**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОСТОИНСТВ И НЕДОСТАТКОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Димитрюк Д. В. УлГТУ

***Ключевые слова:*** *режим работы нейтрали, электричество, электроэнергетика, электрическая сеть, нейтраль.*

Статья посвящена изучению режимов работы нейтрали в электрических сетях, анализу полученной информации и отражению основных достоинств и недостатков нейтралей в электрических сетях.

На актуальность темы указывает такой факт, что выбранный режим нейтрали должен обеспечивать безопасность обслуживающего персонала, экономичность электроустановки, бесперебойность электроснабжение потребителей и надежность работы электроустановки. Для достижения данных факторов в процессе технической эксплуатации необходимо, следовательно, правильно выбрать нейтраль. Данный выбор должен основываться на полном отражении достоинств и недостатков отдельно взятого режима работы нейтрали, сравнительной характеристики и формулировании правильных выводов из проведённого анализа. Изучение вопроса о безопасности электроустановки и режима работы нейтрали очень значим, так как только полное изучение процесса работы электроустановки позволяет качественно и правильно выполнять работу по выработке и безопасному перераспределению электричества по сети. Таким образом, актуальность выражается в проблеме, как на основании признаков электрической сети и желаемых человеком целей выбрать режим работы нейтрали в электроустановках?

Нейтраль (neutral) — это общая часть многофазной системы переменного тока, соединённой звездой, находящаяся под напряжением, или средняя часть однофазной системы переменного тока, находящаяся под напряжением [1]. Способ связи нейтрали трансформаторов и машин значительно определяет качество изоляции электрических установок и выбор профессиональной аппаратуры, значения напряжения и перенапряжения, возможности их ограничения, протекание тока при однофазном замыкании на землю, а также техническую безопасность при работе с электроаппаратурой.

Важную роль в работе нейтрали электроустановок играет нейтральный провод, который является соединяющим элементом нейтралей электроустановок в трехфазных электрических цепях. Соединение нейтральных точек электроаппаратуры таким проводом позволяет значительно снизить напряжение смещение нейтрали до нулевых значений и сделать равными значения фазного напряжения на приемнике электроэнергии. Однако возможно наличие небольшого напряжение, которое обусловлено сопротивление нулевого провода.

В настоящее время в зависимости от выбранного режима работы нейтрали в электроустановке выделяют следующие типы: сети с резонансно-заземленными (компенсированными) нейтралями, сети с незаземленными (изолированными) нейтралями, сети с эффективно заземленными нейтралями, сети с глухозаземленными нейтралями.

Главным отличием изолированной нейтрали является то, что она не присоединяется к заземляющему устройству, и лишь только в некоторых случаях она присоединяется через специальные аппараты, которые компенсируют емкостный ток в сети, а также через трансформаторы напряжения.

В случае замыкания одной фазы на землю симметрия напряжений нарушается, вследствие многократного возрастания напряжения фазных проводов, поэтому система с изолированной нейтралью используется для повышения безопасности подачи электрической энергии и надежности работы электрического оборудования. К числу достоинств можно отнести то, что возможно продолжение работы электрооборудования в случае, если протекает емкостный ток, значения которого меньше 5 А, а также если замыкание случилось в сети, а не обмотке генератора, то можно допустить работу в течение нескольких часов [2].

В распределительных сетях, работающих с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю, возникают недопустимые уровни перенапряжения с точки зрения эксплуатации сетей. Данные процессы могут привести к ложному срабатыванию релейной защиты, отключению цепей управления на самой подстанции, а также к выходу из строя трансформаторов напряжения [3].

Электроприемники и электрооборудование могут бесперебойно получать энергию в течение нескольких часов даже при однофазном замыкании на землю. Именно в этом заключается одно из основных преимуществ изолированной нейтрали.

Но имеются и серьезные недостатки, когда рабочему персоналу бывает трудно определить место замыкания на землю, имеются также случаи, когда из строя выходили сразу несколько электродвигателей, т.е. происходили множественные повреждения.

В случае замыкания на землю одной фазы в сети от 1 до 10кВ напряжение неповрежденных фаз может возрасти до линейного напряжения, поэтому рассчитывать изоляцию необходимо под это напряжение.

Изолированная нейтраль используется в сетях напряжением 1-35кВ, поскольку для них необходимо надежная и бесперебойная подача электрической энергии по сетям, питающих широкий спектр оборудований и приборов.

Рекомендуется использовать режим изолированной нейтрали в сетях с напряжение от 1 кВ до 35кВ, поскольку в сетях с напряжение 110кВ применение нейтрали становиться нецелесообразным со стороны экономических и технических аспектов. Использование данной нейтрали в сетях с напряжение до 1кВ разрешается, даже бывает оправданным при требованиях к электробезопасности.

Рассмотрим сети, напряжение в которых достигает величины равной 110кВ. В типах таких сетей важным фактором является способ заземления, поскольку стоимость изоляции значительно разнится друг от друга в ценовом диапазоне, поэтому в этой трехфазной сети используется эффективное заземление нейтрали, при которой напряжение на неповрежденных фазах сети при однофазном замыкании в соотношении с междуфазном напряжением при нормальном режиме работы составляет меньше единицы. Именно данный показатель является основным достоинством эффективно заземленной нейтрали [3].

К числу недостатков эффективно заземленной нейтрали можно отнести следующий факт, что в случае возникновения короткого замыкания, когда при замыкании одной фазы на землю образуется короткозамкнутый контур, проходящий через нейтраль источника и землю, токи, протекающие в сети, приобретают огромное значение.

Чтобы избежать повреждение дорогостоящего оборудования, необходимо избегать длительного протекание больших токов, вследствие этого КЗ отключается релейной защитой. Возможен и такой исход событий, когда повреждения в сетях напряжением 110 кВ самоустраняются, иными словами, полностью исчезают после снятия напряжения. В таких случаях необходимо использовать АПВ (устройство автоматического повторного отключения), целью которого является восстановление первоначального питания потребителей за короткий срок [3].

Одним из факторов отказа от эксплуатация эффективно заземленной нейтрали является удорожание контура заземления, к функциям которого относят отведение на землю больших токов короткого замыкания. Можно сделать следующий вывод, что собой конструкция представляет сложное инженерное сооружение, а главным образом, дорогостоящее.

Рассмотрим случай, когда ток однофазного короткого замыкания превышает токи трехфазного короткого замыкания. Это происходит в сетях, имеющих в своей структуре автотрансформаторы и огромное количество заземленных нейтралей трансформаторов. Чтобы уменьшить ток однофазного короткого замыкания, применяют частичное разземление нейтаралей или токоограничивающие сопротивления.

Рассмотрим сеть с напряжение до 1 кВ, в которой происходит одновременной питание однофазных и трехфазных нагрузок. В этой схеме нейтраль генератора или трансформатора присоединена непосредственно или через малое сопротивление к заземляющему устройству. В такой сети широко применяется нулевой проводник, который связан с нейтралью трансформатора, также это необходимо при однофазных нагрузках для фиксации фазного напряжения. Данный проводник выполняет функцию зануления, иными словами, к нему присоединены металлические части электрического оборудования, которые формально не находятся под напряжением [3].

Если имеется зануление, то при пробое изоляции на корпус может быть вызвано короткое замыкание, тогда срабатывает защита и установка отключается от сети. Однако в случае отсутствия зануления такого рода повреждение может вызвать опасный потенциал. Для предотвращения подобных случаев нужно и необходимо контролировать целость нулевого проводника, так как в случае его взрыва может произойти перекос напряжений по фазам, то есть напряжение повышается на незагруженных и снижается на загруженных. При необходимости можно использовать раздельное выполнение нулевого рабочего проводника и нулевого защитного рабочего проводника [3].

К числу достоинств можно отнести то, что данную нейтраль можно применять при эксплуатации оборудования, в котором уровень изоляции свидетельствует о наличии фазного напряжения, не нужно обдумывать устройство специальной схемы защиты, достаточно будет обычных функций защиты от тока перегрузки в фазах для удаления глухих замыканий фазы на землю.

Недостатками является то, что имеется большой риск повреждений из-за большого значения замыкания тока на землю, из-за высокого значения напряжения прикосновений для здоровья человека имеется опасность.

Примером использования заземления нейтрали через дугогасящий реактор может стать сеть 3-35кВ, в которой данный тип нейтрали применяется для уменьшения значения тока замыкания на землю [3].

При нормальном режиме работы значение тока через дугогасящий реактор практически равно нулю. В случае замыкания одной фазы на землю дугогасящий реактор оказывается под действием фазного напряжения и через место, где находится замыкание, индуктивный ток реактора протекает вместе с емкостным током . Вследствие того, что они отличаются по фазе на угол 180 градусов, то в месте замыкания они компенсируют друг друга. Рассмотрим явление резонанса, когда =, вследствие этого ток через место замыкания протекать не будет. Таким образом, дуга в месте повреждения не возникает, а опасные последствия, связанные с ней, устраняются. Реакторы подбираются согласно значению Q в соответствии с требуемой мощностью. Нужно учитывать, что для обеспечения более полной компенсации емкостного тока при изменениях схемы сети, значения регулировочного диапазона должно быть достаточным [3].

Учитывая перегрузку трансформатора, коэффициент k, который является коэффициентом перегрузочной способности мощности реактора, будет рассчитываться по формуле

(1)

Если к ненагруженному трансформатору присоединен реактор

При подключении реактора к специальному ненагруженному трансфор­матору необходимо выдержать условие:

(2)

или

(3),

(если перегрузка трансформатора допустима).

Работа с замкнутой на землю фазой допускается до тех пор, пока нельзя произвести переключение для отделения поврежденного участка. Следует учесть время, в течение которого реактор может работать.

Таким образом, благодаря собранной информации можно составить сравнительную характеристику в виде таблицы с отражением недостатков и достоинств разных режимов работы нейтрали.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика режимов работы нейтрали в электрических сетях

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Сеть с резонансно-заземленной (компенсированной) нейтралью | Сеть с изолированной нейтралью | Сеть с эффективно заземленной нейтралью | Сеть с глухозаземле-нной нейтралью |
| Напряжение электриче-ской сети | от 3кВ до 35кВ | от 1 кВ до 35кВ | 110кВ и 150кВ | до 1 кВ |
| Достоинства | 1) в случае кратковременных замыканий на землю дуга в месте замыкания гаснет, а линия не отключается  2) напряжения двух неповрежденных фаз при однофазных замыкания увеличиваются до значения междуфазного напряжения | 1) возможно продолжение работы электрооборудования в случае, если протекает емкостный ток, значения которого меньше 5 А  2) если замыкание случилось в сети, а не в обмотке генератора, то можно допустить работу в течение нескольких часов | 1)напряжение на неповрежденных фазах сети при однофазном замыкании в соотношении с междуфазном напряжением при нормальном режиме работы составляет меньше единицы | 1) сеть незаменима в процессе подавления перенапряжений  2) данную нейтраль можно применять при эксплуатации оборудования, в котором уровень изоляции свидетельствует о наличии фазного напряжения  3) не нужно обдумывать устройство специальной схемы защиты, достаточно будет обычных функций защиты от тока перегрузки в фазах для удаления глухих замыканий фазы на землю |
| Недостатки | 1) при замыканиях на землю получаются значительные смещения нейтрали, при которых в сети могут возникнуть перенапряжения  2) высокая стоимость эксплуатации электрической сети | 1) рабочему персоналу бывает трудно определить место замыкания на землю  2) имеются случаи, когда из строя выходят сразу несколько электродвигателей, то есть происходят множественные повреждения | 1) в случае возникновения короткого замыкания, когда при замыкании одной фазы на землю образуется короткозамкнутый контур, проходящий через нейтраль источника и землю, токи, протекающие в сети, приобретают огромное значение  2) удорожание контура заземления, к функциям которого относят отведение на землю больших токов короткого замыкания | 1) имеется большой риск повреждений из-за большого значения замыкания тока на землю   1. 2) из-за высокого значения напряжения для здоровья человека имеется опасность |

С помощью таблицы можно провести сравнительный анализ.

Главным достоинством дугогасящего реактора является то, что в случае кратковременных замыканиях на землю дуга в месте замыкания гаснет, а линия не отключается. Напряжения двух неповрежденных фаз при однофазных замыкания увеличиваются до значения междуфазного напряжения. Итак, можно сделать выводом о некотором родстве резонасно-заземленной нейтрали и незаземленной нейтрали.

Выбор режима работы нейтрали, прежде всего, как уже было сказано, очень важен, так как выбранный режим должен обеспечивать безопасность обслуживающего персонала, экономичность электроустановки, бесперебойность электроснабжения потребителей и надежность работы.

Выводами исследовательской работы можно считать следующие тезисы:

выбор режима работы нейтрали в электрической сети исходит прежде всего из значений напряжения в электрической сети;

в сети в с напряжением 110кВ и 150кВ удобнее всего применять эффективно заземленную нейтраль, которая согласно таблице представляет собой дорогостоящую технологию, но обладает достоинством, что напряжение на неповрежденных фазах сети при однофазном замыкании в соотношении с междуфазном напряжением при нормальном режиме работы составляет меньше единицы;

в случае сети с напряжением до 1кВ нужно использовать глухозаземленную нейтраль, но нужно учитывать большие риски не только для здоровья человека, поскольку сети до 1кВ больше всего эксплуатирует не специалист в электроэнергетики, а незнающий электрику человек, но и для самого оборудования, поскольку могут возникнуть повреждения;

наконец, в сети с напряжением до 35 кВ можно использовать изолированную нейтраль (если есть от 1кВ) и резонансно-заземленную нейтраль (если есть от 3кВ). Первая нейтраль позволяет продолжить работу электрооборудования даже в случае, если протекает емкостный ток, значения которого меньше 5 А, но рабочему персоналу бывает трудно определить место замыкания на землю. Во второй нейтрали в случае кратковременных замыканий на землю дуга в месте замыкания гаснет, а линия не отключается, однако при замыканиях на землю получаются значительные смещения нейтрали, при которых в сети могут возникнуть перенапряжения.

Таким образом, в ходе работы были изучены режимы работы нейтрали в электрических сетях, проведен анализ полученной информации и отражены основные достоинства и недостатки режимов работы нейтрали в электрических сетях.

**Библиографический список**

1. ГОСТ 30331.1-2013. Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения. – М.:Стандартинформ, 2014. – 44 с.

2. Ощепков, В. А. Определение уровня перенапряжения в сетях с компенсацией ёмкостных токов / В. А. Ощепков, А. О. Шепелев, Н. С. Капитонов // Омский научный вестник. – 2016. – № 5. – c. 89.

3. Режимы работы нейтрали в электроустановках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gigavat.com/obschie_svedeniya_ob_elektroustanovkah3.php> (дата обращения: 19.11.2021)

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF NEUTRAL OPERATING MODES IN ELECTRICAL NETWORKS**

Dimitryuk D. V. UlSTU

***Keywords:*** *neutral operating mode, electricity, electric power, electric grid, neutral.*

*The article is devoted to the study of neutral operating modes in electrical networks, the analysis of the information received and the reflection of the main advantages and disadvantages of neutrals in electrical networks.*