

ОБ ОДНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Шалин А.И. (ООО «ПНП БОЛИД», Новосибирск)

Кондранина Е.А. (Новосибирский государственный технический университет)

Михель А.А. (ОАО «Газпром», Москва)

Введение

В течение десятков лет специалисты обсуждают вопрос о наиболее целесообразных режимах заземления нейтралей распределительных сетей среднего класса напряжения (6-35 кВ). Имеются солидные монографии [1, 2, 3], опубликованы десятки статей. Позиции авторов сильно отличаются: от агрессивного утверждения, что только выбранный им способ заземления является единственно правильным до философских рассуждений «каждому своё».

Мы хотели бы рассмотреть случай, в рамках которого, на наш взгляд, вполне сочетается дугогасящий реактор с заземляющим резистором. Аналогичный режим применительно к устройствам релейной защиты рассматривается авторами в [4].

1. Расчётный режим – однофазное КЗ на стороне высшего напряжения питающего трансформатора

На рис.1 показана упрощенная схема сети и расчётная схема нулевой последовательности.

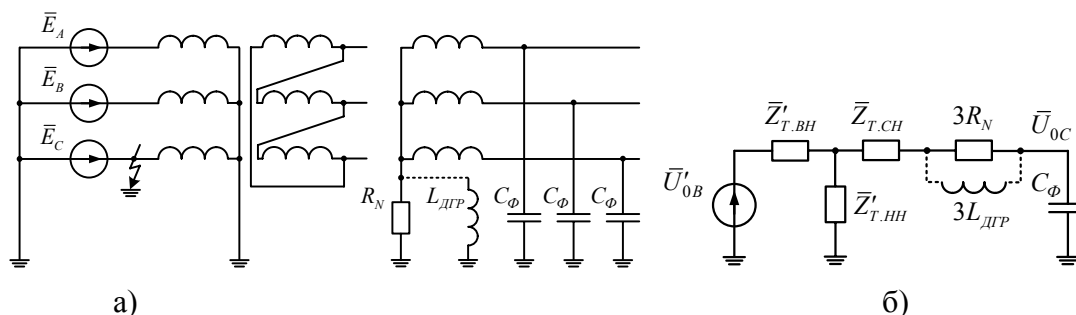


Рис.1. Возникновение напряжения нулевой последовательности в сети среднего напряжения при КЗ на землю в сети высшего напряжения при двухстороннем заземлении нейтралей силового трансформатора:

а – упрощенная схема сети; б – схема замещения нулевой последовательности

Питание схемы осуществляется со стороны высшего напряжения трёхобмоточного трансформатора, изображённого на рис.1,а. В рассматриваемом случае используется трансформатор с высшим напряжением 230 кВ, средним – 38 кВ, низшим – 11 кВ. Мощность трансформатора – 25 МВА. Со стороны 35 кВ трансформатор питает реальную сеть, содержащую как воздушные, так и кабельные линии. Ёмкостный ток однофазного замыкания в этой сети близок к 15 А. В соответствии с требованиями ПУЭ в сети должен быть установлен дугогасящий реактор (ДГР).

При однофазном коротком замыкании на землю в сети 220 кВ в сеть 35 кВ поступает напряжение нулевой последовательности. Поскольку ток нулевой последовательности в этой сети может протекать только последовательно через ДГР и ёмкость сети, получаем расчётную схему нулевой последовательности, изображённую на рис.1,б. Здесь $\bar{Z}_{T.CH}$ - сопротивление обмотки со стороны 35 кВ, $\bar{Z}_{T.VH}$, $\bar{Z}_{T.HH}$ - аналогичные сопротивления сторон высшего и низшего напряжений, приведённые к стороне 35 кВ.

Предположим, что заземляющий резистор в схеме отсутствует, а ДГР настроен в

резонанс. Тогда при последовательном соединении ДГР и ёмкости сети может возникнуть резонанс напряжений, в результате чего в сети 35 кВ могут появиться весьма большие перенапряжения. Активные утечки по изоляции, наличие активных сопротивлений линий, обмоток силовых трансформаторов и других элементов могут в какой-то степени снизить перенапряжения. Для объективного рассмотрения вопроса нами была смоделирована в пакете МАЭС реальная трёхфазная сеть со всеми её особенностями и проведены расчёты.

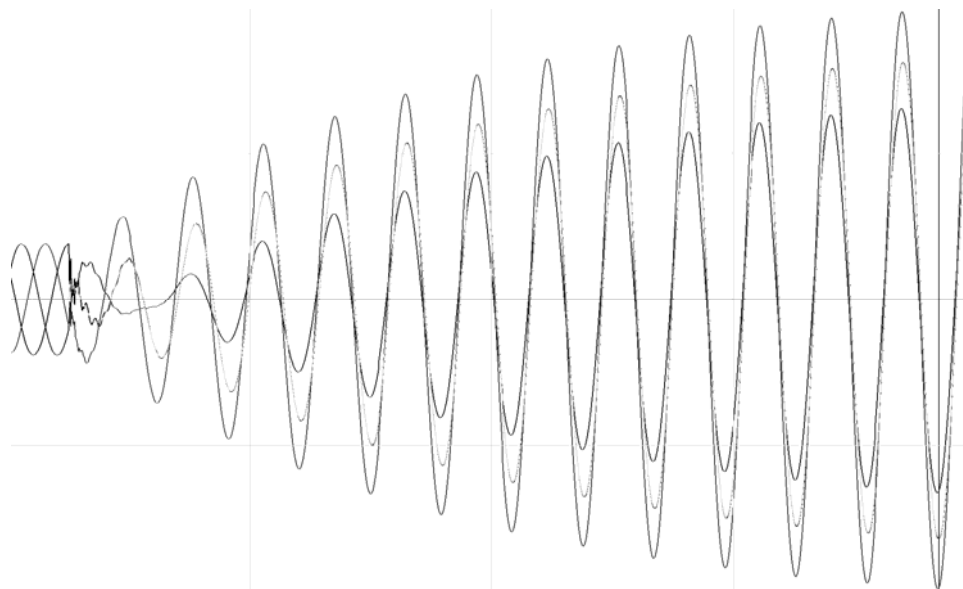


Рис.2. Осциллограмма фазных напряжений при наличии в сети ДГР, настроенного в резонанс

На рис.2 приведена полученная в результате расчётов в пакете МАЭС осциллограмма фазных напряжений на шинах 35 кВ и напряжения в нейтрали сети. В начале процесса напряжение сети было близко к номинальному – 35 кВ, затем произошло КЗ на землю на стороне 230 кВ и напряжение на нейтрали сети 35 кВ начинает нарастать. Возрастание напряжений идёт постепенно, что характерно для процесса резонанса. Максимумы фазные напряжения достигают примерно через 0,3 секунды после возникновения КЗ. Максимальное амплитудное значение фазного напряжения составляет примерно 150 кВ, что соответствует кратности перенапряжений, равной 5,27. Максимальное амплитудное напряжение на нейтрали приближается к 124 кВ.

В рассматриваемом примере отсутствуют высокочастотные составляющие в напряжениях сети 35 кВ. Если реальная нагрузка будет генерировать эти составляющие и возникнет резонанс на высоких гармониках, то уровень перенапряжений ещё возрастет.

Реальная продолжительность рассматриваемого режима вполне может достигать 0,5 секунды если КЗ произошло, например, в зоне действия второй ступени защиты от КЗ на землю на стороне 230 кВ. Таким образом, приведённая на рис.2 осциллограмма напряжений соответствует возможному реальному процессу. Из рис.2 видно, что напряжение на одной из фаз в процессе резонанса стало равным напряжению нейтрали. Это и понятно: на рис.1,а одна из фаз трансформатора в результате КЗ оказалась закороченной. Фазовый угол между фазными напряжениями приблизился к нулю из-за того, что напряжение на нейтрали во много раз превысило напряжение «здоровых» фаз относительно нейтрали, а в третьей фазе напряжение равно напряжению на нейтрали.

Из рис.2 очевидно, что ДГР, «спасающий» сеть 35 кВ при однофазных замыканиях в ней от перенапряжений, оказался не только не способным защитить её от перенапряжений в рассматриваемом режиме, но и «спровоцировал» экстремальный рост перенапряжений, чрезвычайно опасный для изоляции электрооборудования.

Спасти ситуацию может заземляющий резистор, включённый в нейтраль питающе-

го трансформатора параллельно ДГР.

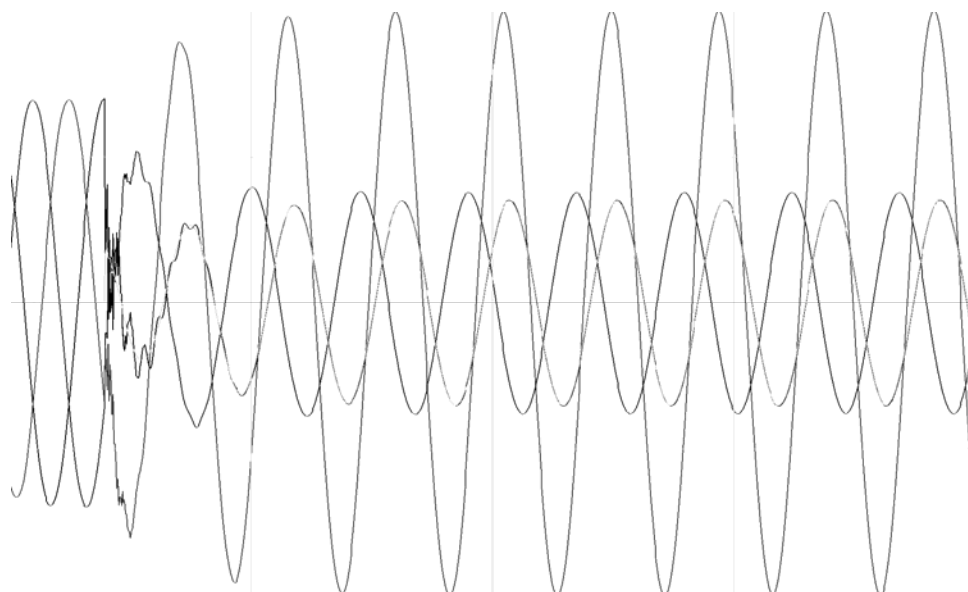


Рис.3. Осциллограмма напряжений при включении параллельно ДГР заземляющего резистора сопротивлением 2 кОм

На рис.3 приведена осциллограмма напряжений при включении параллельно ДГР заземляющего резистора сопротивлением 2 кОм. Максимальное фазное напряжение при этом достигает 41,3 кВ, что соответствует кратности перенапряжений 1,45.

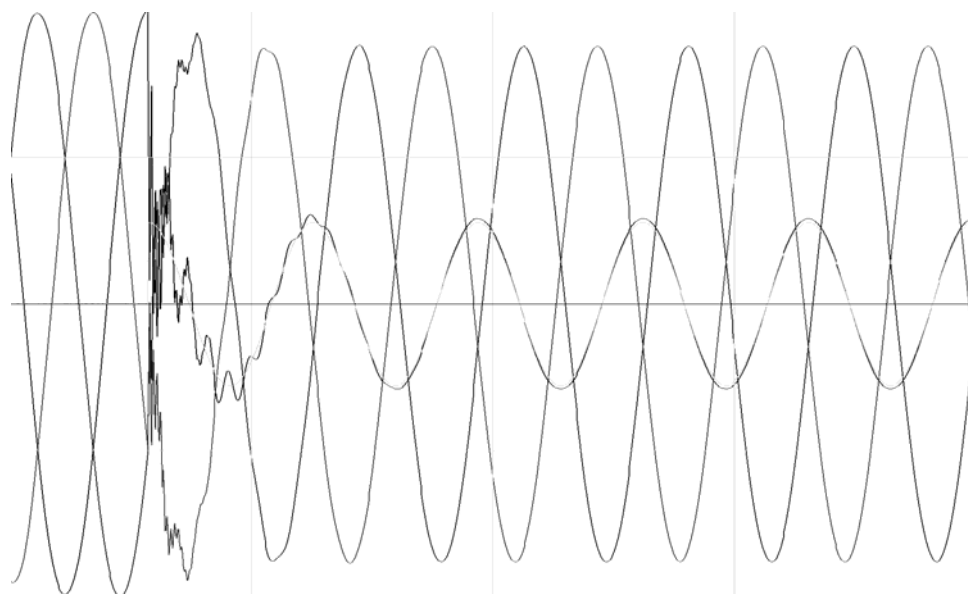


Рис.4. Осциллограмма напряжений при работе сети 35 кВ с изолированной нейтралью

На рис.4 для сравнения приведена осциллограмма напряжений при работе сети 35 кВ с изолированной нейтралью. Максимальные фазные напряжения в рассматриваемом случае не превышают номинальных значений.

В настоящей работе мы не рассматриваем традиционные режимы ОЗЗ в сети 35 кВ и перенапряжения, которые в таких режимах возникают. Очевидно, что в соответствии с ПУЭ в рассматриваемой сети может оказаться целесообразным установить ДГР (если от шин 35 кВ запитано две или большее количество линий). Но и при ОЗЗ в сети 35 кВ за-

земляющий резистор, включённый параллельно ДГР, тоже окажется полезными – в случае расстройки компенсации он снизит уровень перенапряжений.

2. Воздействия на релейную защиту

Рассматриваемый режим может оказать весьма негативные воздействия на поведение релейной защиты от замыканий на землю в сети 35 кВ. В процессе развития резонанса напряжений нулевой последовательности недопустимо возрастают значения как напряжения $3U_0$ на измерительной и релейной аппаратуре, так и значения токов нулевой последовательности в присоединениях к шинам 35 кВ. При этом возможны ложные срабатывания мгновенно действующих защит и отключение неповреждённых присоединений.

Заключение

При работе сети, например, напряжением 35 кВ в режиме с полной компенсацией ёмкостного тока, большую опасность могут представить однофазные короткие замыкания на стороне высшего напряжения питающего трёхобмоточного трансформатора. Вследствие развивающегося процесса резонанса напряжений перенапряжения в сети 35 кВ могут достигать недопустимо больших значений. Снизить уровень перенапряжений до допустимого значения может земляющий резистор, включённый параллельно дугогасящему реактору.

Литература

1. Черногубовский З.П. Заземление нейтрали электрических систем высокого напряжения. – Ленинград, 1934. – 201 с.
2. Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 415 с.
3. Сирота И.М., Кисленко С.Н., Михайлов А.М. Режимы нейтралей электрических сетей. – Киев, Наукова Думка, 1985. 264 с.
4. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. (Библиотечка электротехника). – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. – Вып. 11(35). – 104 с.