

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра Энергетика

Слямгалиев Азамат Маратович

«Влияние солнечных электростанций на распределительную систему»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7M0711300 – «Энергетика и электротехника»

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт энергетики и машиностроения

УДК 621.3 (065)

На правах рукописи

Слямгалиев Азамат Маратович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание степени магистра технических наук

Название диссертации «Влияние солнечных электростанций на
распределительную систему»

Направление подготовки: 7М0711300 – «Энергетика и электротехника»

Научный руководитель
канд. техн. наук, ассис. профессор

М.А. Жума Жуматова А. А.
" 9 " 06 2022 г.

Рецензент

М.А. Камиев Камиев А. А.
" 9 " 06 2022 г.

Нормоконтроль
А.А. Бердибеков Бердибеков А.О.

" 9 " 06 2022 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой «Энергетика»,
PhD, ассистент- профессор

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ А.А. Сарсенбаев
И.И. Сарсенбаев
НаО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева» 2022 г.
Институт энергетики
и машиностроения

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра Энергетика

7M07113 – Электротехника и энергетика

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой Энергетика

PhD, ассистент- профессор

Е.А. Сарсенбаев

“ 29 ” 07 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Слямгалиеву Азамату Маратовичу

Тема: «Влияние солнечных электростанций на распределительную систему»

Утверждена приказом ректора университета № 1988 от " 28 " 10 2020 г.
Срок сдачи законченной диссертации " 09 " 06 2022 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Сведения о предприятий ТОО «Universal Energy»

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) краткий обзор современного состояния вопроса и формулировка цели и задачи исследования;

б) анализ данных по предприятию «Universal Energy»

в) договор электроснабжения, ведомость погодных и климатических явлений, сведения о потребленной электрической энергии за 2019-2021

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): приведены на слайдах

Рекомендуемая основная литература:

- 1 <http://www.solarcell.net.in/thin-film-solar-cells/> Date accessed: 10/20/12
- 2 <http://www.soldist.com/products/racking/wattsun/> Date accessed: 10/10/12

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Солнечная энергия и ее применение	01.12.2021 г.	
Методологическое предложение	01.03.2022 г.	
Распределительный фидер Л-107С	01.04.2022 г.	
Подготовка диссертации к защите	03.06.2022 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты	Дата подписания	Подпись
Солнечная энергия и ее применение	А.А. Жуматова канд.техн.наук, асс.проф.	02.12.21	<i>Жуматова</i>
Методологическое предложение	А.А. Жуматова канд.техн.наук, асс.проф.	03.03.22	<i>Жуматова</i>
Распределительный фидер Л-107С	А.А. Жуматова канд.техн.наук, асс.проф.	07.04.22	<i>Жуматова</i>
Нормоконтролер	А.О. Бердибеков маг.тех.наук, сениор-лектор	09.06.2022	<i>Бердибеков</i>

Научный руководитель *Жуматова* А.А. Жуматова

Задание принял к исполнению обучающийся *Слямгалиев* А.М. Слямгалиев

Дата "24" 01 2022 г

АННОТАЦИЯ

Қазіргі уақытта жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) бүкіл әлемдегі энергетикалық жүйелер саласында айтарлықтай қолайлы аспектке айналды және көптеген елдер бұл үшін саясат пен ережелер әзірлеуде. Соңғы онжылдықтар ішінде әртүрлі жаңартылатын энергия көздерінің арасында күн фотоэлектрлік генераторлық қондырғылар әсерлі көтерілуге қол жеткізді. Шағын қондырғылардан әртүрлі энергетикалық қуаттары бар желілерге қосылған кең ауқымды коммерциялық жобаларға дейін байқауға болады. Жаңартылатын энергия көздерінің жаһандық жағдайы туралы есепке сәйкес, 2020 жылдың аяғында бүкіл әлемде шамамен 505 ГВт пайдалануға берілді. Дәстүрлі электр станцияларынан бас тартуға бағытталған жаңартылатын энергетиканың тез өсуіне байланысты энергетикалық жүйелер өздерінің қалыптасқан, сондай-ақ динамикалық сипаттамаларында өзгерістерге ұшырайды деп болжануда. Бұл мақалада осы жүктеме деңгейлерін анықтау жолдары талқыланады. Тарату жүйесі мен фотоэлектрлік инверторларды модельдеудің қиындықтары, сондай-ақ себептері олар әсерді зерттеу үшін маңызды. Үлкен фотоэлектрлік қондырғының нақты өрісі жүктеме мен кернеу сценарийлеріне назар аудара отырып, тарату жүйесіне әсер ететін кейбір мәселелерді бағалау үшін қолданылады. Инверторлардың әртүрлі жұмыс режимдері жүйенің жұмысына қалай көмектесетініне немесе кедергі келтіретініне назар аудара отырып талқыланады.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время возобновляемые источники энергии (ВИЭ) стали значительно благоприятным аспектом в области энергетических систем во всем мире, и многие страны разрабатывают политику и правила для этого. В течение последних десятилетий среди различных ВИЭ солнечные фотоэлектрические генераторные установки достигли впечатляющего подъема. Можно наблюдать от маленьких установок и заканчивая крупномасштабными коммерческими проектами, подключенными к сетям с различными энергетическими мощностями. Согласно отчету о глобальном состоянии возобновляемых источников энергии, к концу 2020 года во всем мире было введено в эксплуатацию около 505 ГВт. Прогнозируется, что энергетические системы будут испытывать изменения в своих установившихся, а также динамических характеристиках из-за быстрого роста возобновляемой энергетики, направленных на отказ от традиционных электростанций. В этой статье будут обсуждаться влияние солнечных электростанций на распределительную систему. Будет обсуждаться некоторые проблемы, влияющие на систему распределения, с акцентом на сценарии нагрузки и напряжения. Различные режимы работы инверторы будут обсуждены, с акцентом на то, как они могут помогают или мешают работе системы, режимы работы и их влияние на регулирование напряжения будут представлены.

ANNOTATION

Currently, renewable energy sources (res) have become a fairly favorable aspect in the field of energy systems around the world, and many countries are developing policies and regulations for this. In recent decades, solar photovoltaic generating units have achieved impressive growth among various renewable energy sources. From small installations to large-scale commercial projects connected to networks with different energy capacities can be observed. According to the report on the global state of renewable energy sources, by the end of 2020, about 505 GW were put into operation worldwide. It is assumed that due to the rapid growth of renewable energy, which is aimed at abandoning traditional power plants, power systems will undergo changes in their established, as well as dynamic characteristics. This article discusses ways to determine these load levels. The difficulties of modeling the distribution system and photovoltaic inverters, as well as the reasons they are important for the study of the effect. The specific field of a large photovoltaic installation is used to evaluate some of the problems that affect the distribution system, focusing on load and voltage scenarios. Different modes of operation of inverters are discussed, paying attention to how they help or interfere with the operation of the system.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	8
1	Солнечная энергия и ее применение	12
1.1	Солнечная энергия	12
1.2	Фотоэлектрические Системы	14
1.3	Типы фотоэлектрических систем	16
1.4	Оценка надежности при планировании энергосистемы	22
2	Методологическое предложение	30
2.1	Моделирование фотоэлектрической системы	30
2.2	Схема управления	32
2.3	Моделирование фидера	36
2.4	Измерение воздействия на распределительную систему	39
3	Распределительный фидер Л-107С	41
3.1	Характеристика фидера	41
3.2	Характеристика солнечной радиации в Жангизтобе	44
3.3	Анализ результатов	45
3.3.1	Базовый сценарий	45
3.3.2	Сценарии с фотоэлектрической генерацией	47
3.3.3	Анализ короткого замыкания	56
3.3.4	Координация защиты	60
	Заключение	63
	Нормативные ссылки	65
	Определения, обозначения и сокращения	66
	Список используемой литературы	67
	Приложение А	69
	Приложение Б	73

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня все большее количество электроэнергии вырабатывается за счет распределенной генерации, поэтому энергетический ландшафт будущего, вероятно, будет включать большее количество станций, расположенных в распределительной сети, причем фотоэлектрическая генерация будет самым быстрорастущим источником возобновляемой энергии в мире.

Основная цель этой диссертации - определить влияние на профили напряжения, линейную нагрузку, технические потери энергии и вклад тока короткого замыкания из-за интеграции средних и крупных фотоэлектрических систем в систему распределения среднего напряжения. (35кВ).

Исследования проводились в поселке Жангизтобе в Жарминском районе с использованием типовой модели фотоэлектрической системы из базы данных программы DIgSILENT Power Factory в реальном распределительном фидере. Было разработано 26 сценариев, охватывающих различные уровни проникновения и местоположения, для каждого сценария было выполнено 288 несбалансированных потоков нагрузки через язык программирования DIgSILENT с использованием метода Ньютона-Рафсона.

Актуальность темы научного исследования заключается в анализе традиционной системы электроснабжения путем ввода солнечных электростанций, способных частично покрывать потребности энергосистемы в зимнее время и отдавать электроэнергию в сеть в летнее время. В ходе работы будет выполнен анализ состояния имеющейся системы электроснабжения и будут предложены пути её совершенствования. Уровень напряжения, который могут вынести местные сети невелик, так как, будучи проведенными достаточно давно, они устарели и износились, а также изначально не были рассчитаны на постоянно растущее количество потребителей. В свою очередь рост тарифов на электроэнергию требует её экономии, а нередкие обрывы линий электропередач ставит потребителей в затруднительное положение. Эксплуатация солнечной электростанции обеспечивает потребителю независимость от местной электросети, а также не оказывает отрицательного влияния на экологические аспекты региона. Таким образом появляется возможность установки таких станций в экологических парках и труднодоступных районах. Кроме того, накопители электрической энергии большой емкости в виде аккумуляторов существенно повышают стабильность и надежность энергопитания.

Объектом исследования является первая в Восточно-Казахстанской области СЭС Жангиз мощностью в 30 МВт.

Предметом исследования стали экспериментальное исследование электрических систем с учетом ввода солнечных электростанций

Целью диссертационной работы состоит в том, чтобы определить влияние на профили напряжения, линейную нагрузку, технические потери энергии и вклад тока короткого замыкания из-за интеграции средних и крупных фотоэлектрических систем в систему распределения на СН (35кВ).

Задачами этой работы являются:

Сделать обзор литературы, собрав информацию из проведенных исследований по интеграции РГ в торговую сеть.

Иметь методологию для оценки воздействия РГ.

Смоделируйте фидер Л-107С электrorаспределительной компании ЦЕНТРОСУР в программе DIgSILENT из ГИС.

Изучите модель фотоэлектрической системы, реализованную в DIgSILENT.

Обработать имеющиеся в исследовательском центре данные о радиации.

Разработка языка программирования DIgSILENT для выполнения потоков нагрузки.

Анализировать влияние профилей напряжения, линейной нагрузки, технических потерь и вклада тока короткого замыкания.

Новизна исследования:

Рассмотрены технологические процессы протекающие на предприятии, проведен анализ энергозатратности этих процессов, а так же выявлены способы повышения энергоэффективности в целом;

В Казахстане последнее время строится большое количество крупных СЭС и ветропарков в которые вкладывают деньги крупные зарубежные инвесторы. Это может негативно повлиять на нашу энергосистему из-за локального переизбытка энергии, а, следовательно, затраты на ее транспортировку. «Зеленый» тариф будут оплачивать отечественные предприятия и население Казахстана.

Результат исследования может быть ориентировочным пособием для проектирования систем солнечного электроснабжения, что помимо расчётной части и экономической части, содержит вопросы безопасности и экологии.

Определение эффективности солнечных батарей их экологичность и безопасность эксплуатации, что поможет руководителям станции, диспетчерам РДЦ производить расчеты и регулировать график нагрузки.

Прогнозы развития экономических и технологических условия и определение выгоды для реализации СЭС на практике поможет частным инвесторам выгодно вкладывать деньги в солнечную энергетику.

Дополнение солнечной отрасли новыми сведениями;

Восполнение пробелов в теории при расчете реактивной мощности;

Предоставление материала для дальнейшей разработки проблемы ввода СЭС в энергосистему;

Доказательство перспективности локальных солнечных электростанций; подтверждение эффективности.

Положения, выносимые на защиту:

Было обнаружено, что введение фотогальванической системы с ведущим коэффициентом мощности помогает увеличить профили напряжения, позволяя получить более однородные уровни напряжения, при этом самые дальние узлы показывают наибольшее улучшение. Однако часы максимальной фотоэлектрической выработки могут привести к нарушениям напряжения в рамках планирования распределительной компании, поэтому в этот период было бы удобно работать с коэффициентом мощности, равным единице, или с задержкой.

Ток короткого замыкания представляет большую вариацию в узле подключения, где больший вклад вносит тот, который находится дальше всего от трансформаторной подстанции. Наконец, вклад в ток короткого замыкания фотогальванической системы, мощность которой превышает 2 МВА в третьем узле соединения, приведет к тому, что плавкие предохранители, расположенные ближе всего к повреждению, сгорят до того, как сработает реклоузер, что потребует новой координации защит от перегрузки по току и двухстороннее защитное оборудование.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, приведенных в диссертации, подтверждается:

- 1) использованием стандартных справочных методик, которые согласуются с выбранным методом теории электроэнергетических систем;
- 2) использованием достоверных авторских исходных данных технологии и технологических процессов;
- 3) апробация полученных данных на международных конференциях.

Практическая значимость исследования

- 1) Результаты диссертационной работы могут быть использованы в проектных, научно-исследовательских и эксплуатационных организациях;
- 2) при решении задач перспективного и безопасного развития энергетического комплекса не только нашей, но и других стран.

Апробация работы. Основные положения и результаты докладывались на следующих научных конференциях: Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых «Сатпаевские чтения», апрель 2021 года. V Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых «Сатпаевские чтения»

Автором был сделан аналитический обзор проблемы, определение исследуемой области, сбор и анализ расчетных данных, решения поставленных задач, расчеты и оценка достоверности расчетов, анализ полученных результатов, формирование итоговых выводов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных. Основное содержание работы изложено на 79 страницах машинописного текста, иллюстрированного 13 таблицами и 18 рисунками.

По теме диссертации опубликованы были опубликованы 1 статья:

А.А. Жуматова, А.М.Слямгалиев, А.М. Камал Satbayev University, Казахстан, г. Алматы E-mail: azamat231095@gmail.com Влияние солнечных электростанций на распределительную систему

Труды сатпаевских чтений "Сатпаевские Чтения - 2021" том ii— 2021. — №2—с.818.

В настоящее время возобновляемые источники энергии (ВИЭ) стали значительно благоприятным аспектом в области энергетических систем во всем мире, и многие страны разрабатывают политику и правила для этого. В течение последних десятилетий среди различных ВИЭ солнечные фотоэлектрические генераторные установки достигли впечатляющего подъема. Можно наблюдать от маленьких установок и заканчивая крупномасштабными коммерческими проектами, подключенными к сетям с различными энергетическими мощностями. Согласно отчету о глобальном состоянии возобновляемых источников энергии, к концу 2020 года во всем мире было введено в эксплуатацию около 505 ГВт. Прогнозируется, что энергетические системы будут испытывать изменения в своих установившихся, а также динамических характеристиках из-за быстрого роста возобновляемой энергетики, направленных на отказ от традиционных электростанций. В этой статье будут обсуждаться влияние солнечных электростанций на распределительную систему. Будет обсуждаться некоторые проблемы, влияющие на систему распределения, с акцентом на сценарии нагрузки и напряжения. Различные режимы работы инверторы будут обсуждены, с акцентом на то, как они могут помогают или мешают работе системы, режимы работы и их влияние на регулирование напряжения будут представлены.

1 Солнечная энергия и ее применение

1.1 Солнечная энергия

Солнце считается черным телом, которое производит и излучает огромное количество энергии в солнечную систему со скоростью $3,0 \times 10^8$ м/с, то есть скоростью света. Солнечная энергия вырабатывается методом, называемым ядерным синтезом, при котором газообразный водород превращается в газообразный гелий при очень высоких температурах от 106 до 156 0С (Nzeyimana, 2003). За час $4,3 \times 10^{20}$ Дж солнечной энергии достигает атмосферы Земли; этого количества энергии достаточно, чтобы поддерживать энергетические потребности планеты Земля в течение года. Солнечная энергия естественным образом вырабатывается и восполняется; таким образом, солнечная энергия становится частью возобновляемых источников энергии.

В солнечной системе планеты вращаются вокруг солнца, и поэтому половина земли в определенное время года лишена солнечного света. Солнечная энергия достигает Вселенной в виде электромагнитных волн. Эти волны различаются по их спектру, который представляет собой длину частоты волн. Длина или диапазон спектра определяет величину энергии, которой он обладает; Спектр с более короткой длиной волны имеет больше энергии, чем спектры с более длинной длиной волны. На поверхности земли могут быть обнаружены только длины волн в диапазоне от 0,29 мкм до 2,3 мкм (Van Niekerk and Hall , 2013). Когда солнечная энергия достигает атмосферы Земли, большая ее часть выбрасывается обратно в космос, зеленые растения поглощают часть для фотосинтеза, солнечная энергия способствует испарению водоемов, что приводит к выпадению осадков, в то время как оставшаяся часть остается неиспользованной. Неиспользованной солнечной энергии достаточно, чтобы обеспечить энергией постоянно растущие потребности мира в энергии. Это может быть достигнуто главным образом за счет использования интеллектуальных методов сбора энергии, а также эффективного использования энергии. Глобальное излучение - это излучение Солнца, которое достигает атмосферы Земли. Он состоит из трех частей, известных как прямое (лучевое) излучение, рассеянное излучение и альбедо-излучение. На рисунке 1 показано глобальное горизонтальное излучение Казахстана.

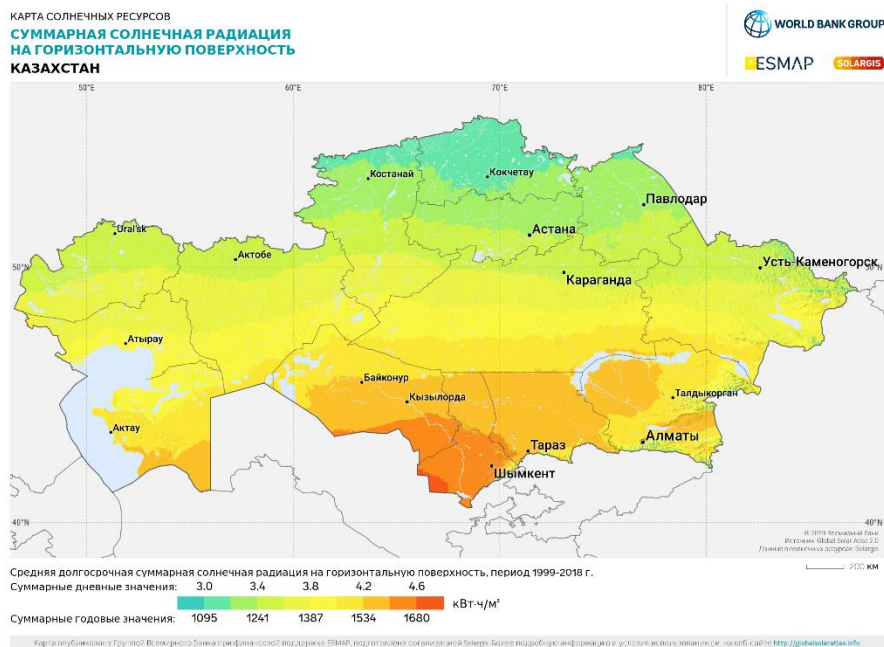


Рисунок 1 - Суммарная солнечная радиация в Казахстане

Предысторию солнечной энергии можно проследить до зарождения солнечной системы. Энергия, получаемая от солнца, была применена человечеством и природой в различных соответствующих формах, таких как фотосинтез, сушка, консервирование, освещение, огонь и т.д. В 18 веке были проведены различные исследования и исследования по преобразованию солнечной энергии в электричество; примечательным среди них было открытие в 1839 году Александром Беккерелем, а также Чарльзом Грили Эбботтом, французским ученым, разработавшим паровой двигатель, работающий на солнечной энергии (Nzeyimana, 2003). Технология преобразования солнечной энергии в электрическую с помощью фотоэлектрических панелей была разработана в Bell Laboratories в 1954 году следующими учеными Д.М. Чапином, К.С. Фуллером и Г.Л. Пирсоном.

Солнечные коллекторы - это устройства, которые поглощают солнечное излучение (энергию) и преобразуют его в другие формы энергии, например, в электричество. Кроме того, солнечные коллекторы можно описать как методику сбора солнечной энергии. Типичным примером является традиционная технология солнечных водонагревателей, используемая в большинстве домов на Кипре; она все еще используется сегодня, но с небольшой модернизацией. Различные фотоэлектрические энергосистемы можно рассматривать как солнечные коллекторы.

1.2 Фотоэлектрические Системы

Слово "Фотоэлектрическая" можно разделить на две части: "фото" и "вольтовая", что означает свет и напряжение соответственно. Фотоэлектрическая энергия означает электрическое напряжение, вызываемое солнечным светом. Фотоэлектрическая система - это преобразование солнечной энергии в электрическую с помощью полупроводниковых элементов. Кристаллический кремний (SC) используется для изготовления фотоэлектрических элементов из полупроводниковых материалов. SC обладает многочисленными преимуществами, такими как прочный, надежный, бесшумный и не требующий топлива материал для производства электроэнергии. Срок службы фотоэлементов составляет более 30 лет (Goodrich et al., 2012). Фотоэлектрические элементы образованы комбинацией полупроводниковых материалов P-типа и N-типа, разделенных переходом, называемым p-n-переходом. На рисунке 2 показан фотоэлектрический элемент. Исследования в области фотоэлектрических технологий начались более ста лет назад. Селен был первым элементом, обладающим способностью преобразовывать солнечную энергию в электричество. Ученый Чарльз Фриттс разработал первый солнечный электрический элемент на основе селена (Goodrich et al., 2012).

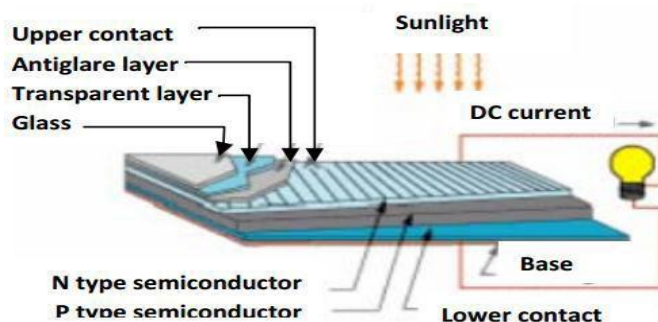


Рисунок 2 - Фотоэлектрический элемент

Типы фотоэлектрических элементов. Это 3 основных типа солнечных фотоэлектрических элементов. Кремний, обычно получаемый из песка, является основным материалом, используемым при изготовлении фотоэлектрических элементов. Фотоэлектрические элементы, изготовленные из кремниевых материалов, можно разделить на три категории.

Монокристаллическая кремниевая панель-это наиболее эффективные и часто используемые коммерческие солнечные фотоэлектрические элементы из-за их высокой эффективности преобразования, составляющей 15%. Для получения большой мощности по сравнению с другими ячейками требуется небольшая площадь. Его мощность в четыре раза больше, чем у тонкопленочного элемента,

имеющего ту же площадь ячейки и при тех же погодных условиях. На рисунке 3 показана панель из монокристаллического кремния. Кроме того, он имеет более длительный срок службы – от 25 до 30 лет, но имеет недостаток в том, что он очень дорогой (Goodrich et al., 2012).



Рисунок 3 - Панель из монокристаллического кремния

Поликристаллические кремниевые элементы имеют и другие названия, такие как poly-Si или поликремний, мульткристаллический. Он имеет более низкую эффективность на 13%, дешевле в производстве по сравнению с монокристаллическим. Для этого требуется больше места при меньшем энергопотреблении. На рисунке 4 показана панель из поликристаллического кремния. Поликристаллический кремниевый элемент вырабатывает 130 Вт электроэнергии, используя площадь м² и 1000 Вт / м² солнечного излучения. Он имеет более короткий жизненный цикл – 20-25 лет.

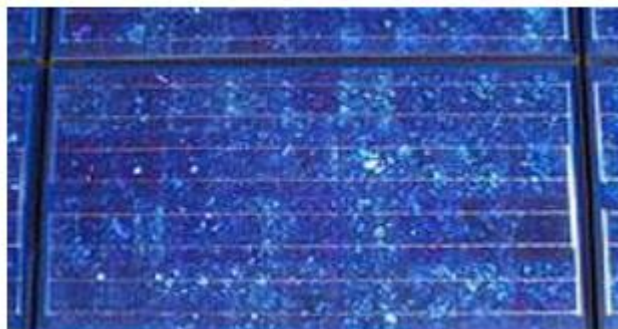


Рисунок 4 - Панель из поликристаллического кремния

Компоненты Фотоэлектрической системы. В зависимости от типа фотоэлектрической системы или требований к конструкции ряд компонентов соединяется вместе, образуя фотоэлектрическую систему. Этими компонентами являются панели, контроллер заряда, инвертор и накопитель (аккумулятор). Солнечные водяные насосы, предназначенные для орошения, не требуют инверторов, поскольку насос использует постоянный ток (dc). Кроме того, коммерческая или подключенная к сети фотоэлектрическая система потребует

других компонентов, таких как трансформаторы и т.д. На рисунке 5 показан фотоэлектрический компонент. Вышеупомянутые компоненты применимы к автономным фотоэлектрическим системам, которые обеспечивают электроэнергией дома и небольшие офисы.

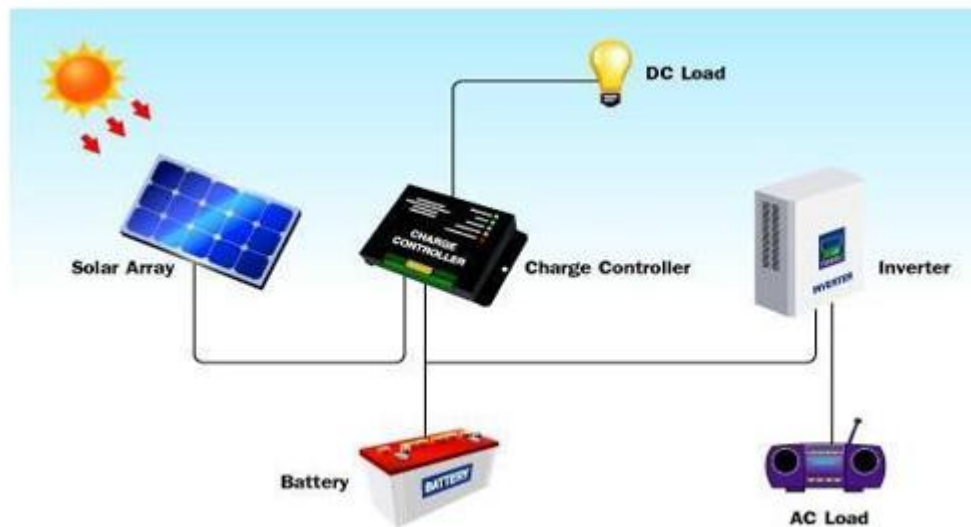


Рисунок 5 - Фотоэлектрический компонент

Фотоэлектрическая панель является основным устройством, которое преобразует солнечное излучение в электрическую энергию. Панель формируется путем соединения нескольких фотоэлементов вместе. Массив формируется, когда модули соединяются последовательно, параллельно или в комбинации последовательно и параллельно; эти соединения выполняются в зависимости от требуемых выходных характеристик. Фотоэлектрические системы обычно работают при напряжении, кратном 12 вольтам (Guda and Aliyu, 2015).

Контроллер заряда (также известный как регулятор напряжения) является промежуточным устройством между панелями и другими компонентами фотоэлектрической системы, такими как накопитель и инвертор. Его цель состоит в том, чтобы контролировать поток энергии между этими компонентами, тем самым защищая их. Основная функция контроллера заряда заключается в регулировании напряжения батареи.

Инвертор

Мощность, вырабатываемая панелями, является постоянной, поэтому инвертор преобразует постоянный ток (DC) в переменный ток (AC), что делает его пригодным для использования большинством бытовых приборов.

Блок хранения/Батареи

Накопитель состоит из батарей; его функция заключается в накоплении избыточной электроэнергии. Эти батареи классифицируются как батареи глубокого цикла; они способны выдерживать непрерывную зарядку и разрядку. Они отличаются от автомобильных / автомобильных аккумуляторов.

1.3 Типы фотоэлектрических систем

Фотоэлектрические системы классифицируются в зависимости от типа конструкции и функции или назначения установки. В принципе, существует три типа фотоэлектрических систем: автономные, подключенные к сети и гибридные фотоэлектрические системы. Существуют и другие типы фотоэлектрических систем, такие как прямые фотоэлектрические системы, в которых нет инвертора для преобразования постоянного тока в переменный.

Автономная фотоэлектрическая система

Автономные фотоэлектрические системы можно разделить на две группы: автономные системы постоянного тока или автономные системы переменного тока или автономные системы постоянного/ переменного тока. По сути, автономные системы не подключены к электросети или электросети. Компонентами автономных систем являются модули, контроллеры заряда, накопитель и инвертор. Автономные системы являются наиболее распространенным типом фотоэлектрических систем во всем мире; в основном они устанавливаются в домах и небольших коммерческих / офисных помещениях. Страны, имеющие хорошее регулирование фотоэлектрических систем, превращают большинство автономных систем в систему подключения к сети. На рисунке 6 показана автономная фотоэлектрическая система. Система учета подключается к дому и сети, а избыточная мощность от фотоэлектрической системы продается поставщику коммунальных услуг, и увеличение спроса на электроэнергию превышает производство, электроэнергия поступает от коммунальных служб.

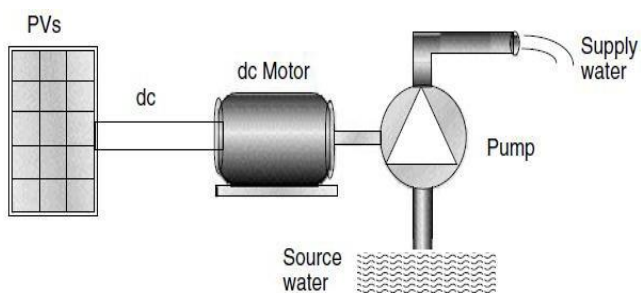


Рисунок 6 - Автономные фотоэлектрические системы

Фотоэлектрическая система, подключенная к сети

Подключенная к сети может быть автономной системой, которая подключена к сети, или крупными или средними фотоэлектрическими установками, называемыми фотоэлектрическими электростанциями. Эти установки обычно представляют собой мегаваттные установки и занимают большие гектары земли. Фотоэлектрические электростанции имеют другие компоненты, такие как блоки управления питанием, которые формируют (вопросы частоты и качества электроэнергии) мощность в желаемое состояние перед подключением к сети (Azoumah et al., 2010).

Гибридные фотоэлектрические системы

Гибридные фотоэлектрические системы представляют собой комбинацию фотоэлектрических систем и других видов энергоблоков, таких как дизельные или газовые генераторы, ветряные турбины и гидроэлектростанции. Назначение этих других устройств - дополнять фотоэлектрическую систему при неблагоприятных погодных условиях и чаще всего ночью.

Эквивалентные схемы фотоэлектрических элементов

На рис. 7 показано простейшее эквивалентное представление солнечного элемента. Схема состоит из источника тока I_{ph} , параллельного диоду D , и шунтирующего сопротивления R_{sh} , все вместе соединенных с последовательным сопротивлением R_s . Источник тока - это идеальный источник, который обеспечивает ток, пропорциональный солнечному потоку, на который он воздействует.

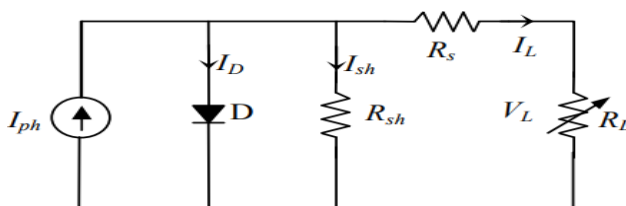


Рисунок 7 - Эквивалентная схема фотоэлектрического элемента

Подключение фотоэлектрического модуля

Существует три способа подключения фотоэлектрических модулей: последовательный, параллельный и комбинация последовательного и параллельного подключения. Каждый из методов подключения зависит от конкретных требований к выходу массива. Последовательное подключение модулей увеличивает напряжение, но поддерживает ток, в то время как параллельное подключение поддерживает напряжение, но увеличивает ток. Параллельная и последовательная комбинация зависит от нескольких факторов, таких как выходная мощность матрицы, мощность инверторов и компонентов кондиционирования питания и т.д. (El-Dein et al., 2013).

Сжигание ископаемого топлива увеличилось с ростом спроса на электроэнергию. Однако мир обеспокоен глобальным потеплением, которое, как полагают, вызвано сильно загрязняющими выбросами от традиционных источников энергии, работающих на ископаемом топливе. В справке [9] указано, что глобальные выбросы CO₂ в результате использования ископаемого топлива в 2013 году составили 32,2 миллиарда тонн, достигнув рекордно высокого уровня, что почти на 56,1% выше уровня выбросов 1990 года и на 2,3% выше уровня 2012 года. Использование альтернативных чистых источников энергии имеет важное значение для сокращения выбросов углекислого газа при производстве электроэнергии при одновременном удовлетворении глобального спроса на энергию. Возобновляемым источникам энергии уделяется значительное внимание, чтобы компенсировать производство электроэнергии за счет выработки энергии на ископаемом топливе. Возобновляемые источники обеспечивают экологически чистую альтернативу местным энергетическим ресурсам. CSP и фотоэлектрические источники являются одними из наиболее перспективных вариантов экологически чистых источников солнечной энергии.

Технология солнечных элементов быстро развивается, что приводит к значительному повышению эффективности солнечных элементов. Производство электроэнергии с помощью фотоэлектрических источников все чаще признается экономически эффективным как для малых, так и для крупных электроэнергетических систем. Ссылка [10] представляет собой ежегодный отчет, публикуемый компанией Solar Power Europe, в котором представлена статистика установленной фотоэлектрической мощности в различных регионах мира. Общая фотоэлектрическая мощность увеличилась в геометрической прогрессии со 100 ГВт в 2012 году до 229,9 ГВт в 2015 году, с 306,5 ГВт в 2016 году до 358 ГВт к концу 2017 года [10]. Ожидается, что глобальная установленная фотоэлектрическая мощность превысит 400 ГВт в 2018 году, 500 ГВт в 2019 году, 600 ГВт в 2020 году, 700 ГВт в 2021 году [10].

Структура силовых электронных преобразователей в коммерчески доступных фотоэлектрических системах может быть классифицирована на централизованные инверторы, струнные инверторы и микроинверторы. Структуры центральных и струнных фотоэлектрических систем имеют почти одинаковые электрические компоненты; однако они отличаются способом подключения солнечной батареи к инвертору, как показано на рисунках 8 и 9 [11]. На этих двух рисунках для центральной фотоэлектрической системы каждая фотоэлектрическая матрица имеет свои собственные инверторы, где один инвертор подключен к каждой строке. Топология микроинвертора требует подключения одного инвертора на каждый солнечный элемент, как показано на рисунке 10 [11]. Основная проблема использования фотоэлектрических источников заключается в том, что солнечное излучение является прерывистым и не всегда доступно, когда требуется электричество. Это не вызывает беспокойства, когда энергия производится с

использованием обычных источников. Фотоэлектрические системы существуют в разных топологиях с многокомпонентными соединениями в разной конфигурации. Возможность учета вероятности отказа отдельных компонентов важна при разработке моделей надежности для различных конструкций и топологий фотоэлектрических систем. Разработка детальных моделей надежности необходима для включения фотоэлектрических источников энергии в общую оценку надежности энергосистемы.

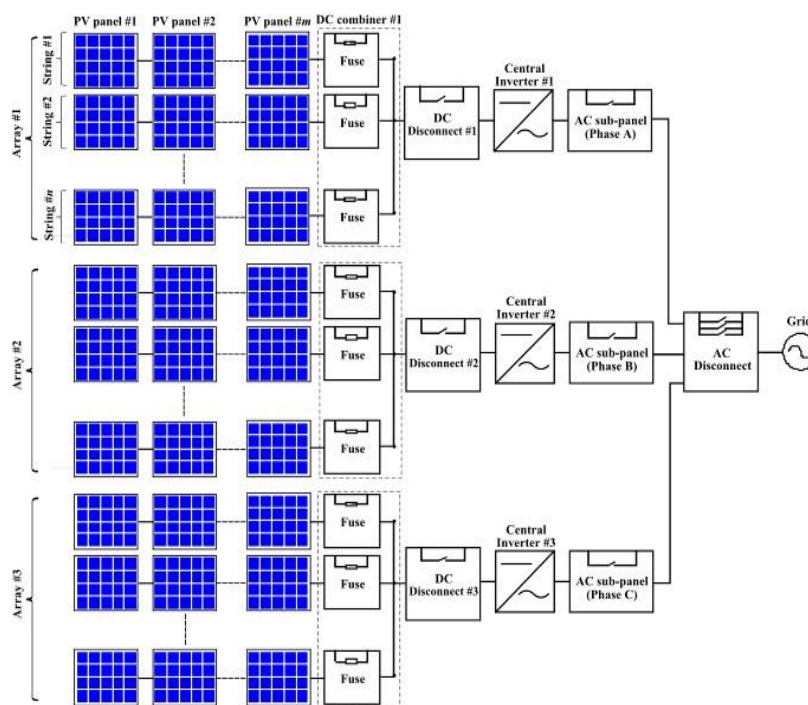


Рисунок 8 - Конструкция центральной фотоэлектрической системы [11]

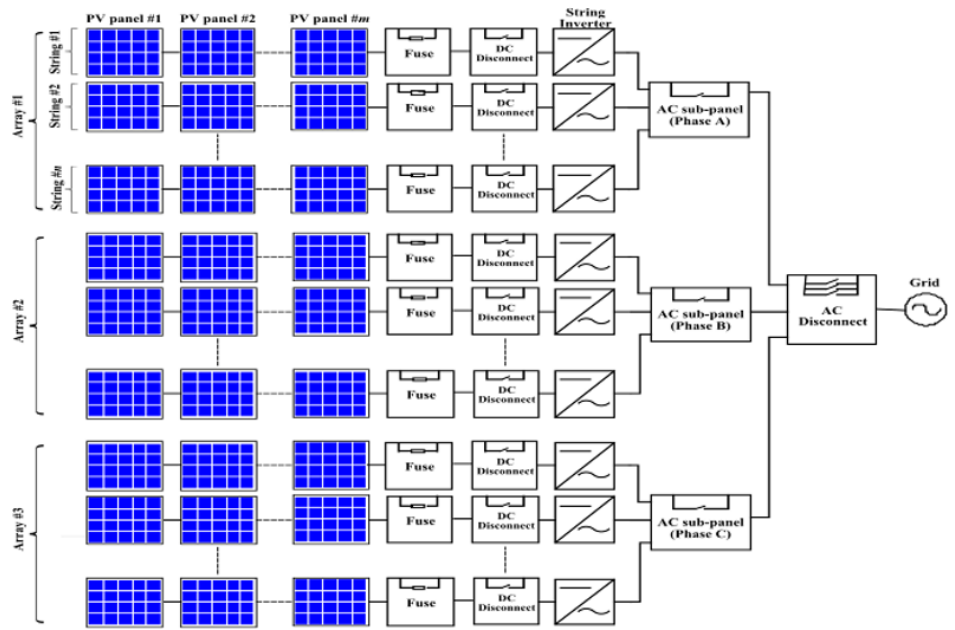


Рисунок 9 - Конструкция струнной фотозлектрической системы [11]

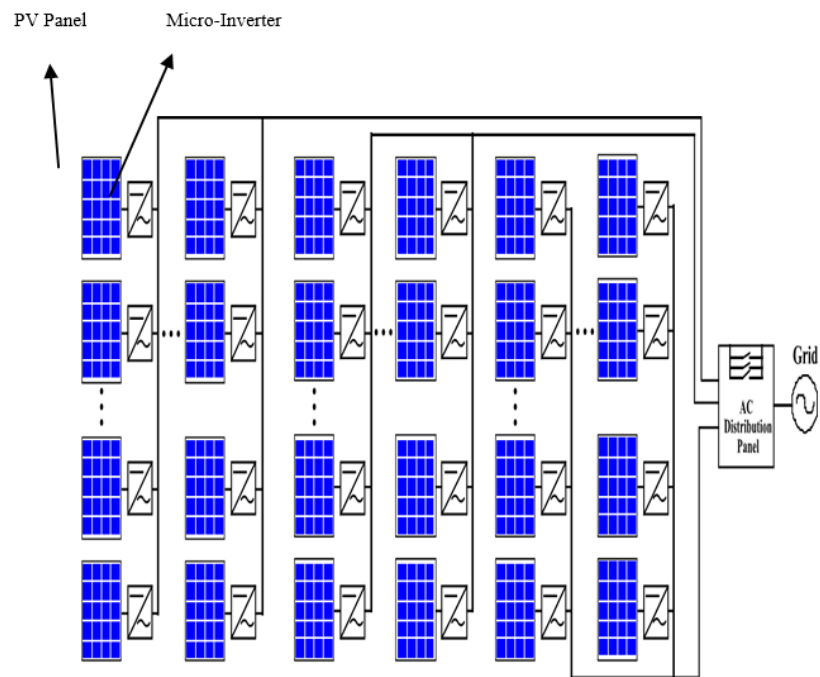


Рисунок 10 - Конструкция микроинверторной системы

1.4 Оценка надежности при планировании энергосистемы

Электроэнергетическая система - это большая сложная сеть электрических компонентов, которая поставляет и передает электроэнергию потребителям. Его основная функция заключается в последовательном выполнении требований к нагрузке при минимальных затратах и приемлемом уровне надежности при соблюдении экологических требований. Поэтому жизненно важно планировать будущие потребности в электроэнергии с учетом интеграции экологически чистых энергетических ресурсов, гарантируя наличие достаточных резервов для удовлетворения растущего спроса на нагрузку. Кроме того, важно проанализировать надежность энергосистемы, чтобы ограничить вероятность перебоев в электроснабжении. Разработка моделей надежности энергоснабжения является ключевой для проектирования и эксплуатации надежных энергосистем. В целом, исследования надежности энергосистемы используются для анализа способности энергосистемы обеспечивать адекватное и надежное электроснабжение [1,2].

Оценка надежности энергосистемы играет решающую роль в планировании и эксплуатации электроэнергетической системы. Оценка надежности энергосистемы обычно фокусируется на двух аспектах: адекватности системы и безопасности системы [2], как показано на рисунке 11. Адекватность определяется способностью существующих или планируемых системных средств разумно удовлетворять общий системный спрос. Безопасность системы определяется как способность энергосистемы реагировать на помехи, которые могут возникнуть во время работы системы, и поддерживать постоянный баланс мощности [2].

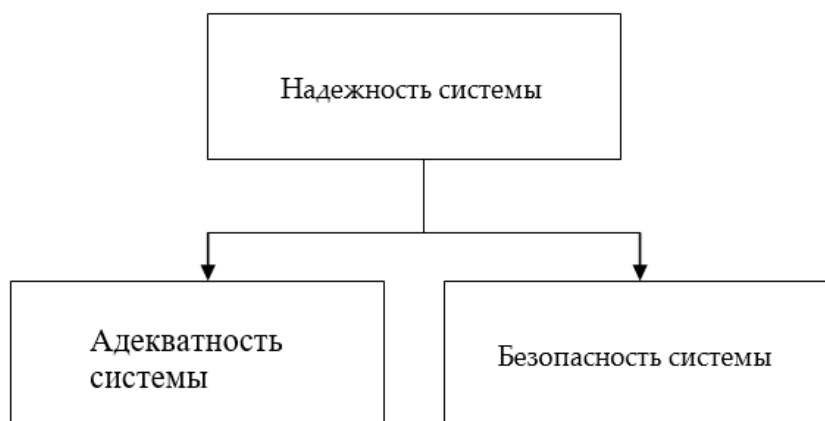


Рисунок 11 - Надежность энергосистемы

Оценка надежности всей энергосистемы по своей сути сложна из-за размера системы, количества компонентов и переменных и их взаимосвязей, а также различных функций и задач подсистем. Следовательно, исследования надежности по этому вопросу классифицируются на три иерархических уровня (NL): NL-I, NL-II и NL-III [3,4]. Оценка надежности NL-I определяет способность всего поколения системы удовлетворять общей нагрузке по требованию. Эту оценку можно выполнить, создав общую модель генерации системы и свернув ее с моделью загрузки системы. Оценка NL-II касается функции генерирующих мощностей и передающего оборудования (линий и трансформаторов) в удовлетворении потребности в энергии в точке нагрузки. Анализ NL-III включает в себя все три функциональных уровня, т.е. генерацию, передачу и распределение, и, как правило, применяется только при оценке прошлой производительности. Планирование выработки электроэнергии является важной задачей в электроэнергетических компаниях, поскольку инвестиции в генерирующие мощности доминируют в экономике энергосистем. Исследования надежности, проведенные в ходе выполнения этой задачи, относятся к области адекватности NL-I. Предлагаемая исследовательская работа, описанная в этой диссертации, фокусируется на оценке адекватности уровня NL-I систем генерации, включая альтернативные технологии солнечной энергетики.

Использование подходящего метода для оценки адекватности системы имеет жизненно важное значение при планировании электроэнергетических систем. Многочисленные исследования представили критерии и методы, используемые компаниями электроэнергетики при планировании системной генерации [5,6]. Два наиболее распространенных типа методов, используемых для обеспечения надежности системы генерации оценки бывают детерминированными и вероятностными. Детерминированный подход в основном использует простые эмпирические методы, такие как определение требования к запасному запасу (RM), равного фиксированному проценту от емкости системы, или требования к резерву мощности, чтобы выдержать потерю Самой большой единицы (LLU) или (N-1). Критерии процента RM и N-1 не отвечают стохастическому характеру поведения системы, требованиям системы или отказам компонентов. Вероятностный метод, однако, отражает присущее системе случайное поведение [7]. Поэтому большинство электроэнергетических компаний перешли от использования детерминированных к вероятностным методам для предоставления информации, основанной на рисках, для планов систем генерации [7,8].

Вероятностный подход может быть использован с использованием либо аналитической, либо имитационной методологии [3]. Аналитический метод математически представляет модель системы, и результаты, полученные с помощью этого метода, обычно являются долгосрочными ожидаемыми показателями. Этот метод может обеспечить ожидаемые значения индекса за относительно короткое время вычисления, даже несмотря на то, что для упрощения

вычисления часто требуются допущения. Метод моделирования требует больше вычислительного времени и ресурсов.

Многие исследователи изучали различные аспекты применения фотоэлектрических систем в производстве электроэнергии, от применения в системах малой и большой мощности. Эта диссертация посвящена применению фотоэлектрических систем в электрических сетях. Поскольку количество установок фотоэлектрических генераторов в электроэнергетических системах продолжает расти во всем мире, влияние случайных перебоев в работе фотоэлектрических источников на общую производительность системы признается многими исследователями. Выходная мощность фотоэлектрической решетки является неопределенной и непостоянной по своей природе, и поэтому важно изучить вклад в надежность, вносимый фотоэлектрической генерацией в энергосистемы.

Хотя солнечная энергия обеспечивает чистую энергию, выходная мощность фотоэлектрических систем отличается от мощности, генерируемой с использованием обычных источников из-за высокой неопределенности доступность, связанная с компонентами фотоэлектрической системы [11], [23], факторами окружающей среды и конфигурацией фотоэлектрической системы. Поэтому электрические компании и потребители обеспокоены надежностью фотоэлектрических систем, подключенных к сети. Предыдущие исследования были проведены с использованием как аналитических [5,6], так и имитационных методов [3,4] для оценки экономической выгоды, связанной с установкой солнечной энергии в системах электроснабжения. В прошлых работах также использовалась модель системного благополучия [24,25], которая сочетает в себе детерминированные и вероятностные методы для получения полезных показателей надежности для энергосистем, содержащих возобновляемые источники энергии. В этих исследованиях оценивается вклад в надежность фотоэлектрических и ветровых источников энергии. Однако в этих исследованиях не рассматривается подробная топология фотоэлектрической системы, конфигурации компонентов и влияние характеристик отказов/ремонта на уровне компонентов на показатели надежности фотоэлектрической системы.

Топология фотоэлектрических систем может быть классифицирована как централизованные инверторы, струнные инверторы и микроинверторы с точки зрения структуры их силовых электронных преобразователей. Как указывалось, ранее, выходная мощность фотоэлектрических систем сильно варьируется и неопределенна из-за неопределенности погодных условий, таких как облачный покров, и случайных отказов компонентов системы [11], [27,28]. Фотоэлектрические технологии состоят из уязвимых электрических компонентов, которые имеют разную частоту отказов [11]. Эти уязвимые электрические компоненты, такие как конденсатор, инвертор и коммутация, следует учитывать при оценке преимуществ надежности для всей фотоэлектрической системы. Большинство предыдущих работ, таких как [26], в основном посвящены оценке

надежности фотоэлектрических систем без учета оценки фотоэлектрической системы на уровне компонентов. Детальная количественная оценка надежности необходима для всей фотоэлектрической системы, чтобы точно определить общий вклад солнечной энергии в надежность электроэнергетических систем.

Этот тезис посвящен оценке адекватности фотоэлектрической системы в электроэнергетической системе для решения проблем, обсуждавшихся ранее в этой главе. Работа в этой диссертации была выполнена для определения ключевых системных параметров, которые влияют на вклад надежности фотоэлектрических систем, разработки соответствующих моделей оценки и проведения различных тематических исследований для изучения вклада надежности фотоэлектрических систем в электроэнергетическую систему.

Традиционно большинство систем электроснабжения, которые производят и поставляют электроэнергию, учитывают следующие соображения.

Производство электроэнергии производится на крупных электростанциях, которые обычно располагаются вблизи источников первичной энергии (например, угольных шахт) и вдали от центров потребления.

Электрическая энергия доставляется потребителям с использованием крупной пассивной распределительной инфраструктуры, которая включает в себя сети высокого напряжения (ВН), среднего напряжения (СН) и низкого напряжения (НН).

Распределительная сеть (RD) предназначена для радиальной работы, то есть мощность течет только в одном направлении от более высоких уровней напряжения к клиентам, расположенным вниз по радиальному фидеру.

Этот процесс состоит из четырех этапов (генерация, передача, распределение и потребители), как показано на рисунке 12.



Рисунок 12 - Традиционная концепция электроснабжения

Традиционные энергетические системы сталкиваются с ростом спроса, устанавливая новые системы поддержки на этапе генерации. В то время как добавления на уровне передачи и распределения менее часты.

В отличие от этой традиционной модели, насаждаемой в последние десятилетия, возникает альтернативная модель, в которой производство электроэнергии происходит ближе к центрам потребления. Так родилась так называемая распределенная генерация, которая не является исключительной собственностью электрических компаний, что устраняет ненужные затраты на передачу и распределение. В этой новой концепции часть спроса на электроэнергию может быть обеспечена за счет централизованного производства, а другая часть - за счет дизель-генераторов, как показано на рисунке 13.



Рисунок 13 - Новая концепция электроснабжения

Во всем мире есть много стран, которые разработали политику и стратегии для поощрения развития источников нетрадиционной возобновляемой энергии в связи с текущим глобальным интересом к диверсификации энергетической матрицы и поощрению использования возобновляемых источников энергии. Сегодня все большее количество электроэнергии вырабатывается малогабаритной энергетикой, поэтому энергетический ландшафт будущего, вероятно, будет

включать большее количество установок малой мощности, расположенных в распределительной сети.

Эта растущая тенденция усиливается тем фактом, что «распределённая энергетика» состоит из разнообразного набора технологий, которые используют энергию из возобновляемых источников, таких как фотоэлектрические, ветровые, приливные и другие. Кроме того, это может сократить выбросы ископаемого топлива, отсрочить капитальные затраты, сократить инвестиции в техническое обслуживание и улучшить условия напряжения распределительного фидера. Казахстан имеет большой потенциал для возобновляемых источников, поэтому ситуация не должна отличаться от ожидаемой во всем мире с точки зрения увеличения «распределённой энергетике».

Учитывая, что сильный уровень проникновения распределённой энергетике в распределительную систему порождает важные технические проблемы, необходимо провести исследования, определяющие влияние, которое произведет подключение этих технологий с учетом их расположения, технологии, моделирования и уровень проникновения, а также характеристики распределительного фидера. Также следует отметить, что распределительные системы проектировались без учета внедрения распределенной генерации.

Добавление генерации может повлиять на проблемы с качеством электроэнергии, ухудшение надежности системы, снижение эффективности, скачки напряжения и проблемы безопасности. С другой стороны, большинство распределительных систем спроектированы достаточно хорошо, чтобы, несмотря на то, что они не предназначались для распределенной генерации, они могли обрабатывать определенное количество ВИЭ при условии наличия надлежащего заземления, трансформаторов и функций защиты.

Поскольку проникновение ВИЭ выходит за пределы умеренного уровня, т. е. составляет значительную часть общей нагрузки системы распределения, важно изменить систему распределения и защиты, чтобы облегчить успешную интеграцию нового поколения. Например, контроллеры регуляторов напряжения и устройства защиты электрических систем, такие как автоматические выключатели, разъединители, секционеры и плавкие предохранители.

В случае с нашей энергетикой можно выделить крупные центры потребления, удаленные от центров генерации, что увеличивает необходимость изучения поведения этих систем в условиях высокого уровня проникновения ВИЭ. В настоящее время используется широкий спектр технологий производства электроэнергии, таких как: малые турбины внутреннего сгорания, микротурбины, малые паровые турбины, топливные элементы, малая гидроэнергетика, фотогальваника, солнечная энергия, ветряные турбины, технологии накопления энергии и т. д. Энергия; в отношении передачи и распределения, которые могут включать снижение потерь в систем, повышение надежности и качества обслуживания, улучшение регулирования напряжения и разгрузку системы.

Одним из основных последствий распределенной генерации являются потери фидера. Расположение блоков ВИЭ является важным критерием, который необходимо проанализировать для достижения большей надежности системы при снижении потерь. Найдите блоки распределенная энергетика⁰, чтобы свести к минимуму потери аналогичны расположению конденсаторных батарей для уменьшения потерь. Основное различие между обеими ситуациями заключается в том, что распределенная энергетика может вносить вклад как в активную, так и в реактивную мощность (P и Q). С другой стороны, конденсаторные батареи вносят вклад только в поток реактивной мощности (Q).

В случае небольших жилых фотоэлектрических и ветряных систем фактическое расположение генераторов и уровень проникновения ВИЭ обычно неизвестны. Одним из способов определения местоположения ВИЭ является случайное, как это сделали Бегович, Прегель, Рохатги и Новосель (2001) с использованием метода Монте-Карло для различных фотогальванических распределений. Расположение этих фотоэлектрических генераторов позволило улучшить состояние фидера за счет снижения потерь, улучшения коэффициента мощности и увеличения профиля напряжения.

Баркер и Мело (2000) исследуют оптимальное расположение ВИЭ в распределительной системе, чтобы уменьшить потери, используя программное обеспечение для анализа потока нагрузки. Например, если фидеры имеют большие потери, добавление нескольких ДГ малой мощности окажет значительное положительное влияние на потери и принесет большую пользу системе. С другой стороны, если добавляются блоки большего размера, их необходимо устанавливать с учетом пределов мощности. Например, мощность фидера может быть ограничена, так как воздушные линии и кабели имеют тепловые характеристики, которые нельзя превышать.

Оламеи, Никнам и Гарепетян (2007) изучают важность реконфигурации сети как стратегии снижения потерь, рассматривая распределенную энергетiku как часть решения. Предлагаемый метод учитывает экономический эффект от различных цен на электроэнергию при различных схемах электроснабжения при эксплуатации распределительных сетей, где целевой функцией является сумма затрат на электроэнергию, вырабатываемую ДГ и магистральными шинами подстанций, используется Генетический алгоритм (ГА) для решить задачу оптимизации. Применение этого метода контролирует рассеянные поколения и тем самым обеспечивает высокую прибыль.

Такие авторы, как Прасанна, Кумар и Анантападманабха (2014 г.), предлагают метод многокритериальной оптимизации для определения оптимального размещения блока распределенной генерации в радиальном распределительном фидере; где многоцелевая функция включает в себя две цели: снижение потерь мощности и повышение напряжения конечного узла, что является практической проблемой многих сельских распределительных систем, а также

критической с точки зрения эксплуатации подключенного к ней абонентского оборудования, которое сталкивается с падением напряжения проблема очень часто. Однако большая часть установок РГ принадлежит клиентам. Сетевые операторы не могут определять местонахождение блоков РГ. Обычно предполагается, что потери уменьшаются, когда генерация происходит ближе к месту нагрузки.

Регулирование напряжения в распределительных системах основано на радиальных потоках мощности от подстанции к нагрузке через переключатели ответвлений нагрузки (LTC). Регулирование напряжения также улучшается за счет конденсаторных батарей, которые можно включать, располагая вдоль фидера. Компенсаторы падения напряжения в линии (LDC) используются редко, за исключением сельских районов с низкой плотностью нагрузки (Багзуз, 2005).

Подключение ДГ может привести к изменению профиля напряжения по фидеру за счет изменения направления и величины потоков активной и реактивной мощности. Однако влияние РГ на регулирование напряжения может быть положительным или отрицательным в зависимости от системы распределения, характеристик и расположения распределенного генератора.

Моран, Факкини и Донья, (2010) представляют положительное влияние, вызванное внедрением распределенной фотоэлектрической генерации, на уровни напряжения типичной распределительной сети низкого напряжения. Эти авторы использовали два фактора: уровень проникновения (NP), относящийся к количеству фотоэлектрической энергии, которую необходимо установить с целью выработки как можно большего количества энергии до минимальной кривой спроса в период наименьшего потребления, и уровень дисперсии (ND), что дает в результате более однородные уровни напряжения, поскольку узлы, наиболее удаленные от трансформаторной подстанции (SET), оказывают наибольшее влияние на повышение напряжения.

Kamaruzzaman & Mohamend (2016) изучили влияние фотоэлектрической системы, подключенной к сети, на динамическую устойчивость несбалансированной энергосистемы. Был использован несбалансированный испытательный фидер узла IEEE 13, в котором для всех расчетов применялся метод моделирования во временной области, который тесно связан с моделированием потока мощности. Процесс моделирования остановился, когда поток мощности перестал сходиться. Результаты моделирования показывают, что увеличение уровня проникновения фотоэлектрических систем улучшает стабильность напряжения в системе. Однако в случаях, когда нагрузка увеличивается до 80%, система сталкивается с нестабильностью напряжения даже при максимальном уровне проникновения фотогальванической системы (ФС).

2 Методологическое предложение

2.1 Моделирование фотоэлектрической системы

Фотогальваническая установка состоит из нескольких цепочек или параллельных устройств. Каждая цепочка состоит из модулей (или плат), соединенных последовательно. Поверхность, доступная для установки, определяет количество модулей в цепочке и количество цепочек.

База данных программы DIgSILENT Power Factory 15.1 содержит библиотеку, в которой находится модель фотоэлектрического генератора мощностью 0,5 МВА. Модель показана на рисунке 14 и состоит из статического генератора, который представляет собой преобразователь интерфейса сети для многочисленных приложений, таких как фотоэлектрические генераторы, топливные элементы, терминалы HVDC, реактивные компенсаторы и ветрогенераторы FCWT. В частности, для фотогальванической установки этот шаблон включает в себя модели солнечной панели и звена постоянного тока, кроме статического генератора (преобразователя), который подключается к стороне переменного тока шины низкого напряжения (0,4 кВ). Генератор подключается к сети через повышающий трансформатор, который не входит в шаблон. Кроме того, эта модель включает схему внутреннего контроля активной и реактивной мощности фотоэлектрического генератора (Теологитис, 2011).

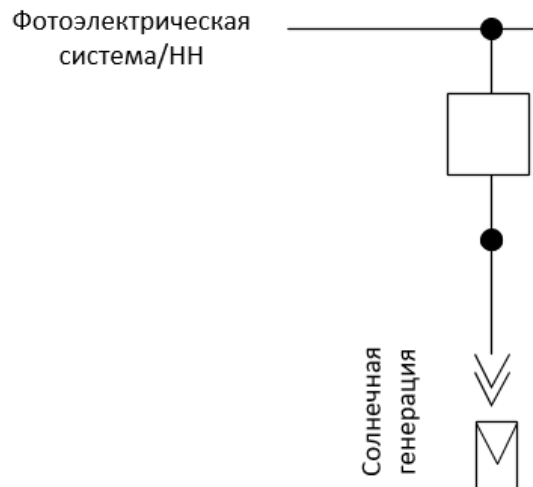


Рисунок 14 - Модель фотоэлектрического генератора 0,4 кВ/0,5 МВА

Данные, характеризующие установку фотоэлектрической системы, можно найти в Приложении Б.

Схема работы

Пределы реактивной мощности инвертора определяются кривой мощности, показанной на рисунке 15. Ось абсцисс соответствует реактивной мощности в р.у. а ось ординат соответствует активной мощности в о.е. Синяя линия соответствует ограничениям активной мощности инвертора. Вводимая мощность ограничена номинальным током инвертора, что означает невозможность одновременной работы на максимальной активной и реактивной мощности. Точно так же черная линия соответствует пределу ввода активной мощности, ограниченному коэффициентом мощности. Наконец, красная линия соответствует возможным пределам подачи реактивной мощности, которые определяются производителем и задаются тремя уровнями напряжения. На рисунке 16 показаны пределы инжекции фотогальванического генератора.

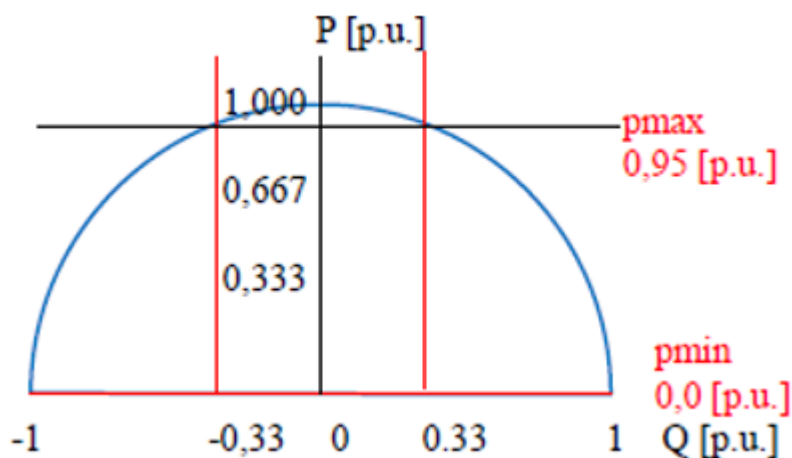


Рисунок 15 - Модель инжекции фотогальванического генератора

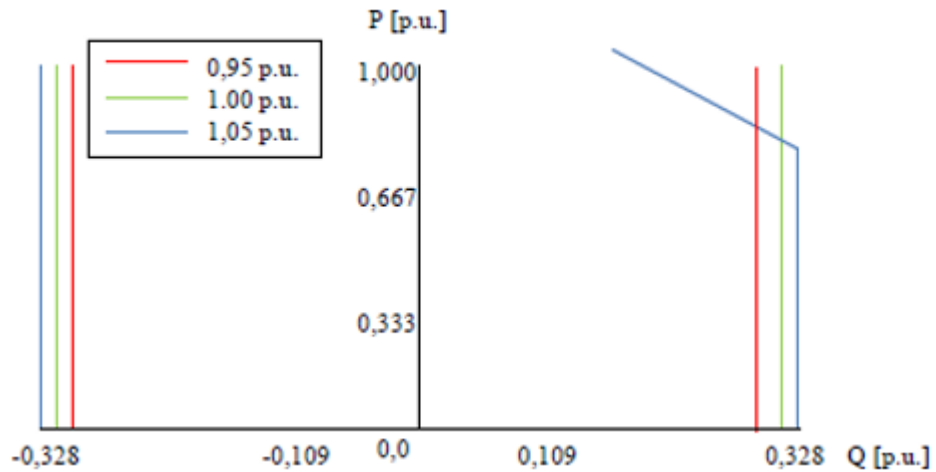


Рисунок 16 - Ограничения на впрыск фотоэлектрического генератора

2.2 Схема управления

Общая модель фотоэлектрической системы построена с использованием языка моделирования DigSILENT (DSL), и ее структуру можно увидеть на рисунке 17. Она состоит из нескольких слотов, внутри которых находятся разные коды, моделирующие поведение разных частей фотоэлектрической установки (Махмуд , 2012).

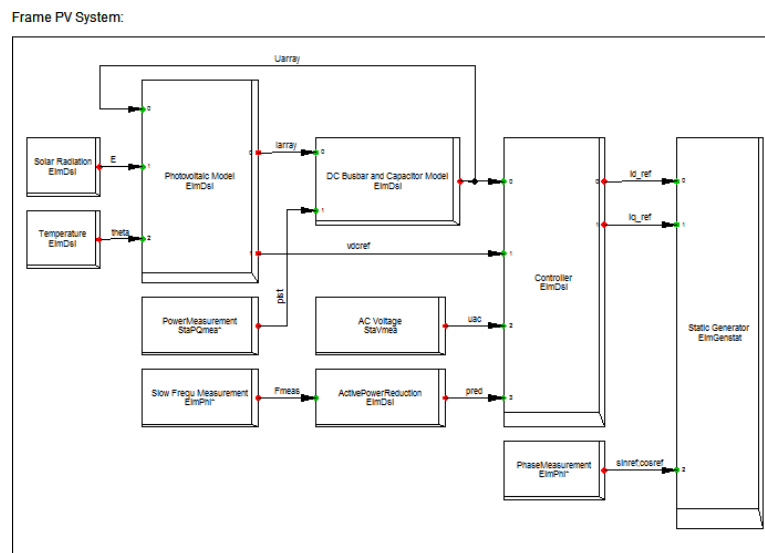


Рисунок 17 - Общая модель фотоэлектрической системы

Блоки, из которых состоит модель, перечислены ниже:

Солнечное излучение: входная переменная соответствует изменению освещенности в секунду, которое интегрируется за определенный период времени. Эволюция солнечного излучения определяется уравнением (1)

$$E = \int_{t_i}^{t_f} dEdt \quad (1)$$

Температура: входная переменная соответствует изменению температуры в секунду, которое поступает в блок интегратора для получения результирующей температуры. Эволюция температуры определяется уравнением (2)

$$T = \int_{t_i}^{t_f} dTdt \quad (2)$$

Фотоэлектрическая модель: то, что заключено в синий цвет, соответствует модулю одиночной солнечной панели, где входные сигналы соответствуют рабочей температуре (θ), освещенности (E) и напряжению в шине постоянного тока, называемой U_{dc} . Выход проходит через фильтр нижних частот для ослабления высокочастотных сигналов в случае ненормальной работы, так что в нормальных условиях он отключается.

Отфильтрованное напряжение делится на количество последовательно соединенных модулей, чтобы получить напряжение на модуль. При этом выходные сигналы рассчитываются по последовательно-параллельному соединению модулей, что соответствует току и напряжению в точке максимальной мощности (MPP). Как видно на рисунке 18.

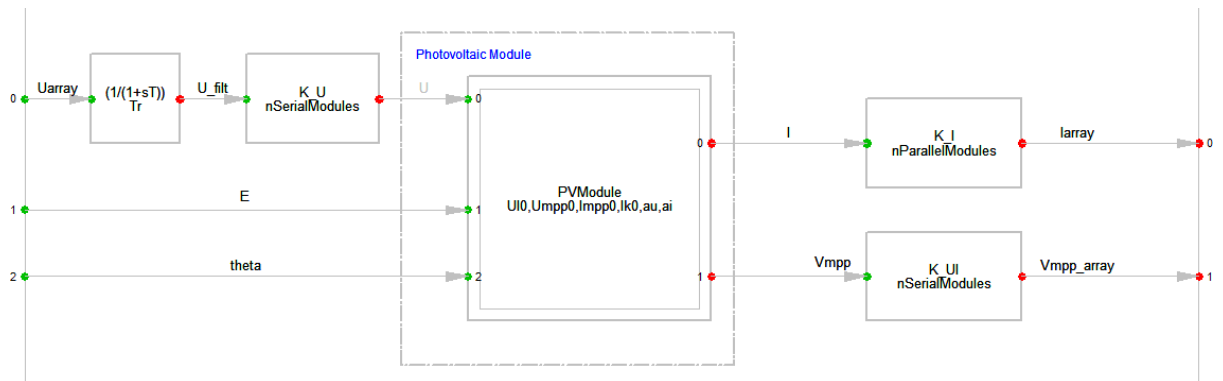


Рисунок 18 - Входные и выходные переменные фотоэлектрического модуля

Переменные излучения и температуры используются для внесения поправок в характеристическую кривую панели, которая в первую очередь строится с характеристическими значениями STC (стандартные условия испытаний).

Измерение мощности: используется для представления измерения активной мощности. Устройство измерения PQ используется в точке подключения фотогальванического генератора и реализовано в этом блоке. Используемое выходное значение представляет собой измерение активной мощности p_{ist} , которое используется в качестве входного сигнала для шины постоянного тока и блока конденсаторов.

Измерение медленной скорости: выполняет функцию измерения скорости. Это значение является четким значением частоты, независимо от мгновенных возмущений, за период времени. По этой причине она называется медленной частотой, чтобы отразить эту медленную динамическую функцию (Papandrea, 2010).

Шины постоянного тока и конденсатор: его внутреннюю структуру можно увидеть на рисунке 19. Входные сигналы соответствуют току массива, который исходит от фотогальванической модели, и мощности, измеренной на соединительной шине (мощность, выдаваемая генератором). Выходной сигнал, обозначаемый U_{dc} , соответствует постоянному напряжению, которое является входным сигналом фотоэлектрического модуля и контроллера.

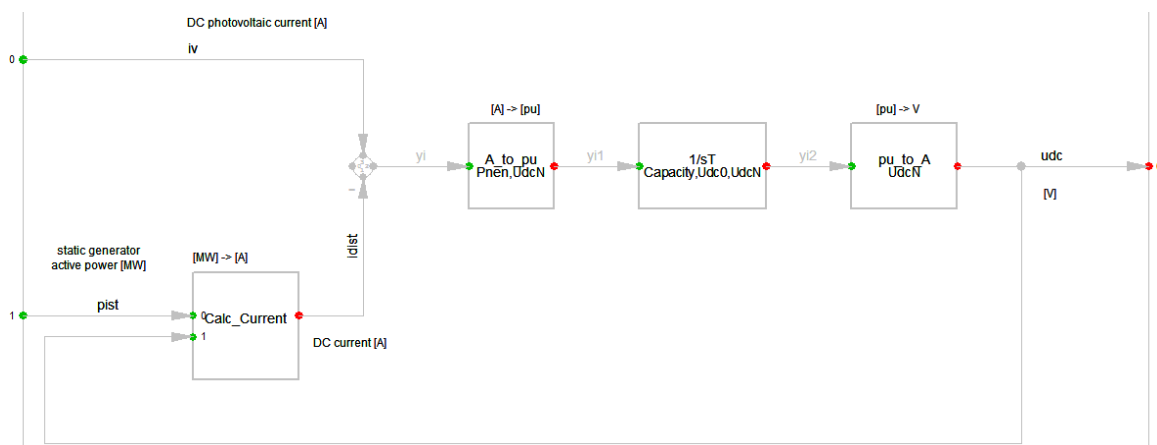


Рисунок 19 - Модель шины постоянного тока и конденсатора

Напряжение переменного тока: представляет собой устройство измерения напряжения в точке подключения фотогальванического генератора. Выходное значение равно u_{ac} и относится к напряжению на шине LV. Значение используется в качестве входных данных для блока контроллера.

Снижение активной мощности: этот блок имеет в качестве входа частоту в точке измерения, а его выход соответствует управляющему сигналу, который изменяет уставку мощности фотогальванической установки, чтобы уменьшить

выходную мощность по сравнению с событиями, когда частота поднимается выше порога.

Измеритель фазы: Этот блок моделирует устройство, которое измеряет частоту и фазу напряжения системы в точке подключения. Фазометр представляет собой структуру с обратной связью, содержащую внутренний генератор, который синхронизируется путем отслеживания фазы определенного сигнала. Базовая структура устройства показана на рисунке 20.

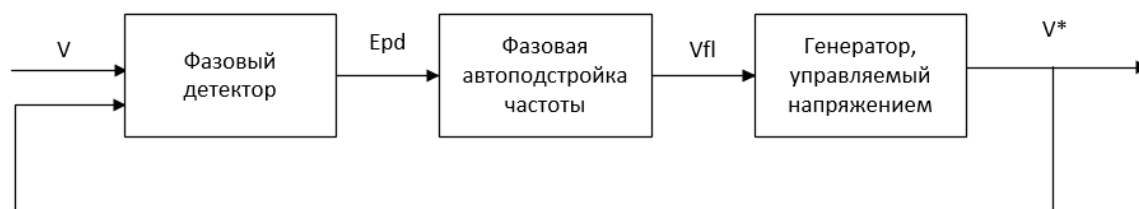


Рисунок 20 - Индикатор фазы

1) Фазовый детектор: Генерирует сигнал, пропорциональный разности фаз между v и v' .

2) Контурный фильтр: соответствует фильтру нижних частот, который устраняет высокочастотные компоненты переменного тока.

3) Генератор, управляемый напряжением: генерирует сигнал переменного тока, частота которого изменяется по сравнению с заданной частотой в зависимости от входного сигнала, который соответствует отфильтрованному напряжению.

4) Выходные сигналы фазометра соответствуют фазам напряжения, которым соответствуют входные переменные статического генератора.

5) Контроллер: модель контроллера можно увидеть на рисунке 21. Он имеет шесть входных сигналов и два выходных сигнала. В этом блоке выполняется важная задача получения значений, полученных из других блоков, и получения токов i_{dref} и i_{qref} . Входы статического генератора, которые будут использоваться фотогальваническим инвертором для модуляции и управления активной и реактивной мощностью соответственно.

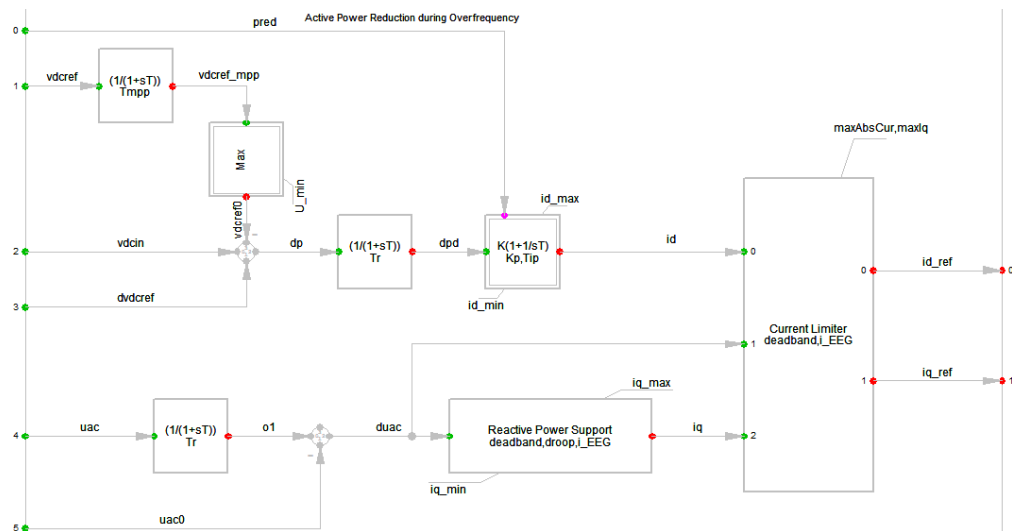


Рисунок 21 - Модель контроллера

2.3 Моделирование фидера

DIgSILENT Power Factory предоставляет стандартный двунаправленный интерфейс DGS, специально разработанный для массового обмена данными с другими приложениями, такими как географическая информационная система (ГИС) и SCADA (диспетчерское управление и сбор данных).

Через интерфейс DGS данные можно импортировать и экспортировать с использованием различных форматов файлов (таких как: файл DGS, ASCII, файл XML, файл Microsoft Excel 2015 или более поздней версии) и схем баз данных (таких как: Oracle DB Server, Microsoft SQL Server, System DSN). Здесь важно помнить, что содержимое файлов одинаково; разница только в формате.

Интерфейс импорта DGS позволяет импортировать полные модели сети, а также обновлять существующие модели. Для этого используется Microsoft Excel, так как основной принцип СГД заключается в организации всех данных в виде таблиц. Каждая таблица имеет уникальное имя (в файле DGS или базе данных) и состоит из одного или нескольких столбцов таблицы, последовательность листов не имеет значения.

На рисунке 22 показан лист Excel с данными из устройства подачи Л-107С. Первая строка (строка «1») должна содержать определения столбцов (заголовков). Первый столбец (столбец «А») всегда является столбцом идентификатора, и для всех последующих столбцов необходимо указать имя атрибута Power Factory и его тип, например: «Loc_name (a:40)».

Данные DGS должны быть полными (информация о топологии, информация о типе, графическая информация и данные об элементах сети), поскольку все

объекты будут созданы с нуля. Кроме того, нельзя использовать ссылки внешнего ключа. Обычно этот тип импорта используется для полной передачи данных из других систем. Атрибуты, не указанные в данных APД, сохраняют свои значения по умолчанию Power Factory. На рисунке 23 показан фидер Л-107С, импортированный в DIgSILENT.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	Ioc_name	fold_id	typ_id	chr_name	iUsage	outserv	phtech	uknom	GPSlat	GPSlon
2	0500040V0	0500040V07	2		0500040V07	0	0	ABC-N	22	-2,8760666	
3	MTA_4271	MTA_42713	2			1	0	ABC-N	22		
4	MTA_4271	MTA_42715	2			1	0	1PH-N	22		
5	MTA_4271	MTA_42716	2			1	0	1PH-N	22		
6	MTA_4279	MTA_42795	2			1	0	1PH-N	22		
7	MTA_4279	MTA_42796	2			1	0	1PH-N	22		
8	MTA_4279	MTA_42797	2			0	0	1PH-N	22		
9	MTA_4250	MTA_42509	2			1	0	ABC-N	22		
10	MTA_4251	MTA_42511	2			1	0	ABC-N	22		
11	MTA_4251	MTA_42512	2			1	0	1PH-N	22		
12	MTA_4258	MTA_42587	2			1	0	1PH-N	22		
13	MTA_4258	MTA_42588	2			1	0	1PH-N	22		
14	MTA_4258	MTA_42589	2			0	0	1PH-N	22		
15	MTA_4251	MTA_42511	2			1	0	1PH-N	22		
16	MTA_3351	MTA_33511	2			1	0	ABC-N	22		
17	MTA_3407	MTA_34075	2			0	0	1PH-N	22		
18	MTA_3407	MTA_34078	2			1	0	ABC-N	22		
19	MTA_3407	MTA_34079	2			1	0	ABC-N	22		
20											

Рисунок 22 - Данные фидера Л-107С в электронной таблице Excel

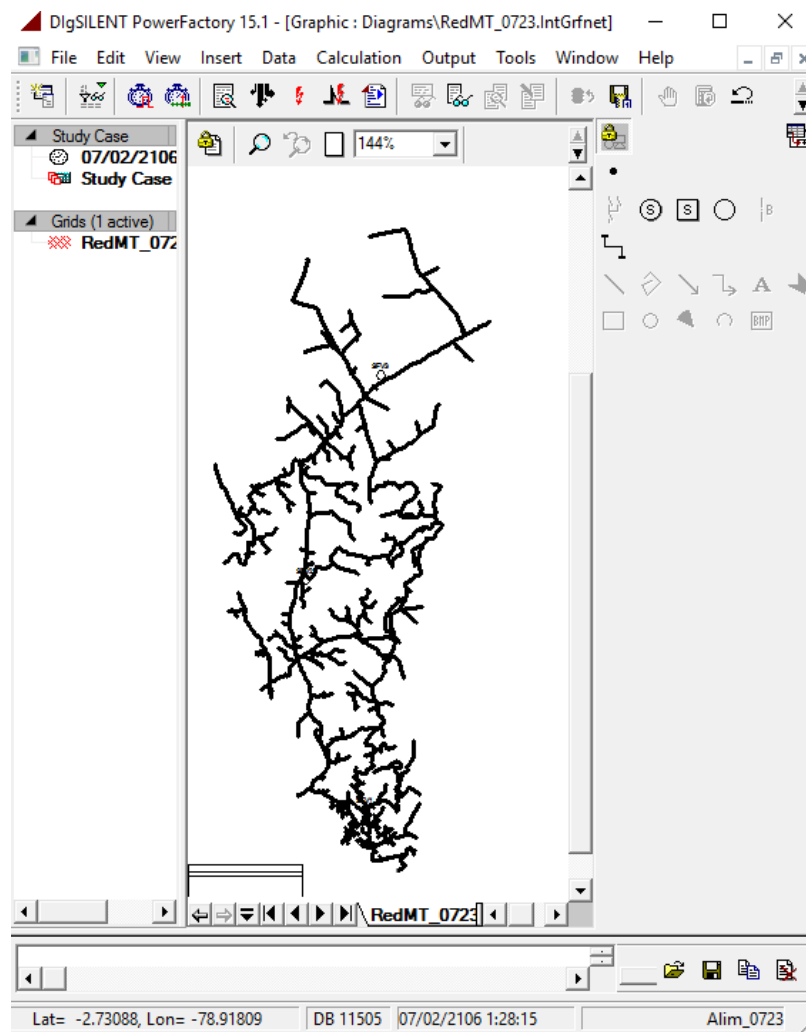


Рисунок 23 - Фидер Л-107С, развернутый в DIgSILENT

Фидер Л-107С, принадлежащий Universal Energy, смоделированный в DIgSILENT, позволит проанализировать влияние распределенной генерации как на распределительную подстанцию, так и на различные элементы фидера. Данные о различных элементах фидера получены из SPRiXin.

График нагрузки Л-107С

На рисунке 24 показана суточная потребность фидера Л-107С, где видно, что максимальная потребность в активной мощности возникает в 20:40 при 4202 МВт, а потребность в реактивной мощности составляет 656,33 кВАр. В то время как минимальная потребность в активной мощности возникает в 04:30 с 2449 МВт и с потребностью в реактивной мощности 284 кВАр.

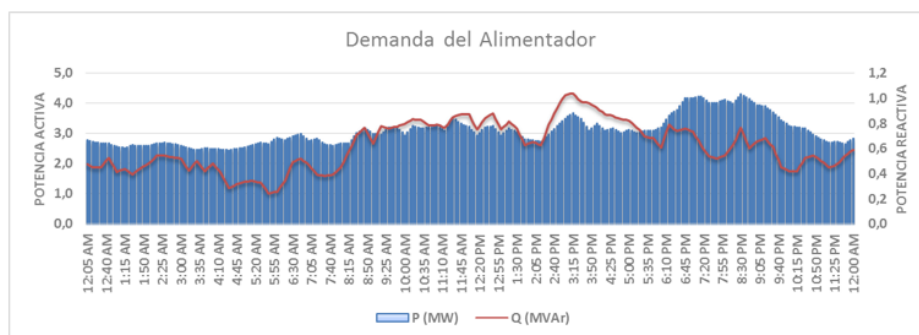


Figura 21: Demanda Diaria del Alimentador 0723

Рисунок 24 - Суточная потребность фидера Л-107С

2.4 Измерение воздействия на распределительную систему

Изучение влияния взаимосвязи фотоэлектрических установок на распределительную сеть начинается с разработки и проверки базовой модели динамического фидера (Л-107С) - эта модель может включать в себя любую существующую генерирующую установку (обычную или нетрадиционную). После развертывания фидера в DIgSILENT определяются начальные условия фидера, т. е. без фотоэлектрической генерации, где будет определен профиль напряжения, нагрузки линий и технических потерь.

Во-вторых, информация о солнечном облучении обрабатывается в поселке Жангизтобе в течение недели с очень тонкими интервалами в 5 минут, используется для этого исследования в день наибольшего излучения, которое произошло 05 апреля 2021 года. Из-за изменчивости выходного сигнала фотоэлектрической системы, а также нагрузки на питание в течение дня необходимо исследовать воздействия для различных степеней проникновения и уровней рассеяния.

Существует три общие точки подключения для фотоэлектрических систем Л-101, Л-102 и Л-103. Эти соединительные узлы позволят соединить фидер с новым поколением, уровень проникновения SFV связан с количеством установленной фотоэлектрической мощности, соответствующей значениям 0,5 – 1 – 1,5 – 2,5 – 3 MVA.

Для того, чтобы охватить широкий спектр возможных воздействий, реализуются различные сценарии, которые охватывают различные уровни проникновения и местоположения для различных условий нагрузки на подачу, как показано в таблице 1.

Таблица 1 - Сценарии для исследования

Сценарий	Л-101	Единицы	Л-102	Единицы	Л-103	Единицы
0	OFF	0	OFF	0	OFF	0
1	ON	1	OFF	0	OFF	0
2	ON	2	OFF	0	OFF	0
3	ON	3	OFF	0	OFF	0
4	ON	4	OFF	0	OFF	0
5	ON	5	OFF	0	OFF	0
6	ON	6	OFF	0	OFF	0
7	OFF	0	ON	1	OFF	0
8	OFF	0	ON	2	OFF	0
9	OFF	0	ON	3	OFF	0
10	OFF	0	ON	4	OFF	0
11	OFF	0	ON	5	OFF	0
12	OFF	0	ON	6	OFF	0
13	OFF	0	OFF	0	ON	1
14	OFF	0	OFF	0	ON	2
15	OFF	0	OFF	0	ON	3
16	OFF	0	OFF	0	ON	4
17	OFF	0	OFF	0	ON	5
18	OFF	0	OFF	0	ON	6
19	ON	3	ON	3	OFF	0
20	OFF	0	OFF	3	ON	3
21	ON	1	ON	1	ON	1
22	ON	2	ON	2	ON	2
23	ON	3	ON	3	ON	3
24	ON	4	ON	4	ON	4
25	ON	5	ON	5	ON	5
26	ON	6	ON	6	ON	6

Следующим шагом является моделирование заранее определенных сценариев исследования, в этих сценариях учитываются временные колебания фотоэлектрической системы и изменения нагрузки на питание. Где анализируются профили напряжения, нагрузки линий и технических потерь по отношению к базовому сценарию (сценарий 0). Для каждого сценария выполняется 288 несбалансированных зарядных потоков, соответствующих исследуемому дню, поскольку данные о солнечном облучении и зарядке фидера были взяты с 5-минутными интервалами. Для всех 26 сценариев необходимо запустить 7488 потоков загрузки, поэтому был разработан язык программирования DIgSILENT (DPL), сценарий DPL представлен в приложении 2.

3 Распределительный фидер Л-107С

3.1 Характеристика фидера

Распределительный фидер Л-107С представляет собой радиальный питатель с номинальным напряжением 35 кВ. Пространство, необходимое для фотоэлектрической системы 0,5 МВА, было проверено в соответствии с 20 последовательными панелями и 140 цепями параллельно с общей моделью DIgSILENT, поскольку каждая солнечная панель составляет 320 Вт, пространство, необходимое для этой фотоэлектрической системы, составляет менее 4000 квадратных метров. В таблице 2 представлено пространство, необходимое для SFV, в соответствии с тремя типами солнечных панелей одинаковой мощности (Солнечный инструмент дизайна 2017, Солнечный EPS 2017).

Таблица 2 - Необходимое пространство для ФС 0,5 МВА

Тип	Размеры	Панель	Цепь	ФС
CS6A-320	1,324 m × 0,982 m	1,3 m ²	26 m ²	3640 m ²
SF320-S	1,257 m × 0,977 m	1,22 m ²	24,56 m ²	3438,64 m ²
EPS-320 P	1,58 m × 0,805 m	1,27 m ²	25,44 m ²	3561,32 m ²

Район Жарминский

Район Жарминский расположен в Восточно-Казахстанской области.

Рельеф территории мелкосопочно-равнинный, на востоке горный (хребет Калба). Сопки Аскарлы, Сарыжал, Карауылтобе, Жуантобе, Барактыкан, Акбиик, Карамурын с абсолютной высотой 500—865 м. На юго-востоке расположены сопки Сарыжал, Кандыгатай, Жумагул, Каргалы, Желдикара и др. с абсолютной высотой 780—1090 м. В недрах имеются запасы золота, кобальта, никеля, кадмия, вольфрама, строительных материалов и др. Климат континентальный. Средние температуры января от -16 до -18°C, июля 20-22°C.

В поселке достаточно солнечной радиации для строительства фотоэлектрических электростанций. Данные получены с веб-сайта PVsyst с использованием географических координат; долгота 49,16 и широта 81,08 показывают среднее ежемесячное глобальное горизонтальное излучение 5 кВтч / м² / день и пиковые солнечные часы примерно 5 часов в день. Самая высокая среднегодовая температура в поселке Жангизтобе составляет 22,4 °С на 30,2 восточной долготы и 2,2 южной широты. На рисунке 25 показан вид с воздуха на поселок Жангизтобе, полученный с помощью карт Google.



Рисунок 25 - Изображение СЭС в Жангизтобе на карте Google.

Была проведена магистральная экскурсия по распределительному питателю, чтобы найти места, где есть пространство, необходимое для реализации средних и крупных фотоэлектрических систем. ФС1 расположен на широте 49,18 и широта 81,23 (Юг) и долготе 49,16 и широта 81,08 " (Запад), как показано на рисунке 22, где имеется доступная площадь 8 гектаров, таким же образом, как и для ФС2 и ФС3.

На рисунке 26 представлен распределительный фидер Л-107С, в котором три фотоэлектрические системы (SFV1, SFV2 и SFV3) соединены в соответствующих общих точках подключения (Л-101, Л-102 и Л-103), расположенных в 3,38 км; км и 4,58 км соответственно от подстанции Жангиз.



Рисунок 26 - Фидер Л-107С с тремя Фотоэлектрическими системами

Каждая ФС использует в качестве соединительного оборудования повышающий трансформатор 0,4 / 35 кВ, мощность которого составляет 3 МВА, который подключается к соответствующему фидеру. Силовой трансформатор соединен на первичной (АТ) стороне в треугольнике и вторичной (ВТ) на звезде к земле, составные напряжения которых смещены на 330° (Dyn11). Для увеличения мощности фотоэлектрических систем увеличивается количество единиц как для фотоэлектрического генератора и соединительного трансформатора. На рисунке 27 представлена Л-101, в котором он соединен с двумя линиями среднего напряжения (Л-101-1 и Л-101-2), а также с соединительным оборудованием.

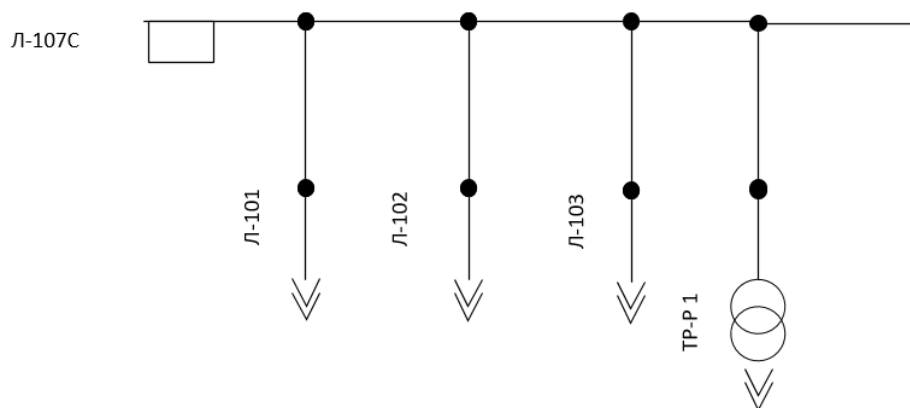


Рисунок 27 - Общая точка подключения (Л-101)

На рисунке 3.8 показан ФС, подключенный к шинам 0,4 кВ, называемому следующим образом ФС/НН, эта шина соединяется с низковольтной стороной силового трансформатора, в то время как высоковольтная сторона соединяется по кабельной тоннелю Л-101, как показано на рисунке 28.

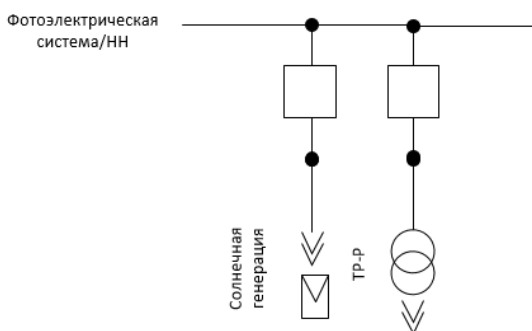


Рисунок 28 - Фотозлектрическая система

Характеристика нагрузки

Поскольку фотоэлектрическая система будет подавать энергию в течение дня, на рисунке 29 представлена нагрузка в течение дневного периода, когда пиковая потребность в активной мощности наступает в 15:15 часов с 3,673 МВт, а потребность в реактивной мощности составляет 1,038 МВАр. В то время как минимальная потребность в активной мощности происходит в 07:45 часов с 2,596 МВт и с реактивной мощностью 391 кВАр.

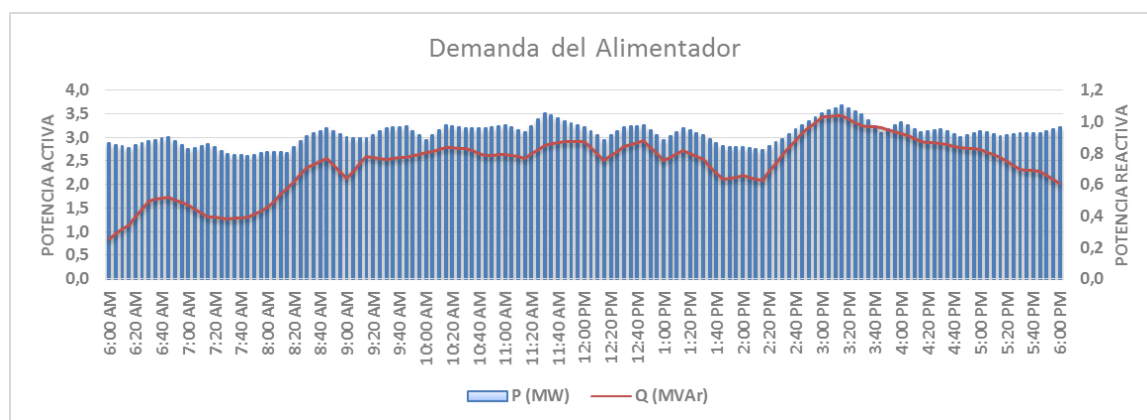


Рисунок 29 - Ежедневная нагрузка с 06:00 до 18:00

3.2 Характеристика солнечной радиации в Жангизтобе

Настоящее исследование проводилось в Жангизтобе в Жарминском районе, для сбора информации о солнечном облучении в исследуемой области использовались измерения генерации возобновляемых источников PVsyst. Информация о солнечном облучении обрабатывалась в городе Жангизтобе в течение недели с очень тонкими 5-минутными интервалами, как видно на рисунке 4. Для этого исследования используется день наибольшего излучения, который произошел 05 апреля 2021 года, как показано на рисунке 30.

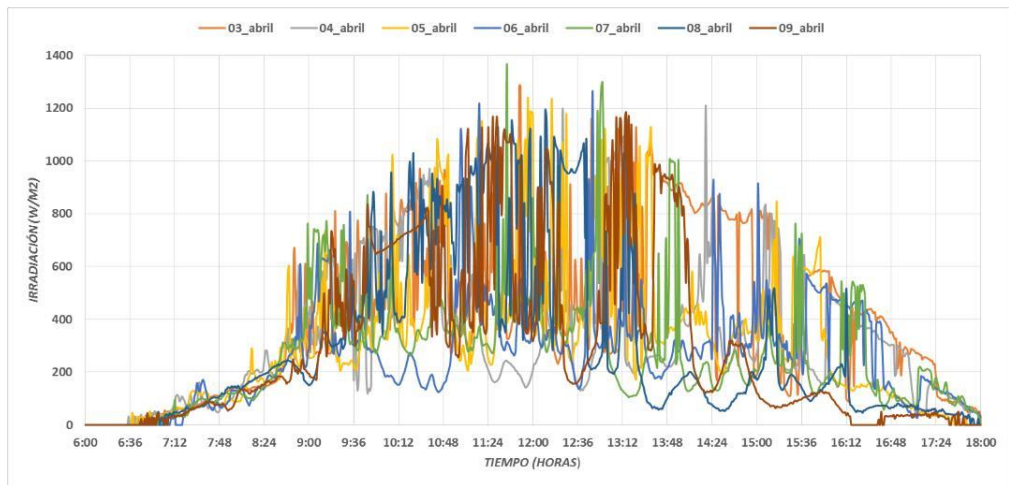


Рисунок 30 - Солнечное облучение с 03 по 09 апреля 2021 г.

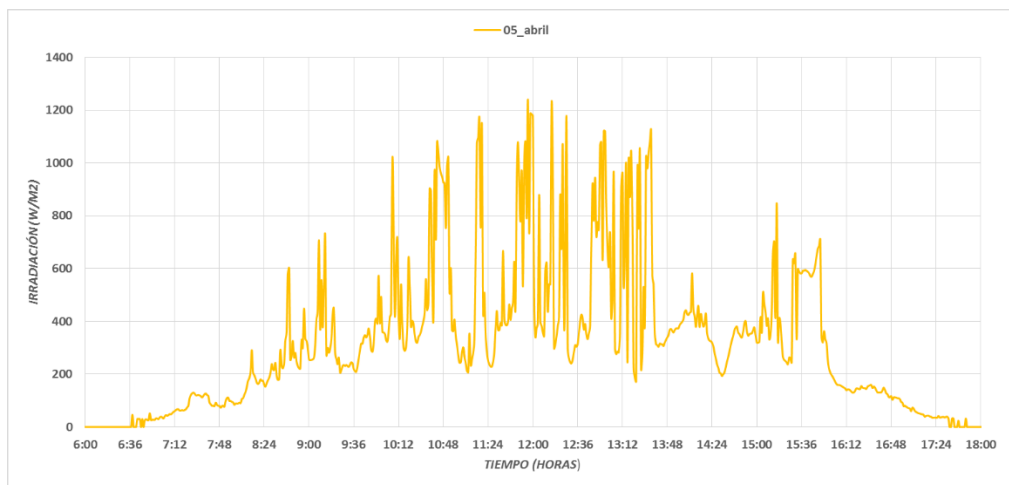


Рисунок 31 - Солнечное облучение от 05 апреля 2021 г.

3.3 Анализ результатов

3.3.1 Базовый сценарий

Для определения начальных условий подачи, т. е. без фотоэлектрической генерации, несбалансированные потоки мощности были определены с 5-минутными интервалами, запустив 288 потоков мощности с помощью инструмента DIgSILENT Programming Language (DPL) для оценки профиля напряжения, нагрузки на линии и технических потерь. Профиль показателей фидера представлен статистическими значениями натяжения в единицах (п. у.) для каждого из первичных узлов в зависимости от их расстояния (км) до подстанции 28. На рисунке 32 показан профиль деформации во все часы исследуемого дня.

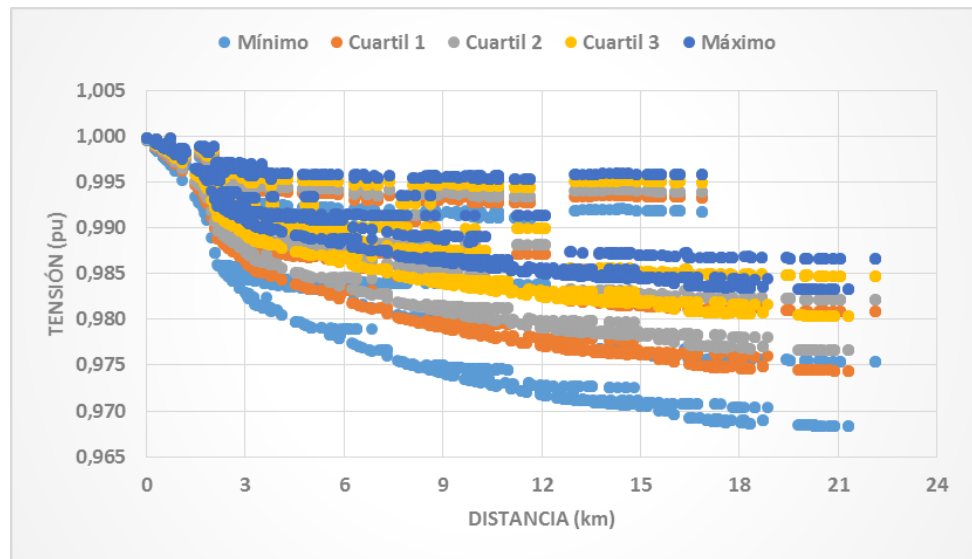


Рисунок 32 - Профиль дневного напряжения без фотоэлектрической генерации

Из результатов языка программирования DIgSILENT (DPL). Распределительный фидер Л-107С имеет технические потери 5,11%, процент потерь был рассчитан как уравнение 3 и 4

$$Loss(\%) = \frac{Losses(MWh)}{Feeder Load(MWh)} \times 100 \quad (3)$$

$$Loss(\%) = \frac{1,0142}{19,8387} \times 100\% = 5,11 \quad (4)$$

На рисунке 33 показана максимальная нагрузка всех линий фидера Л-107С за каждый час соответствующего исследуемого дня. Максимальная загрузка всех линий происходит в 08: 40 вечера с 86,72%.

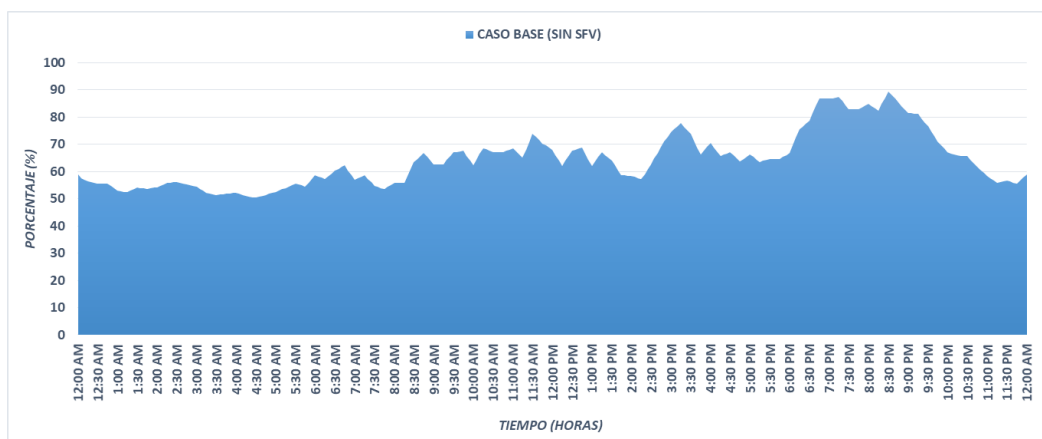


Рисунок 33 - Максимальная нагрузка на линиях без фотоэлектрической генерации

3.3.2 Сценарии с фотоэлектрической генерацией

Обратный поток мощности: Распределительный питатель Л-107С обычно предназначен для однонаправленных потоков мощности, поэтому большие уровни проникновения фотоэлектрических систем компенсируют локальную нагрузку на питание, а также вызывают обратный поток мощности на уровнях секции, подачи и подстанции. На рисунке 34 показан поток активной мощности на подстанции, фидер становится активной схемой, т. е. вводит энергию в систему передачи.

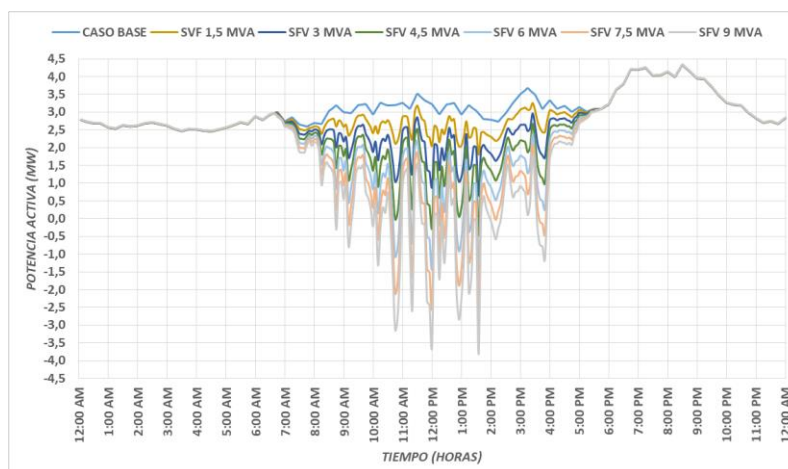


Рисунок 34 - Активная мощность подстанции

Колебания и повышение напряжения: Выходная мощность фотоэлектрической системы является переменной из-за ее прерывистой природы, такими факторами, как эффект затенения облака и быстрое колебание солнечной радиации, что приводит к колебаниям напряжения. На рисунке 35 представлены

уровни напряжений по второй линии Л-102, на этом рисунке представлен нулевой сценарий и сценарии с 7 по 12.

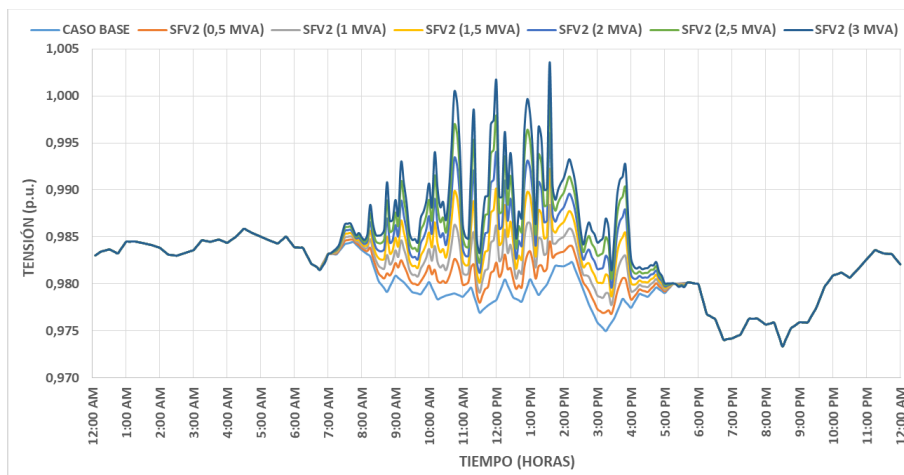


Рисунок 35 - Уровни напряжения на единицу по линии Л-102

На рисунке 36 представлена разность узловых напряжений (до и после соединения фотоэлектрической системы 3 МВА по линии Л-102). Результаты показывают значительное увеличение напряжения примерно на 0,0232 ПУ (0,51 кВ на основе 22 кВ) в различных узлах во время максимальной производительности фотоэлектрической системы (между 10 утра и 2 вечера).

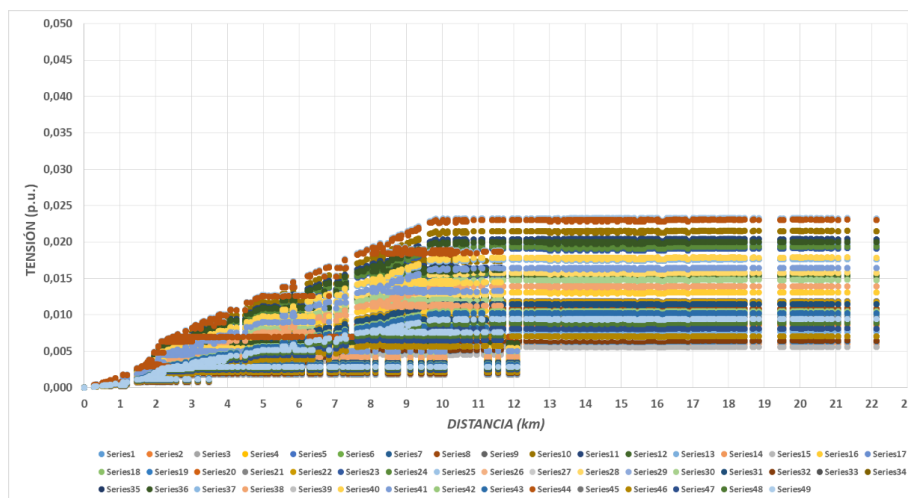


Рисунок 36 - Разность узловых напряжений

В таблице 3 представлены значения увеличения напряжения в трех общих точках подключения с ФС 1 МВА, результаты показывают, что наибольшее

увеличение напряжения происходит в третьем фидере, расположенном в 15,58 км от подстанции.

Таблица 3 - Увеличение напряжения по фидерам

Состояние фотоэлектрической системы			Общая точка подключения		
ФС1	ФС2	ФС 3	Л-101 ФС 1	Л-102 ФС 2	Л-103 ФС 3
ON	OFF	OFF	0,0025 p.u.	-	-
OFF	ON	OFF	-	0,0079 p.u.	-
OFF	OFF	ON	-	-	0,0121 p.u.
ON	ON	ON	0,0074 p.u.	0,0181 p.u.	0,0222 p.u.

Взаимосвязь фотоэлектрической системы изменяет профили напряжения фидера, поэтому величина увеличения напряжения зависит от конфигурации каждой линии, расположения фотоэлектрической системы и конденсаторов. Это условие может привести к нарушениям напряжения в рамках планирования распределения электроэнергии компании и стандартов межсоединений.

Поскольку пиковое фотоэлектрическая выработка происходит в середине дня (12-00). На рисунке 37 представлены профили напряжения за этот час с использованием трех фотоэлектрических систем мощностью 3 МВА. Базовый случай и вход ФС1, ФС2 и ФС3, соответствующие сценариям 0, 6, 12, 18 и 26 соответственно, оценены.

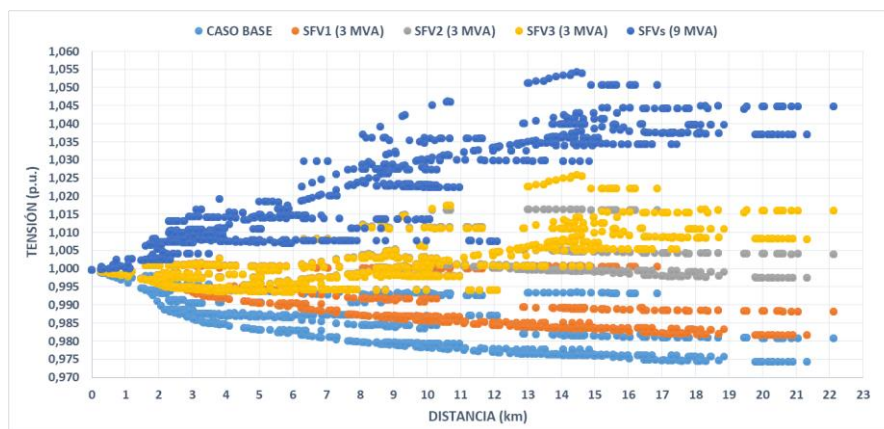


Рисунок 37 - Профили напряжения с SFV 3 MVA (12-00)

Загрузка линий фидера: Расположение фотоэлектрических систем существенно влияет на нагрузку секций фидера, при низких и умеренных уровнях проникновения фотоэлектрическая система компенсирует нагрузку секции, особенно в питателях, которые достигают своего пика в течение дня. В то время как

для высоких уровней проникновения нагрузка секции увеличивается, потому что вклад фотоэлектрической системы больше, чем база.

На рисунке 38 показана максимальная нагрузка всех линий фидера Л-107С в течение исследуемого дня, при подключении фотоэлектрической системы к линии Л-101 этот рисунок содержит нулевой сценарий до сценария шесть.

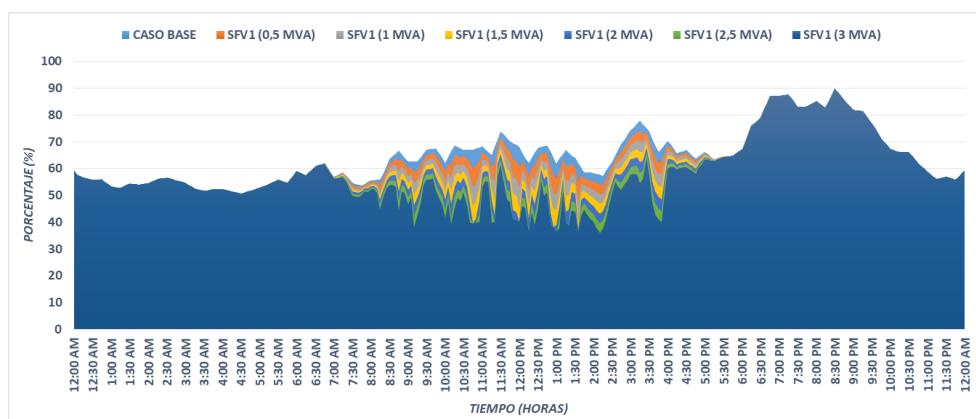


Рисунок 38 - Максимальная нагрузка на линии с фотоэлектрической системой (Сценарии 1-6)

Результаты показывают, что нагрузка уменьшается в течение часов фотоэлектрической генерации, как показано в таблице 4. Например, для шестого сценария, когда Фотоэлектрическая система имеет мощность 3 МВА, через 12 часов его максимальное значение уменьшается с 68,06% до 40,14%.

Таблица 4 - Загрузка линий с помощью ФС (3 MVA)

Час	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 AM	1:00 PM	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM
SIN SFV	55,68 %	62,57 %	62,17 %	68,36 %	68,06 %	61,88 %	58,39 %	74,49%	70,40%
CON SFV	52,30 %	46,67 %	41,65 %	53,22 %	40,14 %	36,56 %	39,96 %	57,82%	59,89%

Даже при больших проникновениях фотоэлектрических систем состояние нагрузки на линии не наблюдается из-за таких факторов, как нормализация трехфазного проводника в *trosal* и его топологическая архитектура, которая подготовлена к множественным передачам нагрузки. На рисунке 39 представлена загрузка строк в последних шести сценариях, т. е. с 20 по 26.

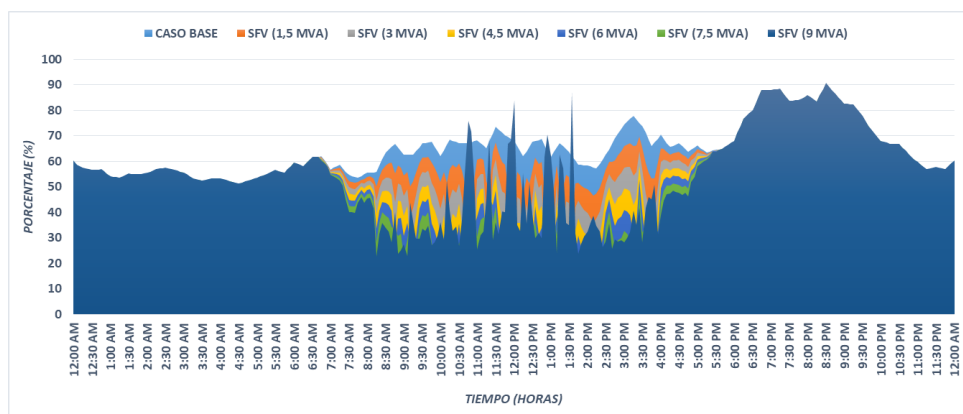


Рисунок 39 - Максимальная нагрузка на линии с ФС (Сценарии 20-26)

Заряд уменьшается в течение часов фотоэлектрической генерации, однако для сценария 26 он увеличивается в некоторые периоды времени по сравнению с базовым сценарием. В таблице 5 представлены значения линейной нагрузки за несколько часов, но только для сценария 26, состоящего из трех фотоэлектрических систем, каждая с мощностью 3 МВА.

Таблица 5 - График нагрузок для ФС1, ФС2 и ФС3 (всего 9 МВА)

Час	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 AM	1:00 PM	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM
SIN SFV	55,68 %	62,57 %	62,17 %	68,36 %	68,06 %	61,88%	58,39%	74,49%	70,40%
CON SFV	45,50 %	27,36 %	36,25 %	25,52 %	83,91 %	62,03%	32,47%	28,15%	38,83%

Технические потери энергии: В системе распределения энергии мы должны поддерживать потери мощности меньше или равны 11%. В этом случае результаты показывают, что распределительный питатель имеет значительные потери энергии для каждого сценария. Процент потерь был рассчитан в соответствии с уравнением 4.1, описанным выше в разделе 4.4.1.

Из результатов было получено, что сценарий 13 с фотоэлектрической системой 0,5 МВА, подключенной к Л-103, оказывается идеальным, поскольку технические потери энергии оказываются равными базовому сценарию.

Хотя потери в линиях уменьшаются, потери в трансформаторах увеличиваются, что приводит к увеличению общих потерь энергии. В таблице 6 представлены технические потери энергии для каждого сценария, а в приложении 7 представлены все детали отчета об энергии за исследуемый день.

Таблица 6 - Технические потери энергии во всех сценариях

Esc.	Л-101		Л-102		Л-103		Потери			
	ФС1	Сц-и	ФС2	Сц-и	ФС3	Сц-и	Линии МВт	Тр-р МВт	Всего МВт	Техника %
0	OFF	0	OFF	0	OFF	0	0,73	1,20	1,93	2,68
1	ON	1	OFF	0	OFF	0	0,71	1,24	1,95	2,70
2	ON	2	OFF	0	OFF	0	0,69	1,28	1,96	2,73
3	ON	3	OFF	0	OFF	0	0,67	1,31	1,98	2,75
4	ON	4	OFF	0	OFF	0	0,65	1,35	2,01	2,78
5	ON	5	OFF	0	OFF	0	0,64	1,39	2,03	2,82
6	ON	6	OFF	0	OFF	0	0,62	1,43	2,05	2,85
7	OFF	0	ON	1	OFF	0	0,70	1,24	1,94	2,68
8	OFF	0	ON	2	OFF	0	0,67	1,28	1,94	2,70
9	OFF	0	ON	3	OFF	0	0,65	1,31	1,96	2,72
10	OFF	0	ON	4	OFF	0	0,63	1,35	1,98	2,75
11	OFF	0	ON	5	OFF	0	0,61	1,39	2,00	2,78
12	OFF	0	ON	6	OFF	0	0,60	1,43	2,03	2,82
13	OFF	0	OFF	0	ON	1	0,70	1,24	1,93	2,68
14	OFF	0	OFF	0	ON	2	0,67	1,28	1,94	2,70
15	OFF	0	OFF	0	ON	3	0,65	1,31	1,96	2,72
16	OFF	0	OFF	0	ON	4	0,63	1,35	1,99	2,76
17	OFF	0	OFF	0	ON	5	0,63	1,39	2,02	2,80
18	OFF	0	OFF	0	ON	6	0,63	1,43	2,06	2,85
19	ON	3	ON	3	OFF	0	0,60	1,43	2,03	2,81
20	OFF	0	OFF	3	ON	3	0,60	1,43	2,03	2,82
21	ON	1	ON	1	ON	1	0,65	1,31	1,96	2,72
22	ON	2	ON	2	ON	2	0,59	1,43	2,03	2,81
23	ON	3	ON	3	ON	3	0,57	1,55	2,12	2,94
24	ON	4	ON	4	ON	4	0,58	1,66	2,24	3,11
25	ON	5	ON	5	ON	5	0,61	1,78	2,39	3,31
26	ON	6	ON	6	ON	6	0,67	1,89	2,56	3,55

Меры по смягчению последствий: Существуют ситуации, когда разумно разрешить фотоэлектрическим системам генерировать ограниченное количество реактивной энергии. Правила полезности предусматривают, что фотоэлектрические системы должны работать с коэффициентом мощности выше 0,85 (вперед или задержка), когда выход превышает 10% от мощности, но специально разработанные системы, обеспечивающие реактивную компенсацию

или поддержку напряжения, могут работать за пределами этого предела с должным одобрением от компании по распределению электроэнергии (IEEE Std 929, 2000).

В таблице 7 представлено увеличение напряжения в КПК, в первую очередь за счет того, что фотоэлектрическая система работает с удельным коэффициентом мощности, а затем с коэффициентом мощности, равным 0,95 с задержкой. Результаты по всем сценариям приводятся в Приложениях 5 и 6.

Таблица 7 - Повышение напряженности в КПК с мерами по смягчению

Esc.	Фотоэлектрические системы			Коэф-т мощности	Общая точка		
	SFV1	SFV2	SFV3		Л-101	Л-102	Л-103
2	ON	OFF	OFF	0,95 опер-е	0,0025 p.u.	-	-
				1 пост	0,0019 p.u.	-	-
				0,95 зад-ка	0,0014 p.u.	-	-
				0,95 опер-е	-	0,0079 p.u.	-
8	OFF	ON	OFF	1 пост	-	0,0057 p.u.	-
				0,95 зад-ка	-	0,0034 p.u.	-
14	OFF	OFF	ON	0,95 опер-е	-	-	0,0121 p.u.
				1 пост	-	-	0,0085 p.u.
				0,95 зад-ка	-	-	0,0048 p.u.
				0,95 опер-е	0,0074 p.u.	0,0181 p.u.	0,0222 p.u.
22	ON	ON	ON	1 пост	0,0058 p.u.	0,0131 p.u.	0,0160 p.u.
				0,95 зад-ка	0,0041 p.u.	0,0080 p.u.	0,0094 p.u.

На рисунке 40 представлен профиль напряжения на сцене 22 в 12-00, где существует максимальная генерация фотоэлектрических элементов, сравнивается базовый случай и использование SFV с коэффициентом мощности в опережении и задержке. Профиль напряжения в базовом случае имеет допустимые значения напряжения, поэтому в это время узлы, расположенные дальше от подстанции 07, имеют напряжение выше 0,973 п. у.

При вводе SFV с коэффициентом мощности 0,95 в опережение повышается напряжение, на узлах, расположенных дальше от подстанции, напряжение превышает 0,995 п. у. При вводе SFV с коэффициентом мощности 0,95 в опережение повышается напряжение выше 0,983 п. у.

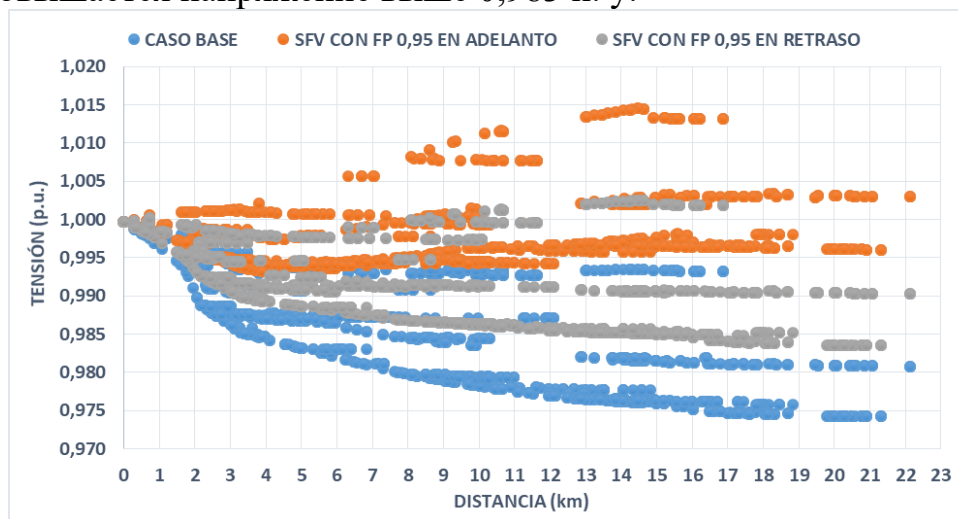


Рисунок 40 - Профили напряжения ФС в 12-00

Повышение напряжения SFV с удельным коэффициентом мощности будет ниже SFV с опережающим f_p и выше SFV с задерживающим f_p . Интеграция этих SFV показывают однородность в профилях натяжения распределительного устройства Л-107С.

В таблице 8 представлены технические потери энергии для первоначального тематического исследования и аналогично для тематического исследования с мерами по смягчению последствий. Результаты показывают, что разница в технических потерях не очень значительна, когда SFV работает с коэффициентом мощности в продвижении и единице. Теперь, если SFV генерируется с коэффициентом мощности с задержкой, потери увеличиваются по сравнению с двумя предыдущими случаями, являющимися последними сценариями более высокого проникновения распределенной энергетики, которые представляют более высокие технические потери. Подробная информация об энергетическом отчете с этими двумя мерами по смягчению последствий содержится в приложениях 8 и 9.

Таблица 8 - Технические потери (МВтч) с Мерами по смягчению последствий

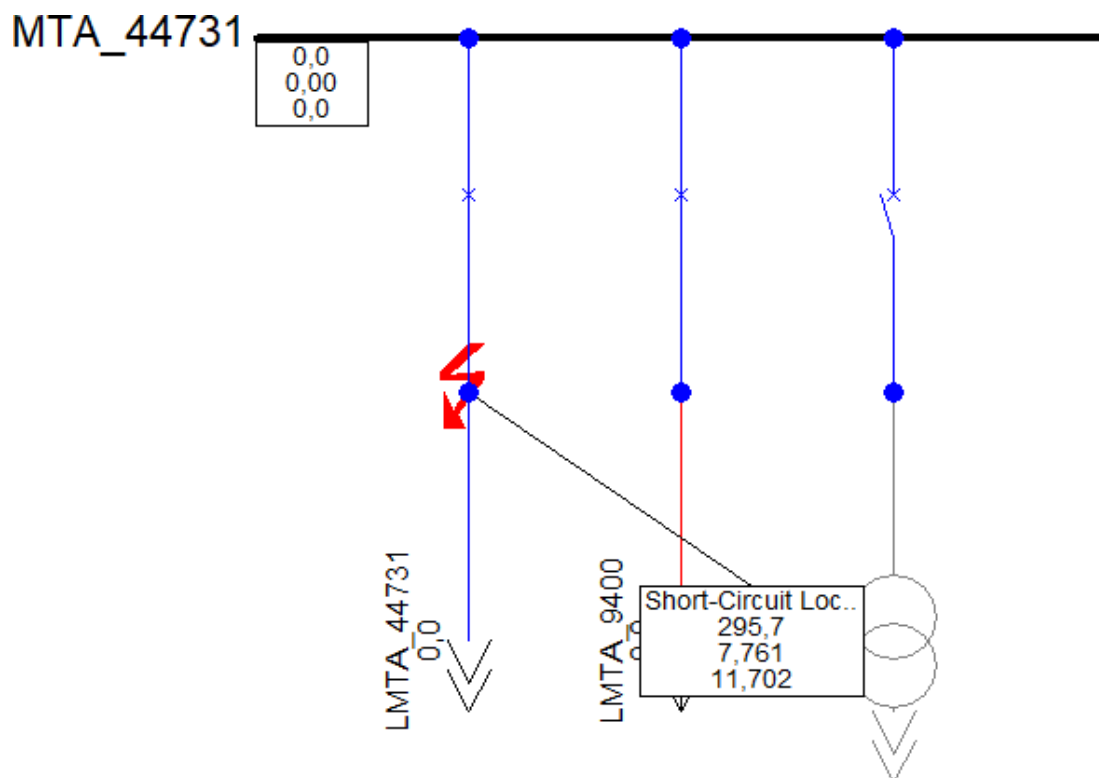
Esc.	Л-101		Л-102		Л-103		Технические потери (%)		
	SFV1	Cant.	SFV2	Cant.	SFV3	Cant.	FP=0,95	FP=1	FP=0,95
							Пов-е	Пост.	Задержка
0	OFF	0	OFF	0	OFF	0	2,68	2,68	2,68
1	ON	1	OFF	0	OFF	0	2,70	2,70	2,71
2	ON	2	OFF	0	OFF	0	2,73	2,73	2,74
3	ON	3	OFF	0	OFF	0	2,75	2,76	2,77
4	ON	4	OFF	0	OFF	0	2,78	2,79	2,81
5	ON	5	OFF	0	OFF	0	2,82	2,82	2,85
6	ON	6	OFF	0	OFF	0	2,85	2,86	2,89
7	OFF	0	ON	1	OFF	0	2,68	2,69	2,69
8	OFF	0	ON	2	OFF	0	2,70	2,70	2,72
9	OFF	0	ON	3	OFF	0	2,72	2,72	2,75
10	OFF	0	ON	4	OFF	0	2,75	2,75	2,79
11	OFF	0	ON	5	OFF	0	2,78	2,79	2,83
12	OFF	0	ON	6	OFF	0	2,82	2,83	2,88
13	OFF	0	OFF	0	ON	1	2,68	2,68	2,69
14	OFF	0	OFF	0	ON	2	2,70	2,70	2,72
15	OFF	0	OFF	0	ON	3	2,72	2,73	2,75
16	OFF	0	OFF	0	ON	4	2,76	2,76	2,80
17	OFF	0	OFF	0	ON	5	2,80	2,81	2,86
18	OFF	0	OFF	0	ON	6	2,85	2,86	2,93
19	ON	3	ON	3	OFF	0	2,81	2,82	2,86
20	OFF	0	OFF	3	ON	3	2,82	2,83	2,89
21	ON	1	ON	1	ON	1	2,72	2,73	2,75
22	ON	2	ON	2	ON	2	2,81	2,82	2,87
23	ON	3	ON	3	ON	3	2,94	2,95	3,03
24	ON	4	ON	4	ON	4	3,11	3,12	3,24
25	ON	5	ON	5	ON	5	3,31	3,32	3,49
26	ON	6	ON	6	ON	6	3,55	3,57	3,79

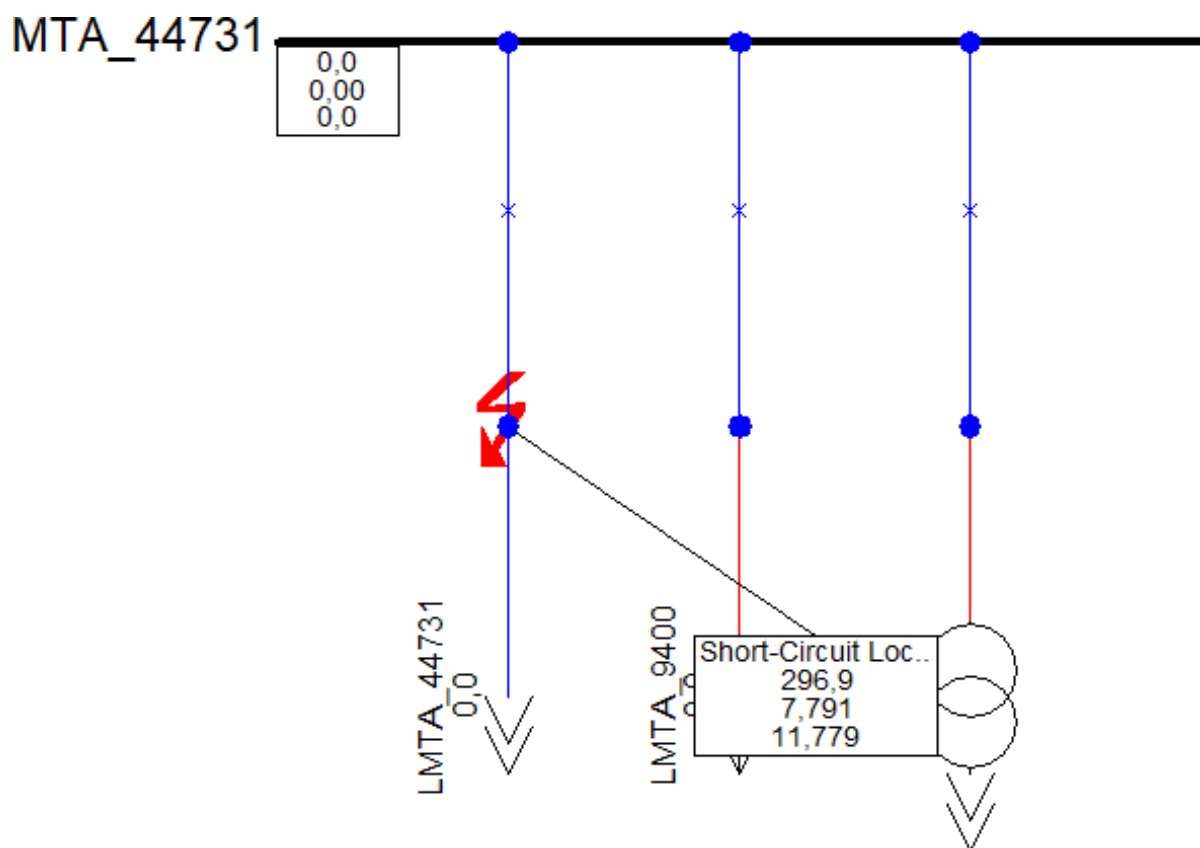
3.3.3 Анализ короткого замыкания

Вклад фотогальванического генератора в максимальные токи короткого замыкания определяется путем анализа двух типов отказа: трехфазный (3F) и однофазный на землю (1FT). Столбцы для оценки токов короткого замыкания соответствуют точкам общей связи. Для этого анализа используется метод IEC 60909.

Анализ короткого замыкания разработан для сценариев с 0 по 18, чтобы узнать, где присутствует наибольший вклад тока короткого замыкания (I_{sc}). Для базового сценария желаемая неисправность развивается в линии среднего напряжения, которая соединяется с общей точкой, при этом фотогальваническая система не работает. В следующих сценариях SFV подключаются в соответствии с ранее установленными сценариями и выполняется требуемый отказ.

На рисунок 41 показана явная трехфазная неисправность в линии среднего напряжения (Л-101) с/без Фотоэлектрическая система. На рисунке слева представлен базовый сценарий, то есть трансформатор межсоединения и Фотоэлектрическая система 1 выведены из эксплуатации, в таблице мест КЗ указана мощность КЗ ($S_{Kss}=295,7$ МВА), во-вторых, мощность КЗ ток ($I_{Kss}=7,761$ кА) и, наконец, пиковый ток ($i_p=11,702$ кА). В то время как график справа представляет сценарий 1, соответствующий входу ФС1 в 0,5 МВА.





**Рисунок 41 - Откровенная трехфазная неисправность в Л-101 без / с
ФС1 0,5 МВА**

В таблице 9 представлены результаты тока короткого замыкания (кА) при Трехфазном замыкании (ЗКЗ), а в таблице 18 представлены результаты Однофазного замыкания на Землю (1КЗ). Следует отметить, что вход фотоэлектрических систем является индивидуальным, было решено представить результаты, выполнив ошибки в линиях с наибольшей нагрузкой вблизи РСС, поскольку это место, где существует наибольший вклад тока короткого замыкания. В двух таблицах видно, что самые высокие токи-это те, которые ближе всего к подстанции 28, и вход этих фотоэлектрических систем увеличивает ток короткого замыкания.

Таблица 9 - Ток КЗ в случае трехфазного КЗ

Esc.	Фотоэлектрическая система						Л-101	Л-102	Л-103
	Услов.	Сц.	Услов	Сц.	Услов.	Сц.	Ikз (кА)	Ikз (кА)	Ikз (кА)
0	OFF	0	OFF	0	OFF	0	7,761	2,403	1,554
1	ON	1	OFF	0	OFF	0	7,791	-	-
2	ON	2	OFF	0	OFF	0	7,821	-	-
3	ON	3	OFF	0	OFF	0	7,851	-	-
4	ON	4	OFF	0	OFF	0	7,882	-	-
5	ON	5	OFF	0	OFF	0	7,912	-	-
6	ON	6	OFF	0	OFF	0	7,942	-	-
7	OFF	0	ON	1	OFF	0	-	2,435	-
8	OFF	0	ON	2	OFF	0	-	2,467	-
9	OFF	0	ON	3	OFF	0	-	2,499	-
10	OFF	0	ON	4	OFF	0	-	2,532	-
11	OFF	0	ON	5	OFF	0	-	2,564	-
12	OFF	0	ON	6	OFF	0	-	2,597	-
13	OFF	0	OFF	0	ON	1	-	-	1,586
14	OFF	0	OFF	0	ON	2	-	-	1,619
15	OFF	0	OFF	0	ON	3	-	-	1,651
16	OFF	0	OFF	0	ON	4	-	-	1,685
17	OFF	0	OFF	0	ON	5	-	-	1,718
18	OFF	0	OFF	0	ON	6	-	-	1,751

Увеличение тока короткого замыкания показано в Таблице 11, в которой подробно описаны вклады фотогальванических систем в ток короткого замыкания фидера. Стандарт IEEE 1547 устанавливает в качестве предварительного критерия проверки, что вклад распределенной энергетики в общей точке не должен превышать 10% от Ikз. По этой причине ввод фотогальванической системы мощностью 2,5 МВА и 3 МВА в третьем ПЗК превышает предел вышеупомянутого стандарта на 10,55% и 12,68% соответственно.

Таблица 10 - Ток короткого замыкания в случае однофазного замыкания на землю

Esc.	Фотоэлектрическая система						Л-101	Л-102	Л-103
	Услов.	Сц.	Услов.	Сц.	Услов.	Сц.	Ikз (кА)	Ikз (кА)	Ikз (кА)
0	OFF	0	OFF	0	OFF	0	5,239	1,607	1,036
1	ON	1	OFF	0	OFF	0	5,243	-	-
2	ON	2	OFF	0	OFF	0	5,248	-	-
3	ON	3	OFF	0	OFF	0	5,252	-	-
4	ON	4	OFF	0	OFF	0	5,257	-	-
5	ON	5	OFF	0	OFF	0	5,261	-	-
6	ON	6	OFF	0	OFF	0	5,266	-	-
7	OFF	0	ON	1	OFF	0	-	1,611	-
8	OFF	0	ON	2	OFF	0	-	1,616	-
9	OFF	0	ON	3	OFF	0	-	1,620	-
10	OFF	0	ON	4	OFF	0	-	1,625	-
11	OFF	0	ON	5	OFF	0	-	1,629	-
12	OFF	0	ON	6	OFF	0	-	1,634	-
13	OFF	0	OFF	0	ON	1	-	-	1,041
14	OFF	0	OFF	0	ON	2	-	-	1,046
15	OFF	0	OFF	0	ON	3	-	-	1,050
16	OFF	0	OFF	0	ON	4	-	-	1,054
17	OFF	0	OFF	0	ON	5	-	-	1,059
18	OFF	0	OFF	0	ON	6	-	-	1,063

Таблица 11 - Вклад фотоэлектрического генератора в Iкз

Esc.	Однофазное короткое замыкание (1КЗ)						Трёхфазное короткое замыкание (3КЗ)					
	Л-101		Л-102		Л-103		Л-101		Л-102		Л-103	
	Iкз (кА)	Iкз (%)	Iкз (кА)	Iкз (%)	Iкз (кА)	Iкз (%)	Iкз (кА)	Iкз (%)	Iкз (кА)	Iкз (%)	Iкз (кА)	Iкз (%)
0	5,239	-	1,607	-	1,036	-	7,761	-	2,403	-	1,554	-
1	5,243	0,05	-	-	-	-	7,791	0,39	-	-	-	-
2	5,248	0,12	-	-	-	-	7,821	0,77	-	-	-	-
3	5,252	0,17	-	-	-	-	7,851	1,16	-	-	-	-
4	5,257	0,23	-	-	-	-	7,882	1,56	-	-	-	-
5	5,261	0,28	-	-	-	-	7,912	1,95	-	-	-	-
6	5,266	0,35	-	-	-	-	7,942	2,33	-	-	-	-
7	-	-	1,611	0,17	-	-	-	-	2,435	1,33	-	-
8	-	-	1,616	0,37	-	-	-	-	2,467	2,66	-	-
9	-	-	1,620	0,54	-	-	-	-	2,499	4,00	-	-
10	-	-	1,625	0,75	-	-	-	-	2,532	5,37	-	-
11	-	-	1,629	0,92	-	-	-	-	2,564	6,70	-	-
12	-	-	1,634	1,12	-	-	-	-	2,597	8,07	-	-
13	-	-	-	-	1,041	0,32	-	-	-	-	1,586	2,06
14	-	-	-	-	1,046	0,64	-	-	-	-	1,619	4,18
15	-	-	-	-	1,050	0,90	-	-	-	-	1,651	6,24
16	-	-	-	-	1,054	1,16	-	-	-	-	1,685	8,43
17	-	-	-	-	1,059	1,48	-	-	-	-	1,718	10,55
18	-	-	-	-	1,063	1,74	-	-	-	-	1,751	12,68

3.3.4 Координация защиты

Чтобы оценить текущую философию координации защиты от перегрузки по току в фидере Л-107С, рассматриваются фотоэлектрические генераторы по 3 МВА каждый, моделируются различные типы сбоев в стратегических точках на основе текущих настроек в реле, повторных включениях и предохранителях.

Вклад в токи отказа генератора, а также ток, циркулирующий в обратном направлении от генератора к неисправности, анализируются таким образом, чтобы наблюдать время для устранения неисправности, в кривых текущего времени, и, таким образом, определить, будет ли неправильная работа какого-либо оборудования или потеря чувствительности.

Тематическое исследование имеет следующее защитное оборудование:

- 1) Relé Реле на заголовке с защитой 50/51 фазы и заземления.

2) Recon Повторное подключение (ABB-OVR) в секторе Ла – Долороза-Рикаурте, без включения автоматического повторного подключения (только медленная кривая).

3) Fusible Предохранитель Типа К

На линии LMTA_15877 выполняется откровенная трехфазная неисправность, эта неисправность расположена между SFV2 и SFV3, ток неисправности без входа SFV составляет 1874,22 А. На рисунке 42 представлено местоположение неисправности, а также местоположение реконцептора и фотоэлектрических систем.

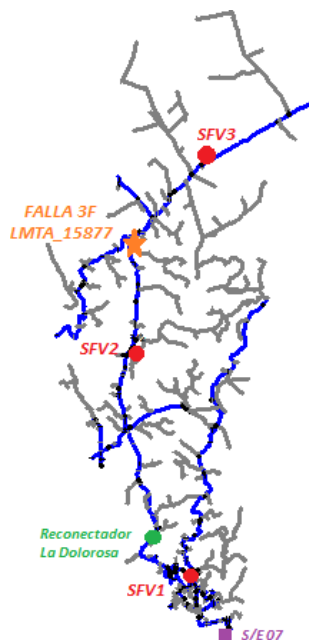


Рисунок 42 - Откровенная трехфазная неисправность в LMTA_15877, расположенная в фидере Л-107С

Кривые и значения отказов показаны на рисунке 43 с тремя подключенными ФС, обеспечивающими мощность 3 МВА каждый. Отмечается, что ток неисправности составляет 1808,41 А; то есть ток неисправности уменьшается на 3,51% (вертикальная линия зеленого цвета) повторный включатель очистит неисправность в течение 0,101 секунды (отсечение с медленной кривой красного цвета), в свою очередь, резервное реле в заголовке у вас есть время 0,141 секунды (вырезать с зеленой кривой). Ток, обеспечиваемый фотоэлектрическими генераторами и проходящий через F5, составляет 222,85 А (горчично-желтая вертикальная линия), время на кривой плавкого предохранителя (минимальное плавление и максимальное клиренс, в фиолетовом цвете и заливке) составляет 0,036 и 0,065 секунды соответственно. Повторное включение очистит неисправность, но предохранитель F5 сгорит, причем последний является нежелательным событием.

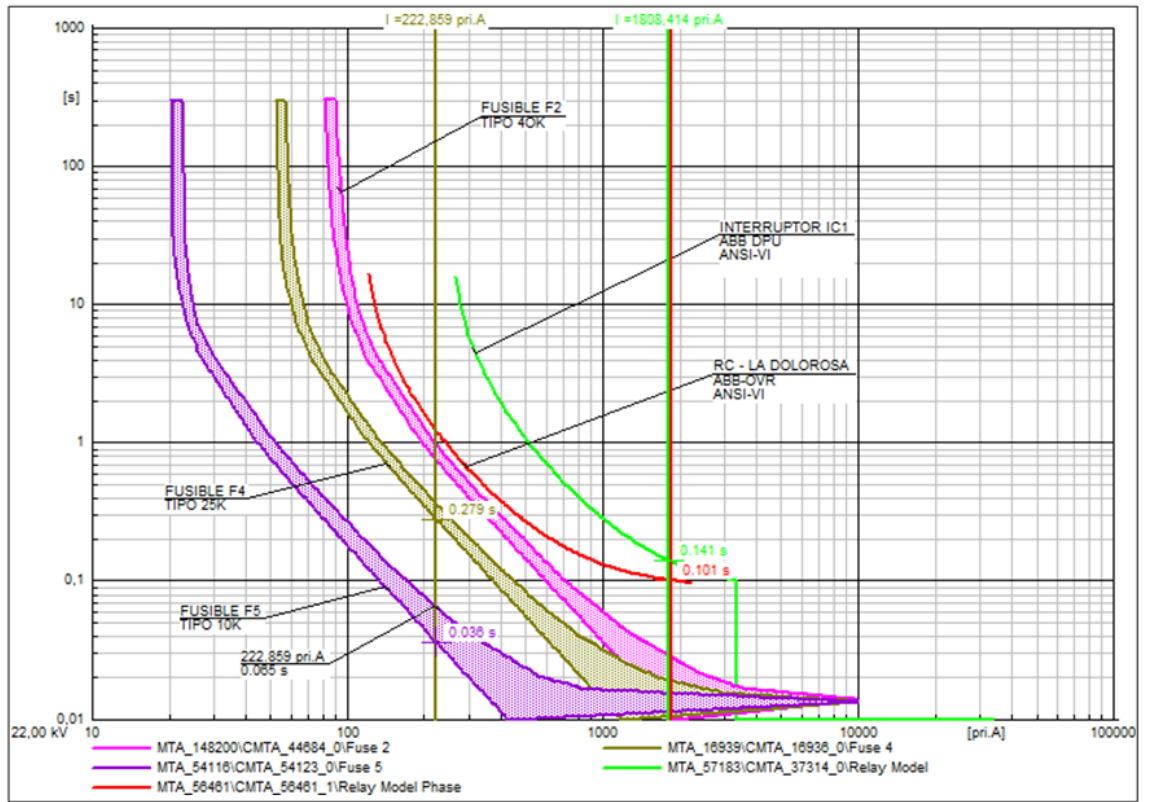


Рисунок 43 - Кривая Времени и тока Защиты от перегрузки по току Л-107С

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет нам подчеркнуть, что наибольшее изменение напряжения происходит в общей точке, а умеренное включение фотоэлектрических систем в распределительный фидер способствует более однородным уровням напряжения, при этом самые дальние узлы представляют собой те, которые обеспечивают наибольшее улучшение напряжения. Кроме того, наиболее значительный рост напряжения происходит на наиболее удаленном от подстанции ОПТ.

Высокий уровень проникновения фотогальванических систем приводит к нарушениям напряжения в плановых пределах электrorаспределительной компании и стандартов присоединения, зная, что допустимое отклонение от эталона составляет +/- 5%. Этот предел был превышен, когда были одновременно интегрированы три фотоэлектрические системы, каждая мощностью 3 МВА.

Интеграция фотогальванической системы с ведущим коэффициентом мощности 0,95 показала значительное увеличение профилей напряжения в период дневной генерации. Если в часы максимальной выработки оно превышает пределы напряжения, то целесообразно заставить фотоэлектрическую систему работать с коэффициентом мощности, равным единице, или с запаздыванием, что также показало увеличение профиля напряжения по сравнению с базовым случаем и значительно меньше чем при использовании ведущего коэффициента мощности.

Максимально загруженные линии в базовом сценарии работают в штатных условиях, то есть не перегружены. При интеграции фотоэлектрических систем в распределительный фидер в часы выработки снижается максимальная нагрузка линий, даже при больших проникновениях фотоэлектрических систем не соблюдается условие из-за таких факторов, как нормализация трехфазного проводника в магистрали и ее топологической архитектуре, подготовленной для многократной передачи нагрузки.

Подключение фотогальванической системы мощностью 0,5 МВА в ПКК (Л-103), расположенной в 15,58 км от подстанции 28, не оказывает существенного влияния на технические потери электроэнергии, то есть имеет потери 2,68% То же, что и базовый сценарий. Поэтому ввод 11,57% ДГ по отношению к максимальной потребности фидера не влияет на технические потери.

Разброс технических потерь практически нулевой, когда фотогальваническая система работает с коэффициентом мощности 0,95 заранее и единицей. Хотя это изменение потерь увеличивается, когда фотогальваническая система работает с отстающим коэффициентом мощности 0,95, даже при высоких уровнях проникновения потери значительны.

Ток короткого замыкания показывает наибольшее изменение общей точки, при этом наиболее удаленный от трансформаторной подстанции, вносит

наибольший вклад тока короткого замыкания. Таким образом, при входе фотоэлектрической станции мощностью 2 МВА до открытого трехфазного замыкания в LMTA_15877 реклоузер срабатывает до полного срабатывания предохранителя F5, а для входов фотогальванической системы с большей мощностью этот предохранитель сгорает до того, как реклоузер сработает как отмечено в разделе 3.3.3.

Интеграция этого типа генерации снижает ток короткого замыкания, в разделе 3.3.3 ток короткого замыкания уменьшается на 3,51%. Несмотря на то, что применение плавких предохранителей в традиционных радиальных распределительных сетях осуществляется с использованием хорошо известных и проверенных правил, потребуется новая координация защит от перегрузки по току и необходимо рассмотреть двунаправленные защитные устройства.

Будущая работа, дополняющая это исследование, заключается в анализе поведения в динамическом состоянии, которое может произойти при отключении и подключении, где временные перенапряжения будут анализироваться с помощью моделирования электромагнитных переходных процессов (ЭМП). Оцените правильность работы защиты от изолирования, которая ухудшает безопасность, качество электроэнергии (гармоники, мерцание) и целостность системы.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 19431-84 – Энергетика и электрификация. Термины и определения

ГОСТ Р 51379-99 Энергосбережение. Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы

ГОСТ Р 51380-99 Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным показателям

ГОСТ Р 51387-99 Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения

Закон «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности». Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

РУ	распределительное устройство
РМ	реактивная мощность
РЗ	релейная защита
РП	распределительный пункт
РЩ	распределительный щит
РТП	распределительная трансформаторная подстанция
РПН	регулирование напряжения под нагрузкой
РЗА	релейная защита и автоматика
СН	среднее напряжение
СД	синхронный двигатель
СК	синхронный компенсатор
СЗ	средства защиты
САР	система автоматического регулирования
СЭТ	счетчик электронный тарифный
САПР	система автоматизированного проектирования
СНиП	строительные нормы и правила
ТП	трансформаторная подстанция
ТТ	трансформатор тока
ТМ	серия масляных трансформаторов
ТН	трансформатор напряжения
ТНС(ТN-S)	Т - заземлённая нейтраль, N - открытые проводящие части присоединены к глухозаземлённой нейтрали источника питания, S - нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены
ТПП	технологическая подготовка производства
ТЭП	технико-экономическое планирование
ХХ	холостой ход
ША	шкаф автоматики
ФС	Фотоэлектрическая система

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Григорьев Л., Крюков В. Мировая энергетика на перекрестке дорог: какой путь выбрать России? // Вопросы экономики. – 2009. – № 12. – С. 22-26.
- 2 Скайнер Л. Стратегия энергетической безопасности США // Экономика управления в зарубежных странах. – № 1. – 2014. – С. 10-6.
- 3 Байков Н., Безмельницова Г., Гринкевич Р. Перспективы развития мировой энергетики до 2030 г. // Мировая экономика и международные отношения. – 2007. – № 5. – С. 19-25.
- 4 Официальный сайт ТОО «Газета «Деловая Неделя» [Электрон. ресурс]. – 2011. – № 47. – 27 Декабря. – URL: <http://www.dn.kz> (дата обращения: 12.2015)
- 5 Перродон А. История крупных открытий нефти и газа. / Пер. с фр. Бурцева М. И. и др.; под ред. Былевского Г. А. – М.: Мир, 1994. – 254 с.
- 6 Велихов Е. П., Гагаринский С. А., Субботин М., Цибульский В. Ф. Энергетика в экономике // Энергетик. – № 3. – С. 2.
- 7 Фаминский И. П. Роль энергетики в мировой экономике и изменения в топливно-энергетическом балансе. Мировое хозяйство: динамика, структура, производство, мировые товарные рынки: учебное пособие. – М.: Магистр, 2010. – С. 530-535.
- 8 Гривач А. Энергоаппетиты (Китай удаляется от США) // Московские новости. – 15 Июня.
- 9 Кондратьев В. Минерально сырьевые ресурсы как фактор глобальной конкурентоспособности «Ресурсное проклятие» возможность или неизбежность? // Мировая экономика и международные отношения. – 2010. – № 6. – С. 20-30.
- 10 Круглова С. Е. Факторы, препятствующие росту инвестиций в энергетический комплекс России // Москва. – 2012. – № 4 (12). – С.
- 11 Андрианов В. Мировая энергетика и энергетика России // Экономист. – № 2. – С. 33-35.
- 12 Волкова Е. Д., Захаров А. А., Подковальников С. В., Савельев В. А., Чудинова Л. Ю. Электроэнергетическая кооперация на постсоветском пространстве // Евразийская экономическая интеграция. – 2011. – № 3 (12). – С. 27-29.
- 13 Дьяков А. Ф., Перминов Э. М. Эффективное использование местных и возобновляемых ресурсов – важная задача улучшения энергоснабжения, повышения энергобезопасности страны и надежный задел энергетики будущего // Энергетик. – 2014. – № 2. – С.
- 14 Черкасенко А. Чего боится МАГАТЭ (выдержка из проекта доклада Международного агентства по атомной энергии о состоянии (МАГАТЭ) безопасности // Путеводитель российского бизнеса. – 2012. – № 6.
- 15 Mikel González-Eguino Energy poverty: An overview // Renewable and Sustainable Energy – 2015. – № 47. – pp. 377-385. DOI:10.1016/J.RSER.2015.03.013

16 Piotr Michalak, Jacek Zimny Wind energy development in the world, Europe and Poland from 1995 to 2009; current status and future perspectives // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – – № 15 (5). – pp. 2330-2341. DOI:10.1016/J.RSER.2011.02.008

17 Rodprasert , Chandarasupsang T., Chakpitak N., Yupapin P. P. Green Energy Community with Smart Society for Sustainable Living // Energy Procedia. 11th Eco-Energy and Materials Science and Engineering (11th EMSES). – 2014. – № 56. – pp. 678-689. doi:10.1016/j.egypro.2014.07.208

18 Tasbirul Islam , Shahir S. A., Iftakhar Uddin T. M., Saifullah A. Z. A. Current energy scenario and future prospect of renewable energy in Bangladesh // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. –№ 39. – pp. 1074-1088. DOI:10.1016/j.rser.2014.07.149

19 Kaygusuz Energy for sustainable development: A case of developing countries // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – № 16 (2). – pp. 1116-1126. DOI:10.1016/J.RSER.2011.11.013

20 (2010), Rol' energetiki v mirovoi ekonomike i izmeneniya v toplivno-energeticheskom balanse. Mirovoe khozyaistvo: dinamika, struktura, proizvodstvo, mirovye tovarnye rynki, Magistr, Moscow. (In Russian)

21 (2012), "Energoappetity (Kitai udalyaetsya ot SShA)", Moskovskie novosti, June 15. (In Russian)

22 E. (2012), "Faktory, prepyatstvuyushchie rostu investitsii v energeticheskii kompleks Rossii", Moskva, Vol. 4 No. 12, pp. 41. (In Russian)

23 (2001), "Mirovaya energetika i energetika Rossii", Ekonomist, Vol. 2, pp. 33-35. (In Russian)

24 D., Zakharov A.A., Podkoval'nikov S.V., Savel'ev V.A., Chudinova L.Yu. (2011), "Elektroenergeticheskaya kooperatsiya na postsovetskom prostranstve", Evraziiskaya ekonomicheskaya integratsiya, Vol. 3 No. 12, pp. 27-29. (In Russian)

25 F., Perminov E.M. (2014), "Effektnoe ispol'zovanie mestnykh i vozobnovlyaemykh resursov – vazhnaya zadacha uluchsheniya energosnabzheniya, povysheniya energobezопасности strany i nadezhnyi zadel energetiki budushchego", Energetik, Vol. 2, pp. 2. (In Russian)

26 А.А. Жуматова, А.М.Слямгалиев, А.М. Камал Satbayev University, Казахстан, г. Алматы E-mail: azamat231095@gmail.com влияние солнечных электростанций на распределительную систему

труды сатпаевских чтений "сатпаевские чтения - 2021" том ii— 2021. —№2— с.818.

Приложение А

А.А. Жуматова, А.М.Слямгалиев, А.М. Камал Satbayev University, Казахстан, г. Алматы E-mail: azamat231095@gmail.com. Влияние солнечных электростанций на распределительную систему

Труды сатпаевских чтений "сатпаевские чтения - 2021" Том II— 2021. — №2—С.818.

УДК.623 (075)

А.А. Жуматова, А.М.Слямгалиев, А.М. Камал
Satbayev University, Казахстан, г. Алматы
E-mail: azamat231095@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ

Аннотация. В настоящее время возобновляемые источники энергии (ВИЭ) стали значительно благоприятным аспектом в области энергетических систем во всем мире, и многие страны разрабатывают политику и правила для этого. В течение последних десятилетий среди различных ВИЭ солнечные фотоэлектрические генераторные установки достигли впечатляющего подъема. Можно наблюдать от маленьких установок и заканчивая крупномасштабными коммерческими проектами, подключенными к сетям с различными энергетическими мощностями. Согласно отчету о глобальном состоянии возобновляемых источников энергии, к концу 2020 года во всем мире было введено в эксплуатацию около 505 ГВт. Прогнозируется, что энергетические системы будут испытывать изменения в своих установившихся, а также динамических характеристиках из-за быстрого роста возобновляемой энергии, направленных на отказ от традиционных электростанций. В этой статье будут обсуждаться влияние солнечных электростанций на распределительную систему. Будет обсуждаться некоторые проблемы, влияющие на систему распределения, с акцентом на сценарии нагрузки и напряжения. Различные режимы работы инверторы будут обсуждены, с акцентом на то, как они могут помочь или мешают работе системы, режимы работы и их влияние на регулирование напряжения будут представлены.

Ключевые слова: солнечная электростанция, казахстанская энергосистема, подключение к сети, регулирование напряжения.

Включение в энергосистему солнечных электростанций создает сопутствующие проблемы в устойчивости передающих сетей как при нормальных режимах работы, так и при возникновении нерегулярных возмущений. В нерегулярные аварии входит: шина или линия передачи, подвергающаяся воздействию трехфазного замыкания на землю, фазного замыкания на фазу, однофазного замыкания на землю и так далее. Эти нерегулярные условия также могут привести к отключению линии электропередачи, нарушению работы более крупных традиционных типов генерирующих станций и значительной смене нагрузки. Следовательно, для поддержания стабильности передающей сети и поддержания надежности электроснабжения в течение дня и ночи необходимо заранее определить и проанализировать прогнозируемые эксплуатационные сценарии. Стабильность и надежность в значительной степени коррелируют с определенными техническими требованиями, связанными с активным регулированием мощности, реактивной мощностью, регулированием напряжения, требованиями к коэффициенту мощности, требованиями к частоте, отказоустойчивостью и концепциями защиты. Для стабильной и надежной работы энергосистемы источники солнечной энергии не должны отключаться от сети в момент временного падения напряжения из-за неисправности на линии электропередачи или переключения нагрузки. Если большинство фотоэлектрических систем отключены от сети при таких условиях, это приводит к выходу из строя крупномасштабного энергоснабжения и, следовательно, нестабильной энергосистемы [1].

Исследования показали, что стабильность может быть значительно нарушена при большом проникновении фотоэлектрической мощности с учетом общей номинальной мощности, анализа неисправностей, переходной стабильности и падения напряжения. Это приводит к возможности пропуска неисправностей, что является необходимым

Продолжение приложения А

требованием для источника солнечной энергии для обеспечения стабильности энергосистемы [2]. Фотозлектрическая установка мощностью 30 МВт в энергосистеме Восточного Казахстана была исследована с помощью анализа. Результаты сосредоточены на том, чтобы проиллюстрировать, какие преимущества, предоставляемые погодой Жангизтобе, могут быть использованы фотозлектрическими системами для удовлетворения пикового спроса.

Крупные фотозлектрические электростанции должны оставаться подключенными к электросети во время больших возмущений сетевого напряжения, поскольку отключение этой большой фотозлектрической мощности может еще больше ухудшить восстановление напряжения во время возмущения и после восстановления неисправности [3].

Облачный покров или уровни затенения являются основными причинами солнечного пандуса и производят самые быстрые колебания выходной мощности скорости пандуса. Как и следовало ожидать, оценить эту динамику может быть невероятно сложно, поскольку погодные условия постоянно меняются. Кроме того, необходимо знать, сколько существует типов облачных паттернов, площадь затенения, высоту облаков и скорость инсоляции оптического пропускания, а также скорость, с которой движутся облака [5].

Скорость нарастания должна быть предсказана или рассчитана для повышения точности формирования профилей. Чтобы вычислить эту скорость изменения, направление движения облака должно быть известно в дополнение к длине фотозлектрической матрицы параллельно направлению облака. Деление скорости перемещения облака на линейное расстояние фотозлектрической матрицы приведет к скорости изменения. Исследования показали, что шквальные линии и кучевые облака создают наихудшие проблемы для фотозлектрической генерации. Тип линии шквала, описываемый как сплошная линия темных облаков, приводит к почти полной потере фотозлектрической генерации. И наоборот, кучевые типы, которые быстрее движутся и более хорошо определенные, с ясным небом между ними, что приводит к меньшей площади затенения земли, производят меньший процент потери массивов, но с гораздо более случайной скоростью изменения. Это может быть наихудшим случаем, так как устройства регулирования напряжения могут не успеть сработать. Прерывистость, вызванная этими кучевыми облаками, гораздо менее предсказуема, чем шквальные линейные облака. Существует множество источников информации и программ, которые позволяют прогнозировать покрытие облаками определенной территории. [6].

Многие государственные учреждения регистрируют уровень инсоляции вплоть до 1 часа. Эти данные были записаны с помощью одиночных коллекторов или массивов, поэтому прерывистость для одной точки может быть получена, но необходим второй шаг, чтобы применить эти скорости изменения к более крупным фотозлектрическим установкам [7].

Определение разумных ставок рамп для включения в оценке фотовольтаики не является тривиальной. Например, структура облаков, скорость ветра, угол фотозлемента, азимутальное отслеживание, площадь растительной земли, общая площадь поверхности фотозлектрических массивов и затенение между массивами должны быть рассмотрены. Однако, это может быть затруднительно, учитывая, что эти данные обычно являются собственностью владельца станции [8].

Фотозлектрические элементы полностью полагаются на ясное небо без дымки, дождя или влажности, чтобы генерировать свою номинальную мощность. Это, наряду с понижающими факторами, присущими объектам фотозлектрических установок, приведет к снижению мощности заводской таблички фотозлектрических установок. Такие элементы, как КПД инвертора, потери в проводке переменного и постоянного тока, накопление снега или льда и потери трансформатора, должны быть применены для получения понижающего коэффициента.

Оценка интеграции солнечных фотозлектрических установок становится все более сложной задачей, поскольку крупные фотозлектрические установки с мощностью, превышающей местный уровень нагрузки, становятся довольно распространенными.

Продолжение приложения А

Области, оцениваемые в исследовании воздействия, гораздо более обширны и сложны, чем в случае обычных индукционных или синхронных генераторов, из-за возможностей различных режимов работы фотоэлектрических инверторов, и каждый режим может существенно по-разному влиять на распределительную систему. Поэтому каждая из этих возможностей может нуждаться в отдельном рассмотрении для определения последствий напряжения системы. Каждый режим может вызывать различные потоки энергии и как положительно, так и отрицательно влиять на систему с компромиссами между улучшением напряжения и увеличением потерь [9].

Распределенные возобновляемые источники энергии, такие как фотоэлектрические установки, значительно изменили ландшафт от традиционного метода планирования или эксплуатации системы односторонних потоков энергии. По мере снижения производственных затрат и ужесточения стандартов возобновляемого портфеля размер этих дополнительных установок будет только увеличиваться, превосходя локальную нагрузку системы. Это усложнит процесс анализа воздействия на систему, еще больше упростив более надежные программы потока мощности, способные работать с временными рядами дают бесценное представление о возможных проблемах эксплуатации или безопасности, которые могут возникнуть при интеграции возобновляемой генерации в распределительной системе.

Определение кривых потенциальной выработки электроэнергии от фотоэлектрических установок в разное время суток и в разные сезоны года не является тривиальной задачей, поскольку они зависят от многих факторов, таких как солнечное излучение, температура окружающей среды, расположение солнца, наклон и азимут решеток, расположение фотоэлектрических установок и размер площадки. Также необходимо учитывать номинальные характеристики, конструкцию и режимы работы инверторов, поскольку они могут сильно варьироваться. Соединение этого с локальным профилем нагрузки для разработки широкого спектра уровней нагрузки сетевых цепей с генерацией и без генерации необходимо с последующим исследованием для определения любых проблем с отрицательными взаимодействиями между устройствами регулирования напряжения, что, в свою очередь, поможет в разработке новых настроек управления для адаптации солнечных станций.

Литература:

1. [Электронный ресурс] <http://www.bestreferat.ru/> (дата обращения: 01.03.2016.)
2. Перспективы возобновляемой энергетики, Дизендорф А.В., Усков А.Е., Научный журнал КубГАУ, №114(10), 2015 г.
3. [Электронный ресурс] <http://decentral.web-box.ru/> (дата обращения: 02.03.2016.)
4. [Электронный ресурс] <http://minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 02.03.2016.)
5. Солнечная энергия – энергия будущего, Павлов Н., Электроника: наука, технология бизнес, №1(123), 2013г.
6. Перспективы развития возобновляемой энергетики, Стребков Д.С., журнал: Труды международной научно-технической конференции энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве, 2012 г.
7. Стандарт IEEE для соединения распределенных ресурсов с электроэнергетическими системами, стандарт IEEE 1547TM-2008.
8. Руководство по применению для Межсоединений распределенной генерации, Руководство NRECA по стандарту IEEE 1547, сентябрь 2011 г.
9. Керстинг, Моделирование и анализ распределительных систем, 2-е изд. Бока Ратон, Флорида: CRC Press, 2007.
10. Ю.-Х. Ван и Б. К. Парсонс, Факторы, имеющие отношение к интеграции коммунальных предприятий прерывистых возобновляемых источников энергии. Голден, Колорадо: Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии, август 1993 г.
11. Т. Ортмайер, Р. Дуган, д. Crudele, Т. Кей и Р. Barker, «Полезные модели, инструменты анализа и моделирования», отдел. Энергетические возобновляемые системы

Продолжение приложения А

Interconnection series, Альбукерке, Нью-Мексико, Sandia Contract 715908, Final Rep., Февраль 2008 г.

Жуматова А.А., Слямгалiev А.М., Камал А.М.

Күн электр станцияларының тарту жүйесіне әсері

Түйіндемe. Қазіргі уақытта жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) бүкіл әлемдегі энергетикалық жүйелер саласында айтарлықтай қолайлы аспектке айналды және көптеген елдер бұл үшін саясат пен ережелер әзірлеуде. Соңғы онжылдықтар ішінде әртүрлі жаңартылатын энергия көздерінің арасында күн фотоэлектрлік генераторлық қондырғылар әсерлі көтерілуге қол жеткізді. Шағын қондырғылардан әртүрлі энергетикалық қуаттары бар желлерге қосылған кең ауқымды коммерциялық жобаларға дейін байқауға болады. Жаңартылатын энергия көздерінің жаһандық жағдайы туралы есепке сәйкес, 2020 жылдың аяғында бүкіл әлемде шамамен 505 ГВт пайдалануға берілді. Дәстүрлі электр станцияларынан бас тартуға бағытталған жаңартылатын энергетиканың тез өсуіне байланысты энергетикалық жүйелер өздерінің қалыптасқан, сондай-ақ динамикалық сипаттамаларында өзгерістерге ұшырайды деп болжануда. Бұл мақалада осы жүктеме деңгейлерін анықтау жолдары талқыланады. Тарту жүйесі мен фотоэлектрлік инверторларды модельдеудің қиындықтары, сондай-ақ себептері олар әсерді зерттеу үшін маңызды. Үлкен фотоэлектрлік қондырғының нақты өрісі жүктеме мен кернеу сценарийлеріне назар аударатын, тарту жүйесіне әсер ететін кейбір мәселелерді бағалау үшін қолданылады. Инверторлардың әртүрлі жұмыс режимдері жүйенің жұмысына қалай көмектесетініне немесе кедергі келтіретініне назар аударатын талқыланады.

Түйін сөздер: күн электр станциясы, қазақстандық энергия жүйесі, Желіге қосылу, кернеуді реттеу.

Zhumatova A.A., Slyamgaliev A.M., Kamal A.M.

Influence of solar power plants on the distribution system

Resume. Currently, renewable energy sources (res) have become a fairly favorable aspect in the field of energy systems around the world, and many countries are developing policies and regulations for this. In recent decades, solar photovoltaic generating units have achieved impressive growth among various renewable energy sources. From small installations to large-scale commercial projects connected to networks with different energy capacities can be observed. According to the report on the global state of renewable energy sources, by the end of 2020, about 505 GW were put into operation worldwide. It is assumed that due to the rapid growth of renewable energy, which is aimed at abandoning traditional power plants, power systems will undergo changes in their established, as well as dynamic characteristics. This article discusses ways to determine these load levels. The difficulties of modeling the distribution system and photovoltaic inverters, as well as the reasons they are important for the study of the effect. The specific field of a large photovoltaic installation is used to evaluate some of the problems that affect the distribution system, focusing on load and voltage scenarios. Different modes of operation of inverters are discussed, paying attention to how they help or interfere with the operation of the system.

Keywords: solar power plant, Kazakhstan power system, network connection, voltage regulation.

Приложение Б

Приложение Б. Параметры Фотоэлектрической системы

Таблица 20: Параметры Фотоэлектрической Системы

PV ARRAY		
Параметр	Символ	Значения
Open - Circuit Voltage of Module in STC [V]	UI0	43,8
MPP Voltage of Module in STC [V]	Umpp0	35
MPP Current of Module in STC [A]	Impp0	4,58
Short - Circuit Current of Module in STC [A]	Ik0	5
Temperature Correction Factor (Voltage) [1/K]	au	-0,0039
Temperature Correction Factor (Current) [1/K]	ai	0,0004
Number of Modules Connected in Series [-]	nSerialModules	20
Number of Modules Connected in Parallel [-]	nParallelModules	140
Time Constant of Module [s]	Tr	0

Таблица 21: Параметры шин постоянного тока и конденсатора

ШИНА ПОСТОЯННОГО ТОКА И КОНДЕНСАТОР		
Параметры	Символ	Значения
Capacity of the Capacitor on DC Busbar [s]	Capacity	0,0172
Initial DC Voltage [V]	Udc0	700
Nominal DC Voltage [kV]	UdcN	1
Rated Power [MW]	Pnen	0,475

Таблица 22: Параметры активного снижения мощности

Активное снижение мощности		
Параметры	Символ	Значения
Start of Active Power Reduction [Hz]	fUp	60,2
End of Active Power Reduction [Hz]	fLow	60,05
Gradient of Active Power Reduction [%/Hz]	Gradient	40
PT1 - Filter Time Constant [s]	Tfilter	0,01

Таблица 23: Параметры главного управления

Контроллер		
Параметры	Символ	Значения
Gain of the Active Power PI Controller [-]	Kp	0,005
Integration Time Constant of the Active Power PI Controller [s]	Tip	0,03
Measurement Delay [s]	Tr	0,001
Time Delay MPP - Tracking [s]	Tmpp	5
Deadband for AC Voltage Support [p.u.]	deadband	0,1
Static for AC Voltage Support [-]	droop	1
i_EEG = 0 According to TC2007; i_EEG = 1 According SDLWindV [-]	i_EEG	1
Minimum Active Current Limit [p.u.]	id_min	0
Minimum Allowed DC - Voltage [V]	U_min	333
Minimum Reactive Current Limit [p.u.]	iq_min	-1
Maximum Active Active Current [p.u.]	id_max	1
Maximum Reactive Active Current [p.u.]	iq_max	1
Maximum Allowed Absolute Current [p.u.]	maxAbsCur	1
Maximum Absolute Reactive Current in Normal Operation [p.u.]	maxIq	1

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию

Слямгалиев Азамат Маратович

7M07113 – Электротехника и энергетика

На тему: Влияние солнечных электростанций на распределительную систему

Магистрантом, Слямгалиев А.М. в магистерской диссертации были определены влияние на профиль напряжения, линейную нагрузку, технические потери энергии и вклад тока короткого замыкания из-за интеграции средних и крупных фотоэлектрических систем в систему распределения среднего напряжения (35кВ).

Проводились исследовательские работы в поселке Жангизтобе в Жарминском районе с использованием типовой модели фотоэлектрической системы из базы данных программы DIgSILENT Power Factory в реальном распределительном фидере. Было разработано 26 сценариев, охватывающих различные уровни проникновения и местоположения, для каждого сценария было выполнено 288 несбалансированных потоков нагрузки через язык программирования DIgSILENT с использованием метода Ньютона-Рафсона.

Недостатки работы: 1. Приведен не полный результат исследования для эффективной работы системы с солнечными панелями.

Магистрант Слямгалиев А.М. в процессе работы над магистерской диссертацией в полном объеме проявил владение навыками самостоятельной аналитической работы. Слямгалиев А.М. умеет формулировать задачи и искать их решения, хорошо знаком с современными технологиями. В целом следует отметить высокий научно-технический уровень выполнения работы с соблюдением стандартов. Магистерская диссертация заслуживает оценки «отлично», «95» а Слямгалиев А.М. заслуживает присуждения степени магистра техники и технологии по специальности 7M07113 – Электротехника и энергетика.

Научный руководитель

к.т.н., ассистент-профессор

кафедры «Энергетика»

Жуматова А.А.

« 09 » 06 2022 г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева**

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию (проект)

магистрант Слямгалиева Азамата Маратовича
специальность 7М071800 – Электроэнергетика;

Диссертационная работа на тему:
«Влияние солнечных электростанций на распределительную систему»

1. Характеристика актуальности работы

Работа актуальна, Актуальность темы научного исследования выражена в том, что в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке промышленности актуальны задачи снижения расхода электроэнергии, повышения качества продукции, сокращения экологической нагрузки и приведения показателей качества электроэнергии к нормируемым величинам.

2. Характеристика самостоятельности подхода автора

Автор самостоятельно провел обзор существующих методов, их возможности, достоинства и недостатки, установлено, что существующие модели позволяют выполнить лишь сравнительную оценку надежности различных схемных решений и выбрать наилучшую, они практически не дают возможности с необходимой для практики точностью получить ответ в виде числа;

3. Анализ умения магистранта пользоваться методами научного исследования

Работа выполнена с учётом всех поставленных задач исследования. Диссертация имеет четкую логическую структуру, прослеживается поэтапность и логическая последовательность выполнения задач исследования, анализа результатов, выводов, рекомендаций и предложений по практическому их применению. Степень обоснованности положений, выносимых на защиту, и выводов, полученных соискателем достаточная.

4. Степень обоснованности выводов и рекомендаций магистранта

Полученные результаты исследований

Будет обсуждаться некоторые проблемы, влияющие на систему распределения, с акцентом на сценарии нагрузки и напряжения.

Различные режимы работы инверторы будут обсуждены, с акцентом на то, как они могут помогают или мешают работе системы, режимы работы и их влияние на регулирование напряжения будут представлены.

5. Анализ достоверности полученных магистрантом результатов

Достоверность полученных магистрантом результатов подтверждена

1. использованием стандартных справочных методик, которые согласуются с выбранным методом теории электроэнергетических систем;

2. использованием достоверных авторских исходных данных высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения;

апробация полученных данных на республиканских конференциях

6. Анализ новизны и практической значимости работы

Практическая значимость работы в том, что результаты научных исследований по анализу структурной и функциональной надежности электроэнергетических систем и систем электроснабжения производимых в РК, Результаты диссертационной работы могут быть использованы в проектных, научно-исследовательских и эксплуатационных организациях:

- при решении задач перспективного и безопасного развития энергетического комплекса не только нашей, но и других стран.

7. Анализ недостатков диссертации

В диссертационной работе имеется расчетная часть, выполненная на основе старых справочных данных. Из содержания магистерской диссертации видно, что собран и проанализирован впечатляющий объем справочных данных, получены конкретные научно-обоснованные результаты. Замечание по диссертационной работе нет

ОЦЕНКА РАБОТЫ

В целом работа обладает достаточной теоретической и практической значимостью, изложена в логической последовательности, грамотно и аккуратно оформлена. В заключении работы сделаны четкие выводы. Выводы и рекомендации обоснованы.

Считаю, что автор данной работы, Слямгалиев Азамат Маратович, заслуживает присуждения академической степени магистра технических наук по специальности 7M071800 – Электроэнергетика

Оценка по балльно-рейтинговой буквенной системе 90 баллов,

Должность:

Phd, ассистент профессора кафедры

«Энергетика»

«Академия логистики и транспорта»



ПОДПИСЬ

Калиев Ж.Ж.



ПОДПИСЬ
Слямгалиева А.М.

" 09 " 06 2022 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Слямгалиев Азамат Маратович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Влияние солнечных электростанций на распределительную систему

Научный руководитель: Асель Жуматова

Коэффициент Подобия 1: 2.2

Коэффициент Подобия 2: 1.9

Микропробелы: 50

Знаки из других алфавитов: 4

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Допущен к защите

2022-06-07

Дата



Заведующий кафедрой «Инженерия»

Сарсамбаев С.А.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Слямгалиев Азамат Маратович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Влияние солнечных электростанций на распределительную систему

Научный руководитель: Асель Жуматова

Коэффициент Подобия 1: 2.2

Коэффициент Подобия 2: 1.9

Микропробелы: 50

Знаки из здругих алфавитов: 4

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование: *отсутствует в зачете*

2022-06-07

Дата

Нуржан Балгаев

проверяющий эксперт

07.06.2022.



Жуматов А. А.