Назаров А.В.

студент

Казанский Государственный Энергетический Университет

Россия, г.Казань

Научный руководитель: Галеева Р.У.

ст. преподаватель

Казанский Государственный Энергетический Университет

Россия, г.Казань

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХЦЕПНЫХ ЛЭП ПРИ СИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ ПРИ КОРРЕКЦИИ УСТВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Аннотация. При расчете управляющего воздействия противоаварийной автоматики, при выборе уставок релейной защиты, а также при оперативном ведении и корректировке текущих режимов энергосистем необходимо учитывать влияние параллельных цепей двухцепных ЛЭП. Статья посвящена анализу учёта взаимовлияния двухцепных воздушных линий при расчёте токов короткого замыкания.

**Ключевые слова:** двухцепная ЛЭП, взаимная индукция, метод фазных координат

Nazarov A.V.

student

Kazan State Power Engineering University

Russia, Kazan

Academic Advisor: Galeeva R.U.

head teacher

Kazan State Power Engineering University

Russia, Kazan

## TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE DOUBLE CIRCUIT TRANSMISSION LINE WITH SYMMETRICAL SHORT-CIRCUIT FOR CORRECTION OF SETTINGS OF RELAY PROTECTION

**Abstract.** When calculating the control action of anti-emergency automatics, the choice of settings of relay protection, as well as operational maintenance and adjustment of current modes of power systems consider the impact of parallel circuits of a double circuit power line. The article is devoted to accounting for the interaction of double-circuit overhead line when calculating short-circuit currents.

**Key words:** double circuit power line, mutual induction, the method of phase coordinates

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. В нормальном режиме работы линий переток мощности распределяется по обеим цепям равномерно и может считаться приблизительно одинаковым. Такие двухцепные линии в основном встречаются в сетях 35, 110 и 220кВ, значительно реже они используются при напряжении 330кВ.

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 (РЗ), при расчете управляющего воздействия противоаварийной автоматики (ПА), а также при оперативном ведении, управлении и коррекции текущих режимов энергосистем.

Традиционные методы расчета симметричных КЗ базируются на симметричности элементов сети. Для учета несимметрии, взаимоиндукции разных фаз друг на друга, расположения проводов ВЛ и других особенностей применяют метод фазных координат, который в практической

реализации сталкивается с рядом трудностей, ограничивающих его применение в алгоритмах расчета.

Данная статья посвящена анализу методов, учитывающих свойства двухцепных ЛЭП на точность расчёта симметричного режима трехфазного КЗ на одной из линий двухцепной ЛЭП с целью корректировки уставок РЗ и ПА.

В качестве тестируемой модели был рассмотрен участок сети между понижающими станциями (ПС) 500кВ «Киндери» и ПС 220кВ «Центральная», соединенные двухцепной ВЛ 220кВ со следующими параметрами: линия двухцепная на одностоечных опорах типа П220-2; длина линии: L=25,843км; марка проводов: АС-300/39; вид опор: анкерные, анкерно-угловые, промежуточные; расщепление фаз: нет; транспозиция проводов: нет; наличие грозозащитных троса: 2 троса; частота заземления грозозащитного троса: по концам ЛЭП — глухое заземление, по линии — через разрядные рога.

В качестве тестируемой модели был рассмотрен участок сети между понижающими станциями (ПС) 500кВ «Киндери» и ПС 220кВ «Центральная», соединенные двухцепной ВЛ 220кВ со следующими параметрами: линия двухцепная на одностоечных опорах типа П220-2 (рис.1.); длина линии: L=25,843км; марка проводов: АС-300/39; вид опор: анкерные, анкерно-угловые, промежуточные; расщепление фаз: нет; транспозиция проводов: нет; наличие грозозащитных троса: 2 троса; частота заземления грозозащитного троса: по концам ЛЭП – глухое заземление, по линии – через разрядные рога.

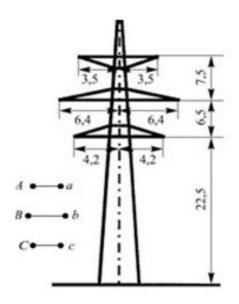


Рис. 1. Двухцепная опора П220-2 (расстояния указаны в метрах)

В качестве расчетного эксперимента выполнялся расчет периодической составляющей начального тока симметричного трехфазного КЗ на шинах приемной ПС «Центральная» (рис.2). ПС «Киндери» считаем источником бесконечной мощности с собственным сопротивлением равным нулю.

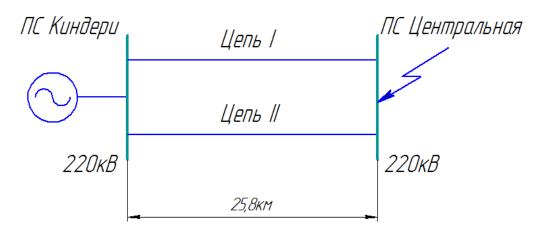


Рис.2. Исследуемая сеть ВЛ 220кВ ПС «Киндери-Центральная»

При моделировании сети производились вычисления для расчетных моделей отображающих в формате обобщенной многопроводной схемы

замещения ВЛ с сосредоточенными параметрами с использованием матрица расстояний между проводами различных фаз (табл.1)

<i>d(м)</i>	A	В	C	а	b	С
A	-	$d_{AB}$	$d_{AC}$	$d_{Aa}$	$d_{Ab}$	$d_{Ac}$
В	$d_{AB}$	-	$d_{AC}$	$d_{Aa}$	$d_{Ab}$	$d_{Ac}$
C	$d_{AC}$	$d_{Aa}$	-	$d_{Aa}$	$d_{Ab}$	$d_{Ac}$
а	$d_{AC}$	$d_{Aa}$	$d_{Ab}$	-	$d_{Ab}$	$d_{Ac}$
b	$d_{AB}$	$d_{AC}$	$d_{Aa}$	$d_{Ab}$	-	$d_{Ac}$
С	$d_{AB}$	$d_{AC}$	$d_{Aa}$	$d_{Ab}$	$d_{Ac}$	-

Табл.1. Матрица расстояний между проводами различных фаз.

Расчет проводился по трем вариантам. 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 было рассчитано по известной формуле:

$$Z = \left(R_{np} + j0,145 \cdot lg \frac{D_{cp}}{r_{cu}}\right) \cdot L,$$

где  $R_{\rm пp}$  — удельное активное сопротивление провода;  $r_{\rm эk}$  — эквивалентный радиус провода;  $D_{\rm cp}$  — 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:

$$Z^{I-II} = \left(R_{np} + j0,145 \cdot lg \frac{D_{I-II}}{r_{out}}\right) \cdot L,$$

где  $D_{\text{I-II}}$  – среднее геометрическое расстояние между цепями I и II.

Для третьего варианта составлена матрица собственных и взаимных фазных сопротивлений (табл.2).

I цепь II цепь  $Z_{ii}$ В  $\boldsymbol{C}$ b  $\boldsymbol{A}$  $Z_{AC}$  $Z_{Ac}$  $Z_{AA}$  $Z_{AB}$  $Z_{Aa}$  $Z_{Ab}$ A $Z_{BC}$  $Z_{Ba}$ I В  $Z_{BA}$  $Z_{RR}$  $\boldsymbol{C}$  $Z_{CA}$  $Z_{CC}$  $Z_{CB}$  $\overline{Z}_{ac}$  $Z_{aC}$  $Z_{aA}$  $Z_{aB}$  $Z_{aa}$  $\boldsymbol{a}$  $Z_{ba}$  $Z_{bA}$ II b  $Z_{bB}$  $Z_{bC}$  $Z_{cc}$  $Z_{cC}$  $Z_{ca}$  $Z_{cA}$  $Z_{cB}$  $Z_{cb}$  $\mathcal{C}$ 

Табл. 2. Матрица собственных и взаимных фазных сопротивлений.

По главной диагонали матрицы располагаются собственные сопротивления фаз:

$$Z_{(co\delta cms)} = (R_{np} + R_3 + j0.145 \cdot lg \frac{D_3}{r_{3v}}) \cdot L$$

где  $R_3$ =0,05 Ом/км – удельное сопротивление земли;  $D_3$  – глубина залегания фиктивного обратного провода при f=50 $\Gamma$ ц.

Недиагональные элементы составляют взаимные сопротивления между фазами:

$$Z_{(g3aum)} = (R_3 + j0,145 \cdot lg \frac{D_3}{d}) \cdot L$$
.

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

$$\begin{split} & \Delta U_{A} = I_{A} \cdot Z_{AA} + I_{B} \cdot Z_{AB} + I_{C} \cdot Z_{AC} + I_{a} \cdot Z_{Aa} + I_{b} \cdot Z_{Ab} + I_{c} \cdot Z_{Ac} \\ & \Delta U_{B} = I_{A} \cdot Z_{BA} + I_{B} \cdot Z_{BB} + I_{C} \cdot Z_{BC} + I_{a} \cdot Z_{Ba} + I_{b} \cdot Z_{Bb} + I_{c} \cdot Z_{Bc} \\ & \Delta U_{C} = I_{A} \cdot Z_{CA} + I_{B} \cdot Z_{CB} + I_{C} \cdot Z_{CC} + I_{a} \cdot Z_{Ca} + I_{b} \cdot Z_{Cb} + I_{c} \cdot Z_{Cc} \\ & \Delta U_{a} = I_{A} \cdot Z_{aA} + I_{B} \cdot Z_{aB} + I_{C} \cdot Z_{aC} + I_{a} \cdot Z_{aa} + I_{b} \cdot Z_{ab} + I_{c} \cdot Z_{ac} \\ & \Delta U_{b} = I_{A} \cdot Z_{bA} + I_{B} \cdot Z_{bB} + I_{C} \cdot Z_{bC} + I_{a} \cdot Z_{ba} + I_{b} \cdot Z_{bb} + I_{c} \cdot Z_{bc} \end{split}$$

$$\Delta U_c = I_A \cdot Z_{cA} + I_B \cdot Z_{cB} + I_C \cdot Z_{cC} + I_a \cdot Z_{ca} + I_b \cdot Z_{cb} + I_c \cdot Z_{cc}$$

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

$$\Delta U_A = \Delta U_a = E_A$$
$$\Delta U_B = \Delta U_b = E_B$$
$$\Delta U_C = \Delta U_C = E_C$$

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:

$$\Delta U_{A} = I_{A} \cdot (Z_{AA} + Z_{Aa}) + I_{B} \cdot (Z_{AB} + Z_{Ab}) + I_{C} \cdot (Z_{AC} + Z_{Ac})$$

$$\Delta U_{B} = I_{A} \cdot (Z_{BA} + Z_{Ba}) + I_{B} \cdot (Z_{BB} + Z_{Bb}) + I_{C} \cdot (Z_{BC} + Z_{Bc})$$

$$\Delta U_{C} = I_{A} \cdot (Z_{CA} + Z_{Ca}) + I_{B} \cdot (Z_{CB} + Z_{Cb}) + I_{C} \cdot (Z_{CC} + Z_{Cc})$$

Матрица действующих значений токов КЗ:

$$|I| = |Z|^{-1} \cdot |U|$$

где U — матрица со значением ЭДС источника питания в каждой фазе; Z — матрица сопротивлений, учитывающая взаимовлияние фаз от расположения цепей на опорах и грозозащитного троса.

Результаты расчётов запишем в виде таблицы 3,4, 5 и 6.

Для провода марки АС-300/39:  $R_o$ =0,0958 (Ом/км) — удельное погонное активное сопротивление провода;  $r_{np}$ =12 (мм) — радиус провода;  $r_{sk}$  =11,4(мм) — эквивалентный радиус;  $R_{np}$ =2,47 (Ом) — полное активное сопротивление провода фазы.

Табл. 3. Расстояние между проводами различных фаз

d(m)	A	В	С	а	b	С
A	1	8,04	14,02	7,00	12,42	15,98
В	8,04	-	6,86	12,42	12,80	12,43
C	14,02	6,86	1	15,98	12,43	8,40
а	7,00	12,42	15,98	-	8,04	14,02
b	12,42	12,80	12,43	8,04	-	6,86
C	15,98	12,43	8,40	14,02	6,86	1

Табл. 4. Собственные и взаимные фазные удельные индуктивные сопротивления

Х(Ом/км)	A	В	C	а	b	С
A	0,7167	0,3037	0,2687	0,3125	0,2764	0,2605
В	0,3037	0,7167	0,3137	0,2764	0,2745	0,2763
C	0,2687	0,3137	0,7167	0,2605	0,2763	0,3010
а	0,3125	0,2764	0,2605	0,7167	0,3037	0,2687
b	0,2764	0,2745	0,2763	0,3037	0,7167	0,3137
c	0,2605	0,2763	0,3010	0,2687	0,3137	0,7167

 Табл. 5. Собственные и взаимные фазные удельные активные сопротивления

R(Ом/км)	A	В	C	а	b	С
A	0,1458	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
В	0,05	0,1458	0,05	0,05	0,05	0,05
С	0,05	0,05	0,1458	0,05	0,05	0,05
а	0,05	0,05	0,05	0,1458	0,05	0,05
b	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1458	0,05
С	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1458

Табл. 6. Периодические составляющие начального тока симметричного трехфазного КЗ и их отклонения от тока  $I_{A(3)}$ 

Метод расчета	Фазные токи	$I^{(3)}{}_{\phi.no}(\kappa A)$	$\Delta_I\left(\kappa A ight)$	$\delta_I(\%)$
1	$I_A = I_B = I_C$	11,4	1,39	13,89
2	$I_A = I_B = I_C$	11,15	1,14	11,39
	$I_A =$	10,01	0	0
3	$I_{B}=$	11,94	1,93	19,28
	$I_C =$	10,85	0,84	8,39

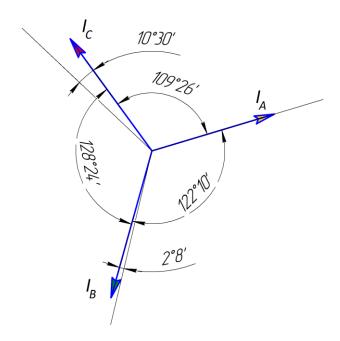


Рис.3. Вектора периодической составляющей тока трехфазного КЗ.

Если принять за эталон наименьшее значение тока в фазе A, рассчитанного по методу фазных координат, то относительные и абсолютные отклонения можно изобразить в виде гистограммы (рис.4).

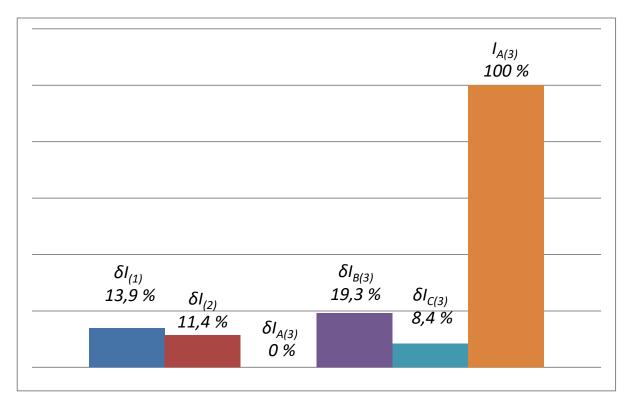


Рис.4. Относительное отклонение расчетных токов от тока  $I_{A(3)}$  (%)

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.

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.

## Использованные источники:

- 1. Берман А. П. Расчет несимметричных режимов электрических систем с использованием фазных координат. Электричество, 1985, № 12.
- 2. Взаимовлияние двухцепных воздушных линий и их воздействие на режим электрических систем / М.Ш. Мисриханов, В.А. Попов, Н.Н. Якимчук, Р.В. Медов // Электрические станции. 2001 №2.
- 3. Гусейнов А. М. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся режимов в сложных системах. Электричество, 1989, № 3
- 4. Закорюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Изд-во ИГУ. 2005. 273с.
- Руководящие указания по релейной защите / Вып. 11. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. М.: Энергия, 1979, №11
- 6. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М.; Л.: Энергия,1970.