

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА С БЕСКОНТАКТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Б. Х. ХУШБОҚОВ

*(Термезский инженерно-технологический институт,
Узбекистан)*

Разработаны несколько конструкций широкодиапазонных трансформаторов тока (ТТ). Анализом их работы установлено, что наиболее полно требованиям систем управления и контроля отвечают ТТ, широкодиапазонность в которых осуществлена выполнением спиралевидного сердечника в виде архимедовой спирали. Это приводит к повышению стабильности работы ТТ.

Ключевые слова: широкодиапазонность, трансформаторы тока, магнитопровод, магнитное сопротивление, стабильность, ферромагнитной жидкость.

Введение. Как известно [4, 5, 6, 7, 9, 10, 11], трансформатор тока в котором широкодиапазонность осуществляется плавным регулированием количества витков обмоток, имеет низкую надежность из-за наличия скользящего контакта. Поэтому в данной статье предложена новая конструкция с бесконтактным регулированием диапазона преобразования [5, 15, 16, 17]. На рис. 1 показан разработанный широкодиапазонный ТТ: на рис. 1, а – общий вид ТТ, а на рис. 1, б – подвижный магнитопровод с измерительной обмоткой.

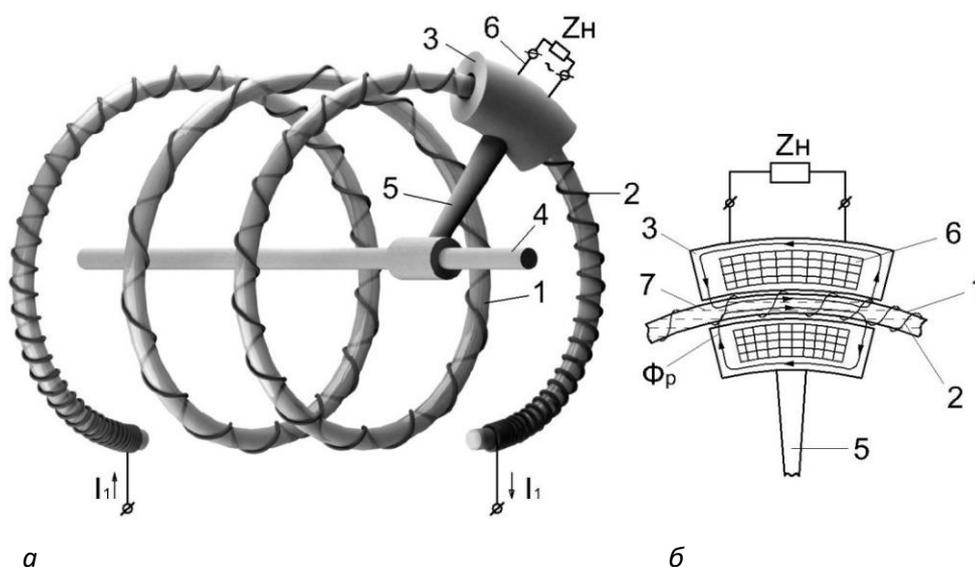


Рисунок 1. – Конструктивная схема широкодиапазонного ТТ по [15]

Первое предложение. Разработанный ТТ состоит из неподвижного полого сердечника 1 в форме спирали из немагнитного и неэлектропроводного материала, первичной обмотки 2, нанесенной по требуемому функциональному закону на неподвижной сердечник 1, подвижного ферромагнитного магнитопровода 3, имеющего возможность вращения вокруг общей оси 4 с помощью держателя 5, вторичной обмотки 6, расположенной во внутренней полости подвижного ферромагнитного сердечника 3 и ферромагнитной жидкости 7, заполняющей охватываемую подвижным ферромагнитным сердечником 3 части спиралевидной полой трубки 1. Первичная обмотка 2 намотана на спиралевидный сердечник 1 так, что удельное число витков, приходящееся на единицу угла поворота подвижной части, растет от центра сердечника 1 к его концам. Описываемый трансформатор относится к классу маломощных лабораторных ТТ с воздушным зазором.

Широкодиапазонный ТТ работает следующим образом. При прохождении переменного тока по первичной обмотке под воздействием магнитного поля ферромагнитная жидкость за счет электромагнитной силы удерживается в охватываемой подвижным магнитопроводом части спиралевидной трубки. При перемещении подвижного магнитопровода вдоль спиралевидной трубки ферромагнитная жидкость также перемещается. Изготовление спиралевидного сердечника в виде полой трубки существенно уменьшает массу и снижает расход материала магнитопровода ТТ.

Суммарное магнитное сопротивление на пути рабочего магнитного потока находится как [9, 12]

$$R_{\mu\Sigma} = \frac{l_{\mu c}}{\mu_c \mu_o S_{\mu c}} + \frac{l_{\mu ж}}{\mu_{ж} \mu_o S_{\mu ж}} + \frac{l_{\mu \delta}}{\mu_o S_{\mu \delta}},$$

где $l_{\mu \delta} = 2(\delta + \delta_c)$ – суммарный немагнитный зазор на пути рабочего магнитного потока;

δ – зазор между подвижным магнитопроводом 3 и спиралевидным полым сердечником 1;

δ_c – толщина спиралевидного полого сердечника 1;

$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м}$ – магнитная постоянная;

$\mu_c, \mu_{ж}$ – магнитные проницаемости соответственно стали и ферромагнитной жидкости;

$S_{\mu c}, S_{\mu ж}, S_{\mu \delta}$ – поперечные сечения на пути рабочего магнитного потока соответственно подвижного магнитопровода, ферромагнитной жидкости и зазора.

Первичный ток создает МДС [12]:

$$U_{\mu 1} = I_1 w_2 = I_1 k \alpha,$$

где $w_2 = k\alpha$ – число витков измерительной обмотки, приходящееся на единицу угла поворота α подвижного магнитопровода, k – коэффициент пропорциональности.

Описываемый ТТ предназначен для преобразования не очень больших токов. Широкодиапазонность (плавное регулирование в сторону расширения нижнего предела преобразования) осуществляется изменением количества витков первичной обмотки путем поворота подвижного магнитопровода без разрыва первичной цепи, что очень важно, когда нежелательны перебои электропитания в системе [18].

Вместе с тем, при кратковременном внезапном отключении первичного тока ферромагнитная жидкость вытекает из места расположения подвижного магнитопровода с обмотками, а при восстановлении первичного тока ТТ будет работать без ферромагнитной жидкости. Это приводит к возникновению существенной погрешности преобразования. Поэтому была поставлена задача – повышение стабильности работы ТТ.

Второе предложение. Поставленная задача решается тем, что в широкодиапазонном ТТ, содержащем спиралевидный сердечник, выполненный в виде полой диамагнитной и неэлектропроводной трубки, на которую по требуемому функциональному закону нанесена первичная обмотка, и подвижный магнитопровод с вторичной обмоткой, охватывающий часть спиралевидного сердечника с ферромагнитной жидкостью, сердечник выполнен в виде архимедовой спирали и расположен вертикально с возможностью поворота. Подвижный магнитопровод свободно установлен на вертикально расположенном направляющем с возможностью перемещения.

Повышение стабильности работы ТТ достигается за счет того, что спиралевидный сердечник выполнен в виде вертикально установленной архимедовой спирали с возможностью поворота, при этом подвижный магнитопровод охватывает часть спиралевидного сердечника, заполненного ферромагнитной жидкостью, и имеет возможность перемещения только по вертикали.

В предлагаемом ТТ при повороте спиралевидного сердечника подвижный магнитопровод с вторичной обмоткой и ферромагнитной жидкостью перемещается только по вертикальной направляющей. Поэтому ферромагнитная жидкость всегда удерживается в охватываемой подвижным магнитопроводом нижней части архимедового спиралевидного сердечника.

Выполнение спиралевидного сердечника в виде архимедовой спирали и его вертикальное размещение, а также свободное установление подвижного магнитопровода на вертикально расположенной направляющей с возможностью перемещения исключает вытекание ферромагнитной жидкости из-под подвижного магнитопровода с вторичной обмоткой при кратковременном внезапном отключении источника питания и восстановлении источника питания ТТ продолжает работать в установленном режиме, сохраняя тем самым стабильность работы.

На рис. 2 показан разработанный широкодиапазонный ТТ [1, 2, 3, 8, 13, 14]: на рис. 2, а – вид спереди, на рис. 2, б – вид сбоку в разрезе, на рис. 2, в – вид при повороте спиралевидного сердечника на 90°, на рис. 2, г – подвижный магнитопровод с вторичной обмоткой (в разрезе).

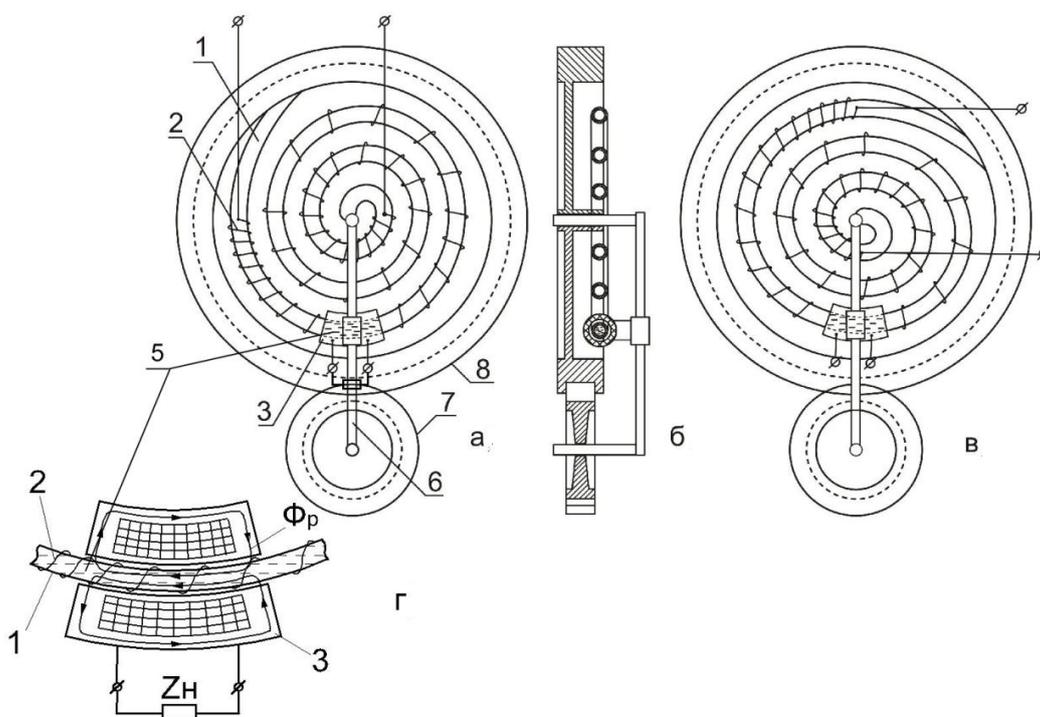


Рисунок 2. – Многопредельный ТТ по [3]

Предлагаемый широкодиапазонный ТТ состоит из сердечника 1, выполненного в виде вертикально расположенной архимедовой спирали из полый диамагнитной и неэлектропроводной трубки, на которую по требуемому функциональному закону нанесена первичная обмотка 2, и подвижный магнитопровод 3 с вторичной обмоткой 4, охватывающей часть спиралевидного сердечника 1, заполненного ферромагнитной жидкостью 5. Подвижный магнитопровод 3 с обмоткой 4 установлен на вертикально расположенной направляющей 6 с возможностью перемещения в вертикальном направлении при повороте спиралевидного сердечника 1. Поворот сердечника осуществляется с помощью вспомогательных шестеренок 7 и 8.

Подвижный магнитопровод 3 служит для создания магнитного потока. Он представляет собой полый цилиндр с изогнутой осью, совпадающей с осью провода, намотанного на полый сердечник 1, и охватывающий только часть сердечника 1 с обмоткой 2. Принцип действия этого ТТ не отличается от принципа действия предыдущего ТТ.

Поворот спиралевидного сердечника 1 осуществляется с помощью вспомогательной зубчатой передачи. При этом ферромагнитная жидкость 5 под воздействием электромагнитной силы, создаваемой магнитным полем, удерживается в охватываемой подвижным магнитопроводом нижней части витков спиралевидного сердечника 1. Перемещение подвижного магнитопровода 3 с обмоткой 4 при повороте спиралевидного сердечника 1 происходит только по направляющей 6.

Выводы. Таким образом, положительный эффект достигается тем, что выполнение спиралевидного сердечника в виде архимедовой спирали и его вертикальное размещение с возможностью поворота, а также свободное установление подвижного магнитопровода с обмоткой на вертикальную направляющую с возможностью перемещения при повороте спиралевидного сердечника не позволяет вытекать ферромагнитной жидкости из-под подвижного магнитопровода с обмоткой при кратковременном внезапном отключении питания и восстановлении источника питания ТТ продолжает работать в установленном режиме. Это приводит к повышению стабильности работы ТТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амиров С. Ф., Хушбоков Б. Х. Трансформаторы тока с многовитковым сердечником для систем управления // Инновация-2006: тез. докл. Международной науч.–практ. конф. 26–27 октября 2006. В 2-х т. – Ташкент, 2006. – Т. 2. – С. 670–673.
2. Амиров С. Ф., Хушбоков Б. Х. Датчики тока с многовитковыми сердечниками // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ-2007». Материалы Всероссийской научной конференции. В 2-х т. – Астрахань, 2007. – Т.2. – С. 76–78.
3. Амиров С. Ф., Хушбоков Б. Х., Кадыров Дж. Ф., Балгаев Н. Е. Трансформаторы тока для работы в переходных режимах // От легендарного Турксиба к стратегической трансевразийской магистрали: Материалы научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня начала эксплуатации Турксиба, г. Алматы, 31 мая 2006. В 2-х т. – Алматы, 2006. – Т.2. – С. 51–55.
4. Амиров С. Ф., Хушбоков Б. Х., Шойимов Й. Ю. Дистанционные преобразователи больших токов с многовитковыми сердечниками // Вестник ТашИИТ. – Ташкент, 2006. – № 1. – С. 162–169.
5. Амиров С. Ф., Шойимов Й. Ю., Очилон Н. Н. Широкодиапазонные электромагнитные преобразователи больших постоянных токов // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: сб. науч. тр. Респ. научно–технической конференции с участием зарубежных ученых. – Ташкент, 2006. – С. 40–43.
6. Амиров С. Ф., Хушбоков Б. Х., Шойимов Й. Ю. Дистанционные преобразователи больших токов с многовитковыми сердечниками // Вестник ТашИИТ. – Ташкент, 2006. – № 1. – С. 162–169.

7. Андреев Ю. А., Абрамзон Г. В. Преобразователи тока для измерений без разрыва цепи. – Л. : Энергия, 1979. – 144 с.
8. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: учеб. пособие. – М. : Дрофа, 2005. – 415 с.
9. Афанасьев Ю. В., Адоньев Н. М., Кибель В. М., Сирота И. М., Стогний Б. С. Трансформаторы тока. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 417 с.
10. А.с. СССР № 135789, Кл. 74 в, 8/04, БИ № 3, 1961.
11. А.с. СССР № 211638, Кл. 71 d, 54, 21e, 32, GOIR 17/20, БИ, № 8, 1968
12. Голованова А. М., Кравцов А. В. Теоретические основы электротехники // Электрические измерения: учеб. пособие для студентов электротехнических специальностей. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. – 96 с.
13. Гуртовцев А. Л., Бордаев В. В., Чижонков В. И. Измерительные трансформаторы тока на 0,4 кВ: испытания, выбор, применение // Новости Электротехники. – 2004. – № 1(25), № 2(26). – С. 66–71, 91–94.
14. Кочемасов Ю. Н., Колегаев Ю. Б. Сравнительный анализ характеристик датчиков магнитного поля // Датчики и системы. – М., 2001. – № 4. – С. 33–34.
15. Патент РУз. №03316. Многооборотный бесконтактный потенциометр переменного тока / Амиров С. Ф., Турдибеков К. Х., Шойимов Й. Ю., Саттаров Х. А., Хушбоков Б. Х. // Расмий ахборотнома. – 2007. – № 3.
16. Плахтиев А. М. Бесконтактные ферромагнитные преобразователи с распределенными магнитными параметрами для систем контроля и управления. : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Ташкент: ТашГТУ, 2009. – 46 с.
17. Розенблат М. А. Новые достижения и направления в развитии магнитных датчиков // Приборы и системы управления. – М., 1996. – № 9. – С. 42–50.
18. Шабад М. А. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. (Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 1). – М. : НТФ «Энергопрогресс», 1998. – 64 с.