

максимума недиафрагмированного МКСП без ВДВФ. Поэтому аподизированный световой пучок может иметь одновременно меньший диаметр и меньшую расходимость по сравнению с начальным пучком.

Для аподизации путем диафрагмирования МКСП без ВДВФ нами была также испытана ирисовая диафрагма с 10 лепестками, позволяющая варьировать диаметр апертуры пропускаемого пучка. Аподизированный пучок имеет достаточно хорошее распределение интенсивности, однако в нем все же присутствует модуляция с осевой симметрией 10-го порядка, обусловленная тем, что выходное отверстие диафрагмы представляет собой не круг, а правильный 10-угольник.

Разработанный преобразователь пригоден для работы с мощным непрерывным и импульсным лазерным излучением в оптическом диапазоне, однако для аподизации мощных лазерных пучков необходимо применение металлической диафрагмы с радиатором, позволяющим рассеивать в виде тепла поглощаемую световую энергию.

1. Лукишова, С.Г. Аподизация световых пучков как метод повышения яркости лазерных установок на неодимовом стекле / С.Г. Лукишова, И.К. Красюк, П.П. Пашинин, А.М. Прохоров // Труды ИОФАН. – 1987. – Т. 7. – С. 92–147.

2. Vinogradsky, L.M. Soft diaphragms for apodization of powerful laser beams/ L.M. Vinogradsky, V.A. Kargin,; S.K. Sobolev, I.G. Zubarev, M.V. Pyatakhin, Yu.V. Senatsky, A.V. Shelobolin, V.M. Mizin, K. Ueda // *Advanced High-Power Lasers: Proc. SPIE.* – 2000. – Vol. 3889. – P. 849–860.
3. Senatsky, Yu.V. Laser beams apodization by light scattering / Yu.V. Senatsky // *Conference on Lasers & Electro Optics (CLEO-2001): tech.digest of the conf., Baltimore, USA, May 6-11 2001 / The Baltimore Convention Center.* – Baltimore, 2001. – P. 160.
4. Pyatakhin, M.V. Formation of the intensity distribution in laser beams due to diffraction on the structure of small-size optical inhomogeneties / M.V. Pyatakhin, Yu.V. Senatsky // *J. of Russian Laser Research.* – 2002. – Vol. 23, № 4. – P. 332–346.
5. Сенатский, Ю.В. Аподизаторы для получения одномодовой генерации в лазерах / Ю.В. Сенатский, Н.Е. Быковский, Л.М. Виноградский, И.Г. Зубарев, В.М. Мизин, С.К. Соболев, К. Уэда, А.В. Шелоболин // *Изв. АН. Сер. физ.* – 2002. – Т. 66, № 7. – С. 919–923.
6. Казак Н.С., Катранжи Е.Г., Рыжевич А.А. Формирование и преобразование небесселевых многокольцевых световых пучков // *ЖПС.* – 2002. – Т. 69, №2. – С. 242–247.

УДК 621.317

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ И ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Свистунов Б.Л., Артамонов П.И.

*Пензенский государственный технологический университет
Пенза, Российская Федерация*

Многие задачи измерения выходных параметров датчиков, возникающие в данной области измерительной техники проблемы могут быть структурной и/или алгоритмической избыточности. Создание в подсистеме «датчик – преобразователь» разделенных пространственно или во времени дополнительных каналов преобразования сигнала, несущего информацию о параметрах эквивалентной схемы датчика (информативного сигнала), позволяет значительно упростить результирующие функции преобразования, исключить из них ряд параметров, обусловленных действием влияющих факторов, и обеспечить раздельный отсчет по каждому из искомым параметров эквивалентной схемы датчика [1]. Формально введение избыточности приводит к формированию дополнительных уравнений «промежуточного» преобразования информативных сигналов. Решения

этих уравнений, включающих влияющие факторы среды, есть результаты измерения. Примером реализации структурной избыточности с пространственным разделением каналов может служить преобразователь [2], предназначенный для работы с емкостными датчиками (например, малых перемещений). Датчик представлен схемой замещения в виде параллельной RC – цепи. Схема преобразователя приведена на рис. 1 и включает в себя емкостной датчик, включенный на инвертирующий вход операционного усилителя ($У$) с опорным конденсатором C_0 в цепи ООС, а также два компаратора: $K1$ и $K2$. Определяющей особенностью схемы преобразователя является формирование опорного напряжения и двух уровней сравнения для $K1$ и $K2$ из одного источника – выходного напряжения $K1$ U с помощью резистивного делителя напряжения с коэффициентами деления k , km и kn . Для

момента срабатывания компаратора К1 можно записать

$$knU \left(1 + \frac{C_x}{C_0} + \frac{T}{2C_0 R_x} \right) = kU. \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что исключается влияние на значение T нестабильности, U и коэффициента k . Стабильность коэффициента деления n также высока в силу того, что и представляет собой отношение сопротивлений резисторов, имеющих одинаковый ТКС.

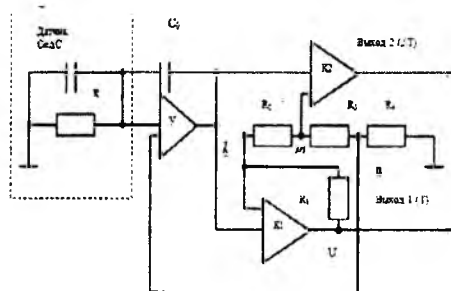


Рисунок 1 – Схема преобразователя с пространственным разделением каналов

В течение каждого полупериода существующих в схеме автоколебаний (т.е. без потери быстродействия) в момент равенства напряжений на входах К2 компаратор срабатывает, формируя интервал ΔT . Длительность интервала времени ΔT между срабатываниями К1 и К2 определяется из соотношения:

$$kmU + knU \frac{\Delta T}{C_0 R_x} = kU. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), получим

$$\frac{T}{2\Delta T} = \frac{1}{1-m} \left[(1-n) - \frac{nC_x}{C_0} \right]. \quad (3)$$

Если учесть, что $C_x = C \mp \Delta C$, где ΔC – изменение ёмкости датчика, относительно номинального значения, а также обеспечить равенство $C_0 = C$, то уравнение измерения можно записать в виде

$$N = \frac{T}{2\Delta T} = \alpha_1 \left(\alpha_2 \pm \alpha_3 \frac{\Delta C}{C} \right). \quad (4)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ постоянные коэффициенты, комбинации отношений сопротивлений резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 . Вместе с тем, для получения искомого результата необходимо осуществить операцию деления $T/2\Delta T$. Обойти эту трудность можно, организовав в схеме временную избыточность.

Рассмотрим схему преобразователя ёмкости датчика с временным разделением каналов. Она (см. рис 2) содержит ёмкостной датчик, (RC-цепь), операционный усилитель U с опорным конденсатором C_0 в цепи ООС, компаратор K резистивный делитель $R1-R2-R3$, резистор $R2$ которого выполнен управляемым. Управление осуществляется по сигналу от узла управления (УУ). Преобразователь также представляет собой релаксационный генератор. На выходе компаратора K существуют прямоугольные импульсы типа «меандр» некоторой частоты. Переключение полярности выходного напряжения компаратора K и, соответственно, повторение процессов с учетом перемены знаков напряжений и токов, происходит в момент равенства сигналов на входах K . Период следования импульсов, определяется из уравнения

$$n \left(1 + \frac{C}{C_0} + \frac{t}{C_0 R} \right) = m, \quad (5)$$

где коэффициенты n и m задаются соотношениями сопротивлений резисторов делителя.

Период следования импульсов в схеме

$$T = 4C_0 R \left[k - \left(1 + \frac{C}{C_0} \right) \right]. \quad (6)$$

Здесь $k = \frac{n}{m}$. (7)

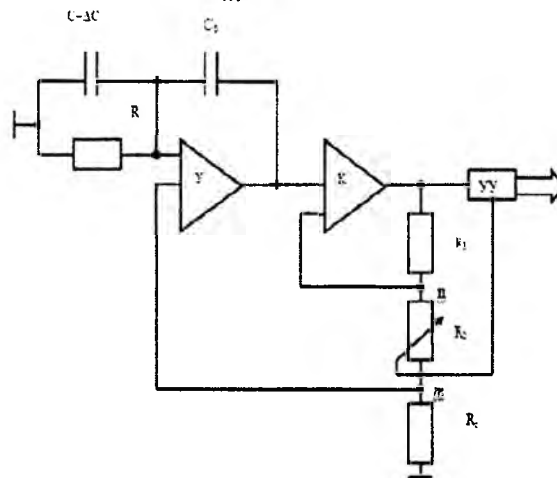


Рисунок 2 – Схема преобразователя с временным разделением каналов

Примем, что некоторое значение C есть начальное значение ёмкости датчика, которое соответствует начальному значению измеряемой физической величины. Соответствующее значению C значение периода T автоколебаний фиксируется в узле управления УУ. Пусть ёмкость датчика C вследствие изменения его входной величины получила некоторое приращение $\pm \Delta C$, так что установилось значение $C_x = C \pm \Delta C$. При прочих неизменных (в тече-

ние такта преобразования) параметрах датчика и преобразователя период колебаний электрических сигналов в схеме также изменится до некоторого значения T' , что будет зафиксировано узлом управления в виде неравенства кодов, соответствующих ненулевой разности $T - T'$. На выходе узла управления появится сигнал на изменение значения R_2 , а, соответственно, и периода колебаний в схеме. Изменение продолжится до тех пор, пока текущее значение периода не станет равным ранее запомненному значению T . Это условие осуществляется при некотором значении $R_2' = R_2 \pm \Delta R_2$, т.е. $k' = \frac{R_2'}{R_3} + 1$.

В момент равенства периодов

$$\pm \Delta C = \pm R_2 \frac{C_0}{R_3} \quad (7)$$

В уравнение (7) входит минимум параметров схемы преобразователя и датчика, что существенно снижает требования к их стабильности. Достоинством измерительного преобразователя является то, что его работа происходит в сущности на одной частоте, которая может быть выбрана так, чтобы максимально снизить требования к используемому узлам. Помехоустойчивость схемы улучшается заземлением

датчика и резистора R_3 . Для температурной компенсации в качестве C_0 может быть использован ненагруженный ёмкостный датчик, аналогичный рабочему.

В целях дальнейшего совершенствования комплекса метрологических характеристик преобразователей может быть использована «вторичная» избыточность [3]

1. Свиштунов, Б.Л. Классификация способов обеспечения инвариантности при измерении параметров электрических цепей / Б.Л. Свиштунов // Датчики и системы, №2 (45), 2003. – С.14-17.
1. Артамонов, П.И. Устройства измерения разбаланса дифференциальных датчиков с промежуточным частотно-временным преобразованием / П.И. Артамонов, Д.С. Прохоров // Вестник Самарского государственного технического университета, №2 (38), 2013. С.41-47.
2. Свиштунов, Б.Л. Организация избыточности в средствах измерений параметров электрических цепей как способ снижения методической погрешности / Б.Л. Свиштунов // Метрология. – 2005. - №9. С.32-38.

УДК 621.317.43

ДИАГНОСТИКА ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ТОРОИДАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ. ЧАСТЬ 1. МЕТОДИКА

Скурту И.Т., Брановицкий И.И.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь.*

Одной из наиболее часто встречающихся причин, вызывающих выход трансформаторов из строя, является повреждение изоляции обмоток, т.е. витковые замыкания. Независимо от того, в какой обмотке произошло замыкание, является ли оно межвитковым или межслоевым, трансформатор выходит из границ своего электрического и теплового режима работы. При этом в изоляции, от состояния которой сильно зависит срок службы изделия, накапливаются необратимые изменения, приводящие в дальнейшем к росту дополнительных потерь энергии и выходу трансформатора из строя.

Испытания изоляции обмоток являются регламентированными при контроле качества изготавливаемых трансформаторов. Наличие или отсутствие КЗ-витков определяется путем измерения нормируемой величины – тока холостого хода. Также осуществляется измерение этой, но уже ненормируемой величины при удвоенных частоте и напряжении (по отношению к номи-

нальным) на первичной обмотке. В случаях, когда минимальный диаметр провода, используемого для намотки обмоток, превышает 0.3–0.5 мм, принципиальных сложностей при оценке качества изоляции вышеуказанными или другими известными методами обычно не возникает. При использовании более тонкого провода, например, диаметром около 0.1–0.15 мм, особенно при числе витков в первичной обмотке порядка нескольких тысяч, традиционный метод не позволяет отличить дефектную обмотку от исправной. В связи с этим, для маломощной трансформаторной номенклатуры необходимо использование более чувствительных методов контроля качества обмоток.

Такой метод был разработан в Институте прикладной физики НАН Беларуси и реализован в диагностическом приборе ТВ (тестер витковый) [1]. Данный прибор в 2012 году был внедрен на участке контроля качества трансформаторов ООО «Юджэн», г. Новополоцк (данное