

## СЕКЦИЯ IV ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ

Д. П. Михалевич

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

Научный руководитель Э. М. Виноградов

Данное устройство предназначено для бесконтактного измерения постоянных и инфранизкочастотных переменных токов, и может быть использовано в системах автоматизации и контроля на железнодорожном и городском электротранспорте, а также в нефтяной и газовой промышленности для контроля эффективности электрохимической защиты от коррозии подземного трубопровода.

В качестве чувствительного элемента используется феррозонд, выполненный на двух кольцевых сердечниках из феррита. Питательное напряжение подключено к первичным (питающим) обмоткам и создает магнитные потоки. Компенсационная обмотка предназначена для компенсации магнитного поля измеряемого тока.

При протекании измеряемого тока за счет формирования постоянной намагничивающей силы потоки феррозондов ввиду нелинейности магнитных систем кроме первой содержат высшие гармоники. Четные гармоники наведенной в измерительной обмотке ЭДС суммируются, формируя сигнал  $E(t)$ , пропорциональный измеряемому току. По принципу действия феррозонд является дифференциальным датчиком: питающее напряжение первой гармоники воспринимается как синфазный сигнал, а создаваемая измеряемым током постоянная намагничивающая сила является дифференциальным сигналом [1].

Несимметричность магнитных параметров феррозондов из-за отклонения геометрических размеров, магнитной проницаемости и остаточной намагниченности приводит к смещению нуля в виде составляющей первой гармоники в сигнале  $E(t)$ . Для подавления первой гармоники и выделения информационных составляющих четных гармоник разработан фазовый детектор на основе фазочувствительного выпрямителя (ФЧВ). Выбор метода выделения полезного сигнала обусловлен желанием избежать применения критичных к питающей частоте полосовых фильтров, которые требуют согласования по первой и второй гармоникам. Структурная схема устройства представлена на рис. 1.

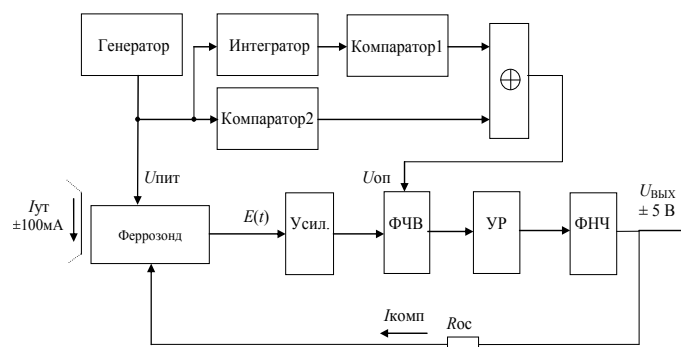


Рис. 1. Структурная схема измерительного преобразователя

Синусоидальное напряжение питания  $U_{\text{пит}}$  с помощью интегратора переменного тока сдвигается на угол  $\varphi = 90^\circ$ . Компараторы формируют две последовательности сдвинутых на угол  $\varphi$  прямоугольных импульсов со скважностью  $Q = 2$ . На выходе логического элемента «исключающее ИЛИ» ( $\oplus$ ) формируется опорное напряжение второй гармоники  $U_{\text{оп}}$ , управляющее ключами ФЧВ. На выходе фильтра низких частот (ФНЧ) формируется постоянное напряжение, пропорциональное току утечки. Так как опорное напряжение ФЧВ формируется непосредственно из питающего, преобразователь инвариантен к частоте первой гармоники, обеспечивает хорошее ее подавление и высокую избирательность по отношению к полезной составляющей сигнала. Усилитель рассогласования (УР) предназначен для выработки сигнала обратной связи, являющегося одновременно информационным. Этот сигнал с помощью резистора обратной связи  $R_{\text{ос}}$  (рис. 1) преобразуется в компенсационный ток, запитывающий компенсационную обмотку феррозонда.

Ниже приведены параметры устройства при разомкнутой цепи обратной связи.

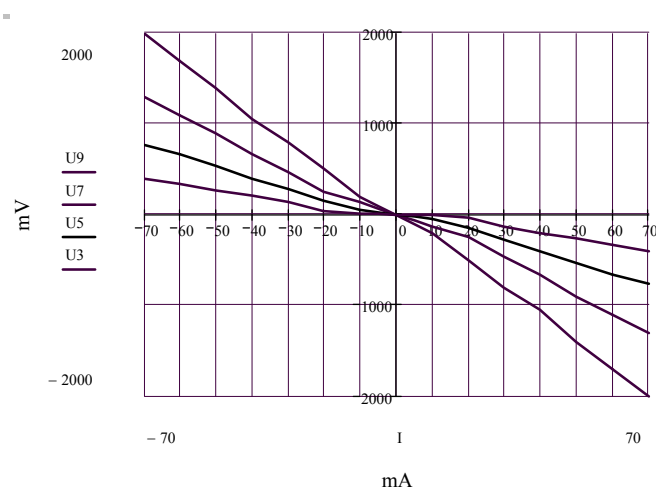


Рис. 2. Передаточные характеристики при напряжениях питания  $E = 3; 5; 7; 9$  В

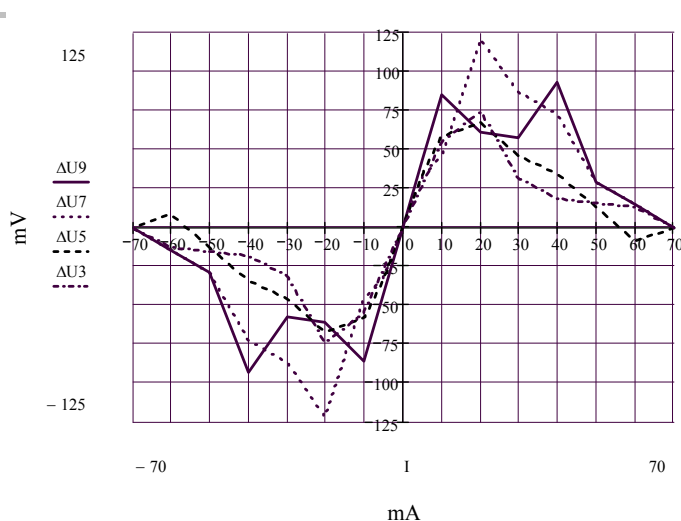


Рис. 3. Абсолютная погрешность при напряжениях питания  $E = 3; 5; 7; 9$  В

Как видно из приведенных характеристик, погрешность достигает 20 %, а чувствительность меняется от 0 до 27 мВ/мА. Применение устройства, построенного по разомкнутой схеме, возможно лишь в качестве порогового элемента или индикатора.

По компенсационной схеме (рис. 1) погрешность не превышает 0,5 %. Сигнал обратной связи, являющийся одновременно информационным, с помощью резистора обратной связи  $R_{OC}$  (рис. 1) преобразуется в компенсационный ток.

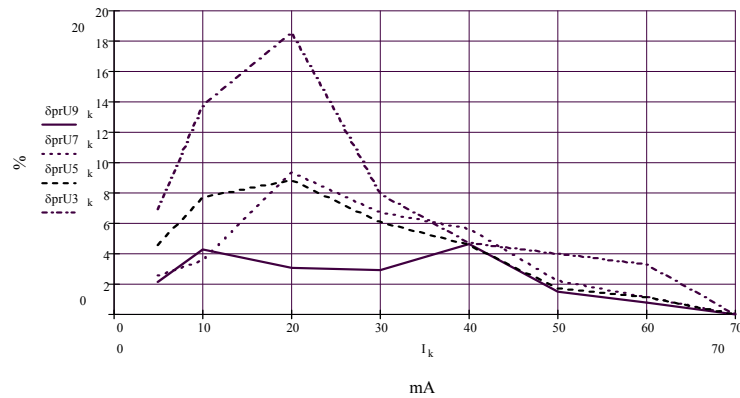


Рис. 4. Приведенная погрешность при напряжениях питания  $E = 3; 5; 7; 9$  В

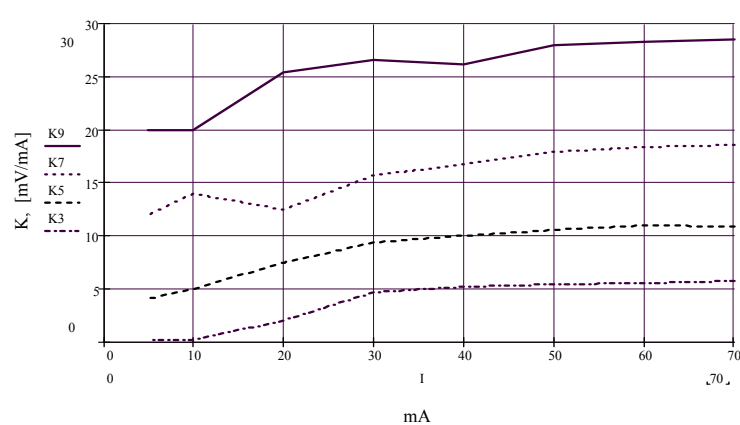


Рис. 5. Зависимость коэффициента преобразования от тока при напряжениях питания  $E = 3; 5; 7; 9$  В

Из следующей системы уравнений можно определить необходимый компенсационный ток и значение резистора обратной связи  $R_{OC}$ :

$$H_i = w_i \cdot I, A \cdot \text{виток}, \quad (1)$$

$$H_{КОМП} = w_{КОМП} \cdot I_{КОМП}, A \cdot \text{виток}, \quad (2)$$

где  $H_i$  — напряженность магнитного поля, создаваемая измеряемым током,  $A \cdot \text{виток}$ ;  $w_i$  — число витков в обмотке, по которой протекает измеряемый ток ( $w_i = 1$  виток);  $I$  — сила измеряемого тока ( $I = \pm 100$  мА);  $H_{КОМП}$  — напряженность магнитного поля в компенсационной обмотке,  $A \cdot \text{виток}$ ;  $w_{КОМП}$  — число витков в компенсационной обмотке ( $w_{КОМП} = 50$  витков);  $I_{КОМП}$  — сила компенсационного тока,  $A$ .

При идеальной компенсации магнитного поля измеряемого тока разность напряженностей близка к нулю, т. е.  $\Delta H = H_i - H_{\text{КОМП}} \rightarrow 0$ .

Следовательно, компенсационный ток будет равен

$$I_{\text{КОМП}} = \frac{w_i \cdot I}{w_{\text{КОМП}}} = \frac{1 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{50} = 2 \cdot 10^{-3}, \text{ А.}$$

#### Литература

1. Разин, Г. И. Бесконтактное измерение электрических токов. / Г. И. Разин. – М. : Атомиздат, 1974. – 156 с.
2. Афанасьев, Ю. В. Феррозонды / Ю. В. Афанасьев. – Л. : Энергия, 1969. – 167 с.