

З.А.ВОРОНИНА, зав. отд., НТУ «ХПИ»;
О.Ю.ГЛЕБОВ, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
В.О.ЕРЕМЕЕВ, зав. сектором, НТУ «ХПИ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В КАБЕЛЯХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ НА ШИНАХ ПОДСТАНЦИИ С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

В статті наведено розрахункові схеми та математичні вирази щодо визначення рівнів електромагнітних завод в кабелях вимірювальних трансформаторів напруги та струму при короткому замиканні на шинах підстанції з метою забезпечення електромагнітної сумісності на енергетичних об'єктах.

For the purpose to provide the electromagnetic compatibility of substation, there are an analytical models and mathematical equations for determination of electromagnetic disturbance into voltage and current measuring transformer cables during short circuit on high-voltage buses are given in the paper.

Введение. Разряды молнии и короткие замыкания (КЗ) на шинах подстанции (ПС) являются наиболее мощными источниками электромагнитных помех для всех вторичных цепей. Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) должны быть известны [1]: электромагнитная обстановка (ЭМО); механизм связи; чувствительность приемника помех. Различают следующие механизмы связи электромагнитных воздействий [2]: гальваническая связь; связь через электрическое поле; связь через магнитной поле; связь через излучение. Подобное разделение механизмов связи является весьма условным, поскольку в реальных электрических цепях два и более механизма проявляются одновременно, но для анализа процессов данное разделение механизмов связи является достаточно удобным. В данной статье рассматривается только гальваническая связь, которая возникает, если некоторое полное сопротивление оказывается общим для двух или нескольких контуров.

При КЗ на шинах ПС вторичные цепи оказываются гальванически связанными с первичными. Гальваническая связь между первичными и вторичными цепями энергообъектов возникает не только в случае КЗ на шинах, а также и в случае срабатывания разрядников или нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН). В случае КЗ на шинах влияющим воздействием является ток замыкания, а в случае срабатывания разрядников или ОПН – ток, протекающий через эти элементы. Кроме того, механизм гальванической связи применим и для оценки воздействия прямого удара молнии. В данном случае влияющим воздействием является ток молнии.

1. Помехи в кабеле ТН

Помехи в кабеле ТН при КЗ на шинах ПС. На рис. 1 приведена схема, поясняющая возникновение гальванической связи между высоковольтным проводом и проводами бронированного кабеля вторичных цепей ТН при КЗ на шинах ПС.

Спротивление Z_2 второго контура определяется по формуле:

$$Z_2 = \frac{Z_{\text{ПР2}} \cdot Z_3}{Z_{\text{ПР2}} + Z_3}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{ПР2}}$ – сопротивление нулевого провода; Z_3 – сопротивление трех последовательно соединенных участков:

$$Z_3 = Z_{\text{ТН}} + Z_{\text{ПР1}} + Z_{\text{РЕЛЕ}}, \quad (2)$$

где $Z_{\text{ТН}}$ – сопротивление вторичной обмотки ТН (сопротивление ТН); $Z_{\text{ПР1}}$ – сопротивление фазного провода; $Z_{\text{РЕЛЕ}}$ – сопротивление обмотки управления реле (сопротивление реле).

Сопротивление Z_C связи определяется по формуле:

$$Z_C = \frac{Z_{C1} \cdot Z_{C2}}{Z_{C1} + Z_{C2}} \approx Z_{C1}. \quad (3)$$

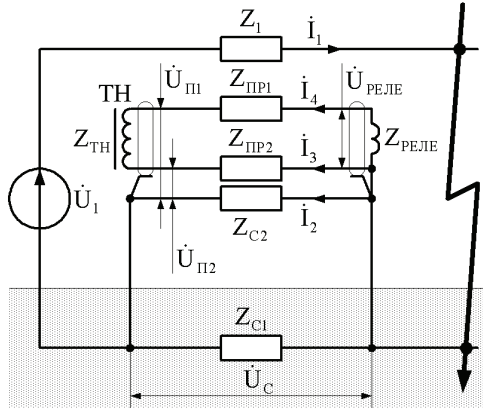
где Z_{C1} – сопротивление горизонтального заземлителя между точками заземления брони кабеля (сопротивление заземлителя); Z_{C2} – сопротивление заземленной с двух сторон брони кабеля (сопротивление брони); Z_2 – сопротивление второго контура. Сопротивление Z_{C2} значительно больше чем Z_{C1} , поэтому сопротивление Z_C несколько меньше чем Z_{C1} , но близко к нему.

Напряжение U_C определяется током I_1 и сопротивлением связи Z_C :

$$\dot{U}_C = \dot{I}_1 \cdot Z_C. \quad (4)$$

Ток I_3 (в нулевом проводе) и ток I_4 (в реле) равны нулю. Напряжения помех $U_{\text{П1}}$ (между фазным проводом и землей) и $U_{\text{П2}}$ (между нулевым проводом и землей) равны напряжению U_C поскольку нет падений напряжения от токов I_4 и I_3 соответственно, а напряжение $U_{\text{РЕЛЕ}}$ равно нулю. Ток I_2 , протекающий по броне и оказывающий термическое воздействие на изоляцию кабеля, определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению брони кабеля Z_{C2} .

Если напряжение помехи $U_{\text{П1}}$ или $U_{\text{П2}}$ превысит электрическую прочность изоляции кабеля или ток I_2 вызовет расплавление этой изоляции, то произойдет КЗ в кабеле. Далее рассматриваются три варианта КЗ в кабеле ТН: замыкание нулевого провода на землю; замыкание фазного провода на землю; замыкание нулевого и фазного проводов на землю. Последний вариант подобен установке устройства защиты от импульсных помех (УЗИП) в месте пробоя кабеля. Кроме КЗ в кабеле возможен также обрыв брони, а также фазного и/или нулевого проводов. Формулы (1) – (4) пригодны для расчета параметров электромагнитных помех в случае обрыва фазного или нулевого проводов кабеля вторичных цепей ТН при КЗ на шинах ПС.



U_1 – напряжение источника помех; I_1 – ток КЗ в первом контуре; $U_{П1}$ и $U_{П2}$ – напряжения помехи; $U_{РЕЛЕ}$ – напряжение на реле; Z_1 – сопротивление первого контура; Z_{C1} – сопротивление горизонтального заземлителя между точками заземления брони кабеля; Z_{C2} – сопротивление заземленной с двух сторон брони кабеля; $Z_{ПР1}$ – сопротивление фазного провода; $Z_{ПР2}$ – сопротивление нулевого провода; $Z_{РЕЛЕ}$ – сопротивление обмотки управления реле; $Z_{ТН}$ – сопротивление вторичной обмотки ТН

Рисунок 1

Помехи в кабеле ТН с замкнутым на землю нулевым проводом при КЗ на шинах ПС.

Сопротивление Z_2 второго контура (см. рис. 2) состоит из трех последовательно соединенных участков:

$$Z_2 = Z_{РЕЛЕ} + Z_{ПР1} + Z_{ТН} . \quad (5)$$

Сопротивление Z_C связи состоит из четырех параллельно соединенных участков:

$$Z_C = \frac{Z_{C1} \cdot Z_{C2} \cdot Z_{ПР2} \cdot Z_2}{Z_{C1} \cdot Z_{C2} (Z_{ПР2} + Z_2) + Z_{ПР2} \cdot Z_2 (Z_{C1} + Z_{C2})} \approx Z_{C1} . \quad (6)$$

Сопротивление Z_{C1} значительно меньше чем каждое из Z_{C2} , $Z_{ПР2}$ и Z_2 , поэтому сопротивление Z_C несколько меньше чем Z_{C1} , но близко к нему.

Напряжение U_C определяется произведением тока I_1 на сопротивление связи Z_C . Напряжение $U_{П2}$ в месте пробоя кабеля равно нулю. Ток I_2 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению брони кабеля Z_{C2} . Ток I_3 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению нулевого провода $Z_{ПР2}$. Ток I_4 определяются отношением напряжения U_C к сопротивлению Z_2 .

Напряжение $U_{П1}$ определяется током I_4 и сопротивлением ТН $Z_{ТН}$:

$$\dot{U}_{П1} = \dot{I}_4 \cdot Z_{ТН} = \dot{U}_C \frac{Z_{ТН}}{Z_{РЕЛЕ} + Z_{ПР1} + Z_{ТН}} . \quad (7)$$

Напряжение $U_{П1}$ зависит от соотношения сопротивлений $Z_{РЕЛЕ}$ и $Z_{ТН}$.

Если $Z_{РЕЛЕ} \gg Z_{ТН}$, то $U_{ПН} \approx 0$. Если $Z_{РЕЛЕ} \ll Z_{ТН}$, то $U_{ПН} \approx U_C$.

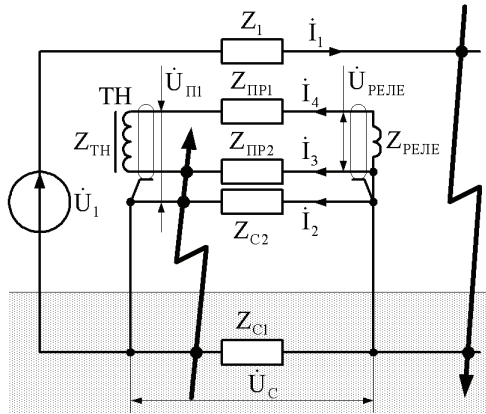


Рисунок 2

Помехи в кабеле ТН с замкнутым на землю фазным проводом при КЗ на шинах ПС.

Сопротивление Z_2 второго контура (см. рис. 3) состоит из двух последовательно соединенных участков:

$$Z_2 = Z_{ПР2} + Z_{ТН} \quad (8)$$

Сопротивление Z_3 определяется по формуле:

$$Z_3 = Z_{ПР1} + Z_{РЕЛЕ} \quad (9)$$

Сопротивление Z_C связи состоит из четырех параллельно соединенных участков:

$$Z_C = \frac{Z_{C1} \cdot Z_{C2} \cdot Z_2 \cdot Z_3}{Z_{C1} \cdot Z_{C2} (Z_2 + Z_3) + Z_2 \cdot Z_3 \cdot (Z_{C1} + Z_{C2})} \approx Z_{C1} \quad (10)$$

Сопротивление Z_{C1} значительно меньше любого из Z_{C2} , Z_2 и Z_3 , поэтому сопротивление Z_C несколько меньше чем Z_{C1} , но близко к нему.

Напряжение U_C определяется произведением тока I_1 на сопротивление связи Z_C . Напряжение $U_{ПН}$ в месте пробоя кабеля равно нулю. Ток I_2 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению брони Z_{C2} . Ток I_3 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению Z_2 . Ток I_4 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению Z_3 .

Напряжение $U_{П2}$ определяется током I_3 и сопротивлением ТН $Z_{ТН}$:

$$\dot{U}_{П2} = \dot{I}_3 \cdot Z_{ТН} = \dot{U}_C \frac{Z_{ТН}}{Z_{ПР2} + Z_{ТН}} \quad (11)$$

На низких частотах напряжение $U_{П2}$ зависит от соотношения сопротивлений $Z_{ПР2}$ и $Z_{ТН}$. Если $Z_{ПР2} \gg Z_{ТН}$, то $U_{П2} \approx 0$. Если $Z_{ПР2} \ll Z_{ТН}$, то $U_{П2} \approx U_C$. На высоких частотах $Z_{ПР2} \ll Z_{ТН}$, поэтому $U_{П2} \approx U_C$.

Напряжение $U_{\text{РЕЛЕ}}$ определяется током I_4 и сопротивлением реле $Z_{\text{РЕЛЕ}}$:

$$\dot{U}_{\text{РЕЛЕ}} = \dot{I}_4 \cdot Z_{\text{РЕЛЕ}} = \dot{U}_C \frac{Z_{\text{РЕЛЕ}}}{Z_{\text{ПР1}} + Z_{\text{РЕЛЕ}}}. \quad (12)$$

На низких частотах напряжение $U_{\text{РЕЛЕ}}$ зависит от соотношения сопротивлений $Z_{\text{ПР1}}$ и $Z_{\text{РЕЛЕ}}$. Если $Z_{\text{ПР1}} \gg Z_{\text{РЕЛЕ}}$, то $U_{\text{РЕЛЕ}} \approx 0$. Если $Z_{\text{ПР1}} \ll Z_{\text{РЕЛЕ}}$, то $U_{\text{РЕЛЕ}} \approx U_C$. На высоких частотах $Z_{\text{ПР1}} \ll Z_{\text{РЕЛЕ}}$, поэтому $U_{\text{РЕЛЕ}} \approx U_C$.

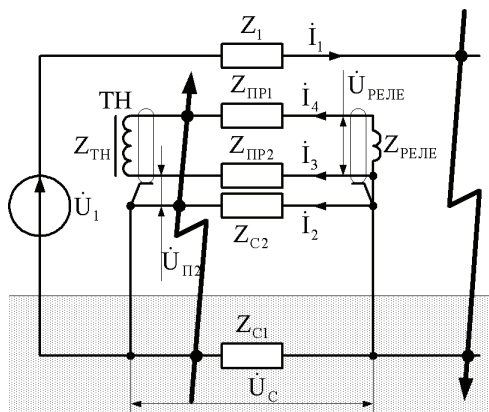


Рисунок 3

Помехи в замкнутом на землю кабеле ТН при КЗ на шинах ПС.

Сопротивление Z_2 второго контура (см. рис. 4) состоит из двух последовательно соединенных участков:

$$Z_2 = Z_{\text{ПР1}} + Z_{\text{РЕЛЕ}}. \quad (13)$$

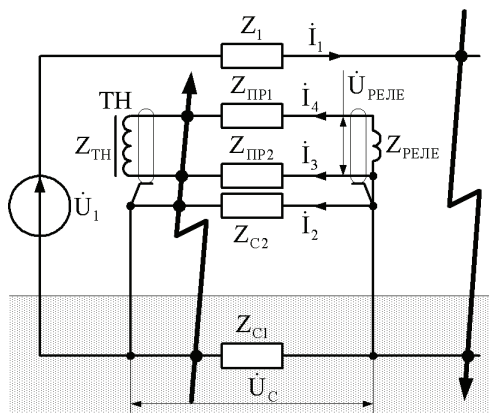


Рисунок 4

Сопротивление Z_C связи состоит из четырех параллельно соединенных участков:

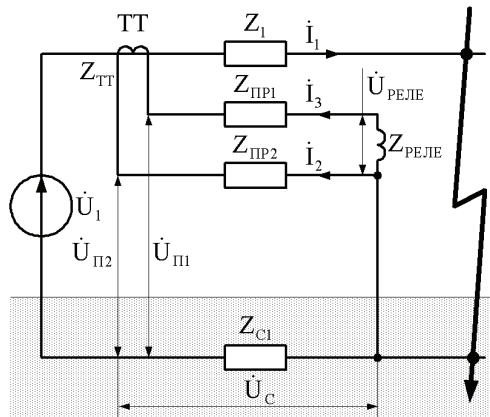
$$Z_C = \frac{Z_{C1} \cdot Z_{C2} \cdot Z_2 \cdot Z_{ПР2}}{Z_{C1} \cdot Z_{C2} (Z_2 + Z_{ПР2}) + Z_2 \cdot Z_{ПР2} \cdot (Z_{C1} + Z_{C2})} \approx Z_{C1}. \quad (14)$$

Сопротивление Z_{C1} значительно меньше чем каждое из Z_{C2} , Z_2 и $Z_{ПР2}$, поэтому сопротивление Z_C несколько меньше чем Z_{C1} , но близко к нему.

Напряжение U_C определяется произведением тока I_1 на сопротивление связи Z_C . Напряжения $U_{П1}$ и $U_{П2}$ в месте пробоя кабеля равны нулю. Ток I_2 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению Z_{C2} . Ток I_3 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению $Z_{ПР2}$. Ток I_4 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению Z_2 . Напряжение $U_{РЕЛЕ}$ определяется по формуле (12).

2. Помехи в кабеле ТТ

Помехи в кабеле ТТ при КЗ на шинах ПС. На рис. 5 приведена схема, поясняющая возникновение гальванической связи между высоковольтным проводом и проводами небронированного кабеля вторичных цепей ТТ при КЗ на шинах ПС.



U_1 – напряжение источника помех; I_1 – ток КЗ в первом контуре; $U_{П1}$ и $U_{П2}$ – напряжения помехи; $U_{РЕЛЕ}$ – напряжение на реле; Z_1 – сопротивление первого контура; Z_{C1} – сопротивление горизонтального заземлителя между точками присоединения кабеля; $Z_{ПР1}$ – сопротивление фазного провода; $Z_{ПР2}$ – сопротивление нулевого провода; $Z_{РЕЛЕ}$ – сопротивление обмотки управления реле; $Z_{ТТ}$ – сопротивление вторичной обмотки ТТ

Рисунок 5

Сопротивление Z_2 второго контура определяется по формуле:

$$Z_2 = \frac{Z_{ПР2} \cdot Z_3}{Z_{ПР2} + Z_3}, \quad (15)$$

где $Z_{\text{ПР2}}$ – сопротивление нулевого провода; Z_3 – сопротивление трех последовательно соединенных участков:

$$Z_3 = Z_{\text{ТТ}} + Z_{\text{ПР1}} + Z_{\text{РЕЛЕ}}, \quad (16)$$

где $Z_{\text{ТТ}}$ – сопротивление вторичной обмотки ТТ (сопротивление ТТ); $Z_{\text{ПР1}}$ – сопротивление фазного провода; $Z_{\text{РЕЛЕ}}$ – сопротивление обмотки управления реле (сопротивление реле).

Сопротивление Z_C равно сопротивлению горизонтального заземлителя между точками присоединения кабеля Z_{C1} (сопротивление заземлителя). Напряжение U_C определяется произведением тока I_1 на сопротивление связи Z_C . Токи I_2 и I_3 равны нулю. Напряжения помех $U_{\text{П1}}$ (между фазным проводом и землей) и $U_{\text{П2}}$ (между нулевым проводом и землей) равны напряжению U_C поскольку нет падений напряжения от токов I_3 и I_2 соответственно, а напряжение $U_{\text{РЕЛЕ}}$ равно нулю.

Если напряжение помехи $U_{\text{П1}}$ или $U_{\text{П2}}$ превысит электрическую прочность изоляции кабеля, то произойдет КЗ в кабеле. Далее рассматриваются три варианта КЗ в кабеле ТТ. Формулы (15) и (16) пригодны для расчета параметров электромагнитных помех в случае обрыва фазного или нулевого проводов кабеля вторичных цепей ТТ при КЗ на шинах ПС.

Помехи в кабеле ТТ с замкнутым на землю нулевым проводом при КЗ на шинах ПС.

Сопротивление Z_2 второго контура (см. рис. 6) определяется по формуле:

$$Z_2 = Z_{\text{ТТ}} + Z_{\text{ПР1}} + Z_{\text{РЕЛЕ}}. \quad (17)$$

Сопротивление Z_C связи образовано двумя параллельно соединенными участками:

$$Z_C = \frac{Z_{C1} \cdot Z_{\text{ПР2}}}{Z_{C1} + Z_{\text{ПР2}}} \approx Z_{C1}. \quad (18)$$

Сопротивление $Z_{\text{ПР2}}$ значительно больше чем Z_{C1} , поэтому сопротивление Z_C несколько меньше чем Z_{C1} , но близко к нему.

Напряжение U_C определяется произведением тока I_1 на сопротивление связи Z_C . Напряжение $U_{\text{П2}}$ в месте пробоя кабеля равно нулю. Ток I_3 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению Z_2 . Ток I_2 оказывает термическое воздействие на изоляцию кабеля и определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению нулевого провода $Z_{\text{ПР2}}$.

Напряжение $U_{\text{П1}}$ определяется током I_3 и сопротивлением $Z_{\text{ТТ}}$:

$$\dot{U}_{\text{П1}} = \dot{I}_3 \cdot Z_{\text{ТТ}} = \dot{U}_C \frac{Z_{\text{ТТ}}}{Z_{\text{ТТ}} + Z_{\text{ПР1}} + Z_{\text{РЕЛЕ}}}. \quad (19)$$

Напряжение $U_{\text{РЕЛЕ}}$ определяется током I_3 и сопротивлением реле $Z_{\text{РЕЛЕ}}$:

$$\dot{U}_{\text{РЕЛЕ}} = \dot{I}_3 \cdot Z_{\text{РЕЛЕ}} = \dot{U}_C \frac{Z_{\text{РЕЛЕ}}}{Z_{\text{ТТ}} + Z_{\text{ПР1}} + Z_{\text{РЕЛЕ}}}. \quad (20)$$

Напряжения $U_{\text{Пп}}$ и $U_{\text{РЕЛЕ}}$ зависят от соотношения сопротивлений $Z_{\text{ТТ}}$ и $Z_{\text{РЕЛЕ}}$. Если $Z_{\text{ТТ}} \gg Z_{\text{РЕЛЕ}}$, то $U_{\text{Пп}} \approx U_{\text{С}}$, а $U_{\text{РЕЛЕ}} \approx 0$. Если $Z_{\text{ТТ}} \ll Z_{\text{РЕЛЕ}}$, то $U_{\text{Пп}} \approx 0$, а $U_{\text{РЕЛЕ}} \approx U_{\text{С}}$.

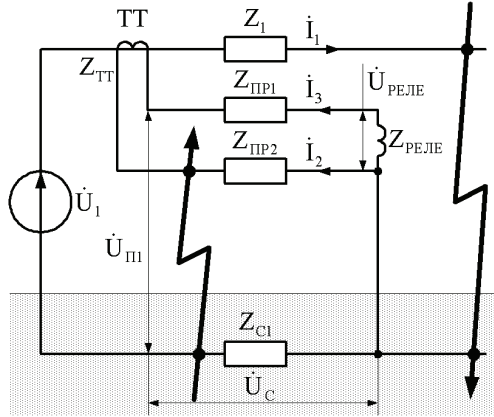


Рисунок 6

Помехи в кабеле ТТ с замкнутым на землю фазным проводом при КЗ на шинах ПС.

Сопротивление Z_2 второго контура (см. рис. 7) состоит из двух последовательно соединенных участков:

$$Z_2 = Z_{\text{ПР2}} + Z_{\text{ТТ}}. \tag{21}$$

Сопротивление Z_3 определяется по формуле:

$$Z_3 = Z_{\text{ПР1}} + Z_{\text{РЕЛЕ}}. \tag{22}$$

Сопротивление $Z_{\text{С}}$ связи образовано тремя параллельно соединенными участками:

$$Z_{\text{С}} = \frac{Z_{\text{С1}} \cdot Z_2 \cdot Z_3}{Z_{\text{С1}} \cdot Z_2 + Z_3 \cdot (Z_{\text{С1}} + Z_2)} \approx Z_{\text{С1}}. \tag{23}$$

Сопротивление $Z_{\text{С1}}$ значительно меньше любого из Z_2 и Z_3 , поэтому сопротивление $Z_{\text{С}}$ несколько меньше чем $Z_{\text{С1}}$, но близко к нему.

Напряжение $U_{\text{С}}$ определяется произведением тока I_1 на сопротивление связи $Z_{\text{С}}$. Напряжение $U_{\text{Пп}}$ в месте пробоя кабеля равно нулю. Ток I_2 определяется отношением напряжения $U_{\text{С}}$ к сопротивлению Z_2 . Ток I_3 определяется отношением напряжения $U_{\text{С}}$ к сопротивлению Z_3 .

Напряжение $U_{\text{Пп2}}$ определяется током I_2 и сопротивлением ТТ $Z_{\text{ТТ}}$:

$$\dot{U}_{\text{Пп2}} = \dot{I}_2 \cdot Z_{\text{ТТ}} = \dot{U}_{\text{С}} \frac{Z_{\text{ТТ}}}{Z_{\text{ПР2}} + Z_{\text{ТТ}}}. \tag{24}$$

На низких частотах напряжение $U_{\text{Пп2}}$ зависит от соотношения сопротивлений $Z_{\text{ТТ}}$ и $Z_{\text{ПР2}}$. Если $Z_{\text{ТТ}} \gg Z_{\text{ПР2}}$, то $U_{\text{Пп2}} \approx U_{\text{С}}$. Если $Z_{\text{ТТ}} \ll Z_{\text{ПР2}}$, то $U_{\text{Пп2}} \approx 0$.

На высоких частотах $Z_{ТТ} \gg Z_{ПР2}$, поэтому $U_{П2} \approx U_C$.

Напряжение $U_{РЕЛЕ}$ определяется током I_3 и сопротивлением реле $Z_{РЕЛЕ}$:

$$\dot{U}_{РЕЛЕ} = \dot{I}_3 \cdot Z_{РЕЛЕ} = \dot{U}_C \frac{Z_{РЕЛЕ}}{Z_{ПР1} + Z_{РЕЛЕ}}. \quad (25)$$

На низких частотах напряжение $U_{РЕЛЕ}$ зависит от соотношения сопротивлений $Z_{ПР1}$ и $Z_{РЕЛЕ}$. Если $Z_{ПР1} \gg Z_{РЕЛЕ}$, то $U_{РЕЛЕ} \approx 0$. Если $Z_{ТТ1} \ll Z_{РЕЛЕ}$, то $U_{РЕЛЕ} \approx U_C$. На высоких частотах $Z_{ТТ1} \ll Z_{РЕЛЕ}$, поэтому $U_{РЕЛЕ} \approx U_C$.

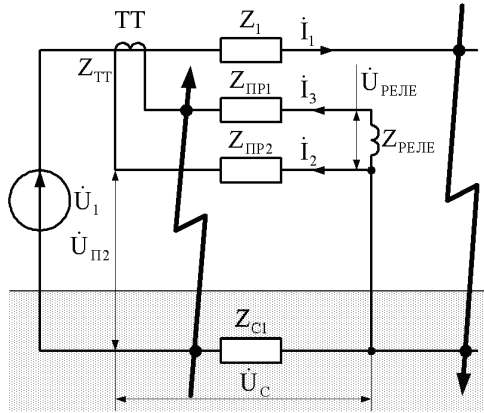


Рисунок 7

Помехи в замкнутом на землю кабеле ТТ при КЗ на шинах ПС.

Сопротивление Z_2 второго контура (см. рис. 8) состоит из двух последовательно соединенных участков:

$$Z_2 = Z_{ПР1} + Z_{РЕЛЕ}. \quad (26)$$

Сопротивление Z_C связи образовано тремя параллельно соединенными участками:

$$Z_C = \frac{Z_{C1} \cdot Z_2 \cdot Z_{ПР2}}{Z_{C1} \cdot Z_2 + Z_{ПР2} \cdot (Z_{C1} + Z_2)} \approx Z_{C1}. \quad (27)$$

Сопротивление Z_{C1} значительно меньше любого из Z_2 и $Z_{ПР2}$, поэтому сопротивление Z_C несколько меньше чем Z_{C1} , но близко к нему.

Напряжение U_C определяется произведением тока I_1 на сопротивление связи Z_C . Напряжения $U_{П1}$ и $U_{П2}$ в месте пробоя кабеля равны нулю. Ток I_2 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению нулевого провода $Z_{ПР2}$. Ток I_3 определяется отношением напряжения U_C к сопротивлению Z_2 . Напряжение $U_{РЕЛЕ}$ определяется по формуле (25).

Выводы. В работе получены математические выражения, позволяющие определить параметры электромагнитных помех в кабелях измерительных

трансформаторов напряжения и тока при коротком замыкании на шинах подстанции. Для этого необходимо знать параметры вторичных цепей, а также экспериментально измерить напряжение U_C между заземляющими проводниками трансформатора напряжения (тока) и устройства релейной защиты, к которому подключен исследуемый кабель. Указанные измерения можно выполнить при имитации КЗ или удара молнии на действующем объекте без вывода из работы устройств релейной защиты.

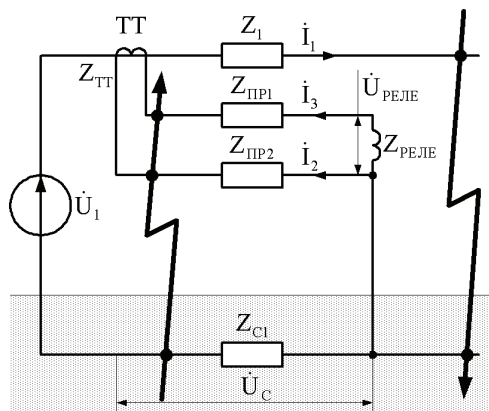


Рисунок 8

Анализ полученных выражений показывает, что чем меньше сопротивление связи Z_C , тем меньше напряжения и токи помех при ударе молнии и коротком замыкании на шинах подстанции. Поэтому для уменьшения уровней электромагнитных помех во вторичных цепях измерительных трансформаторов напряжения и тока следует уменьшать сопротивление связи, а именно сопротивление Z_{C1} горизонтального заземлителя между заземляющими проводниками трансформатора напряжения (тока) и устройства релейной защиты.

Список литературы: 1. Шваб А.Й. Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д.Мазина и С.А. Спектора. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. И.П.Кужекина. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К., Кужекин И.П., Жуков А.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / Под ред. А.Ф.Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.

Поступила в редколлегию 29.06.2010