

ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКОВ УТЕЧКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Д. П. Михалевич

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

Научный руководитель Э. М. Виноградов

В современных условиях необходимость бесконтактного измерения тока возникает в самых различных отраслях народного хозяйства, науки и техники и вызвана различными причинами:

- требованиями техники безопасности;
- нежелательностью или невозможностью разрыва электрической цепи;
- необходимостью сократить время измерения.

Троллейбус – наиболее экономичный и дешевый, не загрязняющий окружающую среду вид транспорта. Но проблема безопасности троллейбусов действительно существует, особенно во время сильных дождей и обильных снегов. В связи с тем, что питание цепей троллейбуса осуществляется от контактной сети напряжением 600 В, всякое ухудшение или нарушение изоляции токоведущих частей может вызвать появление на корпусе троллейбуса некоторого потенциала по отношению к земле. От этого потенциала зависит величина тока утечки.

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь реализовало комплекс мер по повышению электробезопасности при перевозке пассажиров городским электрическим транспортом. С целью определения стойкости изоляции элементов кузова троллейбуса к соляному туману проводятся испытания троллейбуса в испытательной камере с соляным раствором. Величина тока утечки с кузова троллейбуса на землю должна составлять не более 3 мА при заземленной системе питания или не более 1,5 мА при изолированной системе питания [1]. Запрещается эксплуатировать троллейбус, не оборудованный бортовым прибором тока утечки.

В кабине водителя устанавливается прибор контроля токов утечки ПКТУ-1, который отслеживает ток утечки на кузов троллейбуса в каждый момент времени. Рабочие места линейных диспетчеров и деповские посты оснащены измерителем анализатором тока утечки ИСТУ-1Л, который также отслеживает величину тока утечки на кузов троллейбуса. Применяемые приборы относятся к контактным средствам контроля качества изоляции.

Разработанный измеритель предназначен для бесконтактного измерения постоянных и инфранизкочастотных переменных токов и может быть использован 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 [2].

В качестве чувствительного элемента используется феррозонд, выполненный на двух кольцевых сердечниках из феррита. Питающее 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 [3], [4].

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.

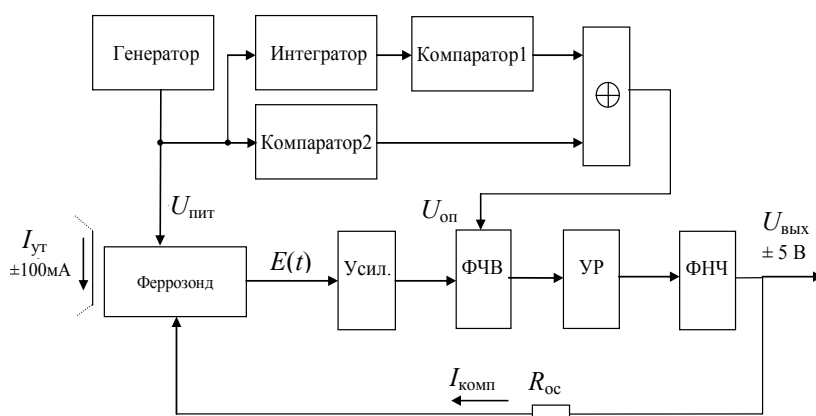


Рис. 1. Структурная схема измерительного преобразователя

Синусоидальное напряжение питания $U_{пит}$ с помощью интегратора переменного тока сдвигается на угол $\varphi = 90^\circ$. Компараторы формируют две последовательности сдвинутых на угол φ прямоугольных импульсов со скважностью $Q = 2$. На выходе логического элемента «исключающее ИЛИ» (\oplus) формируется опорное напряжение второй гармоники $U_{оп}$, 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 $R_{ос}$ (рис. 1) преобразуется в компенсационный ток, запитывающий компенсационную обмотку феррозонда.

Ниже приведены параметры устройства при разомкнутой цепи обратной связи.

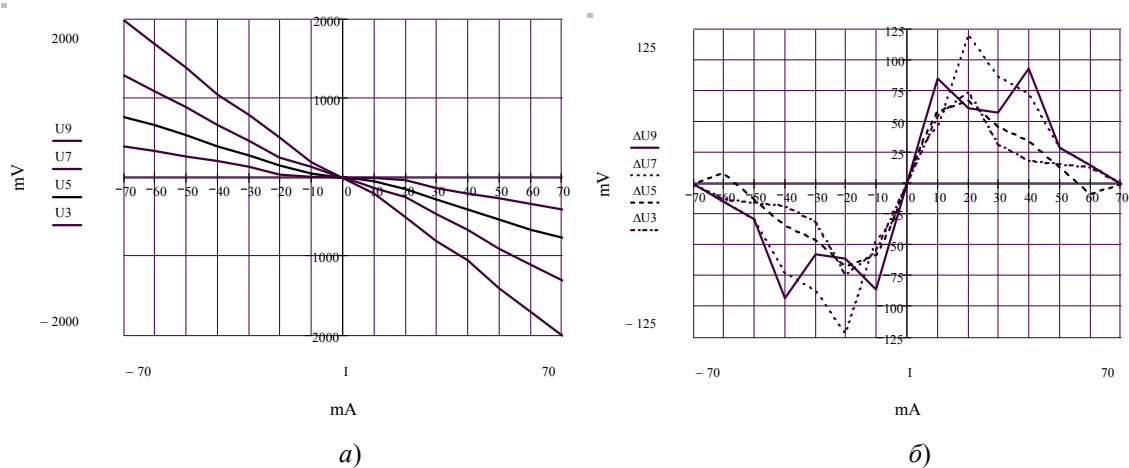


Рис. 2. Передаточные характеристики (а) и абсолютная погрешность (б) при напряжениях питания $E = 3; 5; 7; 9$ В

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} преобразуется в компенсационный ток.

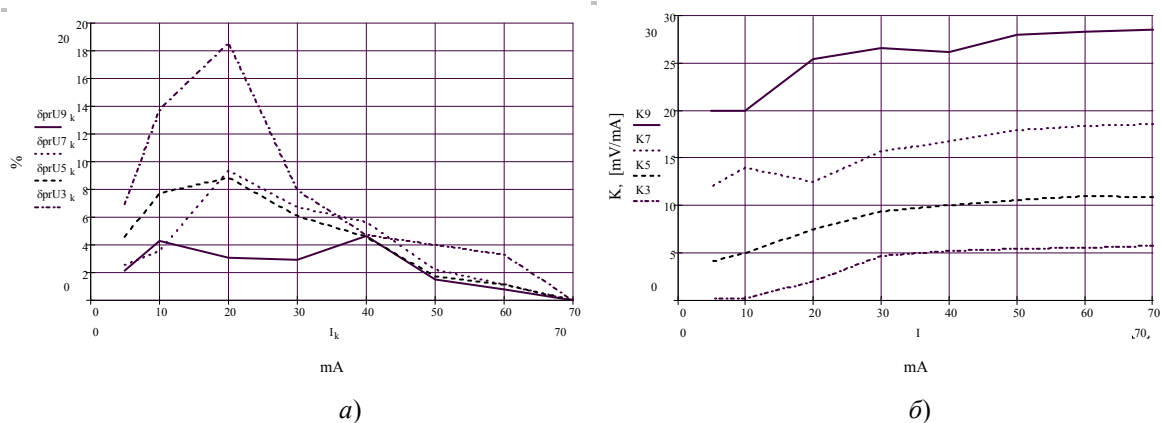


Рис. 3. Приведенная погрешность (а) и зависимость коэффициента преобразования от тока (б) при напряжениях питания $E = 3; 5; 7; 9$ В

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

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

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

где H_i – напряженность магнитного поля, создаваемая измеряемым током, А · виток; w_i – число витков в обмотке, по которой протекает измеряемый ток ($w_i = 1$ виток); I – сила измеряемого тока ($I = \pm 100$ мА); $H_{\text{комп}}$ – напряженность магнитного поля

в компенсационной обмотке, $A \cdot$ виток; $w_{\text{комп}}$ – число витков в компенсационной обмотке ($w_{\text{комп}} = 50$ витков); $I_{\text{комп}}$ – сила компенсационного тока, А.

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. СТБ 1729–2007. Транспорт дорожный. Троллейбусы. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. Методы проверки. – Минск, 2007.
2. Устройство для бесконтактного измерения постоянных токов : пат. Респ. Беларусь МПК7 G01 R15/00 / Ю. А. Козусев, Ю. В. Крышнев, Д. П. Михалевич.
3. Разин, Г. И. Бесконтактное измерение электрических токов / Г. И. Разин. – М. : Атомиздат, 1974. – 156 с.
4. Афанасьев, Ю. В. Феррозонды / Ю. В. Афанасьев. – Л. : Энергия, 1969. – 167 с.