

УДК 621.3

А.А. Лоскутов, О.В. Кузина

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТИВНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

Мировая практика показывает положительные результаты использования резистивного заземления нейтрали в распределительных электрических сетях. Однако в России резистивное заземление нейтрали практически не используется. Это связано, в том числе, с отсутствием научно обоснованных технических решений по оптимальному выбору сопротивления резисторов. В настоящей работе произведен анализ использования резистивного заземления нейтрали в распределительных сетях среднего напряжения. Определены основные критерии выбора резисторов. Разработаны имитационные модели в программном комплексе PSCAD, исследующие электромагнитные переходные процессы в электрической сети в зависимости от типа заземления нейтрали и от конкретного сопротивления резистора. Определены коэффициенты чувствительности релейной защиты в зависимости от сопротивления резисторов. Установлено, что важным критерием выбора резистора является гарантированная чувствительность простых токовых защит.

Ключевые слова: имитационное моделирование, ОЗЗ, резистивное заземление нейтрали, чувствительность.

1. Введение

Вопросы заземления нейтрали в распределительных электрических сетях (РЭС) рассматривались во многих научных работах и являются предметом дискуссий [1-5]. Резистивное заземление нейтрали является наиболее широко используемым способом в мировой практике. Для России наиболее традиционным является режим изолированной нейтрали и компенсация тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) с помощью дугогасящих реакторов. Резистивное заземление нейтрали для отечественных РЭС начали использоваться совсем недавно.

Наибольшее распространение во многих странах получило высокоомное и низкоомное заземление нейтрали. Заземление принято считать высокоомным, если ток в элементе, защищающем нейтраль, при ОЗЗ близок по модулю к емкостному току замыкания на землю, а низкоомным –

если ток в указанном элементе в тех же условиях достаточен для срабатывания простейших токовых защит от ОЗЗ [3]. Немногочисленные электрические сети 20 кВ в г. Москва выполнены с низкоомным заземлением нейтрали. Типовое сопротивление резисторов для этих сетей было выбрано 12 Ом, по аналогии с резисторами, используемыми на Западе [3, 6]. Однако научно обоснованных технических решений по оптимальному выбору сопротивления резисторов в зависимости от конфигурации сети и в различных условиях функционирования системы электроснабжения до сих пор очень мало.

Таким образом, актуальными задачами являются: исследование схем включения резисторов; обоснование и выбор параметров нейтралеобразующих трансформаторов; параметров срабатывания устройств РЗА; определение оптимального резистора по условию чувствительности РЗ; оценка положительных качеств использования резистивного заземления на напряжении 6-35 кВ в России. Для исследования электромагнитных переходных процессов в системе электроснабжения промышленного предприятия и в РЭС в зависимости от типа заземления нейтрали и от конкретного сопротивления резистора разработан ряд имитационных моделей в программном комплексе PSCAD.

II. Схемы подключения резисторов заземления нейтрали

В настоящее время применяются три схемы включением резистора: в нейтраль обмотки силового трансформатора 220(110)/10 кВ Y_0/Y_0 центра питания (рис. 1, а), подключение резисторов к нейтрали специального трансформатора заземления нейтрали (ТЗН) 10/0,4 кВ Y_0/Δ -11 (рис. 1, б) либо фильтра нулевой последовательности (ФНП) со схемой Z_0 (рис. 1, в).

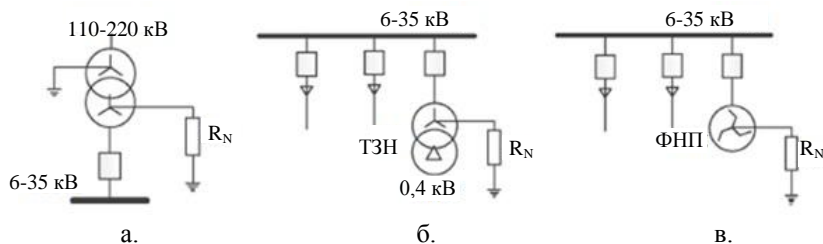


Рис. 1. Принципиальные схемы подключения резистора в сети 10 кВ при использовании: нейтрали обмотки силового трансформатора (а); ТЗН (б); ФНП со схемой «зигзаг» (в)

У схемы (рис. 1, а) имеется недостаток, который заключается в потере резистивного заземления секции шин при отключении питающего трансформатора. От этого недостатка освобождены схемы (рис. 1 б, в). При подключении резистора в нейтраль по схеме (рис. 1, а) формируется

связь шин высокого и среднего напряжения «по цепи нулевой последовательности», плановые и аварийные коммутации на стороне ВН приводят к переходному процессу и перенапряжениям в сети [1, 4].

Моделирование в PSCAD показало, что для схемы (рис. 1, а) при возникновении однофазного КЗ на удаленном конце КЛ 110 кВ, перенапряжения на КЛ 10 кВ достигают $U_{\text{П10}} = 4,6U_{\phi}$ (кривая 1 « R_N в нейтрали трансформатора 110/10», рис. 2). При подключении резистора к нейтрали по схемам (рис. 1. б, в), шины 110 и 10 кВ разделены по нулевой последовательности. Протекание тока нулевой последовательности по нейтрали низкого напряжения в связи с этим исключается. Это приводит к уменьшению влияния переходных процессов, возникающих при несимметричных КЗ в сети 110 кВ, на напряжения и токи на стороне 10 кВ, соответственно к уменьшению перенапряжения на КЛ 10 кВ, которые снижаются на 22 % и не превышают $3,6U_{\phi}$ (кривая 2 – « R_N в нейтрали ТЗН на 10/04», рис. 2).

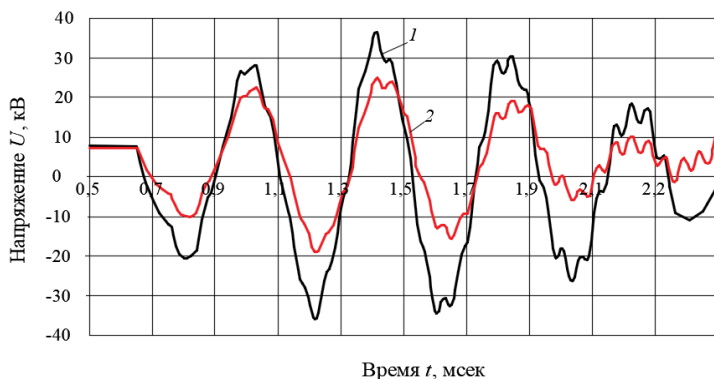


Рис. 2. Перенапряжение на конце КЛ 10 кВ при однофазном КЗ на КЛ 110 кВ: 1 – « R_N в нейтрали трансформатора 110/10; 2 – « R_N в нейтрали ТЗН на 10/04

III. Основные критерии выбора резисторов

Выбор тока, создаваемого резистором, происходит с учетом выбора двух противоположных задач: повышение чувствительности защит от замыкания на землю за счет увеличения тока однофазного замыкания на землю (реагирует на основную гармонику тока $3I_0$) или ограничение тока в месте повреждения (однофазное замыкание) для снижения объема разрушения оборудования.

Критерий 1 – ограничение перенапряжений при ОЗЗ:

$$R_N \leq \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_C}. \quad (1)$$

Современная практика проектирования предусматривает варианты с минимальным нанесением ущерба оборудованию и быстрым устранением тока короткого замыкания. Для обеспечения селективной работы защиты от ОЗЗ ток резистора должен превышать наибольший нагрузочный ток присоединения, тогда поврежденное присоединение селективно отключится с малой выдержкой времени.

Критерий 2 – селективная работа защиты от ОЗЗ:

$$R_N \leq \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_{с.з.макс}}. \quad (2)$$

В реальных условиях ток КЗ не должен превышать 12-30 кА (в зависимости от напряжения сети), что определяется номинальными токами отключения силовых выключателей в ячейках РУ. При таких коротких замыканиях в трансформаторах нулевой последовательности, а именно при равенстве первичных токов, вторичные токи при внешних КЗ и нормальной работе не равны по величине и не совпадают по фазе, откуда возникают значительные токи небаланса, от которых необходимо отстраивать ток срабатывания защиты от ОЗЗ.

Критерий 3 – отстройка от тока небаланса ТТ:

$$R_N \leq \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_{неб}}. \quad (3)$$

По требованиям электробезопасности электроустановок с различными режимами заземления нейтрали [7, 8], допустимые значения напряжения прикосновения обеспечиваются нормированием сопротивлений заземления заземляющих устройств электроустановок.

Обычно токовая защита нулевой последовательности для сетей с изолированной или компенсированной нейтралью действует на сигнал. Это допускает длительное, до 2 ч, существование ОЗЗ. При этом на заземляющем устройстве, за счет протекания по нему тока ОЗЗ, происходит длительное повышение напряжения [9].

Критерий 4 – обеспечение условий электробезопасности:

$$R_3 \leq \frac{U_{пп}}{\sqrt{3} \cdot I_R}, \quad (4)$$

где R_3 – сопротивление заземляющего устройства, Ом; $U_{пр}$ – предельно допустимое напряжение прикосновения; I_R – номинальный ток резистора.

Очевидно, что повышение тока резистора приводит к ухудшению условий электробезопасности, большим потерям при нагревании и требует дополнительной проверки термической стойкости оборудования.

Критерий 5 – обеспечение термической устойчивости резистора:

$$R_N \leq \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3} \cdot I_{ТЕРМ}}. \quad (5)$$

Помимо сопротивления резистора, величина тока ОЗЗ зависит от сопротивления заземляющего устройства и режима заземления экранов кабеля. При одностороннем разземлении кабеля увеличивается сопротивление контура и происходит уменьшение расчетного тока ОЗЗ. Также при расчете чувствительности необходимо учитывать снижение тока резистора за счет увеличения сопротивления резистора при нагреве.

IV. Моделирование электромагнитных переходных процессов в сети с резистивным заземлением нейтрали

На рис. 3 изображена масштабируемая модель городской сети 10 кВ с кабелями СПЭ-изоляции, предназначенная для моделирования различных режимов и управления присоединениями схемы. Для определения параметров действующих значений тока и напряжения используется блок быстрого преобразования Фурье. Для определения величины емкостного тока моделируется фильтр нулевой последовательности.

Был произведен ряд имитационных опытов, в ходе которых получены осциллограммы токов и напряжений, где видно, что ток ОЗЗ при резистивном заземлении нейтрали увеличивается, в отличие от изолированной нейтрали (рис. 4, 5). Это позволяет улучшить чувствительность защит. Осциллограмма напряжения показывает, что при замыкании фазы *A* на землю, потенциал фазы *A* стремится к 0, т.е. потенциалу земли, а напряжения фаз *B* и *C* относительно земли возрастут почти до линейных.

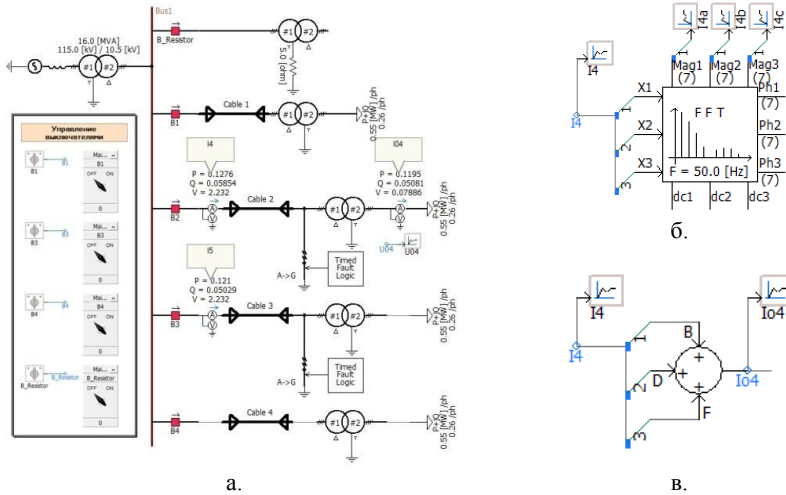


Рис. 3. Модель масштабируемой эквивалентной сети 10 кВ: модель сети с элементами управления (а); блок быстрого преобразования Фурье (б); фильтр нулевой последовательности (в)

К данному типу заземления была смоделирована простая ненаправленная токовая защита нулевой последовательности, которая срабатывает на отключение (рис. 6).

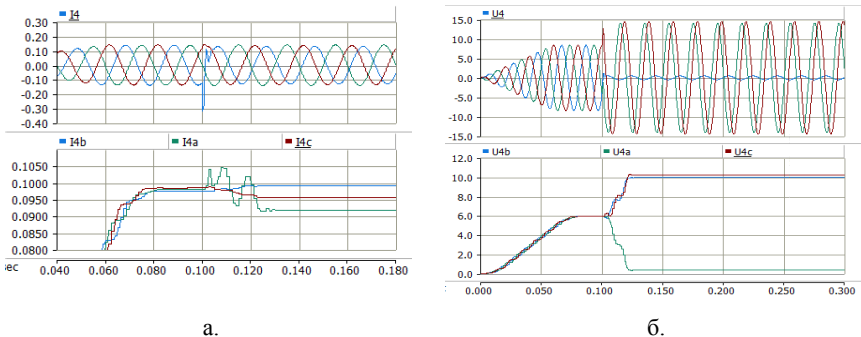


Рис. 4. Осциллограммы при ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью: фазные токи (а); фазные напряжения (сверху мгновенные, снизу действующие) (б)

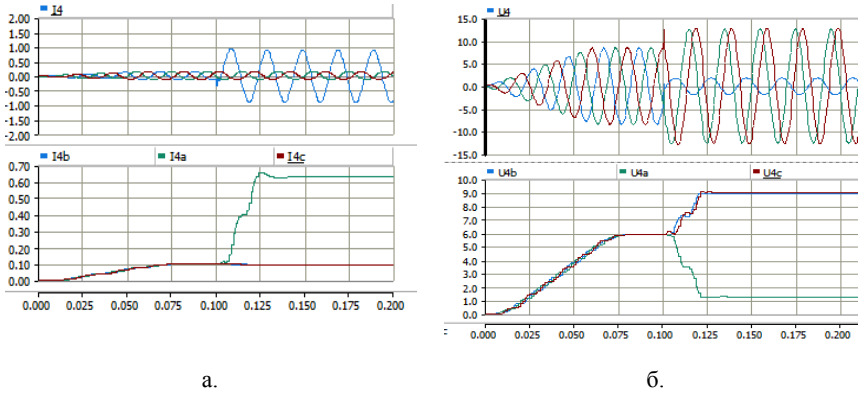


Рис. 5. Осциллограммы при ОЗЗ в сети с резистивно-заземленной нейтралью фазные токи (а); фазные напряжения (сверху мгновенные, снизу действующие) (б)

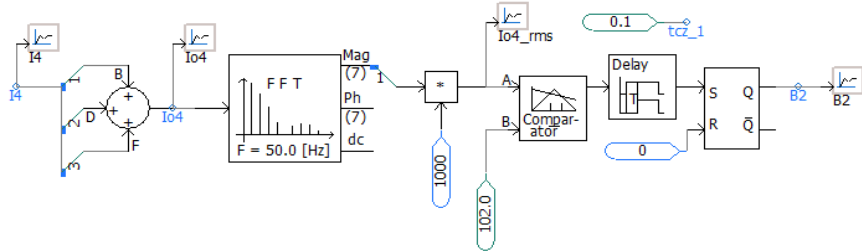


Рис. 6. Модель токовой защиты нулевой последовательности

Защита реагирует на составляющие нулевой последовательности полного естественного емкостного тока, проходящего по фазам защищаемого присоединения при замыкании на землю.

С помощью имитационного моделирования были проведены эксперименты, которые определяют оптимальный алгоритм выбора подходящего к данной сети резистора. В модели резистор подключается через ТЗН по схеме (рис. 1, б). Эффективность функционирования токовой защиты нулевой последовательности при внутренних ОЗЗ оценивается коэффициентом чувствительности. При этом ток срабатывания защиты выбирается из двух условий [7, 8, 10]:

1) отстройка от собственного емкостного тока защищаемого присоединения I_C :

$$I_{0с.з.}^{(1)} \geq K_{отс} \cdot K_{бр} \cdot I_C, \quad (6)$$

где $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле тока; $K_{бр} = 3-4$ – коэффициент, учитывающий увеличение действующего значения I_C при дуговых перемежающихся ОЗЗ (рис. 7).

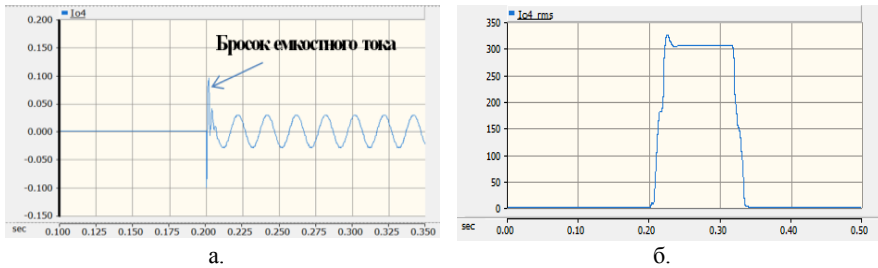


Рис. 7. Модельные осциллограммы:
отфильтрованный ток $3 \cdot I_0$ (а); действующее значение тока $3 \cdot I_0$ (б)

2) отстройка от максимального тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности (ФТНП) в режимах без ОЗЗ или внешних междуфазных КЗ:

$$I_{0с.з.}^{(2)} \geq K_{отс} \cdot I_{нб \max} = K_{отс} \cdot K_{нб} \cdot I_{расч \max}, \quad (7)$$

где $K_{отс} = 1,2-1,5$ – для трехтрансформаторных ФТНП; $K_{нб} = 0,05-0,1$ – коэффициент небаланса.

Эффективность токовой защиты НП при внутренних ОЗЗ оценивается коэффициентом чувствительности:

$$K_{ч} = \frac{I_{0пов.min}}{I_{0с.з.}} \geq K_{ч \min \text{ доп}}. \quad (8)$$

Коэффициент чувствительности зависит от минимального тока ($3 \cdot I_0 = I_{0 \text{ пов } \min}$), протекающего через место установки защиты, при внутреннем металлическом ОЗЗ. Минимально допустимое значение коэффициента чувствительности для защит с действием на отключение $k_{ч, \min \text{ доп}} = 1,5-2$.

Значение $3 \cdot I_{0 \text{ пов } \min}$ определяется следующим образом:
для сети с изолированной нейтралью:

$$I_{0пов.min} = I_{C\Sigma \min} - I_{Cпов}, \quad (9)$$

где $I_{C\Sigma\min}$ – минимальное значение суммарного емкостного тока сети; $I_{C\text{пов}}$ – собственный емкостный ток защищаемого присоединения;
для сети с заземлением нейтрали через резистор:

$$I_{0\text{пов.}\min} = \sqrt{(I_{C\Sigma\min} - I_{C\text{пов}})^2 + I_R^2}, \quad (10)$$

где $I_R = U_{\text{Ф.ном}} / R_N$ – активная составляющая тока ОЗЗ.

Были проведены эксперименты на модели сети с изолированной нейтралью, в которых менялась конфигурация сети (протяженность неповрежденных фидеров). Длина защищаемого присоединения оставалась неизменной ($l = 10$ км). Использовались кабели СПЭ сечением 185 мм^2 . В табл. 1 представлены полученные экспериментальные данные.

Таблица 1.

Экспериментальные данные для модели сети с изолированной нейтралью

$\Sigma L_{\text{сеть}}$ км	$U_{\text{ф}}$, кВ	$I_{\text{оззф}}$, А	$I_{0\text{пов.}\min}$, А	$I_{C\Sigma\min}$, А	$I_{C\text{пов}}$, А	$I_{0\text{с.з.}}^{(1)}$, А	$I_{\text{расч. макс}}$ А	$I_{\text{нб}}$, А	$I_{0\text{с.з.}}^{(2)}$, А	$K_{\text{ч}}$
11	10,2	102	3,7	40,9	37,2	133,9	100	5	6,25	0,028
15	10,2	102	18,6	55,8	37,2	133,9	100	5	6,25	0,139
22	10,1	91	44,2	81,0	36,8	132,6	100	5	6,25	0,333
25	10,1	90,5	55,2	92,0	36,8	132,6	100	5	6,25	0,4
28	10,1	90	66,3	103,1	36,8	132,6	100	5	6,25	0,5
35	10,13	101	92,3	129,3	36,9	132,9	100	5	6,25	0,7
38	10,15	101,5	103,6	140,6	37,0	133,2	100	5	6,25	0,8
47	10,18	103	137,3	174,4	37,1	133,6	100	5	6,25	1,0
59	10,2	104,5	182,2	219,4	37,2	133,9	100	5	6,25	1,4
62	10,24	105	194,1	231,4	37,3	134,4	100	5	6,25	1,4
72	10,3	110	232,8	270,4	37,5	135,2	100	5	6,25	1,7

В результате экспериментов определена величина коэффициентов чувствительности. В большинстве случаев коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ не удовлетворяет условию (8), из чего следует вывод о невозможности установки релейной защиты с действием на отключение в данной сети.

В табл. 2 и на рис. 8 представлены результаты эксперимента при использовании модели сети с резистивным заземлением нейтрали. В ходе эксперимента также определен $K_{\text{ч}}$, от которого зависит быстрота и точность исполнения защиты. Суммарная протяженность кабельных линий оставалась неизменной $\Sigma L_{\text{сеть}} = 59$ км.

Таблица 2.
Экспериментальные данные для модели сети с резистивной нейтралью

№	$R, \text{ Ом}$	$I_{\text{расч. max}}$ А	$I_{\text{оззф}}$ А	$I_{\text{0пов. min}}$ А	$I_{\text{Снов}}$ А	$U_{\text{ф}}$ кВ	$I_{\text{0с.з.}}$ А	$K_{\text{ч}}$
1	5	100	586	496	7,8	8,5	28,08	17,7
2	10	100	435	350	8,7	9,17	31,32	11,2
3	15	100	356	272,7	9,4	9,4	33,84	8,1
4	20	100	306	222	9,9	9,6	35,64	6,2
5	30	100	217,8	188	10,3	9,7	37,08	5,1
6	35	100	248	164	10,7	9,8	38,52	4,3
7	40	100	215,5	132	11	9,9	39,6	3,3
8	45	100	203,5	121,5	11,1	10	39,96	3,0
9	50	100	194	112	11,2	10	40,32	2,8
10	60	100	179	99	11,4	10	41,04	2,4
11	70	100	167,9	89	11,6	10,1	41,76	2,1
12	80	100	159,4	83,5	11,7	10,1	42,12	2,0
13	85	100	156	81	11,75	10,1	42,3	1,9
14	95	100	150,6	76,5	11,8	10,1	42,48	1,8
15	100	100	148,1	75	11,85	10,1	42,66	1,8
16	105	100	146	73,3	11,9	10,16	42,84	1,7
17	115	100	142	71	11,95	10,16	43,02	1,7

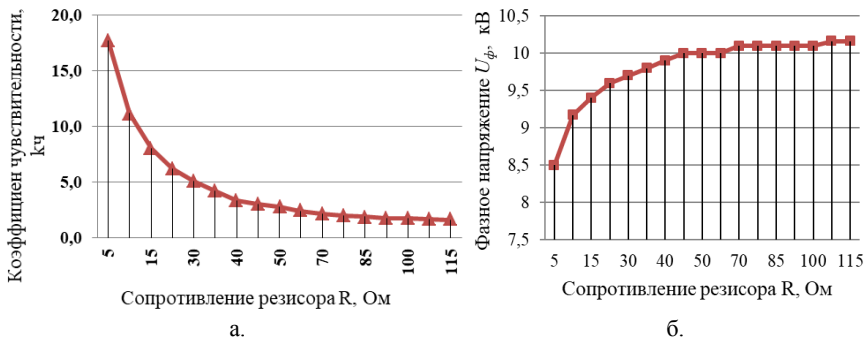


Рис. 8. Зависимости коэффициента чувствительности (а) и напряжения неповрежденных фаз (б) от параметров резистора

Результат показывает, что чувствительность защит в сети с резистивным заземлением нейтрали значительно выше, чем в сети с изолированной нейтралью при аналогичных параметрах. При токе резистора в диапазоне от 50 до 115А, $K_{\text{ч}}$ удовлетворяет условию (8), что позволяет использовать простые токовые защиты с действием на отключение. Также

в данной сети снижаются перенапряжения на 12 %, что исключает возникновение феррорезонансных процессов и, следовательно – повреждение оборудования. Эксперименты показали, что чувствительность защиты может быть обеспечена уже при токе резистора $I_R = 50\text{A}$.

У. Заключение

1. Определены преимущества резистивного заземления нейтрали для создания условий надежного действия релейной защиты и сигнализации, подавления перенапряжений в начальной стадии ОЗЗ. Наиболее целесообразным является подключение резистора через трансформатор со схемой Z_0 или Y_0/Δ за счет разделения шин 110 кВ и 10 кВ по нулевой последовательности и общего снижения кратности перенапряжений.

2. В сетях, где внедряются кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена, а также сухие силовые трансформаторы, требующие усиленной защиты от перенапряжений путем применения соответствующих ОПН, целесообразно использовать резистивное заземление нейтрали, релейную защиту, действующую на отключение поврежденного участка линии и устройства АВР, также другие виды автоматики.

3. Режим резистивного заземления нейтрали должен быть использован в городских кабельных сетях, где это экономически оправданно и эффективно по сравнению с точки зрения безопасности человека и животного (напряжение прикосновения и шага). Критическим критерием выбора резистора является гарантированная чувствительность простых токовых защит.

Представленные результаты научно-исследовательской работы получены при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-3210.2019.8). Соглашение № 075-15-2019-337 от 11.06.2019 г.

© Лоскутов А. А., 2019

© Кузина О. В., 2019

Библиографический список

- [1] Майоров А.В., Ширковец А.И. Режим нейтрали и организация релейной защиты от замыканий на землю в сети 20кВ // Релейная защита и автоматизация. 2016. № 3. С. 21-28.
- [2] Кужеков С.Л. О низкоомном заземлении нейтрали // Новости Электротехники. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2013/83/08.php> (дата обращения 10.05.2019).
- [3] Кужеков С.Л. Низкоомное заземление нейтрали в распределительных сетях напряжением 6-20кВ // Рускабель. [Электронный ресурс]. URL: https://www.ruscable.ru/article/Nizkoomnoe_zazemlenie_nejtrali_v_raspredsetyah_napryazheniem_6-20_kv/ (дата обращения 10.05.2019).

- [4] Майоров А.В. Разработка научно-технических решений по формированию электрической сети 20 кВ мегаполиса: дис. канд. техн. наук, АО «НТЦ ФСК ЕЭС», Москва, 2016. – 137 с.
- [5] Сарин Л.И., Ширковец А.И. и др. Опыт применения резистивного заземления нейтралей в электрических сетях 6-35 кВ // Энергетик. 2009. № 4. С. 13-14.
- [6] IEEE Std 142-2007. Recommended Practice for Grounding of industrial and Commercial Power Systems.
- [7] Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. СПб.: ПЭИПК, 2010. – 350 с.
- [8] Булычев А. В., Наволочный А.А. Релейная защита в распределительных электрических сетях. М.: ЭНАС, 2011. – 207 с.
- [9] ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
- [10] Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10кВ. М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2001. – 103 с.

A.A. Loskutov, O.V. Kuzina

ANALYSIS OF THE USE OF RESISTIVE NEUTRAL GROUNDING IN ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS ON THE BASIS OF SIMULATION

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. World practice shows positive results of using resistive neutral grounding in distribution electric networks. However, in Russia resistive neutral grounding is practically not used. In particular, this is due to the lack of scientifically based technical solutions for the optimal select of resistor resistance. An analysis of the use of resistive neutral grounding in medium voltage distribution networks was performed. The main criteria for selecting resistors are determined. Simulation models in the PSCAD software package that investigate electromagnetic transients in the electrical network depending on the type of neutral grounding and on the specific resistance of the resistor were developed. The sensitivity coefficients of the relay protection are determined depending on the resistance of the resistors. It has been established that an important criterion for the select of a resistor is the guaranteed sensitivity of simple current protection.

Keywords: resistive neutral grounding, single-phase earth fault, sensitivity, simulation, electrical safety.

References

- [1] A.V. Mayorov, A.I. Shirkovets and V.N. Valov, «Neutral mode and organization of relay protection against earth faults in a 20kV network», *Relay protection and automatization*, vol. 3, pp. 21-28, 2016 (in Russian).

-
- [2] S.L. Kuzhekov, «About low impedance neutral earthing», *Electrical Engineering News*, vol. 5, no. 83, 2013. [Online]. Available at: URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2013/83/08.php>. [Accessed: May, 10, 2019] (in Russian).
- [3] S.L. Kuzhekov, «Low-resistance neutral earthing in distribution networks with voltage of 6-20kV», *CABLE-news*, vol. 6, 2013. [Online]. Available at: URL: https://www.ruscable.ru/article/Nizkoomnoe_zazemlenie_nejtrali_v_raspredsetyax_napryazheniem_6-20_kv/. [Accessed: May, 10, 2019] (in Russian).
- [4] A.V. Mayorov, «*Development of scientific and technical solutions for the formation of an electrical network of 20 kV megalopolis*», dis. Cand. of Tech. S. thesis, JSC “STC FSK UES”, Moscow, 2016, P. 137 (in Russian).
- [5] L.I. Sarin and A.I. Shirkovets, «Experience of using resistive neutral grounding in electric networks of 6-35 kV», *Energetik*, vol. 4, pp. 13-14, 2009 (in Russian).
- [6] IEEE Std 142 – 2007. Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systrms.
- [7] M.A. Shabad, *Calculations of relay protection and automation of distribution networks*. St. Petersburg: PEIPK, 2010, P. 350 (in Russian).
- [8] A.V. Bulychev and A.A. Navolochny, *Relay protection in distribution electric networks*. Moscow: ENAS, 2011, P. 207 (in Russian).
- [9] GOST 12.1.038-82. Electrical safety. Maximum allowable values of contact voltages and currents. Moscow: IPK Publishing house of standards, 2001 (in Russian).
- [10] V.A. Shuin and A.V. Gusenkov, *Protection against earth faults in electrical networks 6-10kV*. Moscow: NTF «Energoprogress», «Energetik», 2001, P. 103 (in Russian).