

лировок углов в каждое измерение. Если величины измеренных углов выходят за установленные пределы и количество необходимых регулировочных прокладок превышает 8 штук, выдается информация об ошибке.

SCADA – система TRACE MODE позволяет обеспечить обработку приведенных алгоритмов с высокой степенью точности, так как включает в себя библиотеку из более, чем 150 алгоритмов обработки данных и управления, в том числе фильтрацию, PID, PDD, адаптивное, модальное, позиционное регулирование, ШИМ-преобразование, а также блоки управления устройствами: клапан, задвижка, привод и т. д.

## ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

**В.В. Гизенко, Д.В. Соболев**

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

Научный руководитель Б.А. Верига

Трубопроводы, уложенные в грунт, подвергаются воздействию различных физических и грунтоклиматических факторов, в той или иной степени, влияющих на их состояние. Нарушения изоляции, воздействие давления грунта, влияние блуждающих токов в земле, значительные перепады температур и внутреннего давления ведут к существенному сокращению срока службы трубопроводов. Поэтому, одним из решающих факторов, определяющих надежность трубопроводных систем на практике, является состояние их антикоррозионной защиты.

На подземном трубопроводе за счет неоднородности металла трубы и гетерогенности грунта (как по физическим свойствам, так и по химическому составу) возникают участки с различным электродным потенциалом, что обуславливает образование гальванических коррозионных элементов. Участки трубы, имеющие более отрицательный потенциал, являются анодными, участки с менее отрицательным потенциалом – катодными.

Под действием электродвижущей силы гальванической пары в результате нарушения электрического равновесия в решетке металла, в анодной зоне происходит переход положительных ионов железа из металла в грунт. Этот процесс вызывает потерю массы металла, протекающую по закону Фарадея и зависящую от потенциала. Возникает так называемая гальваническая коррозия. Как следствие происходит электрокоррозионное разрушение трубопроводов.

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).

В настоящее время достаточно активно разрабатываются устройства контроля параметров катодной защиты, однако в большинстве случаев методика измерения сводится к применению дополнительных генераторов, подключаемых к трубопроводу и измерению электромагнитных излучений от заданного переменного тока [1].

Следующий метод позволяет, не прикасаясь к трубе, определять направление тока в трубе и находить обесточенные участки (см. рис. 1).

Схема измерения включает в себя три датчика напряженности магнитного поля и опорный источник тока для определения направления тока в трубе.

Действие магнитного поля подчиняется закону суперпозиции, поэтому, измеряя в трех точках суммарную напряженность, мы получаем систему уравнений, из которых находим ток трубы, глубину залегания трубопровода и напряженность магнитного поля Земли.

$$\begin{cases} H_{1\text{изм}} = H_z + H_{mp1} \pm H_{on1} \pm H'_{on1} \\ H_{2\text{изм}} = H_z + H_{mp2} \pm H_{on2} \pm H'_{on2} \\ H_{3\text{изм}} = H_z + H_{mp3} \pm H_{on3} \pm H'_{on3} \end{cases} \quad (1)$$

где  $H_z$  – напряженность магнитного поля Земли;

$$H_{mpi} = \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot r_i} \text{ – напряженность магнитного поля тока трубы;}$$

$$H_{oni} = \frac{I_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} - y_i)} \text{ – напряженность магнитного поля опорного тока;}$$

$$H'_{oni} = \frac{I'_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_i)} \text{ – напряженность магнитного поля зеркального изображения}$$

опорного тока.

Составляющие  $H_{oni}$  и  $H'_{oni}$  входят в уравнения со знаком «+» если направление опорного тока совпадает с направлением тока трубы, и со знаком «-» – если направление опорного тока не совпадает с направлением тока трубы.

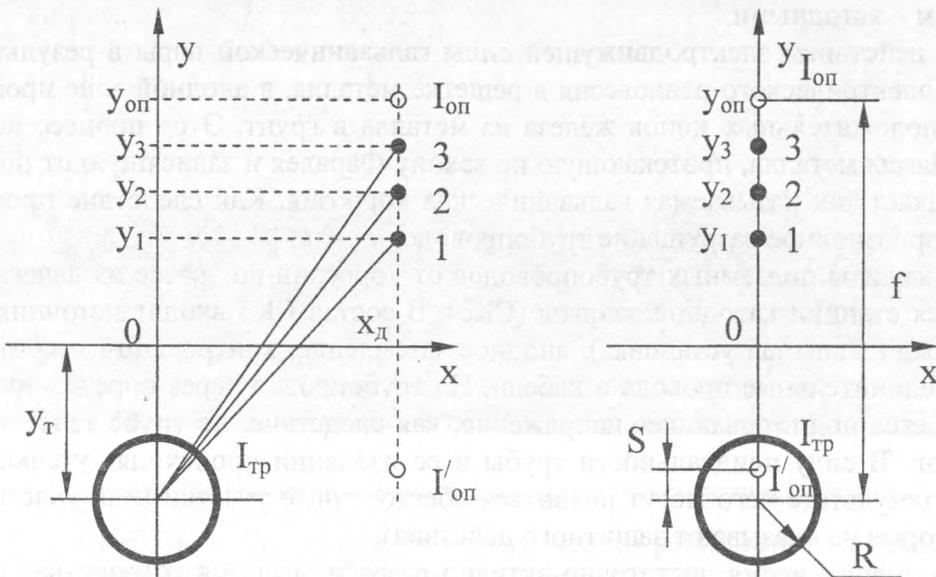


Рис. 1. Схема измерения магнитного поля трубопровода

Перепишем систему уравнений (1) в проекциях на оси  $x$  и  $y$ :

$$\begin{cases} H_{1изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot r_1} \cdot \cos \alpha_1 \pm \frac{I_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} - y_1)} \pm \frac{I'_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_1)} \\ H_{2изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot r_2} \cdot \cos \alpha_2 \pm \frac{I_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} - y_2)} \pm \frac{I'_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_2)}, \\ H_{3изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot r_3} \cdot \cos \alpha_3 \pm \frac{I_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} - y_3)} \pm \frac{I'_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_3)} \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} H_{1изм}^y = \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot r_1} \cdot \sin \alpha_1 \\ H_{2изм}^y = \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot r_2} \cdot \sin \alpha_2, \\ H_{3изм}^y = \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot r_3} \cdot \sin \alpha_3 \end{cases}, \quad (3)$$

где  $r_1, r_2, r_3$  – расстояния от центра трубы до датчиков;

$y_1, y_2, y_3, y_{on}$  – расстояния от поверхности трубы до датчиков и до опорного тока;

$I_{mp}$  – величина тока трубы;  $I_{on}$  – величина опорного тока;

$I'_{on}$  – величина зеркального изображения опорного тока;

$H_{1изм}, H_{2изм}, H_{3изм}$  – измеренные напряженности магнитного поля;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – углы между осью  $y$  и  $r_1, r_2, r_3$ , соответственно.

Таким образом, для определения трассы залегания трубопровода можно воспользоваться условием  $H_{1изм}^y = H_{2изм}^y = H_{3изм}^y = 0$ , при  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$ .

При условии расположения датчиков над трассой трубопровода систему уравнений (2) можно переписать в виде:

$$\begin{cases} H_{1изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot (y_m + y_1)} \pm \frac{I_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} - y_1)} \pm \frac{I'_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_1)} \\ H_{2изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot (y_m + y_2)} \pm \frac{I_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} - y_2)} \pm \frac{I'_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_2)}, \\ H_{3изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot (y_m + y_3)} \pm \frac{I_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} - y_3)} \pm \frac{I'_{on}}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_3)} \end{cases}, \quad (4)$$

где  $y_m$  – расстояние от центра трубы до поверхности земли.

Параметры изображения линейного тока в цилиндрической трубе:

$$S = \frac{R^2}{f}, \quad I'_{on} = -\frac{I_{on} \cdot R}{f},$$

где  $f = y_m + y_{on}$  – расстояние между линейным током и центром трубы;

$R$  – радиус трубы;

$S$  – расстояние между центром трубы и изображением линейного тока.

Подставим значение для  $I'_{on}$  и  $f$  в систему уравнений (4):

$$\begin{cases} H_{1изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot (f - 3 \cdot \Delta y)} \pm \frac{I_{on}}{6 \cdot \pi \cdot \Delta y} \pm \frac{I_{on} \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_1) \cdot f} \\ H_{2изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot (f - 2 \cdot \Delta y)} \pm \frac{I_{on}}{4 \cdot \pi \cdot \Delta y} \pm \frac{I_{on} \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_2) \cdot f} \\ H_{3изм}^x = H_3^x + \frac{I_{mp}}{2 \cdot \pi \cdot (f - \Delta y)} \pm \frac{I_{on}}{2 \cdot \pi \cdot \Delta y} \pm \frac{I_{on} \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot (y_{on} + y_3) \cdot f} \end{cases} \quad (5)$$

Решая систему уравнений (5), получаем значения  $f$ ,  $H_3^x$ ,  $I_{mp}$  и информацию о направлении  $I_{mp}$ . Таким образом, предложенный метод дает возможность контроля параметров катодной защиты, определения трассы и глубины залегания трубопровода. Кроме того, проведя измерения на некотором участке трубопровода, можно сделать выводы о местах утечек тока по резким перепадам значения  $I_{mp}$ .

#### Литература

1. Каевичер В.И. и др. О возможности контроля изоляции подводных магистральных трубопроводов радиофизическим методом // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48, № 5.

### ИСКЛЮЧЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ КОММУТАЦИИ В АЦП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СЧЕТА НА ОСНОВЕ УСИЛЕНИЯ МОДУЛЯ

М.Н. Барашенко

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

Научный руководитель Ю.А. Козусев

Для выполнения аналого-цифрового преобразования существуют различные архитектуры, использующие принципы последовательного преобразования. Их отличает высокая скорость преобразования и высокая разрядность (до 16 разрядов).

Архитектура АЦП последовательного счета, основанная на усилителях абсолютной величины (усилители модуля (magnitude amplifiers) или просто MagAmps™), была разработана Ф.Д. Вальдхауэром (F.D. Waldhauer). Эта схема часто упоминается как последовательная схема Грея (serial-Gray) (так как выходное кодирование осуществляется кодом Грея) или поворачивающий (folding) преобразователь. Функциональная схема основного звена представлена на рисунке 1. Принимается, что входной сигнал ступени является линейным пилообразным напряжением, размах которого соответствует диапазону от  $-V_R$  до  $+V_R$ . Компаратор выявляет полярность входного сигнала и формирует выходной разряд для данной ступени в виде кода Грея. Компаратор также определяет, должно ли общее усиление ступени быть равным +2 или -2. опорное напряжение  $V_R$  суммируется с выходом коммутатора для генерации остаточного сигнала, который подается на следующую ступень. Полярность остаточного сигнала определяет выходной разряд следующей ступени вновь в виде кода Грея.