

В.У. КИЗИЛОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
А.П. ЛАЗУРЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
Н.В. РУДЕВИЧ, канд. техн. наук доц., НТУ «ХПИ»

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПЕРАТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Рассмотрен способ повышения точности клещевых трансформаторов тока включением их на "отрицательное" сопротивление, которое равняется сопротивлению вторичной обмотки. Приведены результаты измерения погрешностей. Показано, что возможно последующее снижение погрешностей путем уменьшения сопротивления контура на выходе трансформатора тока.

Розглянуто спосіб підвищення точності клішових трансформаторів струму включенням їх на "негативний" опір, який дорівнює опору вторинної обмотки. Приведені результати вимірювання похибок. Показано, що можливе подальше зниження похибок шляхом зменшення опору контура на виході трансформатора струму.

The method of increase of exactness of ticks transformers of current by including is considered them on negative resistance equal to resistance of the second puttee. The results of measuring of errors are resulted. It is rotined that possibly further decline of errors by diminishing of resistance of contour on the output of tick transformer of current.

Использование клещевых трансформаторов тока (КТТ) значительно повышает оперативность измерений в релейной защите и средствах учета электроэнергии. В связи со снижением потребления электроэнергии многими предприятиями их ток значительно уменьшился, что требует снижения пределов измерения КТТ до 10÷50 мА.

При использовании КТТ на их погрешности существенно влияет конструкция и, особенно, зазор в месте разъема сердечника. Мельчайшие пылинки в зазоре могут привести к значительным погрешностям. Не случайно выпускавшийся вольтамперфазометр ВАФ 85М имел класс точности 4.0.

Использование в КТТ электронной компенсации погрешности, при которой сердечник КТТ не перемагничивается, обеспечивает значительное уменьшение погрешностей. Целесообразно выбрать схему компенсации, в которой не требуется дополнительных обмоток на сердечнике или дополнительного сердечника. Такой схемой электронной компенсации является схема, в которой КТТ нагружен на "отрицательное" сопротивление равное сопротивлению вторичной обмотки КТТ r_{w2} (рис.1).

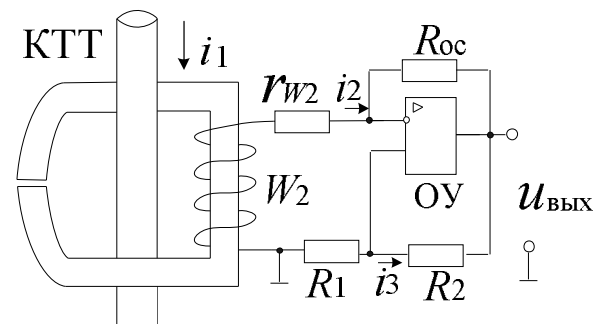


Рис.1

Рассмотрим контур из обмотки W_2 , ее сопротивления r_{w2} , входной ЭДС ОУ e_{ou} и резистора R_1

$$W_2 S \frac{dB}{dt} = r_{w2} i_2 - R_1 i_3 - e_{ou}, \quad (1)$$

где B – индукция в сердечнике КТТ,

S – поперечное сечение сердечника КТТ,

i_2 – ток вторичной обмотки КТТ,

i_3 – ток положительной обратной связи КТТ.

Если выбрать R_1 так, чтобы выполнялось равенство

$$r_{w2} i_2 = R_1 i_3, \quad (2)$$

то учитывая, что e_{ou} близко к нулю, получим $W_2 S \frac{dB}{dt} = 0$,

откуда

$$\frac{dB}{dt} = 0. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что сердечник КТТ в этом случае не перемагничивается, а, следовательно, в любой момент времени индукция B и напряженность магнитного поля в сердечнике H равны нулю и согласно закону полного тока выполняется соотношение

$$i_1 = W_2 i_2 + Hl, \quad Hl \dot{=} 0. \quad (4)$$

Условие (4) не зависит в определенных пределах от зазора в сердечнике и положения провода в окне сердечника.

Выходное напряжение ОУ

$$u_{\text{вых}} = -(r_{w2} + R_{oc}) i_2, \quad (5)$$

где R_{oc} – сопротивление отрицательной обратной связи ОУ.

Подставив выражение (4) в (5) получим

$$u_{\text{вых}} = -(r_{w2} + R_{oc}) \frac{i_1}{W_2} = -(R_1 + R_2) i_3, \quad (6)$$

где R_2 – сопротивление положительной обратной связи ОУ.

Видно, что напряжение на выходе операционного усилителя пропорционально входному току i_1 в любой момент времени и, следовательно, точно передается форма тока со всеми его гармониками.

Реализация изложенной электронной компенсации в ВАФ типа 4303 Житомирского завода «Электроизмеритель» позволила достичь класса точности 1.0 при расширении шкал тока с 10А, 5А, 1А до 50мА [1].

Полученные результаты показали эффективность использованной схемы электронной компенсации, но оставалось не ясным, почему не достигнут более высокий класс точности. Казалось, что причина заключается в том, что внутреннее сопротивление обмотки W_2 учитывалось только активной составляющей r_{w2} и не учитывалась ее индуктивность рассеяния. Были проведены опыты и расчеты по ее учету, но оказалось, что это не объясняет полученных уровней погрешностей.

Дальнейшие исследования позволили предположить, что точность преобразования тока ограничена помехами в выходном контуре КТТ. Необходимо было уменьшить сопротивление этого контура. Сопротивление R_1 составляло 250÷300 Ом и его исключение в устройстве по схеме рис.2 позволило значительно уменьшить погрешности по сравнению с устройством по схеме рис.1 [2].

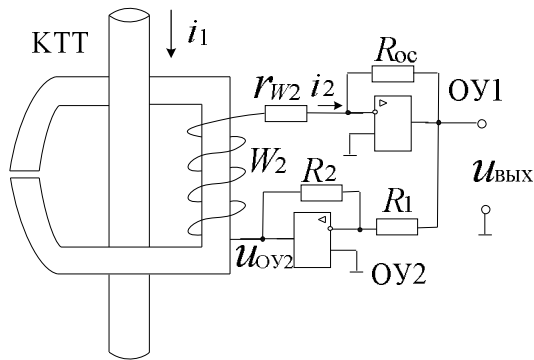


Рис.2

Для контура на выходе КТТ справедливо уравнение

$$W_2 S \frac{dB}{dt} - r_{w2} i_2 - u_{oy2} = 0, \quad (7)$$

где u_{oy2} – выходное напряжение второго операционного усилителя.

Если $u_{oy2} = i_2 r_2$, то $\frac{dB}{dt} = 0$, что имеет место при

$$R_2 = \frac{r_{w2} R_1}{r_{w2} + R_{oc}}. \quad (8)$$

В отличие от устройства по рис. 1 в устройстве по рис.2 исключено в контуре на выходе КТТ сопротивление R_1 , так как выходное сопротивление усилителя ОУ2 близко к нулю.

На рис.3 показаны кривые зависимости относительной погрешности модуля тока и фазовой погрешности от действующего значения тока i_1 в зависимости от схемы компенсации (1 – КТТ без компенсации, 2 – КТТ по схеме рис.1, 3 – КТТ по схеме рис.2).

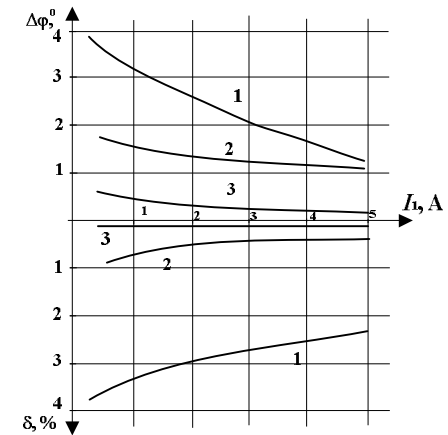


Рис.3

Значительное снижение погрешностей в устройстве по рис. 3 свидетельствует о правильном определении источника погрешностей. Поскольку сопротивление r_{w2} определено заводом изготовителем, то целесообразно рекомендовать его уменьшение увеличением в два раза диаметра обмотки W_2 . Испытания КТТ по схеме рис.2 показали возможность получения класса точности 0.2.

Список литературы: 1. Кизилов В.У. Прибор для оперативного контроля электрических параметров / В.У.Кизилов, А.И.Чернявский. // Энергетик. – 1993. – №3. – С.14-15. 2. Пат. 85222 Украина, МПК⁶ G 01 R 19/00. Вимірювальний перетворювач струму в напругу / Кизилов В. У.; заявник та патентовласник Кизилов В. У. – № а 2006 10624; Заявл. 09.10.2006; Опубл. 12.01.2009, Бюл. №1.

Поступила в редколлегию 03.11.10