

ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ MICROGRID И СЕТЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Старовойтов Д.Э.

Научный руководитель доцент Р.А. Уфа.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

MicroGrid – автономная, изолированная сеть, которая включает в себя перечень генерирующих источников и потребителей. В таких сетях источники могут использоваться обособленно: дизель, газ, малые ГЭС и т.д. Либо в виде комбинации нескольких традиционных источников. Так же могут быть включены возобновляемые источники электрической энергии, но их участие в сети может быть обременительно, так как необходим достаточный резерв по активной мощности, чтобы гарантировать бесперебойное электроснабжение потребителей [3]. Сети MicroGrid могут быть реализованы как на базе постоянного тока, так и на базе переменного тока. Постоянный ток позволяет передавать мощность с большим КПД, так как у него отсутствует «паразитная» реактивная мощность, а также благодаря меньшим потерям за счёт распределения тока равномерно по сечению проводника. Но и недостатков у сети на постоянном токе достаточно: сложность в изменении уровня напряжения, так как требуются преобразователи более сложной конструкции и ключи, способный выдержать высокое напряжение; более сложная конструкция приборов на основе постоянного тока, что делает их менее надёжными и затратными. Так же при возникновении КЗ, прерывания постоянного тока, в отличие от переменного, не имеют естественного нулевого значения. Для реализации таких прерываний нужно использовать выключатели специальной конструкции, но рассеивать то накопившееся тепло предстоит им самим, что прилично усложняет устройство [5]. Касаемо сетей MicroGrid на базе переменного тока, в большинстве случаев основная проблема заключается в том, что большая часть источников подключены к сети при помощи инверторных преобразователей, и при КЗ величина тока, подпитывающего его, составляет приблизительно $(1,2 - 2) I_{ном}$, что создаёт проблемы при их обнаружении и селективном отключении места повреждения. В частности, значение тока короткого замыкания при подключении распределенной генерации на основе преобразователя напряжения может достигать 100–400 % от номинального тока, а при использовании синхронных или асинхронных генераторов – 500–1000 %.

Так же сформулируем другие проблемы системы MicroGrid [1]:

Сеть MicroGrid может работать в двух режимах: в режиме параллельной работы с распределительной сетью, либо островном режиме. При переходе от работы в параллели с системой к самостоятельной работе, эквивалентное сопротивление источников питания станет значительно выше, что приведёт к падению уровня токов КЗ.

Из-за наличия различных распределённых источников питания, направление токов в нормальных режимах работы может меняться, что может приводить к некорректному срабатыванию защит.

При наличии распределённых источников может меняться не только направление токов нормального режима, но и аварийного. Это приводит к тому, что необходимо использовать защиты с реле мощности, для определения направления тока, а также учитывать режимы как в параллельной работе с системой, так и самостоятельной работы.

Защита сети MicroGrid может сработать при КЗ на смежном присоединении при работе с системой, что будет обусловлено вышеупомянутыми проблемами в настройке защит.

Ложное срабатывание защит MicroGrid на отпайке от ЛЭП при её АПВ.

Рассмотрим проблемы применения традиционных типов защит в сетях MicroGrid:

Токовая защита:

Из-за наличия реверсивного потока при КЗ, невозможность определения места повреждения.

Большая выдержка при удалённых КЗ.

Недостаточная чувствительность при самостоятельной работе MicroGrid, из-за больших переходных сопротивлений.

Нарушение селективной работы защит при повышенных токах КЗ. Например, при близких трёхфазных КЗ.

Защита по напряжению:

Трудность настройки защиты из-за необходимости учёта всех возможных режимов и конфигураций.

Снижение чувствительности при параллельной работе с сетью.

Возможность несрабатывания защиты при самостоятельной работе MicroGrid, из-за больших переходных сопротивлений.

Дистанционная защита:

Недостаточная чувствительность при установке на недостаточно длинных ЛЭП и при наличии большого переходного сопротивления.

Некорректная работы защиты при включении большого количества ветроэнергетических установок.

Допущение в расчётах, касаемое того, что сопротивление ВЭУ учитывается постоянной величиной может привести к ложным срабатываниям защиты.

Дифференциальная защита:

Неправильная работа защиты в сетях со сниженным током КЗ.

Необходимость дополнительных затрат на резервный канал связи.

Наиболее дешёвым решением данных проблем будет являться усовершенствование уже существующих защит, которые уже и так имеют широкое применение. Наличие реверсивного движения токов вынуждает нас включить в состав защиты обязательным элементом реле направления мощности. Дополнительно нам необходимо иметь возможность переключаться между наборами уставок для самостоятельной работы и работы с общей сетью.

Одним из самых простых и распространённых способов усовершенствования токовых защит и защит напряжения является их объединение, что создаст более совершенный тип защиты. Иные методы включают в себя

машинное обучение и вейвлет-преобразование. Рассмотрим метод объединения защит по току и напряжению: на гибридной характеристике мы видим 3 оси. Ось M_I – отношение измеряемого тока к номинальному, так же справа изображена стандартная характеристика срабатывания реле тока. Ось M_V – отношение измеряемого напряжения к номинальному. На рисунке 1 мы видим, что, чем меньше напряжение, тем меньший ток и с меньшей выдержкой по времени спровоцирует срабатывание защиты, а также защита не сработает при перегрузках, так как уровень напряжения останется прежним [7].

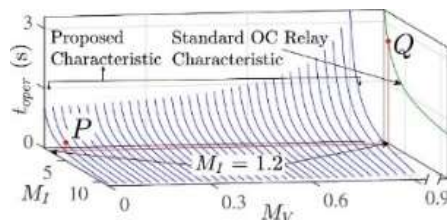


Рис. 1. Предлагаемая гибридная характеристика отключения и стандартная характеристика реле ОС

Одним из способов усовершенствования дистанционной защиты является метод сравнения кажущегося сопротивления с реальным сопротивлением по фазам линии. В таком случае любая разница между двумя этими значениями будет указывать на наличие короткого замыкания и необходимость немедленного отключения линии. На рисунке мы видим, что D – коэффициент локализации неисправности, благодаря которому при вычислениях и выявляется различие в сопротивлениях. В других линиях так же будет присутствовать некоторый ток КЗ, но коэффициент D будет близок к единице, и разница сопротивлений будет несущественна [2].

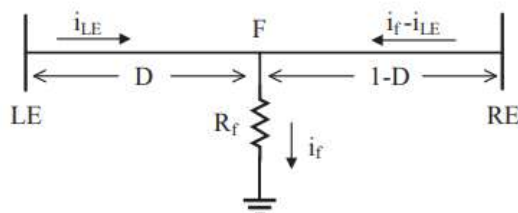


Рис. 2. Однолинейная схема линии электропередачи с симметричным повреждением вдоль нее

Самым удачным из предложенных методов использования дифференциальной защиты в сетях MicroGrid является метод, представленный на рисунке 3. В нём каждое реле связано с соседним и постоянно контролирует текущее направление тока. Как только фиксируется изменение направления протекания тока, повреждённый участок изолируется. [6].

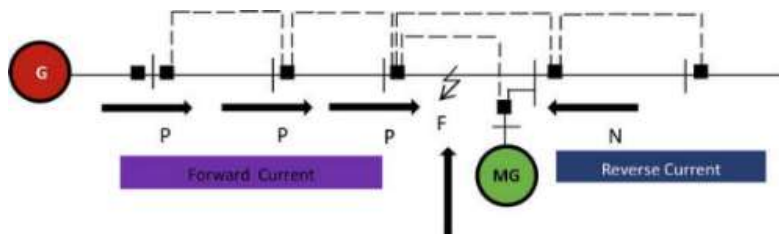


Рис. 3. Метод дифференциальной защиты с микроконтроллерами

Литература

1. Илюин П.В., Вольный В.С., обзор методов решения проблемных вопросов функционирования устройств защиты в MicroGrid напряжением до 1 кв с распределенными источниками энергии https://www.eriras.ru/files/verstka_statii_ilyushin_p.v._volnyy_v.s._final.pdf
2. Mohammadi S. et al. A pilot-based unit protection scheme for meshed microgrids using apparent resistance estimation // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2021. – Т. 126. – С. 106564.
3. Официальный сайт Control Engineering [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/microgrid/>
4. Официальный сайт ELECTRIC-220.RU [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://electric-220.ru/news/chto_takoe_postojannyj_tok/2012-03-31-101
5. Официальный сайт Diodov.net [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://diodov.net/postojannyj-i-peremennyj-tok-preimushhestva-i-nedostatki/>
6. R. Microgrid Protection Systems [Text] / R. Mylavarapu and Suraparaju Venkata Naga Lakshmi Lalitha // IntechOpen. – 2019. – Р. 1–25 <https://www.intechopen.com/chapters/67665>
7. Chakraborty S., Das S. Communication-less protection scheme for AC microgrids using hybrid tripping characteristic // Electric Power Systems Research. – 2020. – Т. 187. – С. 106453.