

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Б.А. ВЕРИГА, В.В. ГИЗЕНКО, Р.Н. ОРЫШКО

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

На территории Республики Беларусь функционируют магистральные трубопроводы по перекачке природного газа, нефти, бензина и дизельного топлива. Проходящие по территории страны магистральные трубопроводы, обеспечивающие перекачку нефти, имеют протяженность 3,0 тыс. км; природного газа – 6,7 тыс. км и нефтепродуктов – 1,2 тыс. км.

Значительная часть трубопроводов была построена в 60–70-е гг., и в настоящее время подошла к критическому сроку эксплуатации. Одной из основных причин аварий на магистральных трубопроводах является подземная коррозия (по разным данным от 20 % до 30 %) [1].

Магистральные трубопроводы подвергаются интенсивному коррозионному разрушению при отсутствии эффективной и надежной защиты средствами электрохимической защиты (ЭХЗ). Для эффективной защиты от подземной коррозии магистрального трубопровода необходимо обеспечить 100% – ную катодную поляризацию с поддержанием защитного потенциала «труба – земля» по протяженности и во времени.

Для защиты подземных трубопроводов от коррозии по трассе их залегания сооружаются станции катодной защиты (СКЗ). В состав СКЗ входят источник постоянного тока (защитная установка), анодное заземление, контрольно-измерительный пункт, соединительные провода и кабели. На трубопровод через определенные участки подается подпитывающее напряжение, как следствие по трубе течет электрический ток. В силу неидеальности трубы и ее изоляции происходят утечки тока в землю, в результате чего могут появиться обесточенные участки (или участки с токами, которые не оказывают защитного действия).

Анализ данных телемеханики со станций катодной защиты показывает, что одним из важнейших параметров, который необходимо контролировать, является ток СКЗ. Ток СКЗ формирует необходимый поляризационный потенциал на трубопроводе, и наличие значительных утечек тока через повреждения изоляции приводит к появлению участков с недостаточным уровнем потенциала.

Для контроля состояния изоляционного покрытия трубопровода используется в основном контроль с помощью выносного электрода, по показаниям которого делают вывод о качестве изоляции [2]. Однако данный метод не позволяет проводить оперативный контроль из-за высокой трудоемкости работ.

Предлагается проводить анализ состояния изоляции трубопровода по измерениям магнитного поля от тока, протекающего по трубопроводу, а также утечек тока через повреждения изоляции. При обработке полученных данных об утечках защитного тока можно сделать вывод о состоянии изоляции трубопровода.

Была поставлена задача разработать устройство, позволяющее контролировать следующие параметры трубопровода:

- ось и глубина залегания;
- величина защитного тока;
- величина и координата утечки защитного тока через повреждения изоляции.

Ток СКЗ представляет собой постоянный ток со слабо отфильтрованной переменной составляющей, которая превышает 10 % от номинального тока СКЗ. Таким образом, для измерения могут быть применены индукционные датчики, которые представляют собой катушку с числом витков порядка 1000.

Рассмотрим систему измерительных датчиков и определим наведенные ЭДС в них от некоторого прямолинейного тока $I(t)$ (рис. 1).

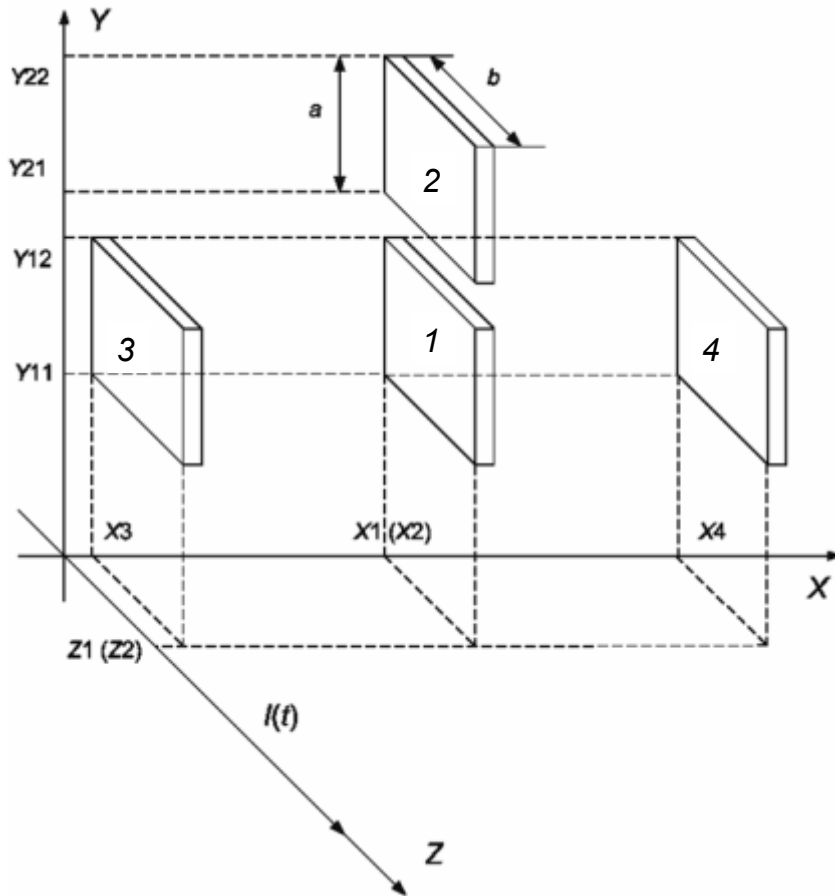


Рис. 1. Взаимное положение датчиков и измеряемого тока

Координаты в выбранной системе координат связаны с геометрическими размерами датчиков следующим образом:

$$Y_{12} - Y_{11} = a;$$

$$Z_1 = Z_2 = b;$$

$$Y_{11} - Y_{21} = L;$$

$$Y_{21} = h_{TP} + h_3.$$

Рассчитаем ЭДС, наведенные в катушках 1 и 2 полем тока $I(t)$.

ЭДС может быть рассчитана по формуле:

$$e_i(t) = -\frac{d \Phi_i(t)}{d t}, \quad (1)$$

где $\Phi_i(t)$ – магнитный поток, пересекающий i -ю катушку.

$$\Phi_i(t) = \left\{ \frac{n \cdot M_0 \cdot b}{4 \cdot p} \ln \left[\frac{X_i^2 + (Y_{i1} + a)^2}{X_i^2 + Y_{i1}^2} \right] \right\} I(t); \quad (2)$$

$$e_i(t) = \left\{ -\frac{n \cdot M_0 \cdot b}{4 \cdot p} \ln \left[\frac{X_i^2 + (Y_{i1} + a)^2}{X_i^2 + Y_{i1}^2} \right] \right\} \frac{d I(t)}{d t}. \quad (3)$$

Запишем систему уравнений для ЭДС, наведенных в 1 и 2 катушках

$$\begin{cases} e_1(t) = \left\{ -\frac{n \cdot M_0 \cdot b}{4 \cdot p} \ln \left[\frac{X_1^2 + (Y_{11} + a)^2}{X_1^2 + Y_{11}^2} \right] \right\} \frac{d I(t)}{d t} \\ e_2(t) = \left\{ -\frac{n \cdot M_0 \cdot b}{4 \cdot p} \ln \left[\frac{X_2^2 + (Y_{11} + L + a)^2}{X_2^2 + (Y_{11} + L)^2} \right] \right\} \frac{d I(t)}{d t} \end{cases} \quad (4)$$

Если катушки 1 и 2 находятся над осью трубопровода, то $X = 0$, при этом система (4) переписывается в виде:

$$\begin{cases} e_1(t) = \left\{ -\frac{n \cdot \mu_0 \cdot b}{2p} \ln \left[1 + \frac{a}{Y_{11}} \right] \right\} \frac{d I(t)}{d t} \\ e_2(t) = \left\{ -\frac{n \cdot \mu_0 \cdot b}{2p} \ln \left[1 + \frac{a}{Y_{11} + L} \right] \right\} \frac{d I(t)}{d t} \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом получаем систему из двух уравнений для двух неизвестных: $I(t)$ и Y_{11} .

Решая систему уравнений (5), получаем следующие расчетные формулы.

$$\frac{d I(t)}{d t} = \frac{e_1(t)}{\left\{ -\frac{n \cdot M_0 \cdot b}{2 \cdot p} \right\} \ln \left(1 - \frac{a}{Y_{11}} \right)}; \quad (6)$$

$$Y_{11} = \frac{-(2L(b-2) + b(b-1)) \pm \sqrt{(2L(b-2) + b(b-1))^2 + 16L^2(b-1)}}{4(b-1)}, \quad (7)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – ЭДС, наведенные в рамках 1 и 2, соответственно; $v = \frac{e_1}{e_2}$ – отношение ЭДС, наведенных в измерительных рамках.

На рис. 2 представлены результаты тестового расчета.

Амплитуда переменной составляющей тока трубы $I_{mr} = 1$ А, глубина залегания (по оси) трубопровода – 1 м.

Из графиков, приведенных на рис. 2 видно, что уровень ЭДС, наведенной в измерительных катушках, имеет достаточный уровень для детектирования и обработки. Датчики 1 и 2 являются измерительными и позволяют определить глубину залегания трубопровода и величину защитного тока. Датчики 3 и 4 включены дифференциально и предназначены для определения оси трубопровода.

Аналогом разработанного устройства и метода измерения параметров ЭХЗ трубопровода можно считать устройство и метод определения глубины залегания элементов контура заземления (патент Российской Федерации RU 2222816 C1). Однако

основным отличием предлагаемого устройства является использование дифференциально включенных датчиков для определения оси трубопровода, так как определение оси трубопровода по максимуму сигнала измерительных датчиков приводит к значительной погрешности из-за размытости максимума функции.

Описанное устройство было изготовлено на кафедре «Промышленная электроника» ГГТУ им. П.О. Сухого и испытано на действующем трубопроводе. При проведении эксперимента показания разработанного устройства сравнивались с известным способом определения глубины залегания подземных сооружений, согласно которому определяется трасса подземного сооружения, ось индукционной рамки поворачивают на угол 45° к вертикальной плоскости, проходящей через кабель (трубопровод), отводят рамку в сторону от намеченной трассы. Расстояние от трассы подземного сооружения до зоны отсутствия ЭДС считают равным глубине залегания подземного сооружения [3]. Результаты эксперимента приведены в таблице.

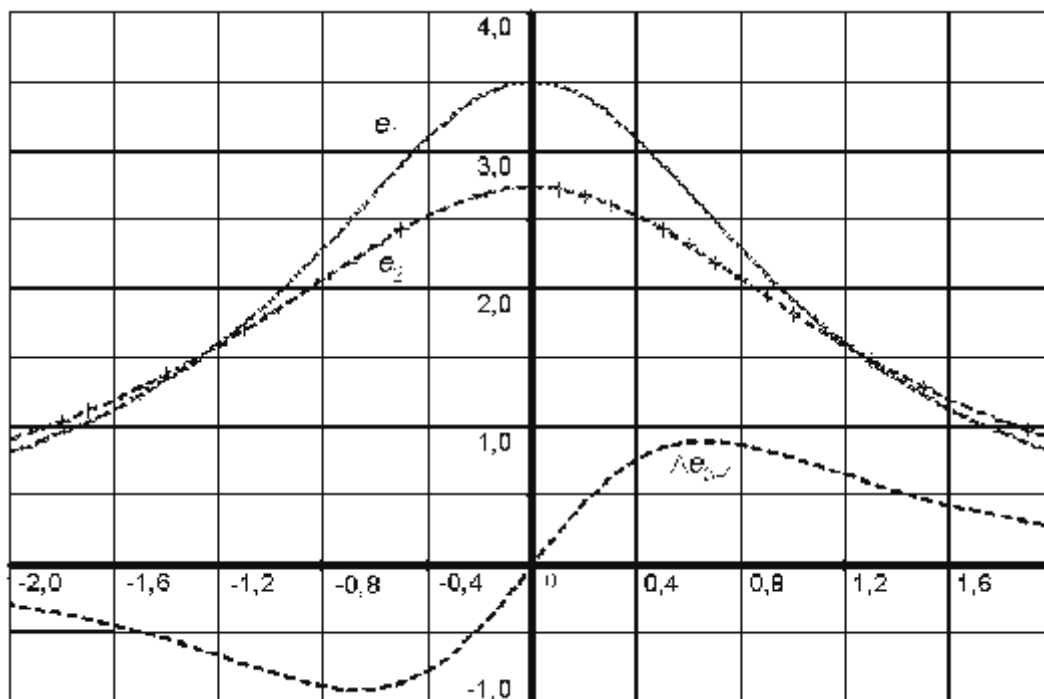


Рис. 2. Графики зависимостей ЭДС, наведенных в катушках от тока трубы:
 e_1 – ЭДС, наведенная в первой катушке; e_2 – ЭДС, наведенная во второй катушке;
 $\Delta e_{3,4}$ – разность ЭДС, наведенных в катушках 3 и 4

Измерения проводились при рабочей станции ЭХЗ на 155 км, при ее отключении и в режиме замыкания трубопровода на «землю».

Результаты экспериментального исследования

Режим работы	U_1	U_2	H	H_{45}
Включена ЭХЗ	660	800	1,35	1,3
ХХ	20	26	1,22	1,3
КЗ	43	48	1,15	1,3

Погрешность измерений меньше 10 %, что вполне достаточно для данной задачи.

По результатам проведенного математического расчета и экспериментального исследования можно сделать вывод о возможности измерения параметров ЭХЗ с помощью датчиков магнитного поля. Предложенный метод измерения и расчета позволяет получить следующую информацию:

- 1) величина тока, протекающего по трубопроводу;
- 2) глубина и трасса залегания трубопровода;
- 3) наличие и место значительного тока утечки.

Дальнейшее развитие данного устройства предполагает оснащение устройства системой GPS и микроконтроллером для определения координат проблемного участка и занесения их в память для последующей обработки на персональном компьютере.

Литература

1. Транспорт и связь в Республике Беларусь : стат. сборник. – Мн. : Министерство статистики и анализа, 2002.
2. Глазов Н. П. Катодная защита стальных сооружений от коррозии прерывистым током / Н. П. Глазов, В. А. Ловачев. – М. : ВНИИОЭГ, 1976. – 61 с.
3. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г. М. Шалыт. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 312 с.

Получено 02.09.2005 г.