ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К РЕЗИСТИВНОМУ ЗАЗЕМЛЕНИЮ НЕЙТРАЛИ

IMPROVING THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF DISTRIBUTION NETWORKS WHEN SWITCHING TO RESISTIVE NEUTRAL GROUNDING

Ашихмин Дмитрий Сергеевич, студент, Липецкий государственный технический университет, г.Липецк

Ashihmin D.S. ashihmin.com@gmail.com

Аннотация

Переход от режима изолированной нейтрали к резистивному заземлению, помимо эксплуатационных положительных эффектов, таких как исключение феррорезонанса и снижение кратностей перенапряжений, заключает в себе к тому же и снижение экономических издержек.

Annotation

The transition from the isolated neutral to resistive grounding mode, in addition to the operational positive effects, such as the elimination of ferroresonance and the reduction of overvoltage multiplicities, also implies a reduction in economic costs.

Ключевые слова: надежность, резестивное заземление нейтрали, распределительные сети.

Keywords: reliability, resistive neutral grounding, distribution networks.

Эффективность любого вида состояния нейтрали определяется целесообразным технико-экономическим соответствием бесперебойности электроснабжения потребителей, величины капиталовложений и эксплуатационных расходов. С точки зрения эксплуатации существенными

являются реальные потери и упущенные возможности совершенствования систем электроснабжения. При этом накладные расходы определяются в процессе функционирования сетей электроснабжения следующими основными компонентами:

• ресурсосбережением, заключающемся в долговечности изоляции электрооборудования в целом;

• надежностью электроснабжения, выражающейся числом междуфазных коротких замыканий с его эксплуатационными издержками, а также числом отключений электроустановок по причине аварийных ситуаций в сети;

• пожаро- и электробезопасностью рабочих мест и помещений;

• поиском повреждений и простоями электроустановок;

• объемом восстановительных работ при однофазных замыканиях на землю, не устранимых без ремонта;

• эксплуатационными расходами по поддержанию нормальных рабочих уровней: изоляции, защитной аппаратуры и автоматики.

Объединив указанные компоненты производственных потерь, получаем многокритериальный подход к проблеме качества работы системы электроснабжения, что позволяет выполнить оптимизацию режима заземления нейтрали.

Долговечность изоляции определяется двумя показателями: абсолютным числом дуговых пробоев изоляции за определенное время, которые испытывает на себе изоляция сети в процессе эксплуатации, накапливая кумулятивные эффекты и ускоряя под их влиянием ее старение; суммарной длительностью, в пределах которой изоляция находится под воздействием перенапряжений в течение времени эксплуатации сети. Важно отметить, что сила воздействия перенапряжений на изоляцию определяется не только длительностью этого воздействия, но и кратностью самих перенапряжений, приложенных к изоляции электрооборудования. На данном этапе постановки задачи достаточно ограничиться числом и интегралом, равным сумме произведений максимальных превышений от расчетного уровня высокочастотных составляющих напряжений

на изоляцию при каждом дуговом пробое, на длительность этого превышения. Чем меньше указанные параметры, тем медленнее стареет изоляция, тем выше ресурс электрооборудования.

Пожаробезопасность характеризуется выделяемой в месте однофазного замыкания на землю активной мощностью

$$P_{033} = (I_{033})^2 \cdot R_{033}\,, \qquad (1)$$

где R_{033} – сопротивление места однофазного замыкания на землю, I_{033} – амплитуда тока через сопротивление R_{033}. Чем меньше P_{033}, тем меньше вероятность пожара вблизи места повреждения изоляции и междуфазного короткого замыкания.

Электробезопасность определяется количеством электричества

$$Q_{эб} = I_{ут} \cdot \Delta t\,, \qquad (2)$$

где $I_{ут}$ – амплитуда тока, мА, протекающего через тело человека в течение времени Δt. Чем меньше $Q_{эб}$, тем выше электробезопасность.

Снижение простоев электроустановок по фактору отсутствия электроэнергии определяется числом нерезервированных участков сети радиального или иного типов. В случае отсутствия резервирования линий и источников питания, длительность простоев зависит от общего времени восстановительных работ по устранению аварий. Минимизация величины, равной сумме длительности простоев и времени восстановительных работ, снижает стоимость производства. Общий объем указанных восстановительных работ находится в прямой зависимости от числа однофазных замыканий на землю, неустранимых без ремонта. Эксплуатационные расходы определяются всеми видами затрат по поддержанию и профилактике нормального состояния изоляции, а также всей защитной аппаратуры и выражается общей стоимостью затрат на их осуществление.

СНИЖЕНИЕ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В данной работе обратим особое внимание на критерии, отвечающие за надежность работы системы электроснабжения и снижение простоев

потребителей электроэнергии. Рассмотрим подробнее существующие системы заземления нейтрали и их эффективность с точки зрения озвученных критериев.

В России в сетях 6–35 кВ наиболее распространенными являются режимы изолированной и заземленной через дугогасящий реактор – компенсированной нейтрали. Заземление нейтрали сетей 6– 35 кВ через резистор, разрешенное к применению ПУЭ России с 2003 года, подразделяемое высокоомное и низкоомное, в последние годы получает все большее распространение.

Применительно к режиму компенсированной нейтрали вопрос о технико-экономической эффективности использования дугогасящих реакторов, в том числе и оснащенных устройствами автоматической настройки компенсации (АНК), был рассмотрен в [4]. В предложенной методике под эффективностью компенсации емкостного тока $Э_К$ понималась способность дугогасящих аппаратов ограничивать ток через место повреждения, перенапряжения и скорости восстанавливающихся напряжений после гашения заземляющей дуги. За показатель эффективности было принято количество замыканий на землю, неразвившихся в короткие замыкания к общему количеству замыканий.

$$Э_К = 1 - \frac{N_{КЗ}}{N_{общ}}, \qquad (4)$$

где $N_{КЗ}$ – число коротких замыканий, отключенных защитой; $N_{общ}$ – общее число замыканий.

При этом для сетей с изолированной нейтралью этот показатель был принят равным 0.3, поскольку в среднем семь из десяти замыканий на землю развиваются в короткие замыкания (хотя никакой компенсации, естественно, нет). Для дальнейшего использования этот показатель обозначим $Э_{из}$.

Компенсированные сети, снабженные устройствами автоматического измерения степени расстройки компенсации, имеют показатель эффективности $Э_{ком} = 0.7$.

Относительно сетей, нейтраль которых заземлена через резистор, необходимо провести разделение на низкоомное и высокоомное заземление.

Поскольку развитие простых замыканий в короткие в 35 % случаев связано с воздействием заземляющей дуги, а в 65 % – с воздействием дуговых перенапряжений, то применение высокоомного заземления, ограничивающего последние на безопасном для изоляции уровне, позволяет достичь уровня эффективности

$$Э_{RBO} = 0.3 + 0.65 \cdot 0.7 = 0.755. \quad (5)$$

При низкоомном резистивном заземлении, как и при эффективном заземлении нейтрали $N_{КЗ} = N_{общ}$, все однофазные замыкания, как правило, отключаются защитой, поэтому надежность электроснабжения обеспечивается автоматическим повторным включением (АПВ) и резервированием питания. Успешность АПВ в кабельных и воздушнокабельных сетях 6–35 кВ составляет 40–60 %, следовательно, примерно такой величиной можно оценить и эффективность этого способа заземления нейтрали.

Управление заземляющим резистором как для сетей с компенсацией емкостного тока, так и для некомпенсированных сетей, позволяет успешно совместить решение обеих основных задач ограничения энергии при замыканиях на землю: ограничения перенапряжений и уменьшения длительности воздействия замыкания за счет повышения селективности токовых защит от замыканий на землю путем наложения активного тока, изменяемого в зависимости от требований эксплуатации и перспектив развития события. Однако суммарная эффективность такого режима заземления нейтрали, естественно, не может превышать единицы. Показатель эффективности такого режима нейтрали может достичь значения

$$Э_{упрR} = 0.7 + 0.3 \cdot 0.755 = 0.93, \quad (6)$$

поскольку, как показывает практика эксплуатации, число аварийных отключений на подстанциях городских компенсированных сетей, оснащенных неуправляемыми реакторами, при установке параллельно ДГР управляемых резисторов снижается в 2–3 раза [5]. Таким образом, наиболее эффективным способом заземления нейтрали выступает резистивное управляемое заземление. Срок окупаемости затрат по переходу от режима изолированной нейтрали к

резистивному заземлению должен формироваться исходя из затрат на приобретение самих заземляющих резисторов, присоединительных трансформаторов, установку или реконструкцию устройств релейной защиты, автоматику, коммутационные аппараты, измерительные приборы, стоимости строительно-монтажных и наладочных работ и других необходимых работ в соответствии со сметой.

Необходимо отметить, что наибольшую экономическую эффективность оптимизации режима нейтрали следует ожидать в электрических сетях с вращающимися машинами. К таким сетям прежде всего относятся сети энергоемких промпредприятий и сети собственных нужд (СН) крупных электростанций.

Для сетей СН экономия от снижения повреждаемости двигателей при переводе в режим управляемого резистивного заземления определяется по данным о количестве электрической энергии, недовыработанной станцией, и стоимостью ремонтов двигателей до и после перевода. При этом аварийное отключение одного крупного двигателя приводит к снижению мощности блока на 1/4 в течение времени восстановления схемы СН. Среднее удельное количество электроэнергии, выработанной на станции за 1 час на 1 кВт установленной мощности, $\frac{\text{кВт·ч}}{\text{кВт}}$, составляет

$$W_{\text{уд}}^{\text{ЭЭ}} = \frac{W_{\text{год}}^{\text{ЭЭ}}}{8760 \cdot P_{\text{уст}}}, \qquad (7)$$

Электроэнергия, недовыработанная одним блоком за число ремонтов двигателей в год $n_{\text{рем}}$ при снижении производительности на четверть и времени ввода нового двигателя в t составит

$$W^{\text{ЭЭ}} = W_{\text{уд}}^{\text{ЭЭ}} \cdot \frac{P_{\text{бл}}}{4} \cdot n_{\text{рем}} \cdot t_{\text{в}}, \qquad (8)$$

После перевода в режим управляемого резистивного заземления за счет увеличения надежности, определяемого отношением показателей эффективности $К_{\text{над}} = \frac{Э_{\text{упрR}}}{Э_{\text{из}}}$, число ремонтов снизится до значения

$$n_{рем}^{пер} = \frac{n_{рем}}{К_{над}}, \quad (9)$$

После перевода снижение недовыработки электроэнергии составит

$$W_{пер}^{ЭЭ} = W_{уд}^{ЭЭ} \cdot \frac{P_{бл}}{4} \cdot \left(n_{рем} - \frac{n_{рем}}{К_{над}}\right) \cdot t_{в}\ , \quad (10)$$

Экономия затрат на ремонт двигателей после перевода может составить

$$\Delta C_{рем} = C_{рем} \cdot \left(n_{рем} - n_{рем}^{пер}\right), \quad (11)$$

где $C_{рем}$ – стоимость ремонта 1 двигателя.

Приведенная методика многокритериального подхода определения показателей эффективности всех видов состояния нейтрали сетей 6–35 кВ, расчетов аварийных недоотпусков электрической энергии может быть использована для обоснования проектных решений по выбору режима нейтрали как для вновь вводимых объектов электроснабжения, так и для уже находящихся в эксплуатации.

Литература

1. Виштибеев А.В. О необходимости перевода электрических сетей 6–35 кВ на режим резистивного заземления нейтрали // Проблемы энергетики. 2002.
2. Младзиевский Е.П., Рыжкова Е.Н. Сравнительный анализ режимов заземления нейтрали в сети 10 кВ // Федоровские чтения–2017: XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 15–17 ноября 2017 г.) / под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. С. 222–228.
3. Младзиевский Е.П., Рыжкова Е.Н. Особенности резистивного заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать третья Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (2—3 марта 2017 г., Москва): Тез. докл. В 3 т. Т. 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. С. 251.
4. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия, 1971. 152 с.

5. Рыжков В.П., Рыжкова Е.Н. О возможностях управляемого резистивного заземления нейтрали в сетях с малыми токами замыкания на землю // Электрика. 2007. № 5. С. 30–33.

Literature

1. Vishtibeev A.V. On the need to transfer electrical networks of 6-35 kV to the mode of resistive neutral grounding. 2002.
2. Molodzievsky E. P., Ryzhkova E. N. Comparative analysis of neutral grounding modes in a 10 kV network // Fedorov Readings-2017: XLVII International Scientific and Practical conference with elements of a scientific school (Moscow, November 15-17, 2017) / under the general editorship of B. I. Kudrin, Yu. V. Matyunina. M.: Publishing House of the MEI, 2017. pp. 222-228.
3. Molodzievsky E. P., Ryzhkova E. N. Features of resistive neutral grounding in 6-35 kV networks / / Radioelectronics, electrical engineering and power engineering: Twenty-third International Scientific-Technical Conference conf. of students and postgraduates (March 2-3, 2017, Moscow): Tez. dokl. In 3 t. t. 2. M.: Publishing House of the MEI, 2017. p. 251.
4. Likhachev F. A. Earth closures in networks with isolated neutrons and with compensation of capacitive currents. M.: Energiya, 1971. 152 p.
5. Ryzhkov V. P., Ryzhkova E. N. On the possibilities of controlled resistive neutral grounding in networks with low ground fault currents // Electrician. 2007. No. 5. pp. 30-33.