

**БЕСКОНТАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ**

Д. П. Михалевич

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Ю. А. Козусев

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.

Одна из возможных проблем, решаемых методами бесконтактного измерения постоянного тока, является повышение электробезопасности электротранспорта. Троллейбус – наиболее экономичный и дешевый, не загрязняющий окружающую среду вид транспорта. Но проблема электробезопасности 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. Запрещается эксплуатировать троллейбус, не оборудованный бортовым прибором тока утечки.

Троллейбусы снабжаются приборами 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-сигнализатором тока утечки ИСТУ-1Л, который также отслеживает величину тока утечки на кузов троллейбуса. Применяемые приборы относятся к контактным средствам контроля качества изоляции.

Бесконтактные средства измерения тока основаны на использовании физических явлений, возникающих в электромагнитном поле измеряемого тока. Наиболее перспективным является четно-гармонический  $\mu$ -преобразователь тока типа кольцевых феррозондов, так как он обладает хорошей помехозащищенностью и имеет порог чувствительности  $10^{-6}$  А при основной погрешности измерения 1–10 %. По чувствительности и стабильности четно-гармонические преобразователи превосходят преобразователи магнитных величин на основе датчика Холла.

**Целью работы** является исследование бесконтактного четно-гармонического  $\mu$ -преобразователя постоянного тока.

Преобразователь выполнен на двух кольцевых сердечниках из электротехнической стали с магнитной проницаемостью  $\mu = 20000$ . Питающее напряжение первой гармоники частотой  $f = 500$  Гц подключено к первичным обмоткам с числом витков  $w_1 = w_2 = 200$  и создает магнитные потоки. Относительно измерительной обмотки  $w_3 = 300$  потоки двух феррозондов включены встречно, поэтому гармоники первой (питающей) частоты вычитаются и на измерительной обмотке напряжение отсутствует.

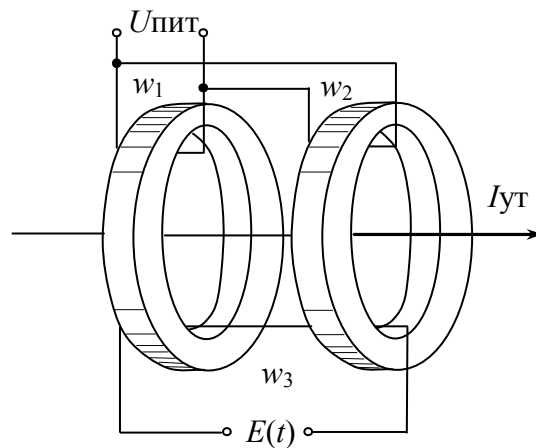


Рис. 1. Конструкция  $\mu$ -преобразователя постоянного тока

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 четногармонический  $\mu$ -преобразователь является дифференциальным датчиком: питающее напряжение первой гармоники воспринимается как синфазный сигнал, а создаваемая измеряемым током постоянная намагничивающая сила является дифференциальным сигналом.

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 измерительный преобразователь на основе фазочувствительного выпрямителя (ФЧВ). Выбор метода преобразования обусловлен желанием избежать применения критичных к питающей частоте полосовых фильтров, которые требуют согласования по первой и второй гармоникам.

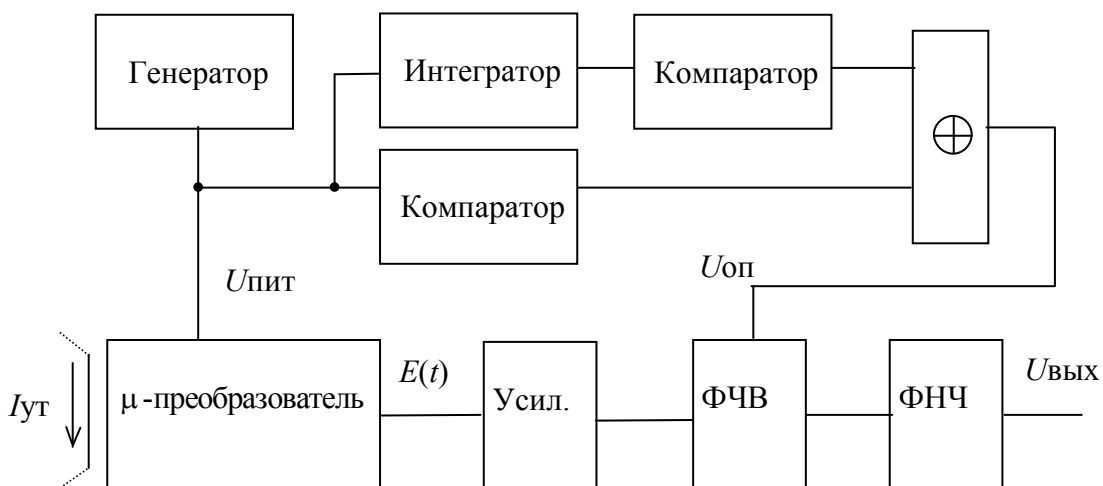


Рис. 2. Измерительный преобразователь

Синусоидальное напряжение питания  $U_{\text{пит}}$  с помощью интегратора переменного тока сдвигается на угол  $\varphi = 90^\circ$ . Компараторы формируют две последовательно-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 фазочувствительного выпрямителя. ФЧВ подавляет нечетные гармоники измерительного сигнала  $E(t)$  и выпрямляет напряжение второй гармоники. 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.

Для повышения чувствительности и уменьшения влияния коммутационных помех, вносимых ключами ФЧВ, сигнал четно-гармонического  $\mu$ -преобразователя предварительно усиливается в 1000 раз. При этом, ввиду усиления полезного сигнала частотой  $2f = 1000$  Гц и последующего применения ФЧВ, напряжение смещения усилителя и его температурный дрейф не вносят искажений в измерительный сигнал.

Разработанный преобразователь при питающем напряжении  $U_{\text{пит}} = 10$  В и усилении  $K_u = 1000$  имеет коэффициент преобразования

$$S = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{ут}}} = 20 \frac{\text{мкВ}}{\text{мА}}.$$

Возможные варианты подключения  $\mu$ -преобразователя:

1. Феррозонды устанавливаются непосредственно на входе контактной сети, ввод выполняется в виде коаксиального кабеля. Ток утечки измеряется как разность токов, протекающих по шинам «+» и «-» контактной сети. Применяется при заземленной и изолированной системах питания.

2. При заземленной системе питания феррозонды устанавливаются на шину заземления, контролируется ток утечки с кузова на землю.

Преобразователь может применяться как в качестве индикатора превышения токами утечки заданного уровня, так и в качестве измерителя. В последнем случае измерительный преобразователь выполняется по компенсационной схеме. Отрицательная обратная связь по постоянной составляющей магнитного потока, формируемая с помощью дополнительной компенсационной обмотки феррозондов, позволяет линеаризовать коэффициент преобразования  $S$  и повысить чувствительность.

Несомненное преимущество данного преобразователя – отсутствие влияния на качество изоляции, которое свойственно контактными средствами контроля токов утечки.

#### Литература

1. СТБ 1729-2007. Транспорт дорожный. Троллейбусы. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. Методы проверки.
2. Говорков, В. А. Электрические и магнитные поля / В. А. Говорков. – Москва : Энергия, 1968.
3. Толстов, Ю. Г. Измерительные трансформаторы постоянного тока и напряжения / Ю. Г. Толстов. – Москва : Госэнергоиздат, 1961.
4. Абрамзон, Г. В. Электрические клещи постоянного тока / Г. В. Абрамзон. – [Б. м.] : Измерительная техника, 1973.
5. Разин, Г. И. Бесконтактное измерение электрических токов / Г. И. Разин. – Москва : Атомиздат, 1974.