СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ В СЕТИ 10 КВ НА ПРИМЕРЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ Г. ТЫНДА

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE OPERATING MODES OF THE NEUTRAL IN THE 10 KV GRID USING THE EXAMPLE OF DISTRIBUTION GRID IN TYNDA

УДК 621.31

Казакул Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетики и электротехники», Амурский государственный университет (АмГУ), Россия, Амурская область, г. Благовещенск

Касьянов Андрей Витальевич, Студент 4 курс, факультет «Электроэнергетики и электротехники», Амурский государственный университет (АмГУ), Россия, Амурская область, г. Благовещенск

Kazakul Alexey Alexandrovich, 0311343@mail.ru

Kasyanov Andrey Vitalievich

Аннотация

В данной научной статье проводится подробный анализ распределительных сетей 10 кВ в г. Тында, которые питаются от ПС «Эльга» 110 кВ. Выполняется анализ нормативно-технической документации для определения режимов работы нейтрали. Определяются суммарные значения емкостных токов на ПС «Эльга» 110 кВ. Производится выбор устройств компенсации емкостных токов для работы в режиме компенсированной нейтрали. Главной задачей работы является проведение технико-экономического сравнения двух режимов работы нейтрали сети 10 кВ.

Annotation

This scientific article provides a detailed analysis of 10 kV distribution grid in Tynda, which are powered by 110 kV «Elga» SS. An analysis of the normative and technical documentation is carried out to determine the operating modes of the neutral. The total values of the capacitive currents at the SS «Elga» 110 kV are determined. The selection of capacitive current compensation devices for operation in the compensated neutral mode is made. The main task of the work is to conduct a technical and economic comparison of two modes of operation of the neutral of a 10 kV grid.

Ключевые слова: Емкостной ток, режим заземления нейтрали, однофазное короткое замыкание на землю, технико-экономическое сравнение, дугогасящий реактор, резистор.

Keywords: Capacitive current, neutral wire earthing, single-phase ground fault, feasibility study, arc suppression coils, resistor.

Выбор режима работы нейтрали в сетях напряжением 6-35 кВ является важной эксплуатационной проблемой особенно в условиях высокого износа основного оборудования.

В России для сетей 6-35 кВ используются следующие режимы работы нейтрали [5]:

- Режим изолированной (незаземленной) нейтрали;
- Режим работы, заземленной через дугогасящий реактор;
- Режим работы, заземленной с помощью высокоомного или низкоомного резистора;
- Смешенный режим работы через параллельное включение ДГР и резистора.

Выбор режима заземления нейтрали сетей среднего класса напряжения является технико-экономической задачей, которая должна решаться с учетом требований к надежности электроснабжения потребителей.

В значительном количестве работ приводятся недостатки режима работа нейтрали через ДГР, среди которых: наличие гармоник [1], возникновение больших кратностей перенапряжения при сочетании режимов [4], а также сложность обнаружения поврежденного присоединения и обеспечение правильной работы релейной защите при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) [3]. При этом в них не затрагивается вопрос технико-экономического сравнения вариантов организации режима работы нейтрали.

В рекомендациях по выбору режима работы нейтрали разработанных ОАО «Ленэнерго» [10] и ОАО «Газпром» [11] выбор режима работы нейтрали основан на величине тока замыкания не землю и не предполагает использование никаких экономических показателей.

Анализ рассматриваемой сети

Распределительные сети 10 кВ г. Тында, питающиеся от ПС Эльга, выполнены, преимущественно, кабельными линиями марок ААБ, ААБс, АСБ. Имеются так же участки фидеров в воздушном исполнении, выполненные проводами марок АС и СИП-3. Сеть 10 кВ рассматриваемого района сложно замкнутая, Большинство ТП 113 шт. (82%) из 138 имеют резерв питания. В сети 10 кВ имеется 6 РП, через которые связаны фидера ПС «Эльга» как между собой, так и со смежными ПС - ПС «Аэропорт», ПС «Опорная», ПС «Шахтаум».

Расчет емкостных токов показал, что мероприятия по его снижению требуются только на ПС 110 кВ «Эльга».

Упрощенная схема сети данной подстанции показана на рисунке 1.

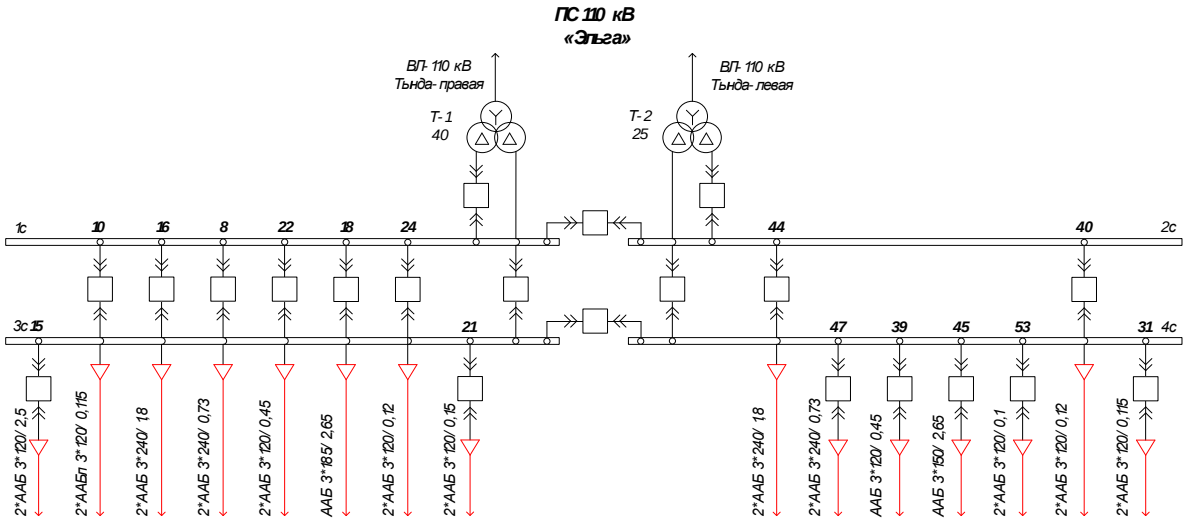


Рисунок 1 – Схема сети ПС 110 кВ Эльга

Расчётные значения емкостных токов на каждой из секции шин 10 кВ на ПС «Эльга» показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Суммарные емкостные токи РУ НН 10 кВ ПС «Эльга»

Номер секции шин	Емкостной ток секции, А
Секция №1 (тр-р №1)	60,754
Секция №2 (тр-р №2)	16,11
Секция №3 (тр-р №1)	9,893
Секция №4 (тр-р №2)	65,477

В соответствии с рекомендациями по выбору режима работы нейтрали, изложенными в [9, 10, 11], в рассматриваемой сети возможно использовать либо точную компенсацию тока однофазного замыкания на землю настраиваемым дугогасящим реактором (далее – ДГР), либо заземление нейтрали сети через резистор с током, достаточным для обеспечения селективного отключения однофазного замыкания на землю.

Так как большинство ТП рассматриваемого района имеют резерв, то принимаем допущение, что изменение типа нейтрали не снижает уровень надёжности электроснабжения рассматриваемых потребителей.

Далее сопоставим указанные способы заземления нейтрали с экономической точки зрения для данной сети.

Выбор ДГР

Для выбора ДГР воспользуемся формулами для расчета емкостного тока кабельных и воздушных линий, изложенных в [7, 12]. Расчетные значения емкостных токов для выбора ДГР приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные значения емкостных токов для выбора ДГР

Номер секции шин	Емкостной ток секций, А
Секция №1, №3 (тр-р №1)	70,6
Секция №2, №4 (тр-р №2)	81,6

Для нахождения мощности ДГР, который необходимо установить для выполнения требований нормативно-технической документации воспользуемся формулой [9]:

$$Q_{ДГР} = 1,25 \cdot \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} \cdot I_c, \quad (1)$$

где *1,25* – коэффициент с учетом развития сети 10 кВ;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение;

I_c – расчетное значение емкостного тока.

Результаты расчета мощности для устанавливаемых ДГР приведены в таблице 3. Исходя из расчетов мощностей, показанных в таблице 3, к установке принимаем реактор дугогасящий масляный с конденсаторным регулированием тока РДМК-630/10.

Таблица 3 – Расчетные значения мощностей для выбора ДГР

Номер секции шин	Расчётная мощность устанавливаемых ДГР, кВА	Тип выбранного оборудования
Секция №1, 3 (тр-р №1)	509,5	РДМК-630/10
Секция №2, 4 (тр-р №2)	588,445	РДМК-630/10

Подключение реактора выполняем через нейтралеобразующий трансформатор (фильтр). Его мощность должна быть больше или равна мощности выбранного реактора $S_{НОМ.ТДГР} \geq Q_{ДГР.}$ Выбранные фильтры показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор нейтралеобразующего фильтра для ДГР

Номер секции шин	Тип проектируемого оборудования
Секция №1, 3 (тр-р №1)	ФНПМ-630/10
Секция №2, 4 (тр-р №2)	ФНПМ-630/10

Выбор резистора

Для того, чтобы выбрать низкоомный резистор, необходимо соблюдать условие, при котором активный ток, создаваемый резистором, должен быть больше емкостного тока сети. Зачастую, активный ток I_R, создаваемый резистором, будет больше емкостного тока сети I_C не менее чем в два раза:

$$I_R > 2 \cdot I_C . \quad (2)$$

Как правило, ток, создаваемый резистором при низкоомном заземлении нейтрали, находится в пределах от 20 до 2000 А [8].

Исходя из вышеперечисленного, сопротивления резистора вычисляется следующим образом:

$$R_1 = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_R} . \quad (3)$$

Результаты расчета сопротивлений для устанавливаемых резисторов показаны в таблице 5. Согласно расчетам, принимаем к установке резистор низкоомный типа NER-58-580-10.

Таблица 5 – Расчетные значения сопротивлений для выбора резистора

Номер секции шин	Сопротивление устанавливаемых резисторов, Ом	Тип проектируемого оборудования
Секция №1,3 (тр-р №1)	39,864	NER-58-580-10
Секция №2,4 (тр-р №2)	35,032	NER-58-580-10

Нейтралеобразующий трансформатор выбирается аналогично при условии $S_{НОМ.ТДГР} \geq Q_{ДГР.}$ Выбранное оборудование показано в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор нейтралеобразующего трансформатора для резистора

Номер секции шин	Тип проектируемого оборудования
Секция №1,3 (тр-р №1)	TEGE0840
Секция №2,4 (тр-р №2)	TEGE0840

Сравнение стоимостных показателей

С учётом того, что затраты на обслуживание ДГР и резисторов являются аналогичными в качестве показателя для сравнения используем капитальные вложения (с учётом монтажа и накладных расходов):

$$К = Ц + М + Н, \quad (4)$$

где $Ц$ – стоимость оборудования;

$М$ – стоимость монтажных работ;

$Н$ – стоимость накладных расходов.

Затраты на монтаж оборудования принимаем на уровне 20% от общей стоимости оборудования и 10% от общих затрат составляют накладные расходы.

Расчет капитальных вложений для режима работы нейтрали через ДГР на ПС Эльга, представлен в таблице 7. С учётом фактического режима работы ПС Эльга для экономии принят вариант параллельной работы секций шин,

питающихся от одного трансформатора. То есть для четырёх секций шин рассматриваем установку двух ДГР л двух резисторов.

Таблица 7 – Стоимостные показатели для режима работа через ДГР

Наименование	Кол-во	Стоимость, тыс. руб
Шкаф управления ДГР «Бреслер-0117.065.2»	2	1 940,48
ДГР РДМК-630/10	2	2 110,43
Фильтр нейтралеобразующий ФНПМ-630/10	2	1 229
Общие затраты на оборудование	10 559	
Монтажные работы	2 112	
Накладные работы	10 559,82	
Всего	13 727,8	

Расчет капитальных вложений для режима работы нейтрали через низкоомный резистора на ПС Эльга, представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Стоимостные показатели для режима работа через резистор

Наименование	Кол-во	Стоимость, тыс. руб
Резистор низкоомный NER-58-580-10	2	879,8
Трансформатор нейтралеобразующий TEGE0840	2	1 196,9
Общие затраты на оборудование	8 306,7	
Монтажные работы	1 661,3	
Накладные работы	830,7	
Общие затраты	10 798,7	

Выводы:

1. При выборе режима работы нейтрали рекомендуется в рамках проектирования выполнение технико-экономических расчётов, обосновывающих предлагаемый режим работы.

2. Согласно полученным результатам расчётов при текущем уровне цен на оборудование капитальные затраты на организацию режима работы сети 10 кВ, питающейся от ПС 110 кВ Эльга, через резистор будут ниже на 21% чем при организации режима работы через ДГР.

Библиографический список

1. К вопросу выбора режима заземления нейтрали в сети среднего класса напряжения городского электроснабжения / Кузьмин А.А., Базаррагча А., – Вестник Чувашского университета. Вып. №3, 2015. – 62-67 с.
2. Компенсация емкостных токов в сетях с незаземленной нейтралью / Черников А.А. – М.: «Энергия», 1974. – 96 с.
3. Обзор режимов заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ / Бурчевский В.А., Владимиров Л.В., Ощепков В.А., Суриков В.А., – Вестник Омский научный вестник. Вып. №77, 2009. – 122-126 с.
4. Ограничение перенапряжений в сетях 6-35 кВ с помощью резистивного заземления нейтрали / Катасонов С.М., Чиндянский В.И., Кажаев В.Ф., – Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Вып. №18, 2008. – 97-100 с.
5. Правила устройства электроустановок: нормативно-технический материал. – 7-е изд. – М.: Энергосервис, 2003. – 280 с.
6. Разработка технических мероприятий по компенсации емкостных токов замыкания на землю и ограничению перенапряжений в промышленных распределительных электрических сетях / Веселов А.Е., Невретдинов В.В., Ярошевич В.В., Кабеев И.Е., Фастий Г.П., Токарева Е.А., – Вестник МГТУ. Вып. №4, 2007. – 527-532 с.

7. РД 34.20.179. «Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ».
8. Режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю: информационно-аналитический журнал / Титенков С.С., Пугачев А.А., – Энергоэксперт. Вып. №19, 2010. – 108 с.
9. Режимы работы нейтрали электроустановок напряжением 0,4-750 кВ: учебно-методическое пособие для слушателей курсов повышения квалификации энергетиков и студентов энергетического факультета / Паперный Л.Е., Алейникова М.В. – Б.: Изд-во БНТУ, 2016. – 150 с.
10. СТО 18-2013. Приказ ОАО «Ленэнерго» №334 от 25.06.2013 «Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6-35 кВ».
11. СТО ГАЗПРОМ 2-1Л1-070-2006. Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО «ГАЗПРОМ».
12. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т. В. – 10-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.

Bibliographic list

1. To the question of the choice of the neutral grounding mode in the middle class voltage network of city power supply / Kuzmin A.A., Bazarragcha A., - Bulletin of the Chuvash University. Issue No. 3, 2015. - 62-67 p.
2. Compensation of capacitive currents in networks with ungrounded neutral / Chernikov A.A. - M .: "Energy", 1974. - 96 p.
3. Review of neutral grounding modes in electrical networks 6-35 kV / Burchevsky VA, Vladimirov LV, Oshchepkov VA, Surikov VA, - Bulletin Omsk Scientific Bulletin. Issue No. 77, 2009. - 122-126 p.

4. Limiting overvoltages in 6-35 kV networks using resistive neutral grounding / Katasonov SM, Chindyansky VI, Kazhaev VF, - Izvestiya of the Orenburg State Agrarian University. Issue No. 18, 2008. - 97-100 p.
5. Rules for electrical installations: normative and technical material. - 7th ed. - M .: Energoservice, 2003 .-- 280 p.
6. Development of technical measures for compensation of capacitive earth fault currents and overvoltage limitation in industrial distribution electrical networks / Veselov A.E., Nevretdinov V.V., Yaroshevich V.V., Kabeev I.E., Fastiy G.P. , Tokareva E.A., - Vestnik MGTU. Issue No. 4, 2007. - 527-532 p.
7. RD 34.20.179. "Typical instructions for compensation of capacitive earth fault current in electrical networks 6-35 kV".
8. Modes of neutral grounding in 6-35 kV networks and the organization of relay protection against single-phase ground faults: information and analytical journal / SS Titenkov, AA Pugachev, - Energoexpert. Issue No. 19, 2010. - 108 p.
9. Operating modes of the neutral of electrical installations with a voltage of 0.4-750 kV: a training manual for students of advanced training courses qualifications of power engineers and students of the Faculty of Power Engineering / Paperny L.E., Aleinikova M.V. - B .: Publishing house of BNTU, 2016 .-- 150 p.
10. STO 18-2013. Order of JSC Lenenergo No. 334 dated June 25, 2013 "Guidelines for the selection of the neutral grounding mode in electrical networks with a voltage of 6-35 kV".
11. STO GAZPROM 2-1L1-070-2006. Methodical guidelines for the selection of the neutral grounding mode in 6 and 10 kV networks of subsidiaries and organizations of OAO GAZPROM.
12. Electrical equipment of power plants and substations: a textbook for students. institutions of environments. prof. education / Rozhkova L.D., Karneeva L.K., Chirkova T.V. - 10th ed., erased. - M .: Publishing Center "Academy", 2013. - 448 p.