.

Вариант №5 – 5Н – Схема мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий. Проходные двухтрансформаторные ПС с двумя линиями. Мощность одного трансформатора равна мощности ВЭС.

Вариант №6 – 5АН – Схема мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов. Проходные двухтрансформаторные ПС с двумя линиями. Мощность одного трансформатора равна мощности ВЭС.

В таблице 1 представлены полученные в ПК ETAP результаты расчетов надёжности рассматриваемых вариантов схем ПВМ. Из таблицы видно, что наиболее надежным видом схемы ПВМ является вариант №1.

Таблица 1 – Результаты расчета

Показатели надежности	**Вар. №1**	**Вар. №2**	**Вар. №3**	**Вар. №4**	**Вар. №5**	**Вар. №6**
SAIDI, ч/год	1,17	68,7	75,21	67,807	5,73	5,73
SAIFI, откл/год	0,3	6,5	9,02	6,39	0.8	0,8
CAIDI, ч	5,85	10,56	8,36	10,61	8.78	8,78

Выводы:

1. Разработаны модели надежности типовых принципиальных схем ПВМ ВЭС в ПК ETAP.

2. Проведено расчётно-теоретическое исследование надежности типовых принципиальных схем ПВМ ВЭС.

3. С точки зрения надежности схема два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий с полным резервированием

(нагрузочная способность одного трансформатора равна мощности ВЭС) является наиболее предпочтительной.

Литература

1. Ланьшина Т.А. Ветроэнергетический рынок России: потенциал развитие новой экономики: Исследование. М.: Фонд Фридриха Эберта в России, 2021;
2. Единая энергетическая система России: промежуточные итоги. Январь 2022 года. М., 2022. 28с.;
3. IEEE 493-2007 - IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems;
4. Непомнящий В.А. Надежность оборудования энергосистем. – М.: издательство журнал «Электроэнергия. Передача и распределение», 2013. – 196 с.;
5. Трубицын В.И. Надежность электростанций: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 240 с.;
6. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. ОАО «ФСК ЕЭС» 2007 г.

Literature

1. Lanshina T.A. Wind energy market of Russia: Potential development of the new economy: Research. Moscow: Friedrich Ebert Foundation in Russia, 2021;
2. Unified Energy System of Russia: interim results. January 2022. M., 2022. 28c;
3. IEEE 493-2007 - IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems;
4. Nepomnyashchy V.A. Reliability of power systems equipment. – M.: publishing house of the journal "Electric power. Transmission and distribution", 2013. - 196 p;
5. Trubitsyn V.I. Reliability of power plants: Textbook for universities. – M.: Energoatomizdat, 1997. – 240 p;

6. STO 56947007-29.240.30.010-2008. Schematic diagrams of electrical switchgear substations 35-750 kV. Typical solutions. JSC FGC UES 2007.

© Кощеева А.Г., Тимофеев А.А. 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» 54/2022.

Для цитирования: Кощеева А.Г., Тимофеев А.А. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИИ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2022.