

**IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года**

---

---

235-1

**УДК 621**

И.С. Фаретдинов, студент гр. 3430 (КНИТУ-КАИ)  
Научный руководитель И.С. Метелёв, старший преподаватель (КНИТУ-  
КАИ)  
г. Казань

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НА СЕТИ С  
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ**

С внезапным внедрением возобновляемых источников энергии (ВИЭ) во многие энергосистемы по всему миру резко возрос спрос на высококачественные, проверенные динамические модели для учета их эксплуатационных характеристик. К ним относятся фотоэлектрические системы (ФЭС) электроснабжения, микротурбины различных конфигураций, а также системы хранения аккумуляторных батарей, образующие систему генерации возобновляемой энергии или ее часть. Общей характеристикой ВИЭ является то, что они обычно подключаются к сети через силовые электронные инверторы. В результате они имеют иную динамическую характеристику по сравнению с классическими синхронными генераторами [1].

Солнечные фотоэлектрические системы классифицируются по их функционированию и эксплуатационным требованиям, по конфигурации компонентов и типу подключения оборудования к другим источникам питания и электрическим нагрузкам.

Системы, подключенные к сети - это солнечные фотоэлектрические системы, которые имеют прямое подключение к электрической сети и подают свою энергию в сеть. Эти системы могут быть подключены непосредственно к общественной сети или сначала к домашней сети, покрывающей потребности дома в электроэнергии, а затем поставляющей любые излишки в общественную сеть. Подключение осуществляется через инвертор, который преобразует постоянный ток в переменный, а также синхронизируется с электрической сетью по напряжению и частоте. Дополнительным преимуществом является то, что солнечная система не нуждается в размерах для удовлетворения пиковых нагрузок - перерасходы могут быть получены из сети. Во многих случаях излишки энергии, генерируемые в течение дня, могут быть экспортированы обратно в сеть.

Автономные системы - это солнечные фотоэлектрические системы, которые не зависят от какой-либо электрической сети. Выход энергии должен быть рассчитан в соответствии с требованиями к нагрузке. Они обычно оснащены системами хранения энергии для поглощения

IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года

---

235-2

избыточной энергии и удовлетворения спроса, когда солнечного излучения недостаточно. Системы, подключенные к сети, которые представляют собой фотоэлектрические системы, подключаются к местной распределительной сети и снабжают ее энергией.

Для удовлетворения самых больших потребностей в электроэнергии в автономном месте фотоэлектрическая система может быть сконфигурирована с небольшим дизельным генератором. Это означает, что фотоэлектрическая система больше не должна иметь большие размеры, чтобы справляться с худшими условиями солнечного света, доступными в течение года. Использование дизельного генератора для резервного питания сводится к минимуму в самое солнечное время года, чтобы снизить затраты на топливо и техническое обслуживание.

Традиционная распределительная система является пассивной и радиальной по своей природе, которая обычно характеризуется одним источником на входе, снабжающим сеть фидеров на выходе. Защита для этой обычной распределительной системы предполагает радиальную систему, такую, что действие защиты начинается от нижнего конца до верхнего конца. Воздействие распределенной генерации может быть локальным или общесистемным, в зависимости от ее степени проникновения. Характер этих воздействий может быть стационарным или динамическим. С подключением солнечных фотоэлектрических источников в сеть, система может потерять свою пассивную, радиальную природу, и, следовательно, координация защиты может не выполняться [2].

Рассмотрим основные виды неисправностей, возникающих при подключении источников распределенной генерации.

Увеличенный ток повреждения. На рисунке 1 показан фидер с распределенной генерацией на входе в  $R_3$  и неисправностью после него. Ток повреждения через реле  $R_3$  представляет собой сумму тока сети и тока фотоэлектрического блока. Ток повреждения больше, чем тот, который проходит через  $R_3$  в отсутствие распределенной генерации. Это условие не защищено в традиционной системе распределения. Ток повреждения увеличился от  $R_3$ . В этом случае координация между  $R_3$  и вышестоящими реле может быть потеряна.

Решение: ограничитель тока короткого замыкания. Схемы защиты: набор конденсаторных батарей с тиристорным управлением; резистивный ограничитель тока короткого замыкания; индуктивный ограничитель тока короткого замыкания.

Уменьшенный ток неисправности. При добавлении генератора вдоль фидера ток повреждения в начале фидера уменьшается до места короткого замыкания. Реле  $R_1$  в начале фидера не будет работать, когда ток

неисправности упадет ниже настроек реле в том случае, если фотоэлектрический блок выдает достаточно высокий ток неисправности. Эта ситуация усугубляется для длинных фидеров, где ток для удаленной неисправности мал. Для перегрузки по току защиты, срабатывающая по времени, не будет работать при определенных неисправностях, в то время как для обратного реле потребуется много времени, чтобы устранить неисправность.

Решение: ограничитель тока короткого замыкания. Схемы защиты: набор конденсаторных батарей с тиристорным управлением; резистивный ограничитель тока короткого замыкания; индуктивный ограничитель тока короткого замыкания.

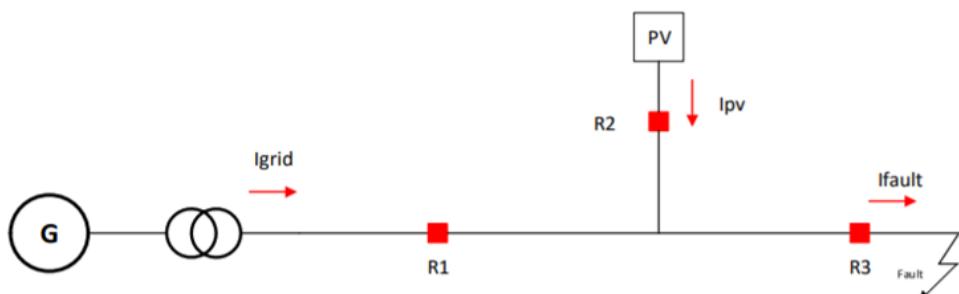


Рисунок 1 – Цепь для иллюстрации повышения или уменьшения тока короткого замыкания

Ослепление защиты. Учитывая рисунок 2,  $R_1$  может не обнаружить неисправность ниже по потоку, если ток неисправности от источника распределенной генерации (PV) высок. Уровень тока через  $R_1$  может снизиться до уровня ниже значения датчика.

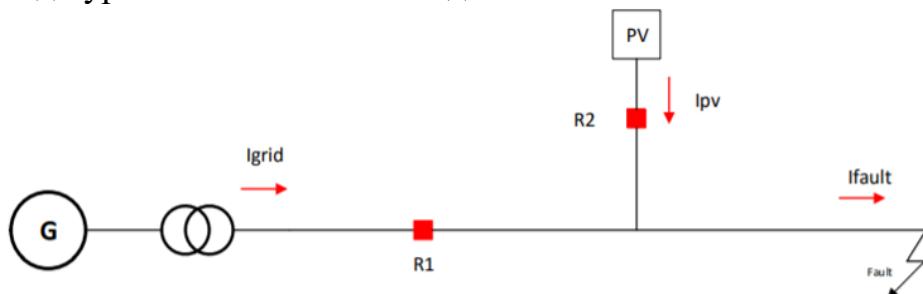


Рисунок 2 – Распределительный фидер с генератором от фотоэлектрической системы

Решение: ограничение тока короткого замыкания при защите от перенапряжения. Схемы защиты: ограничитель тока короткого замыкания; защита от перенапряжения.

Нежелательная операция/отключение помех. При неисправности на фидере, отличном от того, к которому подключен генератор, выключатель на фидере, к которому подключен генератор, может привести к нежелательной работе из-за тока неисправности от генератора PV. На

рисунке 3 показана схема, в которой неисправность происходит на фидере, отличном от того, к которому подключен фотоэлектрический блок. При возникновении неисправности распределенная генерация будет вносить свой вклад в ток неисправности, и обратный ток неисправности будет проходить через реле  $R_3$ . Реле может привести к отключению здорового фидера в случае отключения из-за чувствительности.

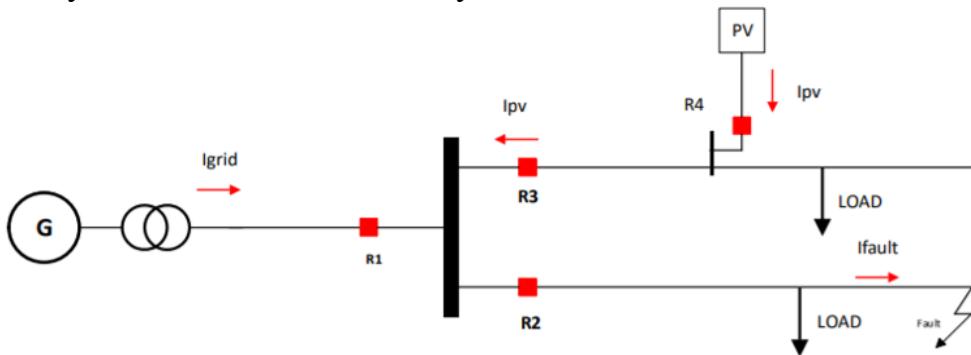


Рисунок 3 – Распределительная сеть с фотоэлектрической системой и фидером, где возникло короткое замыкание

Решение: обнаружение образования неконтролируемых участков; ограничение тока короткого замыкания при защите от перенапряжения; направленная защита. Схема защиты: направленное реле.

Неконтролируемые участки. Одним из наиболее серьезных последствий внедрения распределенной генерации в сеть является концепция образования непреднамеренных или неконтролируемых участков. Это ситуация, когда часть сети, в которой есть распределенная генерация, отключена от остальной части сети. Неконтролируемое образование таких участков может быть инициировано неисправностью на фидере, срабатыванием верхнего предохранителя или выключателя, а также их открытие без какой-либо неисправности, присутствующей в системе.

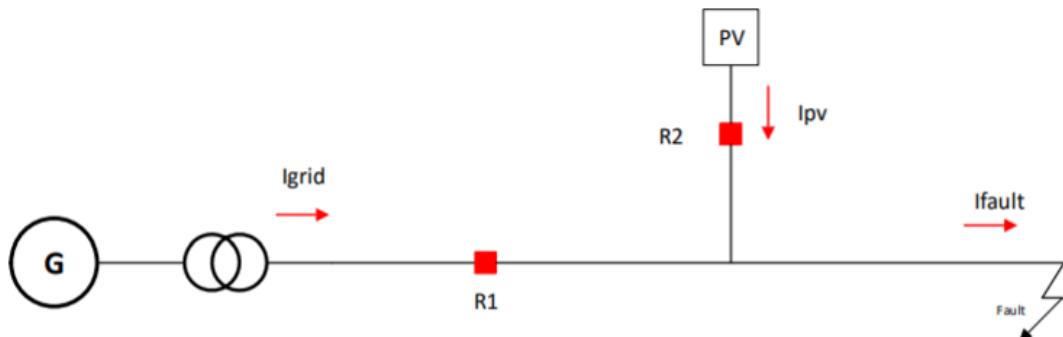


Рисунок 4 – Влияние тока короткого замыкания от сети и фотоэлектрической системы, подключенного к фидеру

IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года

---

235-5

Генератор, подключенный через преобразователь силовой электроники, обычно вносит слишком малый ток в неисправность, чтобы защита от перегрузки по току могла его обнаружить. На рисунке 4 ток повреждения от сети  $I_{GRID}$ , достаточен для обнаружения  $R_1$  и отключения соответствующего выключателя, в то время как ток от PV  $I_{PV}$  недостаточен для обнаружения. Фотоэлектрический блок будет продолжать питать неисправность. Неисправность может либо устраниться сама по себе, если ток становится слишком малым, либо может поддерживаться. Когда ток неисправности поддерживается, генератор переходит в неуправляемый режим. Баланс между генерацией и нагрузкой в неуправляемых частях схемы будет определять значения напряжения и частоты.

Решение: пассивные локальные схемы измерений; активное обнаружение; защита на основе сетевой связи. Схемы защиты: понижение/повышение напряжения; понижение/повышение частоты; скорость изменения частоты; сдвиг вектора напряжения; обратный поток реактивной мощности; обратный поток активной мощности; скорость изменения активной мощности; ошибка возврата реактивной мощности; измерение уровня неисправности; мониторинг полного сопротивления системы; сравнение скорости изменения частоты с защищаемой.

Несинхронизированное повторное включение. Ситуаций аналогична образованию неконтролируемых участков, и рассматривается после того, как фотоэлектрический блок вышел из строя. Автоматическое повторное включение часто используется с верхними фидерами. Из рисунка 4 видно, что выключатель на  $R_1$  будет повторно закрыт через определенный промежуток времени, при этом делитель все еще будет подключен, пока неисправность устранена. Он соединяет две системы, которые не синхронизированы, имеют разные частоты, напряжения и фазы. Это приводит к повреждению оборудования из-за больших токов, которые будут протекать в сети.

Таким образом, в настоящее время все еще продолжаются исследования, направленные на поиск эффективных решений вышеупомянутых проблем [3]. В различных литературных источниках предлагается несколько новых подходов к решению проблемы координации перегрузки по току, одни из которых были рассмотрены в данной статье.

Список литературы:

1. С.А. Ерошенко. Научные проблемы распределенной генерации/ Карпенко А.А., Кокин С.Е. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. -2010. -№11-12. - с.126-133

**IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года**

---

---

235-6

2. Беляев, А.В. Защита, автоматика и управление на электростанциях малой энергетики (Часть 1) / А.В. Беляев. – 6-е изд. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2010. – 84 с.

3. Беркович, М.А. Автоматика энергосистем: Учеб. для техникумов / М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с

Информация об авторах:

Фаретдинов Ильшат Салаватович, студент гр. 3430, КНИТУ-КАИ, 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, д. 10, FilshatS11@mail.ru

Метелев Иван Сергеевич, старший преподаватель, КНИТУ-КАИ, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10, ivan0893@mail.ru