

**TRANSFORMER QUASI-BALANCED BRIDGE CONVERTERS WITH
ENHANCED METROLOGICAL CHARACTERISTICS.**

**ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ КВАЗИУРАВНОВЕШИВАЕМЫЕ МОСТОВЫЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ПОВЕЩЁННЫМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Якубов Мирджалил Согатович,

Абвохидов Жахонгир Абдужалил угли

Ташкентский государственный транспортный университете

Annotation. The paper presents the circuit diagram and mathematical models of transformer quasi-balanced bridge converters with enhanced metrological characteristics. The advantage of such converters is their wide capacitance conversion range and the ability to measure the tangent of dielectric losses in various types of insulation used in power equipment. They feature high accuracy and electromagnetic compatibility due to the high frequency of the power source. These converters can be used for technical inspection and diagnostics of power equipment insulation conditions.

Аннотация. В работе приведена принципиальная схема и математических моделей трансформаторных квазиуравновешиваемых мостовых преобразователей с повеcёнными метрологическими характеристиками. Достоинством таких преобразователей является большой диапазон преобразования ёмкости и тангенса диэлектрических потерь различных типов изолются силового оборудования. Имеют большому точность, Электру магнитную совместность, обусловленную большой частотой источника его питания. Они могут применений при техническом контроле и диагностировании состояния излитии силового оборудование. [1, 2, 8]

Keywords: *insulation, transformer, bridge, converter, metrological characteristics, tangent of dielectric losses.*

Ключевые слова: изоляция, трансформаторный, мост, преобразователь, метрологические показателей, тангенс диэлектрических потерь.

Квазиуравновешиваемые мосты с нижней ветвью в виде индуктивно-связанных плеч относятся к мостам с индуктивно-связанными плечами. Как отмечается в работе , эти мосты, в отношении чувствительности существенно не отличаются от обычных мостов (не имеющих индуктивно-связанных плеч).

Четырёхлетие мосты с индуктивно-связанными плечами в цепи указателя в отношении чувствительности резко отличаются от обычных мостов . Они получаются в рассматриваемой структуре путем перемены мест включения источника питания и указателя равновесия. Условия равновесия МЦ при этом

MODERN EDUCATIONAL SYSTEM AND INNOVATIVE TEACHING SOLUTIONS

остаются прежними, но существенно меняются ее чувствительность, сходимость и характер линий уравновешивания. Высокие метрологические и эксплуатационные свойства этих мостов объясняются рядом известных достоинств, присущих элементам с тесной индуктивной связью. Основные из них: [3, 4, 9]

- 1) исключительная устойчивость плечевых отношений к паразитным проводимостям, включенным параллельно индуктивным плечам, что облегчает защиту данных мостов, позволяет проводить измерение при длинных соединительных проводах, а также измерение объектов непосредственно в схеме;
- 2) возможность получения любых отношений чисел витков в обмотках, образующих плечи. Это позволяет построить мосты с широким диапазоном измерения при малом количестве образцовых мер;
- 3) возможность выбора образцовой меры такого значения, при которой можно ожидать большой стабильности и сравнительно малых габаритов, что обеспечивает высокую точность измерения;
- 4) высокая температурная и временная стабильность отношения плеч;
- 5) исключительно широкий частотный диапазон;
- 6) возможность получения высокой и практически постоянной чувствительности.

Соответственно создание на основе элементов с тесной индуктивной связью квазиуравновешенных мостов для измерения параметров емкостных датчиков при низких и фиксированных значениях измерительного напряжения в режиме максимальной чувствительности представляет в настоящее время практический интерес.

Рассмотрим способы выполнения основного режима квазиуравновесия в мостах с индуктивно-связанными плечами в цепи указателя. [5]

Независимое и раздельное измерение емкости датчика в таких МЦ возможно как при параллельной, так и при последовательной схеме замещения измеряемого объекта. Здесь мы ограничимся рассмотрением схем квазиуравновешиваемых мостов, предназначенных для измерения параметров емкостных датчиков при параллельной схеме замещения.

На рис.1,а через n_1 и n_2 обозначены числа витков плечевых обмоток: Y_k — указатель измерительных состояний; C_x, R_x —

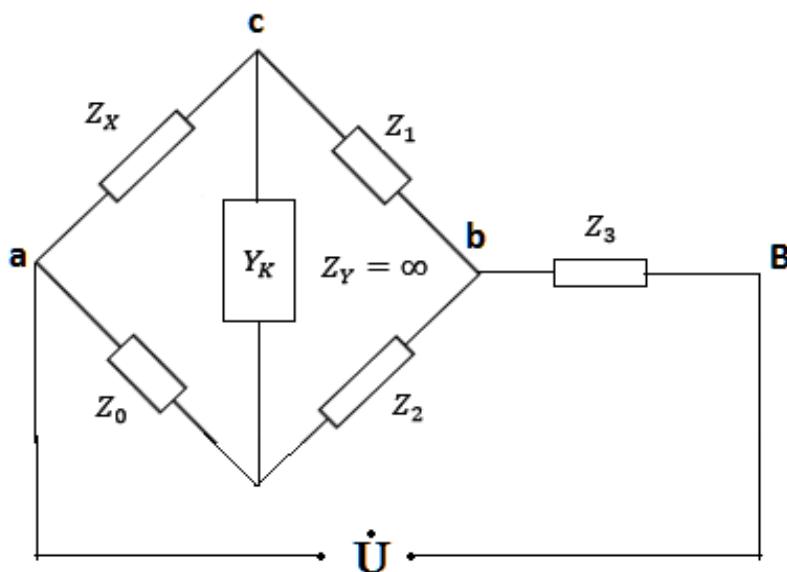
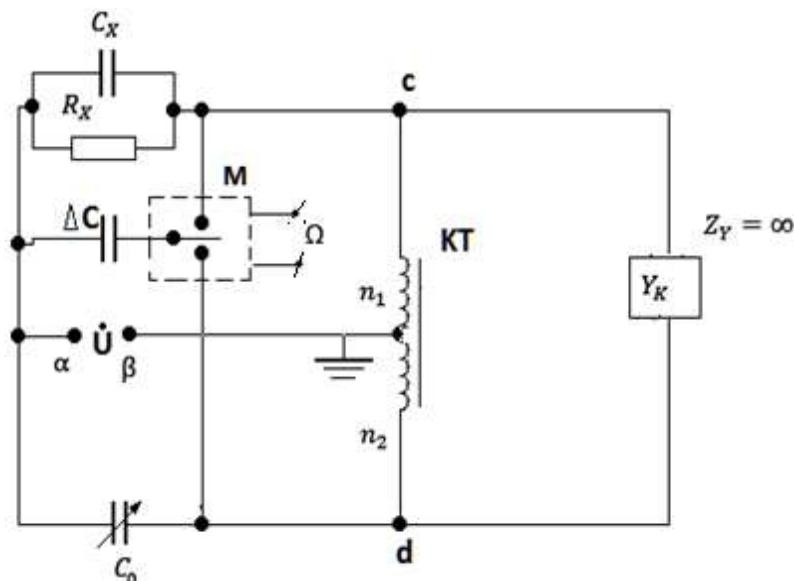


Рис. 1. Квазиуравновешиваемая мостовая цепь а) и ее эквивалентная схема

параметры измеряемого емкостного датчика; C_0 -образцовый конденсатор; Z_y — входное сопротивление указателя; \dot{U} -источник напряжения с малым выходным сопротивлением; КТ- индуктивный компаратор тока; $p_n = \frac{n_1}{n_2}$ - отношение числа витков. Условие равновесия по емкости для этих схем определяется выражением

$$C_x = C_0 \frac{n_2}{n_1} = C_0 \frac{1}{p_n}. \quad [6,7],$$

Из уравнения равновесия видно, что переменными параметрами могут быть или образцовая емкость C_0 , или отношение числа витков плечевых обмоток p_n .

В результате исследования емкостных мостов с тесной индуктивной связью

MODERN EDUCATIONAL SYSTEM AND INNOVATIVE TEACHING SOLUTIONS

найдены условия получения повышенной чувствительности. Впоследствии на этой основе были определены условия работы мостов с сильно выраженным максимумом чувствительности, в десятки и сотни раз превосходящим чувствительность обычных мостовых схем. Анализ таких МЦ значительно облегчается, если использовать эквивалентные схемы цепей с тесной индуктивной связью с исключенной взаимной индуктивностью.

Применение параметрической модуляции в квазиуравновешиваемых мостах с индуктивно-связанными плечами в цепи указателя позволяет раскрыть новые возможности подобных мостов, поэтому сначала рассмотрим возможные способы модуляции параметра МЦ для установления основного режима квазиравновесия (см. рис. 3.2,а).

Эквивалентная схема, построенная с учетом возможности представления индуктивно-связанных плеч «звездой» сопротивлений Z_1, Z_2, Z_3 , приведена на рис. 3.2,б. Для этой схемы напряжение неравновесия определяется (при $Z_y=\infty$) по формуле

$$\dot{U}_{cd} = \dot{U}_{ab} \frac{Z_2 Z_x - Z_1 Z_0}{Z_x (Z_0 + Z_2 + Z_3) + Z_0 (Z_1 + Z_3)} \quad (2)$$

Проанализируем выражение (3.13), считая, что трансформатор сравнения токов не шунтируется паразитными емкостями и обладает конечной добротностью Q , не зависящей от числа витков. При этом для удобства анализа параметры согласованной звезды сопротивлений трансформатора сравнения токов выразим через соотношения числа витков:

$$Z_1 = p_n (p_n + 1) Z_L^0, \quad Z_2 = (1 + p_n) Z_L^0, \quad Z_3 = -p_n Z_L^0 \quad (3)$$

где $Z_L^0 = x_L \left(\frac{1}{Q} + j \right)$ комплексное сопротивление обмотки трансформатора сравнения токов, число витков которой пропорционально величине n_2 ; x_L — индуктивное сопротивление обмотки n_2 трансформатора сравнения токов.

Выражение с учетом принимает вид

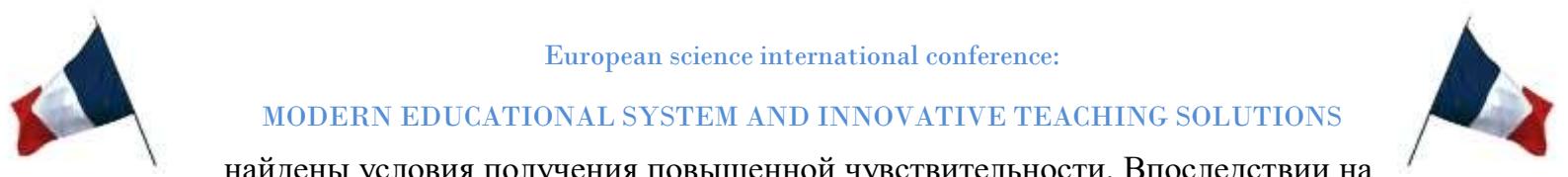
$$\dot{U}_{cd} = \dot{U}_{ab} \frac{(1 + p_n)(Z_x - p_n Z_0)}{Z_x \left(\frac{Z_0}{Z_L^0} + 1 \right) + Z_0 p_n^2} \quad (4)$$

Подставив в (4) значения

$$Z_x = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}$$

$$Z_0 = -j \frac{1}{\omega C_0} \text{ и } Z_L^0 = \omega L_1 \left(\frac{1}{Q} + j \right),$$

определим модуль напряжения \dot{U}_{cd} :



$$|\dot{U}_{cd}| = |\dot{U}_{ab}| \cdot \frac{(1 + p_n)x_L \sqrt{\left(1 + \frac{1}{Q^2}\right) [\omega^2 R_x^2 (C_x p_n - C_0)^2 + p_n^2]}}{\sqrt{\left\{R_x \left[1 - \omega x_L (C_0 + p_n^2 C_x) + \frac{x_L}{Q} p_n^2\right]\right\} + x_L^2 \left[p_n^2 + \frac{\omega R_x}{Q} (C_0 + p_n^2 C_x)\right]^2}} \quad (5)$$

При $p_n = 1$ уравнение (5) запишется так:

$$|\dot{U}_{cd}| = |\dot{U}_{ab}| \frac{2x_L \sqrt{\left(1 + \frac{1}{Q^2}\right) [\omega^2 R_x (C_x - C_0)^2 + 1]}}{\sqrt{R_x \left[1 - \omega x_L (C_0 + C_x) + \frac{x_L}{Q}\right]^2 + x_L^2 \left[1 + \frac{\omega R_x}{Q} (C_x + C_0)\right]^2}}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что уравновешивающий (C_0) и уравновешиваемый (C_x) параметры в знаменатель входят в виде суммы, а в числитель — в виде разности. Если в качестве модулирующего выбрать параметр, совпадающий по характеру с уравновешивающим, и включить его поочередно в плечи с уравновешивающим и уравновешиваемым параметрами, то модуль знаменателя при этом не будет модулироваться, тогда как модуль числителя будет модулироваться, причем условие исчезновения модуляции числителя совпадает с условием равновесия по уравновешиваемому параметру. Действительно, если модуляционная емкость посредством коммутатора M_k , управляемого напряжением источника модуляционной частоты Ω , поочередно и параллельно будет подключаться к измеряемому объекту (C_x, R_x) и образцовому элементу C_0 , то величины C_x и C_0 будут модулироваться по законам

$$C_x = C_{x0} + \frac{1}{2} \Delta C (1 + \text{sign} \sin \Omega t);$$

$$C_0 = C_{00} + \frac{1}{2} \Delta C (1 - \text{sign} \sin \Omega t).$$

Подставив значение при $\Omega t = \pm 1$, из условия исчезновения огибающей

$$|\dot{U}_{cd}|_{\text{sign} \sin \Omega t} = 1 = |\dot{U}_{cd}|_{\text{sign} \sin \Omega t} = 1 \quad (8)$$

найдем условие равновесия по емкости $C_x = C_0$

Режим короткого замыкания в компараторах тока трансформаторных мостовых цепей, как показано в работах [21], обладает целым рядом особенностей и имеет некоторое преимущество перед режимом холостого хода. [10, 11]

Рассмотрим расчет измерительной схемы моста, когда компаратор токов работает в режиме короткого замыкания.

В режиме идеального короткого замыкания $Z_y = \theta$ ток указателя определяется

по формуле

$$i_y = \dot{U}_{ab} \frac{n_1/R_x + j\omega(C_x n_1 - C_0 n_2)}{n_y}$$

откуда можем найти модуль тока при $n_1 = n_2$:

$$|i_y| = |\dot{U}_{ab}| \frac{n_1 \sqrt{1/R_x^2 + \omega^2(C_x - C_0)^2}}{n_y}, \quad (9)$$

Здесь тоже используем принцип параметрической модуляции для формирования управляющего воздействия и для установления состояния равновесия по уравновешивающему параметру C_0 .

Если C_x и C_0 модулируются по законам (3.18), то характеристическая функция моста приобретает вид

$$|\dot{W}| = \frac{|i_y|_{sign \sin \Omega t=1}}{|i_y|_{sign \sin \Omega t=-1}} = \sqrt{\frac{1/R_x + \omega^2(C_{x0} + \Delta C - C_{00})^2}{1/R_x^2 + \omega^2(C_{x0} - \Delta C - C_{00})^2}}.$$

Из $|\dot{W}| = 1$ находим условие равновесия $C_{0x} = C_{00}$.

Заключения

Большим достоинством трансформаторных мостовых преобразователей с местоиндуктивными обмотками являются то что, они состоят из однородных элементов. Это дает возможность одним набором образцовых элементов измерять параметры комплексных сопротивлений при параллельной схеме замещения в широкой полосе частот. Нужно отметить, что такие мосты могут работать в режиме максимальной чувствительности по емкости. Для этого обеспечивается условие квазирезонансная в МЦ во всем диапазоне измерения емкости непрерывным изменением частоты источника питания. Повышение метрологические характеристики полностью удовлетворяют нормативы при техническом контроле изоляции Тангенса, диэлектрических потерь изоляции силовой оборудование.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абдуллаев Я.Р. Теория магнитных систем с электромагнитными экранами. – Москва: Наука, 2000. – 268с.
2. Амиров С.Ф. Суллиев А.Х, бипараметрические резонансные датчики с распределенными параметрами // Журнал «Датчики и системы» Москва, 2008-№10. С. 41-43.
3. Информационно – измерительная техника и электроника / под.ред. Раннева Г.Г.- Москва.: Академия, 2007.-511 с.
4. Азимов Р.К. Принципы построения и проектирования первичных преобразователей с распределёнными параметрами для систем контроля и управления: Автореф.дис.док.тех.наук. - Ташкент: ТГ ТУ, 1993. 32 с.

MODERN EDUCATIONAL SYSTEM AND INNOVATIVE TEACHING SOLUTIONS

5. Артеньев Б.Г. Проверка и калибровка средств измерений // Артеньев Б.Г., Лукашов Ю.Е. – М.: Стандартинформ, 2006. 406 с.
6. Ким К.К., Барбович В.Ю., Метвиков Б.Я. Метрология и техническое регулирование / под.ред. Кима К.К – Москва.: Маршрут, 2006. 256 с.
7. Патент Республики Узбекистан №IAP-0462, 2000г. Преобразователь линейных перемещений / Баратов Р.Ж., Якубов М.С., Суллиев А.Х // Расмий ахборотнома-2000-№3.
8. Плакс А.В. Системы управления электрическим подвижным составом. – Москва.: Маршрут, 2005. 106 с.
9. Якубов М.С., Суллиев А.Х., Рахманов М. Анализ статических и динамических характеристик авторезонансных электромагнитных преобразователей // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». – Ташкент. 2011. №1. с 58-63.
10. Jitendra Kumar, Devraj Singh, Circuit Fundamentals and Basic Electronics, International Publishing House (October 30,2013) , ISBN 978-9382332572.
11. Stability Analysis and Design of Negative Impedance Converters, Application to Circuit and Small Automas, 2016, Spain Daniel Segovia-Vargas, Jose Luis Jimenez-Martin.

