В практике сегодняшних дней для обеспечения надежности электроснабжения питание потребителей достаточно часто резервируется по двум идентичным линиям, которые из соображения экономической целесообразности выполняются на одной несущей опоре. Такие двухцепные линии в основном встречаются в сетях 35, 110 и 220кВ, значительно реже они используются при напряжении 330кВ.

Специфику электромагнитных процессов, протекающих в воздушных линиях во многом определяет компактность их конструкции. При уменьшенных расстояниях между осями параллельных ВЛ становится заметным влияние цепей друг на друга через взаимную индуктивность и емкость. Это влияние приходится учитывать при выборе уставок релейной защиты, при расчете управляющего воздействия противоаварийной автоматики, а также при оперативном ведении, управлении и коррекции текущих режимов энергосистем

Наличие информации о том, какие внутренние факторы служат причиной повышенной чувствительности ЭЭС к внешним возмущениям, позволяет целенаправленно улучшать свойства ЭЭС при ее развитии и учитывать эти свойства при эксплуатации.

Расчеты токов симметричного короткого замыкания традиционно производятся без учета взаимного влияния соседних проводов, принимая при эквивалентировании симметричность всех фаз. Такой подход подразумевает отказ от учета принципиальной несимметрии, что негативно сказывается на точности конечного результата расчета аварийного режима.

Для оценки погрешностей методов расчета аварийного режима работы линии целесообразно использовать наиболее тяжелый режим металлического трехфазного короткого замыкания.

Данная работа посвящена анализу методов расчёта тока трехфазного КЗ на одной из двухцепных ЛЭП, в зависимости от учета ее внутренних свойств, для целей коррекции уставок РЗ и ПА.

В качестве исходных данных для расчета выбран участок сети между ПС«Киндери» и ПС «Центральная», соединенные двухцепной ВЛ 220кВ со следующими характеристиками:

1) Линия двухцепная на одностоечных опорах типа П220-2;

2) Длина линии: L=25,843км;

3) Марка проводов: АС-300/39;

4) Вид опор: анкерные, анкерно-угловые, промежуточные;

5) Расщепление фаз: нет;

6) Транспозиция проводов: нет;

На основании исходных данных о типе опоры были рассчитаны расстояние между проводами различных фаз.

В качестве расчетного эксперимента выполнялся расчет периодической составляющей начального тока симметричного трехфазного КЗ на шинах приемной ПС «Центральная» (рис). ПС «Киндери» в расчете принимаем источником бесконечной мощности с собственным сопротивлением равным нулю.

Расчет периодического тока трехфазного КЗ проводился по трем вариантам:

* по методу симметричных составляющих (однолинейной схеме ЛЭП без учета взаимоиндукции);
* по методу симметричных составляющих (однолинейной схеме ЛЭП с учетом взаимоиндукции);
* по методу фазных координат.

**По первому варианту** был проведен расчет сопротивлений и периодической составляющей начального тока симметричного трехфазного КЗ на шинах приемной ПС по однолинейной схеме ЛЭП без учета взаимоиндукции. Сопротивление цепи считается по известной формуле как среднегеометрическое значение сопротивлений ее фазных проводов.

где Rпр – удельное активное сопротивление провода; rэк – эквивалентный радиус провода; Dср – среднее геометрическое расстояние между фазами одной цепи.

**По второму варианту** расчет сопротивлений и периодической составляющей тока трехфазного КЗ был проведен по однолинейной схеме ЛЭП с учетом взаимоиндукции. Сопротивление цепи было рассчитано по известной формуле:

где DI-II – среднее геометрическое расстояние между цепями I и II.

**Вариант 3.** При расчете методом фазных координат двухцепную ЛЭП представляемь в виде матрицы собственных и взаимных сопротивлений:

По главной диагонали матрицы располагаются собственные сопротивления фаз:

где R3=0,05 Ом/км – удельное сопротивление земли току нулевой последовательности; D3 – глубина залегания фиктивного обратного провода при f=50Гц.

Недиагональные элементы составляют взаимные сопротивления между фазами:

Имеем 6 исходных уравнений падения напряжения на фазах линии для трехфазного металлического КЗ:

$$∆U\_{A}=I\_{A}∙Z\_{AA}+I\_{B}∙Z\_{AB}+I\_{C}∙Z\_{AC}+I\_{a}∙Z\_{Aa}+I\_{b}∙Z\_{Ab}+I\_{c}∙Z\_{Ac}$$

Для исследуемой модели принимаем допущение что параметры линий цепи I и II равны, так же соответственно равны напряжения на шинах ПС Киндери одноименных фаз:

$$∆U\_{A}=∆U\_{a}=E\_{A}$$

Тогда токи одноименных фаз также будут соответственно равны:

$$I\_{A}=I\_{a}; I\_{B}=I\_{b}; I\_{C}=I\_{c}; $$

А исходная система уравнений упроститься и примет вид:

$$∆U\_{A}=I\_{A}∙(Z\_{AA}+Z\_{Aa})+I\_{B}∙(Z\_{AB}+Z\_{Ab})+I\_{C}∙(Z\_{AC}+Z\_{Ac}) $$

Матрица действующих значений токов КЗ: $\left|I \right|= \left|Z\right|^{-1}∙\left|U\right|$

$$\left|\begin{matrix}I\_{A}\\I\_{B}\\I\_{C}\end{matrix}\right|=\left|\begin{matrix}(Z\_{AA}+Z\_{Aa})&(Z\_{AB}+Z\_{Ab})&(Z\_{AC}+Z\_{Ac})\\\left(Z\_{BA}+Z\_{Ba}\right)&(Z\_{BB}+Z\_{Bb})&(Z\_{BC}+Z\_{Bc})\\(Z\_{CA}+Z\_{Ca})&(Z\_{CB}+Z\_{Cb})&(Z\_{CC}+Z\_{Cc})\end{matrix}\right|^{-1}×\left|\begin{matrix}∆U\_{A}\\∆U\_{B}\\∆U\_{C}\end{matrix}\right|$$

Результаты расчётов запишем в виде таблицы.

На основе результатов также была построена векторная диаграмма токов одной из цепей. Из векторной диаграммы можно наглядно видеть, что токи КЗ несимметричны не только по абсолютному значению, но и по углам.

Относительное отклонение расчетных токов *δI*  от тока *IA(3) (%) при различных методах расчета можно изобразить в виде гистограмм.*

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что неучёт свойств двухцепных ЛЭП и взаимного влияния их друг на друга приводит к заметным погрешностям в расчетах симметричного короткого замыкания.

Погрешность в результатах расчета при использовании эквивалентных однолинейных схем замещения ВЛ обусловлена пренебрежением принципиальной несимметричностью первичных параметров ВЛ.

В общем случае, несимметричным объектом является не только двухцепная линия, но и любая трехфазная одноцепная ВЛ, для которой не предусмотрена транспозиция.

При расчёте токов КЗ для целей релейной защиты нельзя пренебрегать влиянием свойств параллельных линий. От учёта внутренних свойств при расчёте уставок зависит чувствительность работы РЗ и частота их ложных срабатываний. Приоритетными задачами являются сокращения количества ложных срабатываний вплоть до их исключения.