

В.В. Коренский, канд. техн. наук

(Россия, Мирный, филиал Якутского государственного университета)

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ И СПОСОБЫ ИХ УМЕНЬШЕНИЯ

Расчеты зависимости $\Psi_{\Delta y}$ от координаты утечки [1] при различных значениях R_y , выполненные на ЭВМ, показывают, что на пороге чувствительности средств защитного отключения погрешность определения координаты утечки за счет нелинейности $\Psi_{\Delta y}$ не превышает 5 % длины лучевого ответвления контактной сети (КС). В абсолютных единицах при максимальной встречающейся длине контактной сети 6000 м это составляет 17 м. Учитывая, что изоляторы подвески устанавливаются в среднем через 5 м, поврежденный изолятор обнаруживается с точностью до 4-х изоляторов. При среднестатистических длинах ответвлений (1,5-2 км) неопределенность обнаружения утечки уменьшается до 1-2 изоляторов.

С ростом проводимости утечки погрешность определения координаты повреждения увеличивается и в пределе при $R_y = 0$ может достигать четверти длины волны оперативного напряжения, что в пересчете на реальные длины составляет 0,4-1,5 км.

Поскольку в настоящей работе речь идет о контроле утечек тока, а не о коротких замыканиях, то и поиск повреждений изоляции можно ограничить отысканием слаботочных утечек, для которых точность предлагаемого метода вполне приемлема.

Однако, учитывая актуальность сокращения времени поиска повреждений изоляции и, следовательно, уменьшения простоев технологического оборудования, целесообразна адаптация предложенного метода для обнаружения повреждений изоляции в широком диапазоне значений сопротивлений канала утечки ($0 < R_y < \infty$) при сохранении приемлемой точности определения координаты повреждения.

При уменьшении сопротивления утечки тенденция изменения аргументов приращений $Y_{\Delta x}$ и $Z_{\Delta x}$ сохраняется, но характер становится другим. Исчезает линейность зависимости $\arg(\Delta Y_{\Delta x})$ и $\arg(\Delta Z_{\Delta x})$ от координаты утечки. При смягчении неравенства $R_y \gg Z_c$ линейность зависимости между Ψ и x нарушается. Определенный анализ влияния проявляющейся нелинейности между Ψ и x на точность определения координаты утечки выполнен в работах [2,3].

Представляют интерес предельные характеристики нелинейности, которые появляются при $R_y = 0$. В этом случае $t g \Psi_{\Delta y}$ приводится к виду

$$\operatorname{tg}\Psi_{\Delta y} = \operatorname{ctg}\alpha x = -\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + \alpha x\right) = \operatorname{tg}\left(-\frac{\pi}{2} - \alpha x\right).$$

Отсюда

$$\Psi_{\Delta y} = -\frac{\pi}{2} - \alpha x.$$

Таким образом, при коротком замыкании внутри отрезка линии, нагруженного волновым сопротивлением, аргумент приращения проводимости при $x=0$ принимает значение $-\frac{\pi}{2}$ и в дальнейшем возрастает в сторону отрицательных значений со скоростью αx , изменяясь на $\frac{\pi}{2}$ при перемещении точки короткого замыкания от $x=0$ до $x=\frac{\lambda}{4}$. При $x=\frac{\lambda}{2}$ функции $\Psi_{\Delta y}(x)$, полученные для $R_y \gg Z_c$ и $R_y = 0$, пересекаются.

При дальнейшем увеличении x в точке $x=\frac{\lambda}{2}\arg(\Delta Y_{\text{ex}})$ аргумент приращения проводимости скачком изменяется на 180° , принимая значение

$$\arg\left(\Delta Y_{\text{exx}} = \frac{\lambda}{2} + 0\right) = -450^\circ.$$

В дальнейшем при $\frac{\lambda}{2} < x < \lambda \arg(\Delta Y_{\text{ex}})$ он изменяется по закону

$$\arg(\Delta Y_{\text{ex}}) = -\left(\frac{5}{2}\pi + \alpha x\right).$$

Что же касается $\arg(\Delta Z_{\text{ex}})$, то он, если $R_y = 0$, при $x=0$ принимает значение $-\pi$, а в интервале $0 < x < \frac{\lambda}{4}\arg(\Delta Z_{\text{ex}}) = -(\pi + \alpha x)$ и в точке $x=\frac{\lambda}{4}$ — значение $-\frac{3}{2}\pi$. При дальнейшем увеличении x в точке $x=\frac{\lambda}{4}$ происходит скачкообразное изменение $\arg(\Delta Z_{\text{ex}})$ на величину -180° и в интервале $\frac{\lambda}{4} < x < \frac{3}{4}\lambda$

$$\arg(\Delta Z_{\text{ex}}) = -\left(\frac{3}{2}\pi + \alpha x\right).$$

Графики зависимости $\arg(\Delta Y_{\text{ex}})$ и $\arg(\Delta Z_{\text{ex}})$ в линии баз потерь при $R_y = 0$ представлены на рис. 1 (ломанные 1 и 2). В реальных линиях эти зависимости носят плавный характер (кривые 3 и 4) и даже при $R \rightarrow 0$ лишь асимптотически приближаются к ломаным 1 и 2.

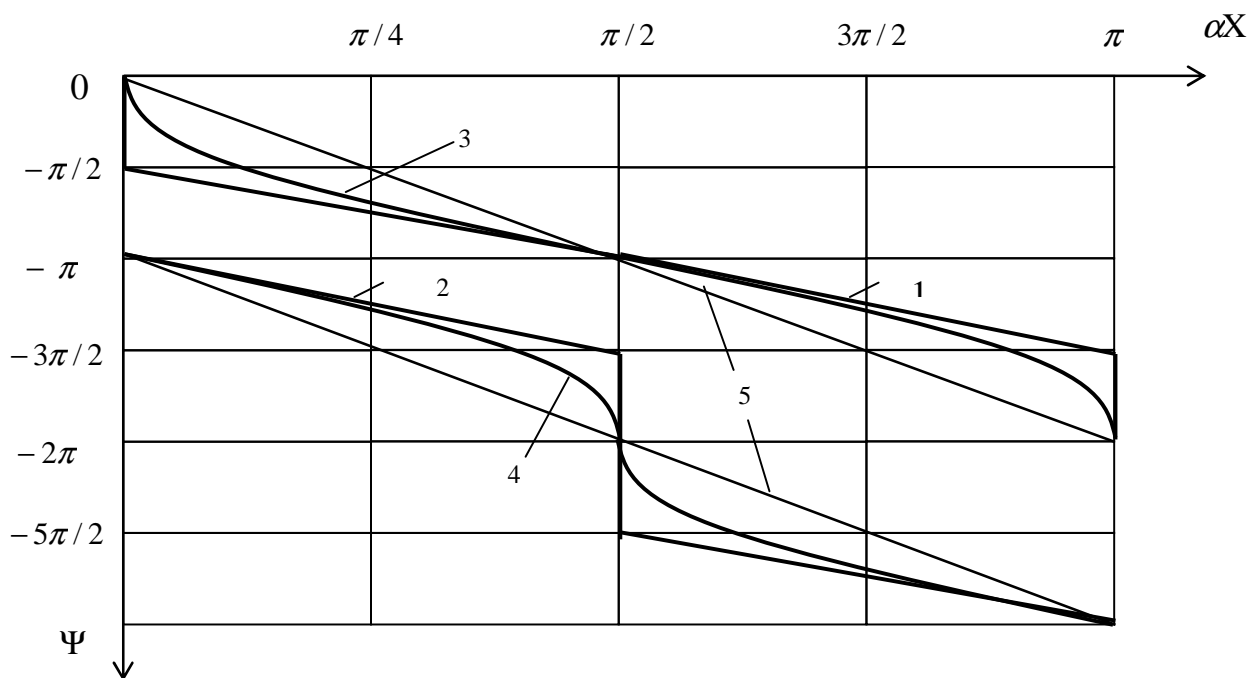


Рис. 1. Изменение аргументов приращения входных сопротивлений и проводимости КС в функции координаты повреждения

Если $\arg(\Delta Z_{\text{вх}})$ сдвинуть на π и для удобства рассматривать модули аргументов приращений входной проводимости и входного сопротивления, то получим две функции $\Psi_1(x)$ и $\Psi_2(x)$, охватывающие линейную зависимость $\psi = 2\alpha x$ (прямая 5), периодически пересекающие ее в точках $\alpha x = \frac{n\pi}{2}$ и приближающиеся к ней по мере увеличения сопротивления утечки. В работе [2] предложено для уменьшения погрешности определения координаты утечки при малых значениях R_y использовать усредненную зависимость, представляющую собой среднее арифметическое функций $\Psi_1(x)$ и $\Psi_2(x)$, отражающих $\arg(\Delta Y_{\text{вх}})$ и $\arg(\Delta Z_{\text{вх}})$ соответственно. При этом погрешности определения координаты утечки уменьшаются вдвое, но при малых R_y остаются достаточно большими. Современное состояние средств электронной измерительной техники позволяет реализовать алгоритм обработки измерительной информации, обеспечивающий уменьшение погрешности определения координаты утечки до любого предварительно заданного уровня. Сущность его заключается в том, что кроме усредненной зависимости $\Psi_{\text{ср}}(x)$ вычисляются дополнительные зависимости, представляющие собой усреднение, ранее полученное по алгоритму, приведенному на рис. 2.

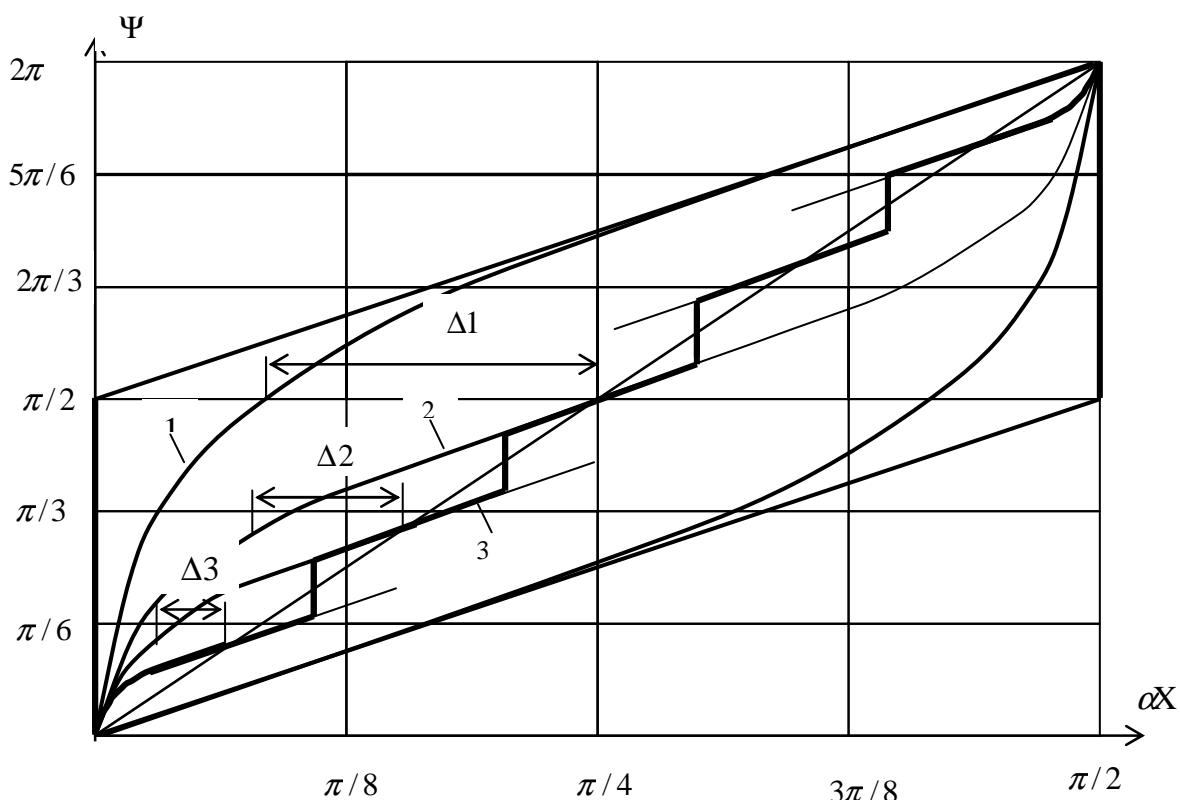


Рис. 2. Усредненная зависимость аргументов приращения входных сопротивлений и проводимости КС для снижения погрешности результатов измерения

Каждая из дополнительных зависимостей (рис. 2) в определенном диапазоне значений Ψ дает наилучшее приближение к линейной зависимости $\Psi = 2\alpha x$. Поэтому для каждой ступени усреднения устанавливается свой диапазон значения выходной величины, в пределах которого эта ступень имеет безусловный приоритет и именно по ее показаниям определяется координата повреждения. Неограниченно увеличивая количество ступеней усреднения, можно сделать погрешность определения координаты повреждения сколь угодно малой. Однако, для практического применения можно ограничиться семью ступенями усреднения, уменьшив погрешность до 1,5 % длины контролируемого ответвления.

При реальных длинах контактных сетей угольных и рудных шахт максимальное значение ошибки в абсолютных единицах менее 80 м, а ее математическое ожидание – 30 м.

В пересчете на изоляторы с учетом шага подвески 5 м максимальная апостериорная неопределенность локализации поврежденного изолятора составит 18 изоляторов, а ее математическое ожидание – 6 изоляторов.

После определения координаты утечки, отсчитываемой от выходных зажимов тяговой подстанции, необходимо локализовать ее и устранить. Как правило, утечка тока возникает через поврежденный или чрезмерно загрязненный изолятор. Поскольку после определения координаты утечки количество «подозреваемых» изоляторов не превышает полутора-двух десятков, даже при коротком замыкании, то при высокоомных каналах утечки - не более 2-4, а, поэтому задача окончательной диагностики не представляет особой трудности и

может быть решена с помощью прибора, разработанного под руководством автора статьи для поиска повреждений кабелей, который может быть использован для этих целей с дифференциальным датчиком.

Датчик накладывается на контактный провод так, что бы одна из его катушек находилась до проверяемого изолятора, а вторая – после него. ЭДС, наводимые в катушках, пропорциональны скорости изменения напряженности электромагнитного поля, в котором находится катушка

$$e = -\omega_k S_k \mu_a \frac{dH}{dt},$$

где ω_k - число витков катушки; S_k - средняя площадь витка.

Если магнитное поле создается синусоидальным током, то

$$H = H_m \sin \omega t .$$

Тогда

$$e = \mu_a \omega_k S_k H_m \omega \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right),$$

где

$$E_m = \omega_k S_k \mu_a H_m \omega .$$

Значение напряженности магнитного поля, воздействующего на каждую из катушек дифференциального индукционного датчика, определяется по закону полного тока:

$$H_{m1} = \frac{I_{m1}}{2\pi r_1}; H_{m2} = \frac{I_{m2}}{2\pi r_2},$$

где I_{m1} и I_{m2} - амплитуды тока в контактном проводе до и после проверяемого изолятора; r_1 и r_2 - расстояние от оси контактного провода до центра первой и второй катушек соответственно.

При одинаковой ориентации катушек относительно контактного провода (что предусмотрено конструкцией датчика) $r_1 = r_2 = r$; различия в амплитудах напряженности магнитных полей в месте размещения катушек определяются только разностью амплитуд токов в контактном проводе до и после проверяемого изолятора. Разностная ЭДС на выходе дифференциального индукционного датчика

$$e = (I_{m1} - I_{m2}) \frac{\mu_o \omega_k S_k \omega}{2\pi r} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

С учетом того, что I_{m1} и I_{m2} определяются амплитудой зондирующего напряжения и проводимостью цепи проверяемого изолятора G_u и участка контактной сети за изолятором Y'_{kc} , можно записать:

$$I_{m1} = U_{om} (G_n + Y'_{kc});$$
$$I_{m2} = U_{om} Y'_{kc}.$$

Амплитуда разностной ЭДС на выходе дифференциального датчика определится через контролируемый параметр (проводимость цепи изолятора) как

$$\Delta E_m = U_{om} G_y \frac{\mu_o \omega_k S_k \omega}{2\pi r}.$$

Амплитуду оперативного напряжения U_{om} и расстояние от оси контактного провода до центра катушек в первом приближении можно считать величинами постоянными, что дает право записать

$$\Delta E_m = K G_y.$$

Сигнал с выхода дифференциального датчика подается на вход электронной схемы, выполняющей функции усиления и фильтрации. Первый каскад этой схемы – дифференциальный, что обеспечивает подавление помехи, наведенной в проводах, соединяющих датчик с электронной схемой. Для подавления промышленной помехи, наведенной в катушках датчика на выходе дифференциального усилительного каскада, включен заграждающий фильтр, представляющий собой двойной Т-образный мост, настроенный на частоту 50 Гц.

Второй каскад усиления – широкополосный, а третий и четвертый – избирательные с различными добротностями, что позволяет существенно снизить влияние импульсных помех.

Прибор обеспечивает визуальную индикацию утечек и обладает порогом чувствительности по сопротивлению канала утечки 12 кОм.

Список литературы

1. А.с. 759993 СССР, М. $K_{л.}^3$, G01R31/08//G01R31/11. Способ определения расстояния до места повреждения в силовых сетях. /В.В. Коренский., В.А. Бунько, А.И. Трач // Открытия. Изобретения. – 1980. – № 32 – С. 205.
2. Коренский В.В. Разработка устройства для определения места повреждения в контактных сетях электровозной откатки карьеров: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Д., 1980. – 23 с.
3. Коренский В.В., Мыреев А.С. Определение расстояния до места повреждения в рудничных силовых сетях.// Горн. Информ.-аналит. бюл.: МГГУ. – 2003. – С. 156.