

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С НЕЙТРАЛЬЮ, ЗАЗЕМЛЕННОЙ ЧЕРЕЗ ДУГОГАСЯЩУЮ КАТУШКУ

Николаевский Ф. Р., Махинда Сильва, Агафонова Н. Е., инженеры

В данной статье, выполненной под научным руководством д.т.н. Сивокобыленко В.Ф. и к.т.н. Дергилева М.П., приводятся результаты математического моделирования процессов однофазного замыкания на землю. За основу взята математическая модель, описанная в [1], дополненная учетом дугогасящей катушки и междуфазных емкостей. Схемы замещения элементов (двигателя, кабеля и трансформатора) представлены 2-х цепочечными П-образными схемами. Пользуясь методом контурных токов, для схемы замещения с.н. получена система дифференциальных уравнений 47-го порядка, которая численно интегрировалась неявным методом Эйлера, обладающим хорошей численной устойчивостью. Шаг интегрирования принимался равным 5 мкс

Разработанная модель позволяет моделировать глухое замыкание фазы на землю и через перемежающуюся дугу, с погасанием ее при переходе через нуль высокочастотной составляющей (теория Петерсена) или составляющей тока промышленной частоты (теория Петерса и Слепяна), а также при учете восстановления прочности промежутка (теория Белякова).

По установившейся практике сети напряжением до 35 кВ включительно имеют изолированную нейтраль. Если в такой сети произойдет дуговое замыкание на землю, то через дугу будет протекать емкостной ток, величина которого определяется емкостью трех фаз сети. Устойчивая дуга однофазного замыкания на землю ведет к термическому разрушению изоляторов, пережогу провода и обычно перебрасывается на междуфазные промежутки, т.е. ведет к междуфазным коротким замыканиям с автоматическим отключением участка сети. По этой причине дуговые замыкания на землю стремятся погасить в начале их возникновения. Для этой цели служит дугогасящая катушка (ДК), включаемая в нейтраль трехфазной сети. Катушка настраивается в резонанс на суммарную емкость сети на землю ($3C_{\phi}$).

Действие катушки основано на двух факторах. Во-первых, катушка компенсирует ток замыкания на землю до остаточного значения $I_{ост}$, малого по сравнению с током I_3 без катушки. Во-вторых, катушка резко снижает скорость

восстановления напряжения на дуге. Но как показывает практика, повреждаемость оборудования при установке ДГК практически не уменьшается. В связи с этим возникает задача разработки методов, повышающих надежность работы сетей с нейтралью, заземленной через ДГК.

С течением времени изоляция электрооборудования претерпевает электрическое старение, которое выражается в снижении сопротивления изоляции. Старение изоляции может протекать не одинаково по каждой из фаз, что создает несимметрию активных и емкостных сопротивлений, а это в свою очередь влечет к появлению напряжения смещения нейтрали. Несимметрия появляется также при обрыве проводов и при подключении дополнительной емкости к одной из фаз для регулятора и др. При наличии несимметрии настройка установленной в сети ДГК в резонанс ведет к резкому увеличению напряжения смещения нейтрали в нормальном режиме работы сети. Причем несимметрия емкостей фаз относительно земли сильнее влияет на величину смещения нейтрали, чем несимметрия активных сопротивлений изоляции. Так, для сети с емкостным током замыкания на землю 30 А, добротностью катушки в нейтрали R/X_L равной 0,01 и сопротивлением изоляции 1 Мом результаты расчетов напряжения несимметрии приведены на рис. 1, 2.

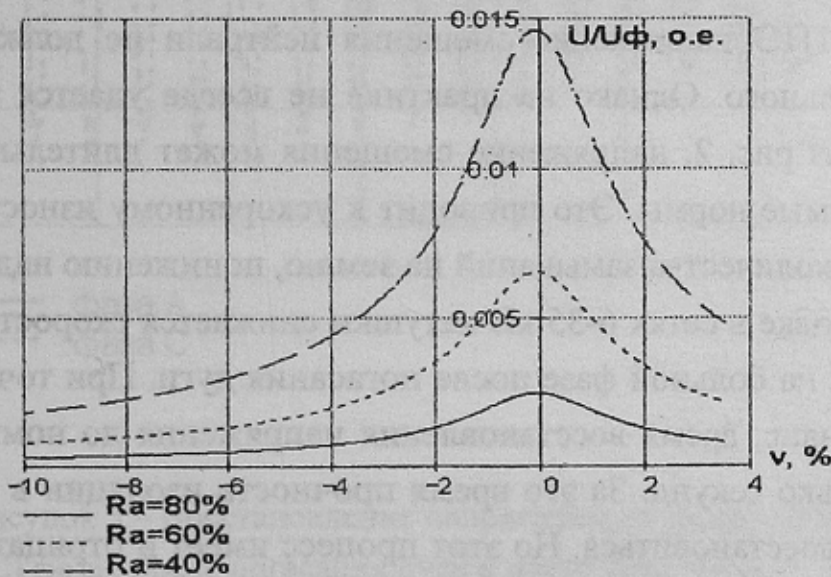


Рисунок 1 – Зависимость напряжения смещения нейтрали от степени расстройки катушки ($v = \frac{l_c - l_l}{l_c} \cdot 100\%$) при различной величине несимметрии,

вызванной уменьшением сопротивления изоляции в фазе А

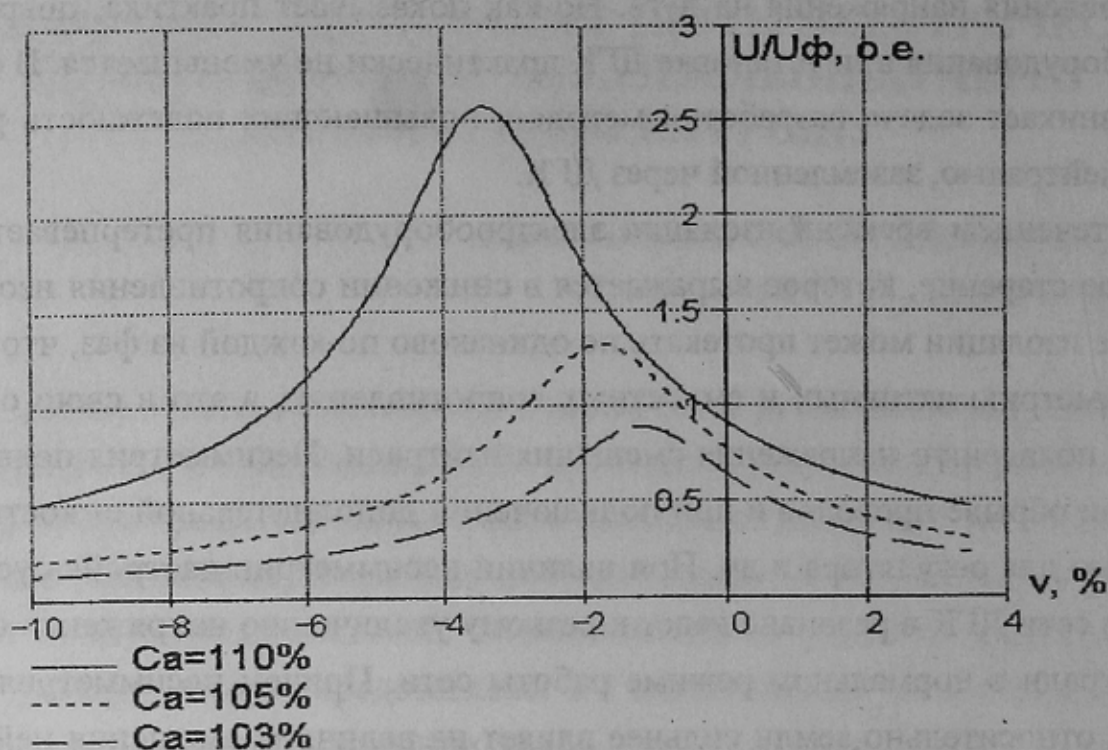


Рисунок 2 – Зависимость напряжения смещения нейтрали от степени расстройки катушки при различной величине несимметрии, вызванной изменением емкости в фазе А

Согласно ПТЭ напряжение смещения нейтрали не должно превышать 15% от номинального. Однако на практике не всегда удается этого достичь. И, как следует из рис. 2, напряжение смещения может длительное время превышать допустимые нормы. Это приводит к ускоренному износу изоляции сети, увеличению количества замыканий на землю, понижению надежности.

При установке в сетях 6-35 кВ катушки снижается скорость восстановления напряжения на больной фазе после погасания дуги. При точной настройке катушки в резонанс, время восстановления напряжения до номинального, составляет несколько секунд. За это время прочность изоляции в месте повреждения успевает восстановиться. Но этот процесс имеет и отрицательные стороны, потому что все это время на здоровых фазах держится напряжение порядка 1,9-2,3 U_{ϕ} . Относительная длительность существования таких перенапряжений может привести к пробое изоляции в этих фазах, особенно в старых сетях с плохой изоляцией.

В реальных сетях настроить катушку точно в резонанс невозможно, т.к. индуктивность катушки регулируется дискретно. Допускается расстройка катушки $v \leq 5\%$. При расстройке в 5% восстанавливающееся напряжение на по-

врежденной фазе имеет характер биений. Огибающая напряжения достигает максимума, составляющего $1,78U_{\phi}$. В дальнейшем, в процессе биений, огибающая напряжения стремится к U_{ϕ} . Прочность изоляции к моменту максимума биений может восстановиться, но напряжение $1,78U_{\phi}$ на больной фазе может вызвать повторный пробой изоляции с последующей кратностью перенапряжений $2,89U_{\phi}$ (рис. 3). При расстройке более 25% кратность перенапряжений такая же, как в сетях без установки дугогасящей катушки. При этом кратность перенапряжений при перекомпенсации немного меньше, чем при недокомпенсации.

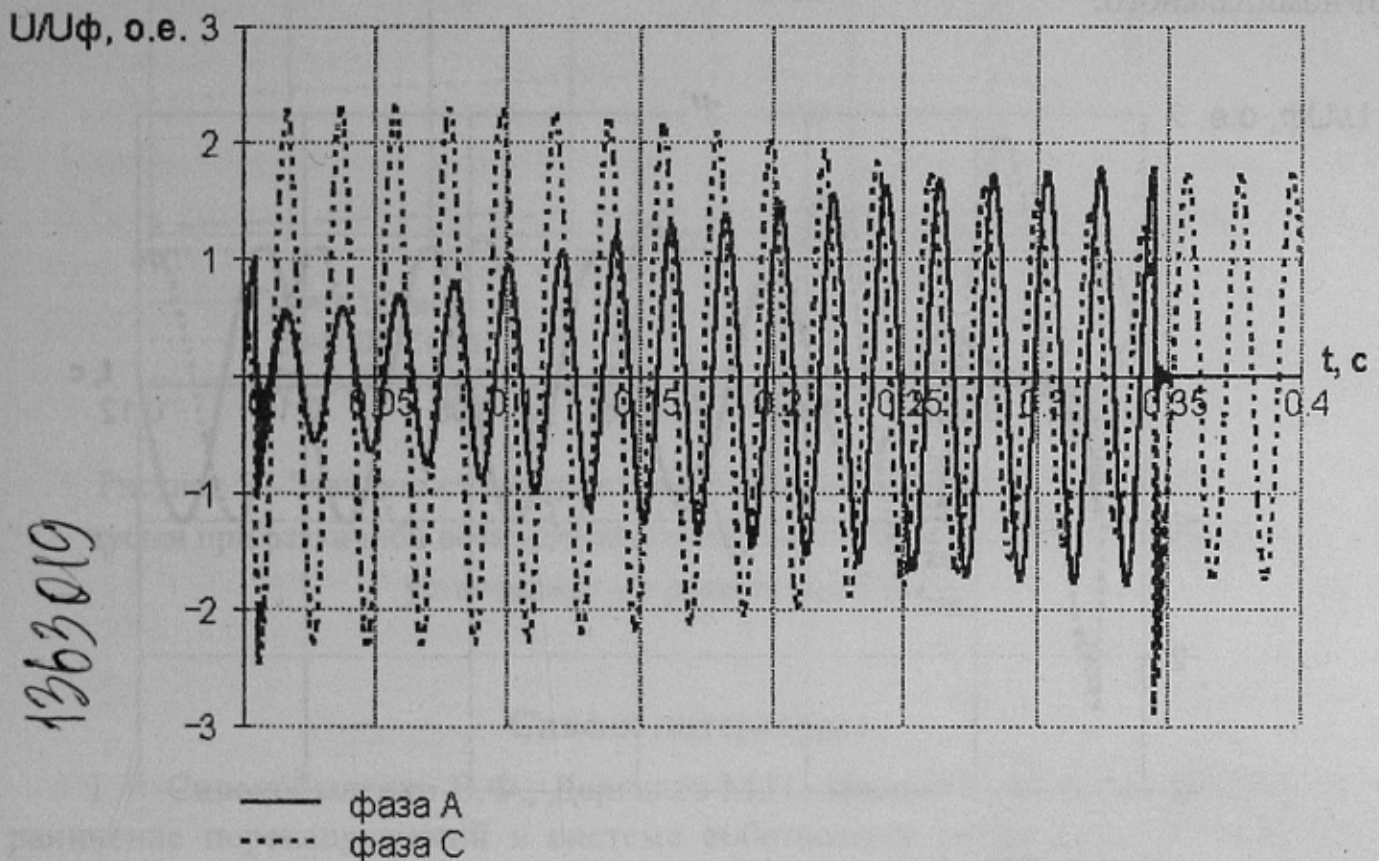


Рисунок 3 – Восстановление напряжения на поврежденной (А) и здоровой (С) фазах после погасания дуги в месте замыкания на землю (расстройка катушки 5%)

На основе проведенных исследований кафедрой ЭС ДонГТУ было предложено для устранения выявленных недостатков, вызванных смещением нейтрали сети и длительным существованием повышенных напряжений в режимах замыкания фазы на землю, параллельно ДГК подключить через контактор резистор. Сопротивление резистора выбирается таким, чтобы напряжение не-

симметрии не превышало допустимого, а величина и длительность перенапряжений были минимальными. Так для указанной выше сети при сопротивлении резистора 500 Ом напряжение восстанавливается до U_{ϕ} без биений при расстройке катушки до 15% (рис. 4). Кратность перенапряжений при повторном пробое снижается до $2,4U_{\phi}$. Резистор также снижает напряжение смещения нейтрали ниже допустимых пределов при наличии несимметрии в сети (рис. 5). Для того, чтобы резистор не перегревался большими токами при устойчивом однофазном замыкании он отключается с помощью контактора с выдержкой времени 0,5 с при превышении напряжением нулевой последовательности 20% от номинального.

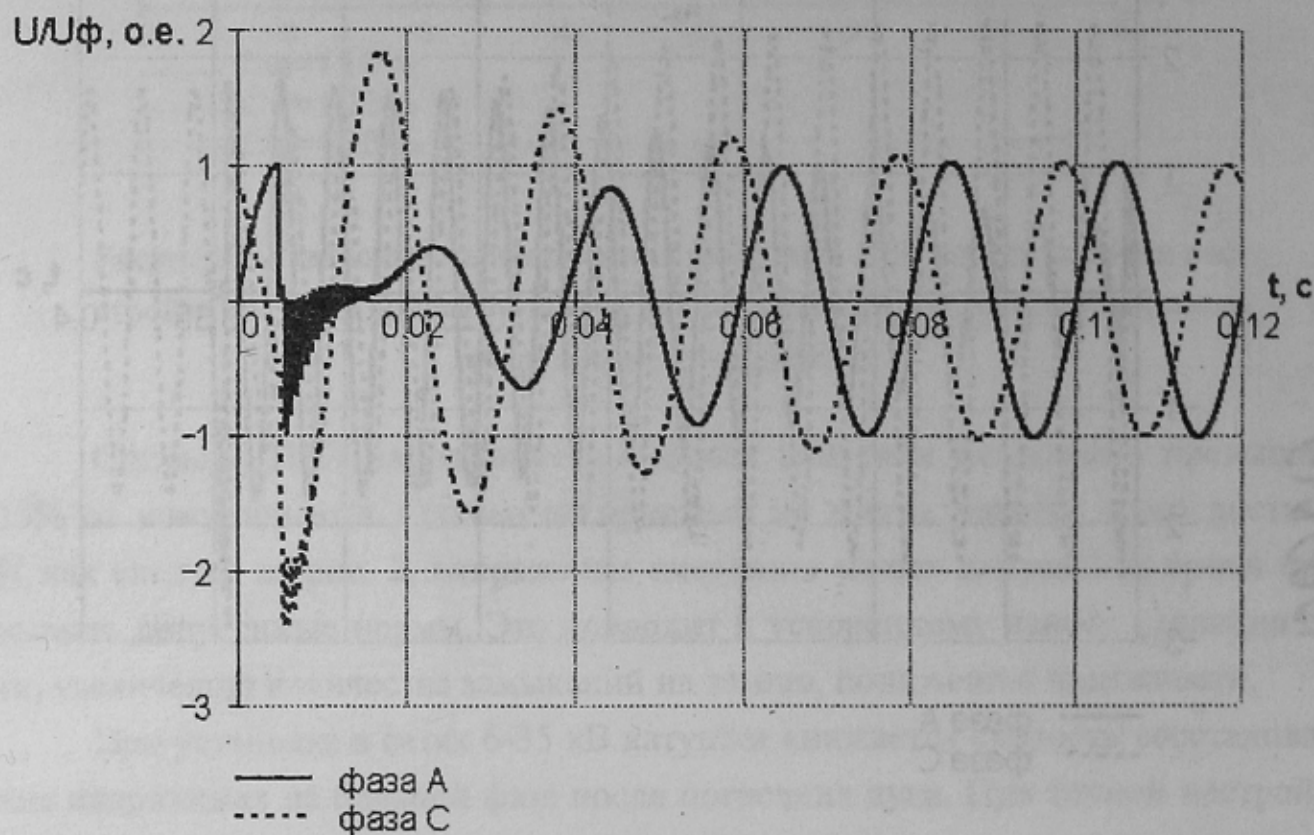


Рисунок 4 – Восстановление напряжения после дугового замыкания на землю (расстройка катушки 15%, в нейтрали установлено сопротивление 500 Ом)

На основе разработанной методики математического моделирования переходных процессов в сетях с нейтралью, заземленной через ДГК, и проведенных исследований, предложено для повышения надежности сетей параллельно ДГК подключать через контактор резистор. Это приводит к снижению напря-

жения смещения нейтрали, уменьшению кратности перенапряжений при замыканиях на землю, повышению срока службы кабельных сетей.

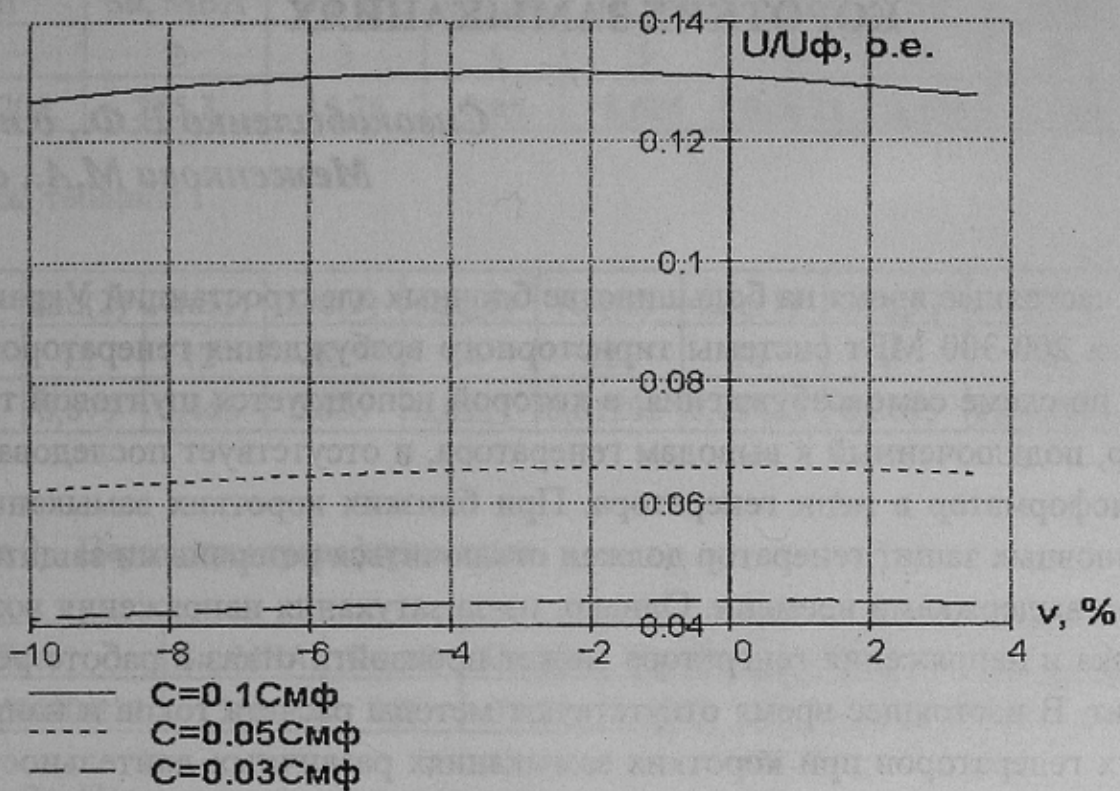


Рисунок 5 – Зависимость напряжения смещения нейтрали от настройки катушки при различной величине несимметрии емкости изоляции (в нейтрали установлено сопротивление 500 ом)

Список литературы

1. Сивокобыленко В.Ф., Дергилев М.П., Иванов С.А., Балашов В.М. Ограничение перенапряжений в системе собственных нужд электростанций. // Энергетика и электрификация. – 1996. – с. 20-22.
2. Электротехнический справочник: В 3 т. 2 кн. Производство и распределение электроэнергии (под общ. ред. профессора МЭИ Орлова и др.) 7-е изд. / М.: Энергоиздат, 1988. – с. 657-658.