Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES). 2015. IEEE.

2. Dincer, I., Green methods for hydrogen production. International journal of hydrogen energy, 2012. 37(2): p. 1954-1971.

3. Sreejith, C., C. Muraleedharan, and P. Arun, Performance prediction of steam gasification of wood using an ASPEN PLUS thermodynamic equilibrium model. International journal of sustainable energy, 2014. 33(2): p. 416-434.

УДК 621.316.721:723

М.Д. Харабурова, Е.Н. Рыжкова

НИУ «МЭИ»
Москва, Россия

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕТЕЙ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ЕМКОСТНОГО ТОКА

***Аннотация.** Применение в сетях с компенсированной нейтралью 6-35кВ дугогасящего реактора не обеспечивает его эффективную работу и точную резонансную настройку в различных условиях эксплуатации в результате ряда причин, влияние которых будет сводиться к минимуму при использовании в таких сетях управляемого резистора с возможностью изменения активного сопротивления.*

M.D. Kharaburova, E.N. Ryzhkova

National Research University «MPEI»
Moscow, Russia

INCREASING RELIABILITY OF NETWORKS WITH CAPACITIVE CURRENT COMPENSATION

***Abstract.** The use of an arc suppression reactor in 6-35 kV networks with compensated neutral does not ensure its efficient operation and accurate resonance tuning in various operating conditions due to a number of reasons, the influence of which will be minimized by the use in such networks of a controlled resistor with the possibility of changing the active resistance.*

ПУЭ регламентирует переход изолированного режима заземления нейтрали в компенсированный путем подключения дугогасящего реактора в распределительные сети 6-35 кВ с большими

емкостными токами замыкания на землю. На сегодняшний день не все сети, где необходима данная компенсация, оборудованы ДГР, а в случае их наличия наибольшее распространение получили нерегулируемые (ступенчатые) реакторы марок ЗРОМ или РЗДСОМ и их аналоги, которые ограничены своим функционалом из-за невозможности изменения тока компенсации без отключения сети.

Основным достоинством компенсированных сетей является: снижение тока в месте повреждения до величины, при которой вероятность повторного зажигания дуги исключена или очень мала, уменьшение скорости восстановления напряжения на поврежденной фазе, что также снижает вероятность повторных пробоев изоляции. Стоит отметить, что данные преимущества будут проявлены только при плавной системе регулирования и автоматической настройке ДРГ в резонанс, когда достигается равенство между индуктивной и емкостной эквивалентной проводимостью сети относительно земли.

Работа по совершенствованию систем автоматического управления является актуальной в следствии наличия недостатков в реализуемых на практике методах подстройки к емкости сети, так как количество аварийных отключений в сетях с резонансным режимом заземления находится практически на уровне показателей сетей с изолированной нейтралью.

Для автоматической настройки компенсации в плавнорегулируемых ДГР используют различные принципы:

- по амплитудным характеристикам, применяемый в сетях с естественной несимметрией;
- по фазовым характеристикам, для сетей с искусственной несимметрией или при использовании источника опорного напряжения;
- по частотным характеристикам, широко используемый в ДГР со ступенчатым регулированием;
- по напряжению не промышленной частоты;
- по постоянной времени восстановления напряжения на поврежденной фазе.

Однако частый выход из строя или блокировка системы автоматической настройки компенсации может привести к недопустимым расстройкам с возникновением значительных перенапряжений при повторных зажиганиях дуги.

Процесс острой настройки ДГР в распределительных сетях также осложняется наличием высокой степени естественной не симметрии в электрической сети в результате неоднородности в распределении нагрузок подключенных электроприемников. Применение в таком

случае дугогасящего реактора может вызвать перекомпенсацию, что в свою очередь приводит к высоким значениям дуговых перенапряжений. Не симметрия сети способна создавать неблагоприятные условия для оборудования и системы в целом, увеличивая вероятность повреждений и нестабильности работы системы электроснабжения, вызывая ложные срабатывания релейной защиты и автоматики. Это подчеркивает необходимость регулярного мониторинга и коррекции естественной не симметрии в сети для корректной настройки ДГР и обеспечения наиболее эффективного применения реактора.

Особое внимание следует уделить вероятности возникновения при глубоких расстройках компенсации в переходном процессе феррорезонансных процессов и значительного насыщения магнитных систем ДГР, приводящего к режиму перекомпенсации и увеличению величины тока реактора до 3-4 кратного значения относительного начального [1].

Кроме того, многие производители микропроцессорных систем управления настройки ДГР из-за отсутствия нормативных требований не осуществляют квалификационные испытания автоматики и самостоятельно определяют техническую наполненность устройств, количество и точность регистрируемых показателей для дальнейшего осуществления резонанса сети. Таким образом, необходима разработка новых документов или внесение изменений в существующий РД 34.20.179 с целью актуализации условий выпуска автоматики управления.

Наличие в токе замыкания на землю высших гармоник напрямую влияет на протекающие переходные процессы и может повлечь за собой возникновение сильных повреждений, увеличение времени гашения дуги, уровня перенапряжений и возрастание значения тока в месте повреждения. Тем более опасным влияние высших гармоник становится в условиях отсутствия в нейтрали сети устройств подавления и компенсации ВГ, так как есть высокая вероятность перекрытия междуфазной изоляции кабельных линий или витков в обмотке трансформатора остаточным током ОЗЗ состоящим из наложенного гармонического тока искажения и активной составляющей на не скомпенсированный реактивный ток промышленной частоты. На практике уровень высших гармоник в месте однофазного замыкания определяется исходя из расчетных значений в результате сложности учета всех влияющих факторов, что не является точным и однозначным методом для его дальнейшего изучения.

Стоит отметить, что уровень высших гармоник будет зависеть от назначения сети, а их содержание не подвергается нормативному регулированию. Исследования показали, что в некоторых случаях гармонический ток искажения составлял практически половину значения тока ОЗЗ промышленной частоты.

Как итог, для корректного срабатывания автоматики защиты, успешного гашения дуги и высокой точности резонансной настройки устройства компенсации емкостного тока должны обладать способностью к изменению своих параметров как в обычном режиме работы системы электроснабжения, так и при замыканиях на землю.

Одним из путей достижения надежности компенсированных сетей является подключение регулируемого активного сопротивления. Такой резистор помимо ограничения перенапряжений при дуговых замыканиях и биениях фазных напряжений будет подстраиваться под изменения в сети, а также при параллельном подключении к реактору снизит степень несимметрии напряжения на нейтрали и обеспечит селективную релейную защиту от замыканий на землю.

Были предложены технические решения, отличающиеся измеряемыми характеристиками сети по повышению точности и быстродействия устройств определения расстройки компенсации с использованием земляного резистора, способного адаптироваться под эксплуатационные изменения в сети:

1. Устройство ограничения дуговых перенапряжений в сетях с компенсацией емкостных токов замыкания на землю, которое реализует расчет необходимого активного сопротивления резистора исходя из фиксируемых значений емкостного тока ДГР и расстройки компенсации при возникновении перемежающегося дугового замыкания [2].

2. Устройство защиты от дуговых перенапряжений при однофазном замыкании на землю, отличительной особенностью которого является определение величины начальной скорости восстановления напряжения на поврежденной фазе для дальнейшего оптимального управления резистором и достижения точной резонансной настройки дугогасящего реактора [3].

3. Способ выявления расстройки компенсации в режиме замыкания на землю для управления защитным резистором в компенсированных сетях, в котором определение степени расстройки компенсации происходит путем измерения углового сдвига напряжений на нейтрали с возможностью коррекции данного входного сигнала с учетом влияния коэффициента демпфирования [4].

Острая настройка ДГР в резонанс требует на сегодняшний день более универсальных решений, позволяющих осуществлять как компенсацию емкостных токов, так и быстродействие устройств автоматической настройки.

Список использованных источников

1. Рыжкова Е. Н., Аарон Л. В. В. Об особенностях переходных процессов в компенсированных сетях //Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2015. – №. 3. – С. 42-47.
2. Патент на изобретение 2779147 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Устройство защиты от дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях на землю/ Е.Н. Рыжкова, В.Е. Васин; М. Д. Харабурова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2022114842; приоритет 01.06.2022.
3. Патент на изобретение 2779881 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Устройство ограничения дуговых перенапряжений в сетях с компенсацией емкостных токов замыканиях на землю/ В.Е. Васин, Е.Н.Рыжкова, М.Д. Харабурова, Панферова Н.Ю; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2022111892; приоритет 29.04.2022
4. Патент на изобретение 2803647 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Способ выявления расстройки компенсации в режиме замыкания на землю для управления защитным резистором в компенсированных сетях/ Е.Н.Рыжкова, М.Д. Харабурова, З.Р.Закиров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2023113641; приоритет 25.05.2023

УДК 620.9

Н.А. Ходас¹, А.К. Ходас²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный экономический университет
Минск, Беларусь

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Политика достижения целей углеродной нейтральности предполагают, что доля возобновляемых источников энергии в энергобалансе всех