

8. Проблесковый маячок МП (Предназначен для обозначения места проведения ремонтно-восстановительных работ оперативно-выездными бригадами в полевых условиях. Располагается на высоте до 6–7 м на штанге ШЭУ, прикрепленной к борту автомобиля).

Литература

1. Филиппов, А.С., Тондрик, В.Б., Каика, П.И. Основные конструктивные элементы электроустановок 0,38–10 кВ и условия безопасной эксплуатации.
2. Новейшие электротехнические средства и приспособления. – ЗАО «ТЕХНОШАНС».
3. Журнал «Техника безопасности».

УДК 621.316

ВЫБОР ТИПА РЕЗИСТОРА ДЛЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 6–35 КВ

Бохан Н.В., Ворса А.С.

Общие подходы к выбору типа резистора.

Выбор типа резистора производится по трем основным критериям:

- резистор должен обеспечивать снижение уровня перенапряжений;
- сопротивление резистора в нейтрали должно обеспечивать протекание активного тока в поврежденном присоединении величиной, достаточной для организации токовых защит на сигнал, или на отключение поврежденного присоединения;
- при заземлении нейтрали через резистор должны соблюдаться условия электробезопасности для людей при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ) на ПС и РП с учётом существующего нормирования величины допустимого напряжения прикосновения.

Основным параметром резистора, который определяет его физическую сущность, является активное сопротивление резистора R_p . Включение резистора в нейтраль сети способствует снижению уровня дуговых и феррорезонансных перенапряжений, организации более простых токовых защит, что имеет важное значение для повышения надёжности работы сети, а также улучшению условий электробезопасности в местах ОЗЗ.

Величина сопротивления резистора R_p выбирается по критерию снижения уровня перенапряжений и затем может корректироваться по условиям работы релейной защиты и условию электробезопасности. Уровень перенапряжений зависит от характера переходного процесса в режиме ОЗЗ, который в значительной степени зависит от граничных условий на шинах присоединений, т. е. на концах линии по отношению к месту ОЗЗ.

Граничные условия на концах линии характеризуются коэффициентом отражения

$$\beta_{om} = \frac{Z_k - Z_g}{Z_k + Z_g},$$

где Z_k – импульсное сопротивление заземления конца линии;

Z_g – волновое сопротивление линии.

Из выражения следует, что β_{om} может иметь значения: $\beta_{om} = 1$, $\beta_{om} > 0$, $\beta_{om} = 0$, $\beta_{om} < 0$, которые на основе теории распространения электромагнитных волн по линии позволяют сделать следующие утверждения:

1. При $\beta_{om} = 1$ отраженная волна имеет знак и амплитуду падающей волны, вследствие чего отраженная и падающая волны суммируются и их амплитудное значение уд-

ваивается. На практике условие $\beta_{om} = 1$ отсутствует, но при изолированной нейтрали и при малых величинах емкостного тока сети заменяется условием $\beta_{om} \approx 1$. Условие $\beta_{om} \approx 1$, исходя из концепции заземления нейтрали сети через резистор, нежелательное.

2. При $\beta_{om} > 0$ отраженная волна имеет знак падающей волны, вследствие чего отраженная и падающая волны суммируются. В этом случае амплитудное значение волны перенапряжений по сравнению с условием $\beta_{om} \approx 1$ уменьшается. На практике условие $\beta_{om} > 0$ нежелательное, но допустимое.

3. При $\beta_{om} = 0$ имеет место согласование волнового сопротивления линии с сопротивлением заземления, в результате чего отражение падающей волны отсутствует и она распространяется как по бесконечно длинной линии. На практике условие $\beta_{om} = 0$ желательное.

4. При $\beta_{om} < 0$ отраженная волна имеет противоположный знак падающей волне, вследствие чего отраженная волна вычитается из падающей волны. В этом случае амплитудное значение волны перенапряжений уменьшается, что приводит к уменьшению уровня перенапряжений. На практике условие $\beta_{om} < 0$ весьма желательное.

На основе изложенной концепции переходного процесса в линиях в режиме ОЗЗ установлены следующие допустимые величины для сопротивления резистора:

– для оптимального режима ограничения перенапряжений:

$$R_p \leq \sqrt{2}Z_g \text{ Ом};$$

– для допустимого режима ограничения перенапряжений:

$$R_p \leq \sqrt{5}Z_g \text{ Ом},$$

где Z_g – волновое сопротивление линии, которое принимается равным: для кабельных линий – 100 Ом, для воздушных линий – 500 Ом.

Выбор типа резистора по условию снижения уровня перенапряжений.

Выбор типа резистора по условию снижения перенапряжений наиболее точно можно осуществить по специальным программам расчёта перенапряжений. Такая программа разработана в РУП «Белэнергосетьпроект» на основе применения теории горения дуги по Петерсу-Слепяну. Программа позволяет оценивать уровень перенапряжений по коэффициенту кратности перенапряжений.

Точное определение коэффициента перенапряжений целесообразно применять при решении специальных практических задач, связанных с защитой от перенапряжений в сети с ослабленной изоляцией, или в сети с пониженной номинальной изоляцией оборудования.

При инженерных расчётах по выбору типа резистора оценка уровня перенапряжений производится по коэффициенту успокоения сети d , который зависит от активной составляющей тока замыкания на землю (реальной составляющей тока I_z) $I_{za} = \text{Re } I_z$ и ёмкостного тока сети I_c и определяется по выражению

$$d = \frac{I_{za}}{I_c} = \frac{\text{Re } I_z}{I_c}.$$

Аналитически и экспериментально установлено, что наибольшая эффективность защиты сетей от дуговых перенапряжений достигается при величине коэффициента d :

$$d \geq 1,$$

т. е. при условии

$$I_{za} \geq I_c.$$

При определённых трудностях выполнения условия $d \geq 1$ допускается при выборе типа резистора использовать менее жёсткое условие

$$d \geq 0,5,$$

т. е. при условии

$$I_{за} \geq 0,5I_c.$$

Выбор типа резистора по условию работы релейной защиты.

Защита от ОЗЗ в сети организуется на всех присоединениях. Устанавливается максимальная токовая защита нулевой последовательности с действием на отключение присоединений без выдержки времени при низкоомном резистивном заземлении нейтрали и с действием на сигнал при высокоомном резистивном заземлении нейтрали и при комбинированном заземлении нейтрали.

Селективность защит нулевой последовательности присоединений определяется тем, что активная составляющая тока ОЗЗ протекает только через повреждённое присоединение, в то время как через остальные присоединения протекает только собственный ёмкостный ток нулевой последовательности, от которого защита должна быть надёжно отстроена.

Общие принципы организации работы РЗА при заземлении нейтрали сетей 6–35 кВ через резистор сводится к следующим положениям:

1. Низкоомное резистивное заземление нейтрали производится в случаях, когда режим ОЗЗ должен быть селективно отключен за минимально возможное время. Величина сопротивления низкоомного резистора должна выбираться из условия обеспечения селективного срабатывания при ОЗЗ на защищаемом присоединении. Защита также должна быть отстроена от броска тока замыкания на землю.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали и комбинированное заземление нейтрали производится в тех случаях, когда сеть должна иметь возможность длительной работы в режиме ОЗЗ. Величина сопротивления резистора определяется, в основном, необходимостью снижения уровня перенапряжений и обеспечения величины тока ОЗЗ, достаточного для определения поврежденного присоединения при помощи простых токовых защит, работающих на сигнал.

2. При отказе защит по отключению поврежденного присоединения должно быть выполнено резервное действие защит от ОЗЗ по отключению секции, к которой присоединено поврежденное присоединение, с целью исключения перевода сети в режим изолированной нейтрали и защиты резистора от повреждения.

3. Применение АПВ на кабельных линиях после отключения ОЗЗ нежелательно из-за возможного перехода ОЗЗ в междуфазное КЗ. Применение АПВ на воздушных линиях допустимо, а в особых случаях обязательно.

4. При возможности питания энергообъекта при низкоомном резистивном заземлении нейтрали от резервных источников питания, также имеющих такое заземление нейтрали, для исключения неселективной работы защит от ОЗЗ схемы АВР должны отключать один из резисторов.

Выбор типа резистора по условию электробезопасности.

На ПС 110 кВ и выше, включающих сети 6–35 кВ с заземлённой через резистор нейтралью, условия электробезопасности выполняются всегда, так как стекающий в землю ток с нейтрали при ОЗЗ в сети 6–35 кВ всегда значительно меньше тока ОКЗ в сети 110 кВ и выше, по которому выбираются защитные мероприятия на ПС.

На ПС 6–35 кВ, включающих сети с заземлённой через резистор нейтралью, электробезопасность может быть обеспечена на основе действующих рекомендаций ПУЭ-85 по норме на допустимое сопротивление заземляющего устройства (ЗУ) ПС. Если выполнить ЗУ по норме на допустимое сопротивление не представляется возможным, защитные мероприятия при низкоомном заземлении нейтрали можно выполнить

на основе применения системы нормирования условий электробезопасности по допустимому напряжению прикосновения. В этом случае электробезопасность обеспечивается за счет быстрого отключения поврежденной линии, что позволяет в соответствии с ГОСТ 12.1.038 принимать для человека повышенные значения напряжения прикосновения по сравнению с длительным его воздействием.

Отсюда следует, что при стандартных конструкциях ЗУ ПС 6–35 кВ заземление нейтрали через низкоомный резистор имеет неоспоримое преимущество перед изолированной нейтралью и нейтралью, заземленной через высокоомный резистор.

Учитывая это, в Белорусской энергосистеме переход на резистивную систему заземления сетей 6–35 кВ начат с низкоомного заземления нейтрали.

Литература

1. Глушко, В.И., Ямный, О.Е., Ковалёв, Э.П., Паперный, Л.Е., Редковец, О.П., Дударенко, Д.Ю. Временные методические указания по переводу сетей 6–35 кВ Белорусской энергосистемы с режима изолированной нейтрали на режим заземления нейтрали через резистор. – Мн.: РУП «Белэнергосетьпроект», 2005. – 35 с.

УДК 621.311:618.5

НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ЭТАЛОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Выпряжкин В.О., Глушец И.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РУМЯНЦЕВ В.Ю.

Из курса «Теория автоматического управления» известно что, если амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) независимо от сложности исследуемой системы близка к АЧХ колебательного звена, то и переходные процессы в системе будут близки к переходным процессам в колебательном звене.

Поскольку для колебательного звена все показатели качества (перерегулирование, время регулирования, запасы по модулю и фазе и др.) могут быть получены аналитически, то целесообразно использовать колебательное звено в качестве эталона.

В качестве примера, рассматривалась система 4-го порядка с передаточной функцией в разомкнутом состоянии:

$$W_p(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)},$$

где постоянные времени и коэффициент усиления которой являются известными величинами.

Подобной передаточной функцией описываются многие технические системы, в частности, к такому виду можно привести САР напряжения синхронного генератора.

Для настройки системы на заданные параметры в цепь локальной отрицательной обратной связи, охватывающей два инерционных звена с постоянными времени T_2 и T_3 ,

включалось корректирующее звено $W_p(p) = \frac{K_{kor} T_{kor} p}{T_{kor} p + 1}$ с настроечными параметрами

T_{kor} и K_{kor} .

В среде визуального математического моделирования VisSim 4.5 была реализована математическая модель САР, эталонного колебательного звена и составлена целевая функция для оптимизации системы. Оптимизация производилась безградиентным ме-