

ЗАЩИТА СЕТЕЙ 6-35КВ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ, ВЫБОР РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ ПО КРИТЕРИЮ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Кадыров А.С. ОАО «Ошэлектро», Кыргызская Республика, г.Ош. orcid.org/0000-0002-8472-0974

Аннотация: В статье показана применение в сетях 6-35кВ активных резисторов заземления нейтрали для снижения уровня возникающих перенапряжений при замыканиях на землю. Номинал резистора уточняется по условию заданного уровня ограничения перенапряжений.

Ключевые слова: Электрическая сеть, однофазное дуговое замыкание на землю, случайная величина и закон распределения кратности перенапряжений.

PROTECTION OF 6-35KV NETWORKS FROM OVERPASS, SELECTION OF NEUTRAL REGIME by OVERLAPPING CRITERIA

Kadyrov A.S. "Oshelecrto" Kyrgyz Republic, Osh c. orcid.org/0000-0002-8472-0974

Annotation: In this paper showed using of the active neutral grounding resistors in 6-35kV networks for reducing of arising overvoltages level in case of ground faults occur. The resistor value is specified for a particular circuit by the condition of specified level of overvoltage limit.

Key words: - Electrical network, single-phase ground fault are, random variable the distribution law of breakdown voltage.

Степень опасности однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) в сетях 6-35кВ в основном зависит от состояния нейтрали сети, от эффективности ее заземления, имеющей непосредственное отношение к борьбе с авариями в электрических сетях, а следовательно, к надежности электроснабжения потребителей. Повышение уровня надежности электроснабжения и распределительных сетей систем электроснабжения, улучшение условий электробезопасности зависит от успешного решения комплекса вопросов, среди которых важное место занимают вопросы снижения уровня перенапряжений в распределительных электрических сетях.

В настоящее время в энергосистеме Кыргызстана используются следующие способы заземления нейтрали распределительных сетей 6-35кВ[5]:

- изолированная (незаземленная);
- заземленная через дугогасящую катушку ДГК (компенсированная нейтраль)

Наибольшую опасность для электрооборудования 6-35кВ при изолированном режиме нейтрали представляют перенапряжения, возникающие при дуговых однофазных замыканиях на землю, кратность перенапряжений при этом достигает уровня $3-3,2U_{\phi}$ максимального фазного напряжения. Изолированный режим нейтрали является самым распространенным. В зависимости от состояния нейтрали сети 6-35кВ применяются два способа гашения дуги в месте однофазного замыкания на землю (ОЗЗ)[8]:

- 1) отключение места повреждения;
- 2) компенсация емкостного тока, протекающего через место замыкания на землю индуктивными или активными токами индуктивных и активных сопротивлений которые обеспечивают самопогасание заземляющей дуги или безопасное ее горение.

Преимущества правильно используемой компенсации следующее:

- а) уменьшение тока через место повреждения до минимальных значений;
- б) ограничения перенапряжений возникающих при дуговых замыканиях на землю;
- в) возможность длительной работы с замкнувшейся на землю фазой.

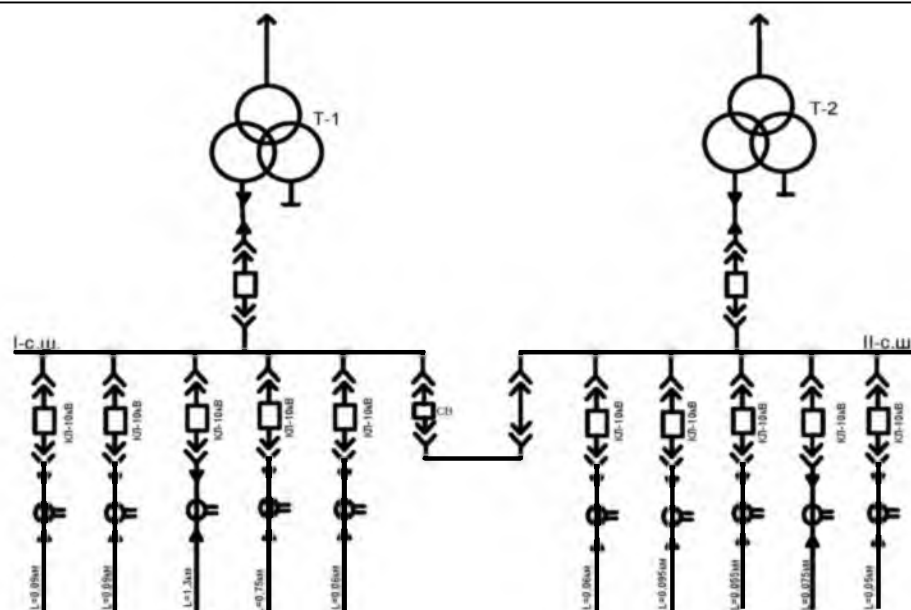
Анализ результатов исследований влияние заземления нейтрали электрических сетей на надежность и условия электробезопасности систем электроснабжения в целом, на повреждаемость распределительных сетей и электрооборудования, а также на функциональные характеристики релейной защиты в частности, позволяет дать оценку каждому конкретному режиму работы нейтрали и представить рекомендации, направленные на усиление позитивных показателей соответствующих режимов.

Целью работы является представить результаты исследований по повышению уровня эксплуатационной надежности и электробезопасности распределительных сетей напряжением 6-35кВ за счет выбора режимов нейтрали.

Учитывая изложенное, в сетях напряжением 6-35кВ, работающих с полностью изолированной от земли нейтралью, предлагается режим работы с резистором в нейтрали, т.е. наложение в аварийном режиме на емкостный ток замыкания активной составляющей, значение которой выбирается из условия[9]

$$I_a = (0,4 \div 1) \cdot I_c \text{ или } R_a = (1 \div 2,5) \frac{1}{3\omega C} \quad (1)$$

Рассмотрим расчет тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) для подстанций 110/35/10кВ и по критерию перенапряжения выбора резисторов нейтрали.



1. Чтобы повысить точность расчетов при определении однофазного замыкания на землю (ОЗЗ), определяем удельную ток замыкания на землю.

$$I_c = 3 \cdot U_\phi \cdot \omega \cdot C_0 \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

где: U_ϕ – фазное напряжение сети, кВ; $\omega = 2\pi f = 314 \text{ рад/с}$; C_0 – емкость одной фазы сети относительно земли (мкФ/км).

2. Рассчитываем собственный емкостной ток кабельной линии:

$$I_{c.\text{фид.макс.}} = I_c \cdot L \quad (3)$$

где: L – длина линии, км

Результаты расчетов заносим в таблицу 1.

Таблица 1.

Наименование присоединения	Тип реле защиты	Марка кабеля, сечение, мм ²	Длина, км	Удельный емкостной ток замыкания на землю I_c А/км	Собственный емкостной ток кабельной линии (КЛ) $I_{c.\text{фид.макс.}}$, А
КЛ-10кВ, №1	МЭР	ААШВ 3х120	0,05	6,69	0,34
КЛ-10кВ, №2	МЭР	АПВПС 3х240	0,075	9,09	0,68
КЛ-10кВ, №3	МЭР	ААШВ 3х150	0,055	7,41	0,41
КЛ-10кВ, №4	МЭР	ААШВ 3х150	0,095	7,41	0,71
КЛ-10кВ, №5	МЭР	АСБ 3х95	0,06	5,98	0,35
Всего по I-с.ш.	$I_{c.\Sigma \text{секц. I}} = 2,49 \text{ А}$				
КЛ-10кВ, №6	МЭР	АСБ 3х120	0,06	6,69	0,41
КЛ-10кВ, №7	МЭР	ААШВ 3х150	0,75	7,41	5,55
КЛ-10кВ, №8	МЭР	ААШВ 3х150	1,3	7,41	9,63
КЛ-10кВ, №9	МЭР	ААШВ 3х150	0,09	7,41	0,66

КЛ-10кВ, №10	МЭР	ААШВ 3х150	0,09	7,41	0,66
Всего по II- с.ш.	$I_{с. \Sigma секц. II} = 16,91A$				

3. Рассчитываем ток срабатывания защит, отстраиваем от собственного емкостного тока:

$$I_{сз} \geq k_n \cdot k_{бр.} \cdot I_{с.фид.макс} \quad (4)$$

где: k_n – коэффициент надежности, $k_n = 1,2$; $k_{бр.}$ – коэффициент «броска» учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения ОЗЗ, в сети заземляющего резистора рекомендуется принимать повышенное значение $k_{бр.}$, например, равное $k_{бр.} = 1,5$; $I_{с.фид.макс}$ – максимальный емкостный ток защищаемого фидера.

Результаты расчетов срабатывания защит от ОЗЗ в таблице 2

Таблица 2.

Наименование присоединения	Типы реле защиты	Первичный ток срабатывания, $I_{сз}, A$	Время срабатывания защиты, сек	Коэффициент чувствительности
КЛ-10кВ, №1	МЭР	0,62	9	3,4
КЛ-10кВ, №2	МЭР	1,22	9	1,5
КЛ-10кВ, №3	МЭР	0,73	9	2,8
КЛ-10кВ, №4	МЭР	1,27	9	1,4
КЛ-10кВ, №5	МЭР	0,63	9	3,3
КЛ-10кВ, №6	МЭР	0,73	9	22,6
КЛ-10кВ, №7	МЭР	9,99	9	1,1
КЛ-10кВ, №8	МЭР	17,33	9	0,42
КЛ-10кВ, №9	МЭР	1,18	9	13,7
КЛ-10кВ, №10	МЭР	1,18	9	13,7

4. Определяем суммарный емкостной ток по секциям:

$$I_{с. \Sigma секц. I} = 2,49A$$

$$I_{с. \Sigma секц. II} = 16,91A$$

5. Проверяем чувствительность защит:

$$k_q = \frac{I_{\Sigma c}}{I_{сз}} = \frac{I_{с. \Sigma секц. I} - I_{с.фид.макс}}{I_{сз}} \quad (5)$$

Результаты проверки чувствительности защиты заносим в таблицу 2.

Для присоединения КЛ-10кВ №7, КЛ-10кВ №8 чувствительности защиты недостаточно выполняется, который должно позволить применить направленную защиту нулевой последовательности $3I_0$ в которых используются трансформаторные фильтры тока, при этом ток срабатывания следует выбирать следующим образом

$$I_{сз} \geq k_n \cdot (k_{бр.} \cdot I_{с.фид.макс.} + I_{нб.}) \quad (6)$$

где: $I_{нб.}$ – ток небаланса фильтра. Ток небаланса может оказать существенное влияние на выбор тока срабатывания защиты.

Однако эксплуатация защит, построенных на токовых реле устаревших конструкций, например РТ-40/0,2, УКИ (МЭР) может привести к неселективной работе из-за резкого увеличения токов нулевой последовательности при дуговых замыканиях за счет высокочастотных составляющих[7].

С другой стороны необходимую эффективность можно обеспечить с помощью ненаправленных токовых защит нулевой последовательности. В первую очередь это относится резистивно-заземленным сетям рис. 2.

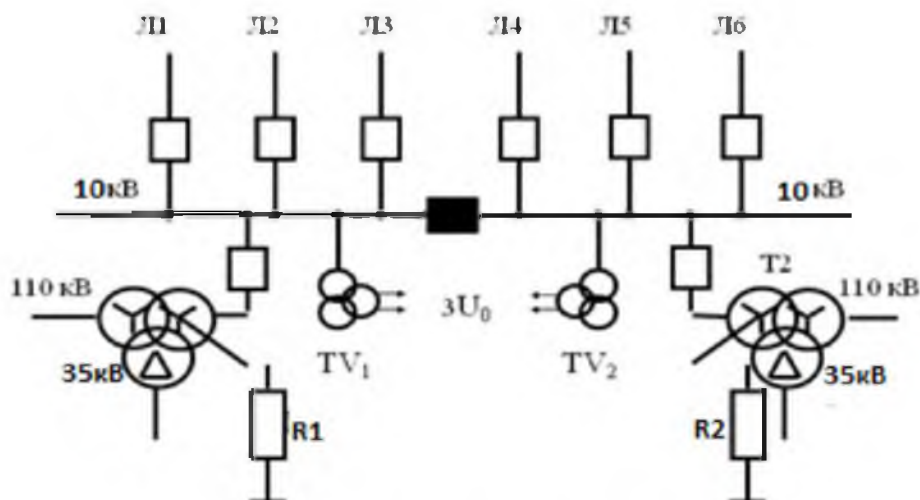


Рис 2. Резистивно-заземленная сеть

Установка в сети заземляющего резистора облегчает условия выбора уставок и улучшает селективность работы релейных защит от ОЗЗ. В результате при установке в сети заземляющих резисторов, выполненной в соответствии с [4], в которой в месте ОЗЗ протекает активный ток заземляющего резистора порядка 35-40А, а емкостные токи отдельных присоединений не превышают нескольких ампер, то здесь успешно могут быть использованы более совершенные токовые реле типа РТЗ-51 и блоках микропроцессорной защиты БИРЗ (например, БМРЗ-КЛ-11, БМРЗ-КЛ-36, БМРЗ-КЛ-42, БМРЗ-КЛ-51) [2,9] рис.3.

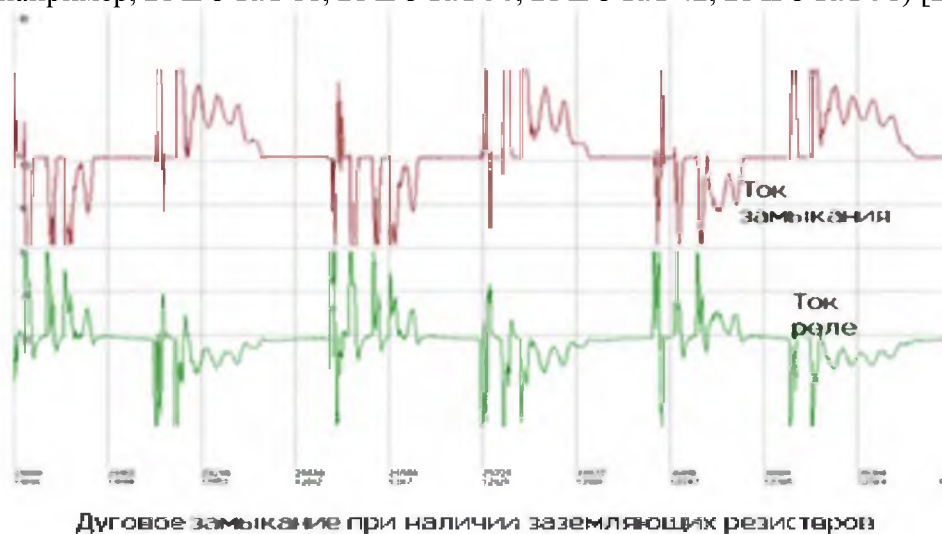


Рис. 3.

Меньше всего затрат требует установка реле РТЗ-51, эти устройства способны обеспечить защиту присоединений только от ОЗЗ. Остальные же перечисленные выше микропроцессорные терминалы обеспечивают также защиту от междуфазных коротких замыканий и некоторых других ненормальных режимов работы. Следует отметить, что чрезвычайно остро применительно ко всем видам ненаправленных защит стоит вопрос выбора их уставок. До сих пор ни в отечественной, ни в зарубежной публикациях нет не только методики выбора уставок, но и классификации небалансов, способных привести к их неправильному действию.

При ОЗЗ происходит процесс разряда емкости фаз на землю и их заряда от источника напряжения, сопровождающийся распространением по сети разрядных волн с

положительным знаком и зарядных волн с отрицательным знаком. Это рассматривается как падающие волны перенапряжений, зарядные волны как отраженные от нагрузки в месте установки резистора (нейтрали) волны перенапряжений. Падающих и отражающих волн перенапряжения обуславливается уровень кратности перенапряжений и определяется по формуле [1]:

$$k_n = \frac{2k_m \cdot \sqrt{R_N^2 + X_C^2}}{X_C + \sqrt{R_N^2 + X_C^2}} \text{ или } \frac{A_n \cdot \sqrt{R_N^2 + X_C^2}}{X_C + \sqrt{R_N^2 + X_C^2}} \quad (7)$$

где: $2k_m = A_n$

Данные величины коэффициентов k_m и A_n получены из [3], где приведена следующая информация по максимальным величинам коэффициента кратности перенапряжений для сетей[10]:

- 6-10кВ с изолированной нейтралью $k_n = 3,55$;
- 35кВ с изолированной нейтралью $k_n = 3,7$;
- 6-10кВ с резистивным заземлением нейтрали $k_n = 1,83$;
- 35кВ с резистивным заземлением нейтрали $k_n = 1,9$.

В качестве базовой величины для k_m и A_n принято $k_n = 1,83$ то $A_n = 2 \cdot k_n = 2 \cdot 1,83 = 3,66$ тогда в соответствии из (6) получим:

$$k_n = \frac{3,66 \cdot \sqrt{R_N^2 + X_C^2}}{X_C + \sqrt{R_N^2 + X_C^2}} \quad (8)$$

где: R_N –сопротивление резистора, Ом; $X_C = \frac{U_\phi}{I_C}$ –емкостное сопротивление сети, Ом; I_C –емкостной ток сети, А.

$$X_{CI-сш} = \frac{U_\phi}{I_{CI-сш.}} = \frac{10/\sqrt{3}}{2,49} = 2,32 \text{ Ом};$$

$$X_{CII-сш} = \frac{U_\phi}{I_{CII-сш.}} = \frac{10/\sqrt{3}}{16,91} = 0,35 \text{ Ом};$$

По степени отражения падающих волн перенапряжений от нагрузки резисторы подразделяются на низко- и высокоомные. Низкоомный резистор позволяет обеспечивать высокую степень защиты сети от перенапряжений и предназначен для создания тока в нейтрали сети при ОЗЗ в десятки и сотни ампер, что позволяет организовать надежную работу РЗА на отключение поврежденного присоединения.

Высокоомный резистор должен обеспечивать достаточную степень защиты сети от перенапряжений, но в обязательном порядке позволяет организовать работу РЗА на отключение либо на сигнал. С учетом этого выполняется условия[6]:

- для низкоомных резисторов $R_N \leq X_C$;
- для высокоомных резисторов $R_N > X_C$.

Сопротивление резистора R_N по заданной кратности уровня перенапряжений k_n определяется по выражению.

$$R_N = X_C \cdot \frac{k_n - 1}{3,4 - k_n} \quad (9)$$

Тогда

$$R_{N-Ic.ш.} = X_C \cdot \frac{k_n - 1}{3,4 - k_n} = 2,32 \cdot \frac{1,83 - 1}{3,4 - 1,83} = 1,23 \text{ Ом};$$

$$R_{NII-сш.} = X_C \cdot \frac{k_n - 1}{3,4 - k_n} = 0,35 \cdot \frac{1,83 - 1}{3,4 - 1,83} = 0,19 \text{ Ом}$$

Проектируемых и действующих резисторов по критерию снижения перенапряжений производится по величине кратности перенапряжений k_n , которая определяет по выражению

$$k_{II} = \frac{2,4 \cdot R_N}{R_N + X_C} + 1 \quad (10)$$

Тогда

$$k_{III-с.ш.} = \frac{2,4 \cdot R_N}{R_N + X_C} + 1 = \frac{2,4 \cdot 1,23}{1,23 + 2,32} + 1 = 1,83;$$

$$k_{III-с.ш.} = \frac{2,4 \cdot R_N}{R_N + X_C} + 1 = \frac{2,4 \cdot 0,19}{0,19 + 0,35} + 1 = 1,83.$$

По уровню кратности перенапряжения определили величины низкоомного активного сопротивления, которая снижает возможные дуговые перенапряжения до уровня $1,83U_{\phi}$.

Выводы

1. Выбор режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ является исключительно важным вопросом при эксплуатации и проектировании сети.

2. Применение в сетях 6-35 кВ современного оборудования заземления нейтрали (резисторов заземления нейтрали) позволяет существенно повысить надежность работы сетей, автоматизировать процесс поиска поврежденного фидера и снизить аварийность при однофазных замыканиях на землю.

Список литературы

1. Валькевич А.Н. Защита сетей 6-35кВ Кыргызстана от феррорезонансных перенапряжений. Величина активного сопротивления для заземления нейтрали сети 6-35кВ/ А.Н. Валькевич. – Бишкек: Изв.вузов.,2009. №5. С23-27.
2. Гуревич В. Микропроцессорные реле защиты. Новые перспективы или новые проблемы / В. Гуревич. Москва: Новости электротехники. –2017. – 2(104).
3. Короткевич М.А. Повышение надежности электрических сетей при внедрении современной техники / М.А. Короткевич // Перенапряжения и надежность эксплуатации электрооборудования: материалы Междунар. науч.-тех. конф. –Минск
4. Рыжкова Е. Н., Фомин М. А., Жармагамбетова М. С. О критериях выбора режима резистивного заземления нейтрали в сетях 6 - 35 кВ / Е.Н. Рыжкова, М.А. Фомин, М.С. Жармагамбетова. – Москва: Промышленная Энергетика, 2013. - № 11, стр. 23-30.
5. Мезгин В.А. Защита сетей 6-35кВ Кыргызстана от перенапряжений, выбор режима нейтрали / В.А. Мезгин, Ю.П. Симаков, А.Н. Валькевич. – Барнаул: Кыргызский научно-технический центр «Энергия», 2014. –С.74-81.
6. Титенков С. Замыкания на землю в сетях 6-35кВ. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.org/2014/etf/makevich/library/article8.htm>.
7. Шалин А.И. Защиты от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. Пример расчета уставок / А.И. Шалин. –Москва: Новости Электро Техники, 2005. – № 4 (34).
8. РД 34.20.179 Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35кВ. – Москва: –1993.
9. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Монография. / М.А. Шабад. –Санкт-Петербург.: ПЭИПК, 2003. –350с.
10. Ямный О.Е. Определение сопротивления резисторов по критерию перенапряжений в сетях 6-35кВ / В.И. Глушко, Э.П. Ковалев, Н.В. Бохан. – Москва, 2009. –С. 14-20.