

## **РЕЗИСТИВНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–10 кВ**

Сивокобыленко В.Ф., Дергилев М.П., Левшов А.В.  
Донецкий национальный технический университет

*Визначені причини пошкодження електрообладнання розподільчих мереж 6-10 кВ. На основі математичного моделювання досліджені граничні значення дугових перенапруг у різних по параметрах і режимах заземлення нейтралів мереж. Запропоновані умови вибору заземлюючих резисторів, у тому числі при замиканні статорної обмотки електродвигуна на корпус. Розроблені схемні рішення по підвищенню надійності роботи розподільчих мереж у сформованих умовах.*

В условиях постоянного ухудшения состояния распределительных электрических сетей, из-за отсутствия необходимых средств на своевременную замену изношенного электрооборудования, всё острее становится проблема обеспечения надежной работы систем электропитания потребителей электрической энергии. Распределительные сети работают в условиях загрязнения, увлажнения, частых электродинамических и термических перегрузок. По данным опыта эксплуатации Донецких электрических сетей, в настоящее время удельная повреждаемость их составляет более 130 повреждений в год на каждые 100 км сети, что на порядок выше нормы [1-3]. В подавляющем большинстве случаев (до 90 %) повреждение начинается с пробоя изоляции на землю, а затем зачастую развивается в междуфазные короткие замыкания или многоместные пробои изоляции с групповым (две, три и более единицы) выходом из строя электрооборудования.

Основной причиной повреждений являются дуговые перенапряжения, величина которых по результатам наших исследований (рис.1) может составлять (3,2 – 3,5) Uф, а при наличии в сети несимметрии напряжений по фазам перенапряжения могут существенно возрасти. Особенно это характерно для сетей с небольшим емкостным током замыкания на землю, где установка дугогасящих катушек не нормируется или требует существенных дополнительных вложений [4-6]. Для этих сетей в настоящее время предлагается режим с заземлением нейтрали через активное сопротивление.

В случае отсутствия свободного доступа к нейтральной точке

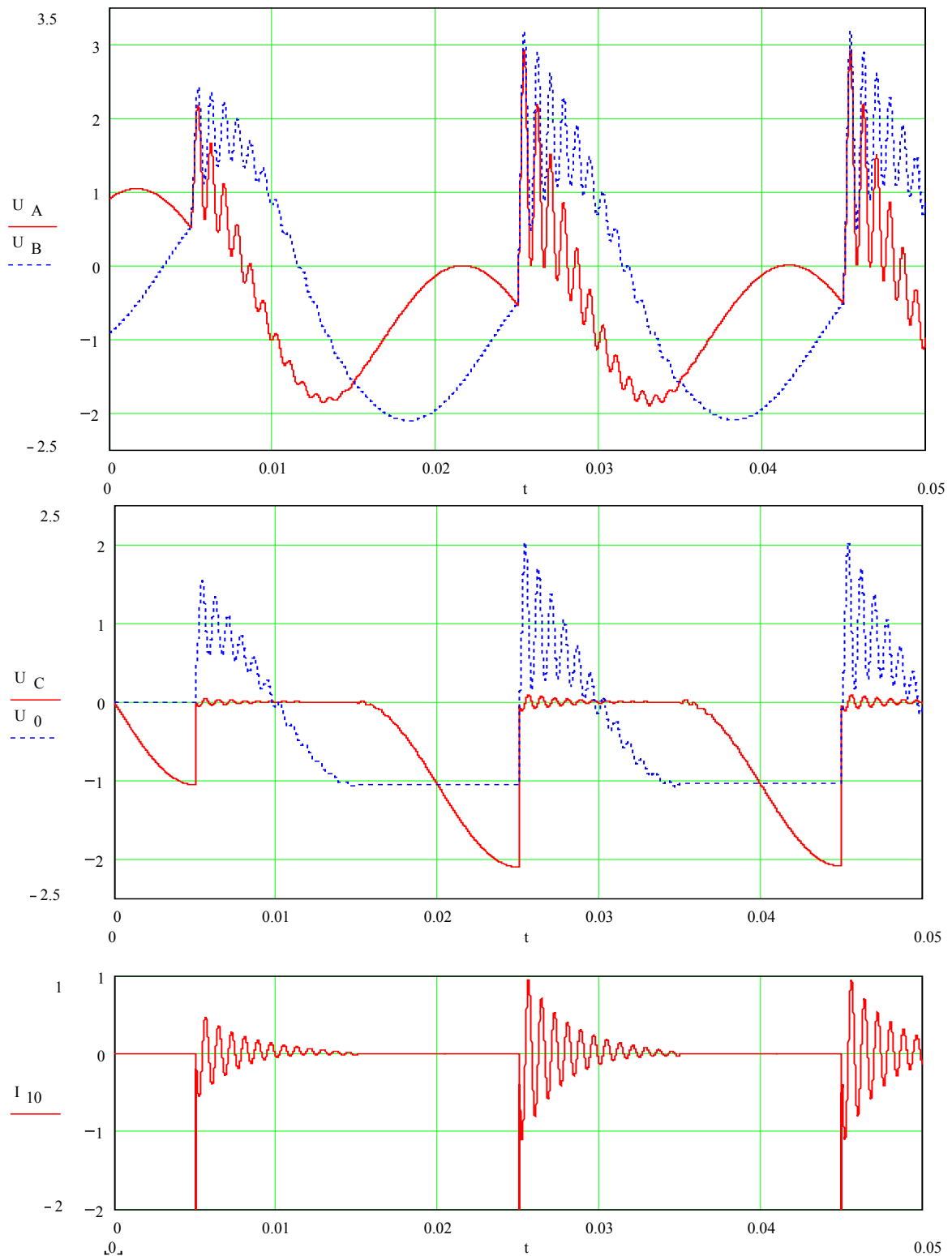


Рисунок 1 –Процессы при дуговом замыкании фазы С на землю в сети с изолированной нейтралью (ток глухого замыкания на землю-30А,гашение дуги при переходе через нуль тока после затухания его высокочастотной составляющей).

сети, заземляющий резистор рекомендовано подключать к нейтрали специального присоединительного трансформатора небольшой мощности со схемой соединения обмоток  $Y/\Delta$ . Такой режим заземления нейтрали позволяет эффективно ограничить дуговые перенапряжения до уровня, безопасного для эксплуатации электрических машин, трансформаторов и кабелей с ослабленной изоляцией. Ограничение перенапряжений при резистивном заземлении нейтрали осуществляется за счет разряда емкости здоровых фаз и снижения напряжения на нейтрали до значения, исключающего эскалацию перенапряжений при последующих пробоях ослабленной изоляции аварийной фазы (рис. 2).

Одновременно с этим заземляющие резисторы эффективно подавляют всевозможные резонансные и феррорезонансные перенапряжения. Они способствуют ликвидации свехтоков, обусловленных насыщением магнитопроводов измерительных трансформаторов и трансформаторов контроля изоляции и исключают, тем самым, термическое разрушение их обмоток и повышают надежность и селективность работы простейших защит от однофазных замыканий на землю (ОЗНЗ). Следует, однако, отметить, что готовые рецепты для выбора номинала заземляющего резистора в настоящее время отсутствуют, вместе с тем исключить эскалацию напряжения на нейтрали в режиме ОЗНЗ можно только в условиях обеспечения разряда емкости здоровых фаз за время бестоковой паузы, то есть за  $t=0,008-0,01$  с. Уменьшение величины сопротивления резистора приводит к увеличению тока ОЗНЗ, что обеспечивает, с одной стороны, быстрый разряд емкости фаз и уменьшение напряжения на нейтрали, а с другой – увеличение тока замыкания приводит к повышению энергии, рассеиваемой резистором. При увеличении номинала заземляющего резистора за время бестоковой паузы напряжение на нейтрали снижается не до нуля, а до какой-то величины  $\Delta U$ , что приводит к росту величины дуговых перенапряжений. Поэтому в сетях с низким уровнем резервирования потребителей электрической энергии предпочтение следует отдавать высокоомному резистору в нейтрали сети. Высокоомные резисторы, обеспечивая должную защиту от перенапряжений, не ухудшают условий для гашения дуги, и активный ток, создаваемый ими, может быть использован для создания селективной токовой защиты, которая может действовать как на сигнал, так и на отключение в зависимости от условий обеспечения надежности и безопасности электрооборудования. В этом случае мощность заземляющих устройств должна определяться возможной необходимостью длительной работы в ре-

жиме однофазного замыкания на землю и обеспечения апериодического процесса разряда емкости фаз сети.

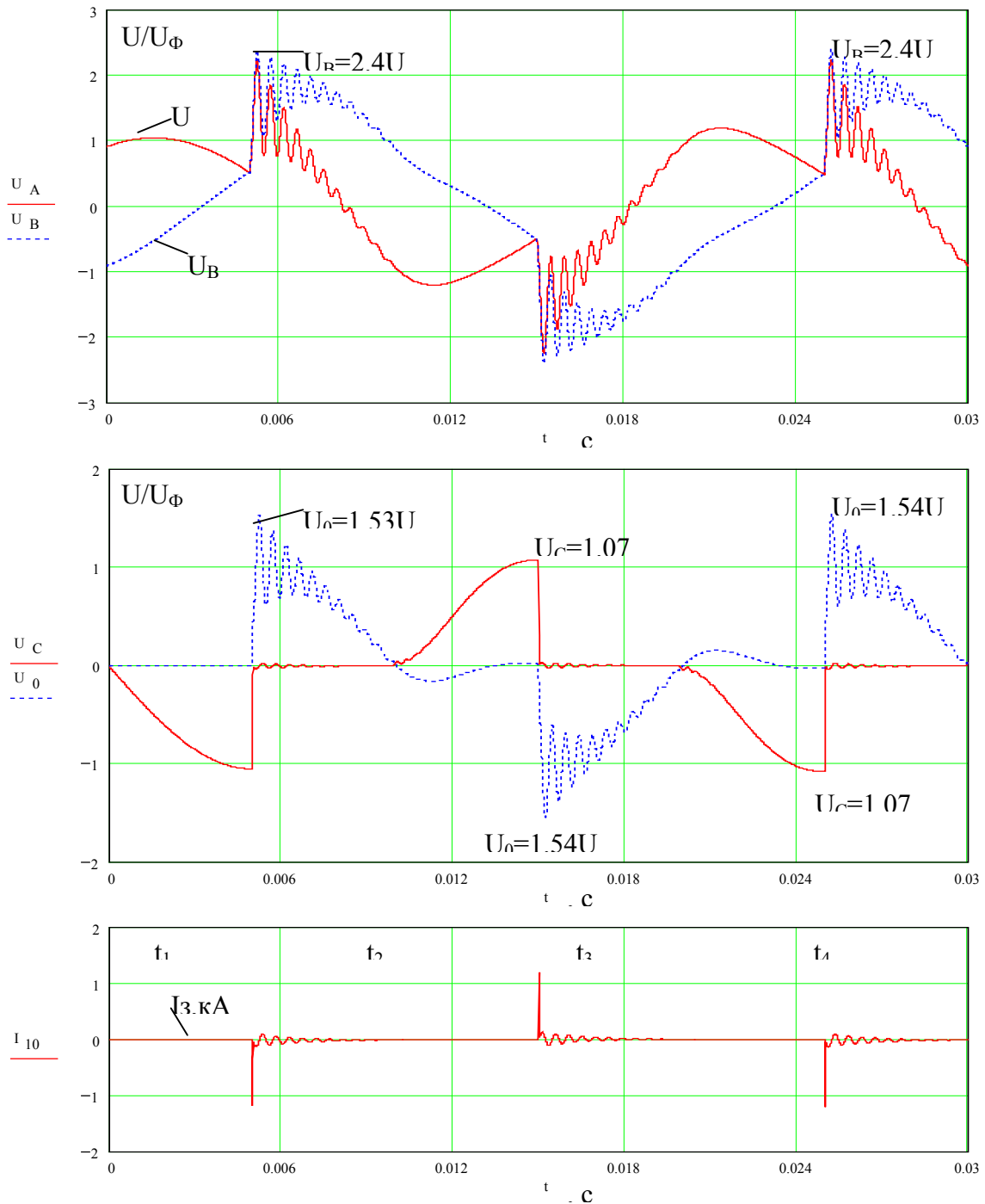


Рисунок 2-Процессы при дуговом замыкании фазы С на землю в сети с резистивно-заземленной нейтралью через 150 Ом.

Если существующая система электроснабжения потребителей достаточно надежна (несколько центров питания, наличие устройств АВР и т. д.), то следует отдавать предпочтение низкоомному резистору в нейтрали. Низкоомное резистивное заземление нейтрали призвано создать ток при однофазном замыкании в десятки и даже сотни ампер и, естественно, сочетается с устройством релейной защиты, действующей на немедленное отключение поврежденного присоединения. Величина тока в месте замыкания выбирается исходя из требуемой чувствительности работы устройств релейной защиты, а рекомендуемое значение номинала заземляющего резистора составляет в пределах 100 – 200 Ом для сетей 6кВ и 150 – 300 Ом для сетей 10 кВ. Такой режим заземления нейтрали обеспечивает достаточно глубокое (до 2,2 – 2,4 Уф) ограничение перенапряжений и сокращает до минимума время их воздействия, уменьшает дрейф электрической нейтрали при однофазных замыканиях на землю и создает условия, при которых токи замыкания на землю будут иметь вполне определенные значения, не зависящие от оперативных состояний схем секций 6 или 10 кВ и места замыкания статорной обмотки электродвигателя на корпус.

Резистивное заземление в сочетании с релейной защитой от однофазных замыканий на землю позволяет также существенно повысить надежность работы широко внедряемых в последние годы ограничителей перенапряжений ОПН, которые, как известно, обладают недостаточной термостойкостью при длительных воздействиях дуговых перенапряжений. Снижение энергетических нагрузок на ОПН при ограничении дуговых перенапряжений в сети с резистивнозаземленной нейтралью и сокращение длительности существования этого режима позволяет применять ОПН с уровнем ограничения вплоть до 2 Уф. Для защиты наиболее ответственных объектов с ослабленной изоляцией (вращающиеся машины, трансформаторы и др.) следует предусмотреть возможность установки дополнительных ОПН или R – С ограничителей в непосредственной близости от места присоединения их к питающей линии.

Таким образом, проблема повышения надежности работы распределительных сетей напряжением 6 – 10 кВ складывается из комплекса задач, эффективное решение каждой из которых может быть найдено индивидуально с учетом характерных особенностей каждой электрической системы питания и потребления на основе проведения большого объема научных и экспериментальных исследований, в том числе и в реальных сетях. Получение максимума преимуществ от выбранного способа увязывается со специфическими требованиями, предъявляемыми к сети, основными из которых, как правило, являются надеж-

ность системы электроснабжения потребителей и стоимость обеспечения заданного уровня надежности.

По результатам исследования переходных процессов в электрических сетях с различным режимом заземления нейтрали авторами работы предложен ряд схемных решений, практическая реализация которых обеспечит высокий уровень надежности функционирования электрооборудования сетей с высокой степенью изношенности изоляции.

Предлагаемые решения учитывают особенности каждой сети, ее параметры, режимы работы электрооборудования и обеспечивают глубокое ограничение перенапряжений в пределах до 2Uф. Для каждой конкретной сети это достигается путем комбинированного использования средств релейной защиты, режима заземления нейтрали, применения ограничителей серии ОПН с разными порогами ограничения и системы быстрого и автоматического шунтирования поврежденной фазы. Последняя оборудована устройством автоматического выбора поврежденной фазы, обеспечивающим также относительно быстрое и селективное отыскание поврежденного присоединения в сети с любой конфигурацией. Лабораторные и сетевые испытания предлагаемых решений показали высокую эксплуатационную надежность и позволяют существенно улучшить условия работы электрооборудования с ослабленной изоляцией, сократить повреждаемость электрических машин, а также снизить общее количество однофазных замыканий в сети и в том числе замыканий, переходящих в междуфазные короткие замыкания и многоместные пробой изоляции с групповым выходом из строя электрооборудования.

## ВЫВОДЫ

1. Основной причиной высокой повреждаемости электрооборудования в сетях среднего класса напряжения являются дуговые перенапряжения, возникающие при перемежающемся характере горения дуги в месте пробоя фазной изоляции на землю.
2. Проблема повышения надежности работы распределительных сетей напряжением 6-10 кВ складывается из комплекса задач, эффективное решение которых может быть найдено для каждой конкретной сети индивидуально с учетом характерных ее особенностей на основе комбинированного использования средств релейной защиты, совершенствования режима заземления нейтрали, применения ограничителей серии ОПН с разными порогами ограничения и системы быстрого и автоматического шунтирования поврежденной фазы.

3. Практическая реализация разработанных на кафедре «Электрические станции» ДонНТУ устройств и схемных решений для каждой конкретной электрической системы питания и потребления позволяет обеспечить требуемый уровень надежности функционирования электрооборудования с высокой степенью изношенности изоляции.

#### Литература

- Гиндулин Ф.А., Гольдштейн В.Г., Дульзон А.А., Халилов Ф.А. Перенапряжения в сетях 6-35 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
- IEEE Recommended Practise for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE std 142-1991). Published by the IEEE inc/ - NJ, 1992.
- Wang G.H., Moffart W.M., Vegh L.J. Hign-resistance grounding and selective ground fault protection for a major industrial facility // IEEE Trans. On IA. – 1984. – Vol.IA – 20. - №4.
- Петров О.А. Точность систем автоматической настройки компенсации емкостных токов однофазного замыкания на землю в электрических сетях. Электрические станции. №11, 1989.
- Дмоховская Л.Ф., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. и др. Техника высоких напряжений. Учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов. Под общей ред. Д.В. Разевига. Изд. 2-е, перераб. и доп. –М., «Энергия», 1976.
- Бики М.Е., Бродовой Е.Н., Брянцева А.М. и др. Электромагнитные процессы в мощных управляемых реакторах. Электричество.№6, 1994.