

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ИЗОЛЯТОРОВ КОМПЛЕКТНЫХ ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПАРАМЕТРАМ

Быкадоров В. Ф., Климентьев А. М., Пирожник А. А.

Южно-Российский государственный технический университет

(Новочеркасский политехнический институт)

seel_k@mail.ru

Most frequently meeting damage in isolated bus is by test of a basic insulator. In a paper the technique searches of a damaged insulator is offered. The formulas for account of a magnetic field above a damaged insulator are reduced. The block diagram of the receiver for the definition of a damaged insulator in isolated bus is considered.

К комплектным экранированным токопроводам электрических станций относятся пофазно-экранированные токопроводы связи генератора с трансформатором блока и трехфазные токопроводы 6кВ в системе собственных нужд [1]. Общая протяженность токопроводов на крупных электростанциях может достигать нескольких километров. Конструктивно токопроводы представляют собой массивные токоведущие шины, закрепленные на опорных изоляторах внутри экрана. Наиболее часто встречающимся повреждением в таких токопроводах является пробой опорного изолятора. Сложность отыскания поврежденных изоляторов состоит в том, что токопроводы располагаются в труднодоступных местах, а для определения состояния изолятора необходимо его извлечение из токопровода [2,3]. Отсутствие простой диагностической аппаратуры приводит к увеличению времени поиска поврежденного изолятора в условиях эксплуатации и возрастанию объема работ. Отмечены случаи, когда для уменьшения зоны поиска поврежденного изолятора токопровод разрезался на несколько участков

Для облегчения поиска поврежденных изоляторов на отключенном токопроводе целесообразно процесс диагностирования разделить на два этапа. На первом этапе определяется зона размещения поврежденного изолятора, в процессе которого находится участок токопровода, включающий несколько изоляторов. На втором этапе осуществляется точное определение состояния изоляторов, находящихся в зоне повреждения и выявляется дефектный изолятор [4].

Определить зону повреждения можно, используя следующие параметры переходного процесса, возникающего при пробое поврежденного изолятора:

1. Период волнового напряжения при разряде собственной емкости токопровода через поврежденный изолятор – при большом переходном сопротивлении в месте повреждения (10Мом и выше);
2. Период тока или напряжения при разряде емкостного накопителя энергии на поврежденную фазу токопровода при пониженном переходном сопротивлении в месте повреждения;
3. По звуковому эффекту в поврежденном изоляторе при пробое.

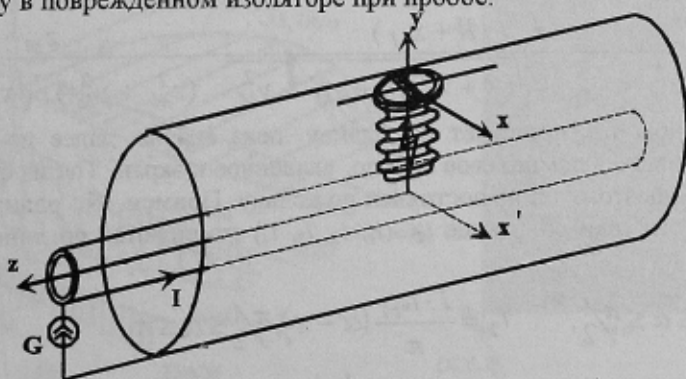


Рисунок 1 - Схема подключения генератора импульсных токов к поврежденной фазе токопровода

В зоне повреждения могут быть расположены от трех до девяти изоляторов. Определение состояния изоляторов в зоне можно осуществлять двумя способами. При первом способе производится поочередное извлечение изоляторов с осмотром и испытанием поврежденной фазы повышенным напряжением. Второй способ основан на измерении напряженности локального магнитного поля изоляторов в зоне при подключении к поврежденной фазе токопровода генератора импульсного тока высокого напряжения (рис.1).

При протекании разрядного тока через поврежденный изолятор источником формирования локального магнитного поля являются (рис.2):

- разрядный канал в теле поврежденного изолятора, расположенный под отверстием в экране (внутри люка экрана);

- стопорная шайба - пластина, по которой ток переходит с поврежденного изолятора на кольцо - люк экрана;

- кольцо - люк экрана, являющееся сборником тока с тела экрана и передающим элементом к стопорной шайбе - пластине (рис. 2).

Для расчета составляющих напряженности магнитного поля тока разрядного канала на поверхности токопровода получены выражения по закону Ампера [5]:

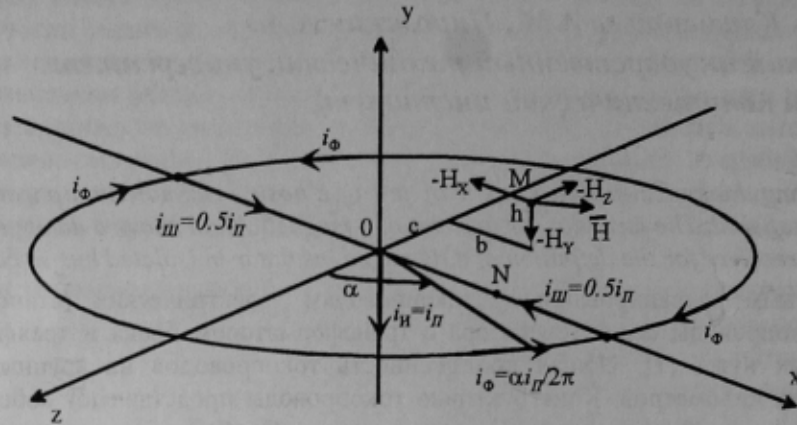


Рисунок 2 - Токораспределение в области поврежденного изолятора, используемое в расчетах: фланце люка экрана (i_Φ), стопорной шайбе ($i_\text{ш}$), разрядном канале изолятора ($i_\text{И}$).

$$H_x = \frac{i \cdot c}{4\pi \cdot a^2} \cdot \left(\frac{y_2}{\sqrt{a^2 + y_2^2}} - \frac{y_1}{\sqrt{a^2 + y_1^2}} \right), \quad H_z = \frac{-i \cdot b}{4\pi \cdot a^2} \cdot \left(\frac{y_2}{\sqrt{a^2 + y_2^2}} - \frac{y_1}{\sqrt{a^2 + y_1^2}} \right),$$

где y_1, y_2 - координаты разрядного канала; a - расстояние от центра изолятора до точки M ; b, c - расстояние от центра изолятора до точки M по осям x, y соответственно.

При расчете магнитного поля в плоскости люка экрана используется векторный магнитный потенциал в точке M от текущей точки N на линии тока (рис.2). Получены выражения [6,7] для расчета составляющих напряженности магнитного поля тока, протекающего по стопорной шайбе в плоскости люка экрана радиусом R и крышки изолятора (при $b = x_M, h = y_M, c = z_M$):

$$H_y(M) = \frac{I \cdot i_{*b1}}{4 \cdot \pi} \left[\frac{z_M \cdot (R - x_M)}{(z_M^2 + y_M^2) \cdot \sqrt{(R - x_M)^2 + z_M^2 + y_M^2}} + \frac{z_M \cdot x_M}{(z_M^2 + y_M^2) \cdot \sqrt{x_M^2 + z_M^2 + y_M^2}} \right] -$$

$$- \frac{I \cdot i_{*b2}}{4 \cdot \pi} \times \left[\frac{z_M \cdot (R + x_M)}{(z_M^2 + y_M^2) \cdot \sqrt{(R + x_M)^2 + z_M^2 + y_M^2}} - \frac{z_M \cdot x_M}{(z_M^2 + y_M^2) \cdot \sqrt{x_M^2 + z_M^2 + y_M^2}} \right]$$

Из стопорной шайбы ток протекает по фланцу люка экрана, далее по экрану. Фланец люка экрана представляет собой массивное алюминиевое кольцо, сваренное в экран. Ток из фланца растекается по экрану в радиальном направлении, поэтому он не постоянен по кольцу. Примем, что радиальное поле токов равномерно. Тогда на дугах окружности токи во фланце i_Φ (i_1, i_2, i_3, i_4) изменяются по линейному закону. В этом случае можно записать:

$$i_1 = \frac{I \cdot i_{*b1}}{\pi} \cdot \alpha, \quad 0 \leq \alpha \leq \pi/2, \quad i_2 = \frac{I \cdot i_{*b1}}{\pi} (\alpha - \pi), \quad \pi/2 \leq \alpha \leq \pi,$$

$$i_3 = \frac{I \cdot i_{*b2}}{\pi} (\alpha - \pi), \quad \pi \leq \alpha \leq 1.5 \cdot \pi, \quad i_4 = \frac{I \cdot i_{*b2}}{\pi} (\alpha - 2 \cdot \pi), \quad 1.5 \cdot \pi \leq \alpha \leq 2 \cdot \pi.$$

Получено выражение для расчета напряженности магнитного поля токов фланца люка экрана в цилиндрической системе координат с учетом $H_{z(\theta)} = H_{y(\theta)}$:

$$H_y = \frac{I \cdot i_{*b1}}{4\pi^2} \left\{ \int_0^{\pi/2} F(\alpha_N) \cdot \alpha_N d\alpha_N + \int_{\pi/2}^{\pi} F(\alpha_N) \cdot (\alpha_N - \pi) d\alpha_N \right\} + \frac{I \cdot i_{*b2}}{4\pi^2} \cdot$$

$$\left\{ \int_{\pi}^{3\pi/2} F(\alpha_N) (\alpha_N - 3\pi/2) d\alpha_N + \int_{3\pi/2}^{2\pi} F(\alpha_N) (\alpha_N - 2\pi) d\alpha_N \right\},$$

где:

$$F(\alpha_N) = \frac{r_N^2 - r_M \cdot r_N \cdot \cos(\alpha_M - \alpha_N)}{r_M \left[z_M^2 + r_M^2 + r_N^2 - 2 \cdot r_M \cdot r_N \cdot \cos(\alpha_M - \alpha_N) \right]^{3/2}}$$

Дальнейшее уточнение расчета сводится к представлению токов в люке и пластине в виде не одной оси тока (как было рассмотрено выше), а нескольких линий тока. Результаты расчетов приведены в табл. 1, где производится сравнение с результатами, полученными экспериментально[8].

Таблица 1 - Расчетные и экспериментальные значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля над поврежденным изолятором: $I=30A$, $f=10kГц$; расчет с учетом тока стопорной шайбы и фланца

Направление измерений	Расстояние от центра изолятора, мм				
	20	25	30	35	40
Расчетная напряженность магнитного поля над крышкой изолятора, А/м					
3, 7, 11, 15	3.86	4.81	5.27	5.25	4.83
Экспериментальная напряженность магнитного поля над крышкой изолятора, А/м					
3	4.78	5.8	6.31	5.97	4.97
7	4.36	5.29	5.8	5.5	4.4
11	4.06	5.8	6.31	5.97	4.95
15	4.78	6.14	6.5	6.14	4.94

Рассчитанные эпюры (рис.3) распределения наибольших составляющих напряженности магнитного поля показывают, что в области фиксации поля (плоскость крышки фланца люка изолятора) в прямоугольной системе координат существуют все три составляющие магнитного поля. Распределение этих составляющих от указанных элементов тока различно и их наибольшие значения не совпадают. Ток в разрядном канале создает составляющие H_{xH} , H_{zH} , максимумы которых находятся на расстоянии четверти диаметра фланца от его центра по осям X и Z соответственно. Ток в стопорной шайбе создает составляющие $H_{yш}$, $H_{zш}$, максимум первой составляющей находится вблизи центра квадранта, максимум второй - на расстоянии четверти диаметра фланца D от его центра по оси X . Токи в теле фланца, расположенные параллельно плоскости фиксации, создают в основном составляющую $H_{yф}$ (составляющие $H_{xф}$, $H_{zф}$ пренебрежимо малы, а при $h=0$ $H_{xф} = -H_{zф} = 0$), которая имеет сплошной рельеф распределения с некоторым максимумом в области $b \approx c \approx 0.2D$.

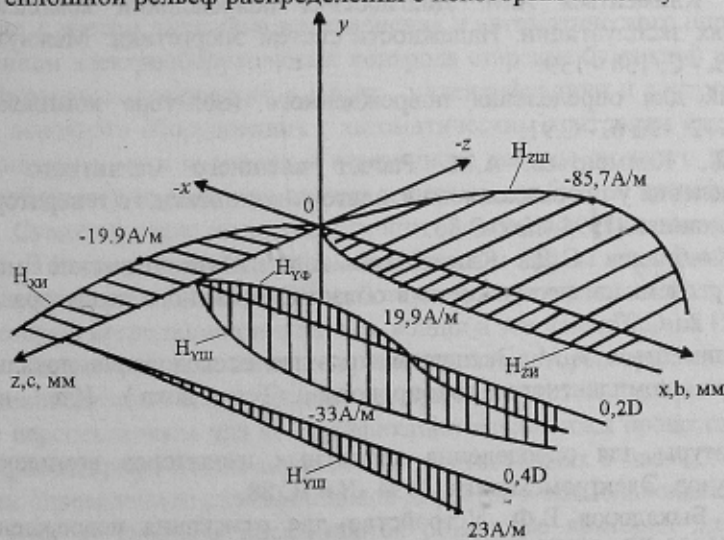


Рисунок 3

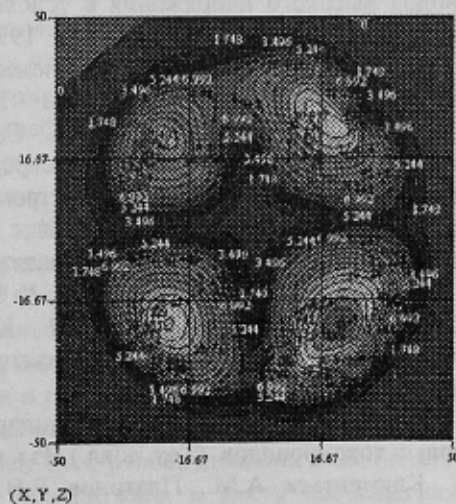


Рисунок 4

Рис.3 Эпюры распределения наибольших составляющих напряженности магнитного поля, создаваемых в плоскости фланца люка экрана элементами тока поврежденного изолятора ($I=30A$).

Рис.4 Рельеф вертикальной составляющей напряженности магнитного поля над люком поврежденного изолятора при протекании тока 30А.

При определении поврежденного изолятора токопровода путем фиксации локального магнитного поля в плоскости крышки фланца люка изолятора наиболее информативной является ориентация магнитоприемника на вертикальную составляющую напряженности поля, которая не зависит от ориентации стопорной шайбы и пути тока в разрядном канале (рис. 4).

Разработаны приемники для определения поврежденного изолятора комплектных токопроводов[9-11]. Приемники прошли натурные испытания на токопроводах типа ТЭКН и ТЗК Ростовской ТЭЦ-2 при поиске поврежденных изоляторов. Испытания подтвердили работоспособность предложенной методики и

разработанной аппаратуры для диагностирования дефектных изоляторов комплектных токопроводов электростанций.

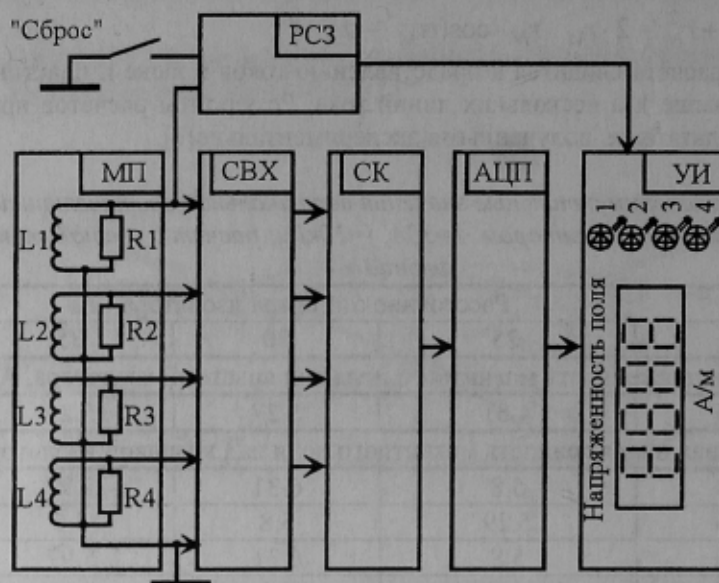


Рисунок 5 - Структурная схема приемника ПТ-03. МП - магнитоприемник, СВХ - схема выборки и хранения, СК - селектор каналов, АЦП - аналого-цифровой преобразователь, УИ - устройство индикации, РСЗ - разрешение считывания и записи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дорошев К.И. Токопроводы и шинопроводы для электростанций и подстанций. - М.: Энергоатомиздат, 1996. - 288с.
2. Бонецкий Л.К. Обнаружение дефектных изоляторов в закрытых токопроводах. // Электрические станции, 1967, N4, стр. 79-80.
3. Бажанов С.А. Испытания электрооборудования блочных станций. М.: Энергия, 1979. - 64 с.
4. Быкадоров В.Ф., Шевченко А.В., Климентьев А.М. Диагностика повреждений комплектных токопроводов высокого напряжения в условиях эксплуатации. Надежность систем энергетики: Межвуз. сб./Новочерк. политехн. ин-т. - Новочеркасск, 1990. - С. 138 - 139.
5. Климентьев А.М. Магнитоприемник для определения поврежденного изолятора комплектного токопровода. Изв. вузов. Электромеханика. - 1992. - № 6. - С.91.
6. Быкадоров В.Ф., Хлебников С.Д., Климентьев А.М. Расчет внешнего магнитного поля, обусловленного неоднородностью токораспределения у поврежденного изолятора комплектного генераторного токопровода. (Тез. докл.) Изв. вузов. Электромеханика.-1994.-№6.-С.86.
7. Быкадоров В.Ф., Ершов Ю.К., Хлебников С.Д., Климентьев А.М. Математические модели комплектного генераторного токопровода для расчета магнитного поля в области дефектного изолятора. (Тез. докл.) Изв. вузов. Электромеханика.-1997.-№ 1 - 2. -С.97.
8. Платонов В.В., Быкадоров В.Ф., Климентьев А.М. Экспериментальные исследования локального магнитного поля поврежденного изолятора комплектного токопровода. (Тез. докл.) Изв. вузов. Электромеханика.-1992.-№6.-С.88.
9. Климентьев А.М. Комплекс аппаратуры для определения дефектных изоляторов комплектных генераторных токопроводов. (Тез. докл.) Изв. вузов. Электромеханика.-1994.-№6.-С.88.
10. Климентьев А.М., Платонов В.В., Быкадоров В.Ф. Устройство для отыскания поврежденного изолятора комплектного токопровода. Пат. 2031411 РФ, МКИ G01R 31/02. - Заявл. 11.12.91; Опубл. 20.03. 95, Бюл. №8.
11. Климентьев А.М. Приемник для диагностики дефектных изоляторов комплектных экранированных токопроводов с контролем уровня индукционного сигнала. (Тез. докл.) Изв. вузов. Электромеханика.-1997.-№1 - 2. -С.99.