

УДК 621.3.084; 621.3.014.4 621.3.082.74; 620.179.14; 621.376.

**СИНХРОННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ МОСТОВОГО ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

© 2017 Д.А. Ворох, А.И. Данилин, У.В. Бояркина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 31.08.2017

В статье рассмотрена схемотехническая реализации синхронного (ключевого) детектора для выделения полезного сигнала, формируемого мостовыми схемами переменного тока, в частности мостовым вихретоковым преобразователем (ВТП). В статье рассматривается функциональная схема указанного детектора, принцип действия и приводятся временные диаграммы работы детектора. Приведено сравнение схемы синхронного детектора с классическим вариантом амплитудного детектора, отмечены достоинства и недостатки синхронного детектора для мостового ВТП. Предложены варианты развития схемотехнической реализации синхронного детектора.

*Ключевые слова:* вихретоковый, дифференциальный детектор, вихретоковый преобразователь, ключевой детектор, фазовый детектор, амплитудный детектор, переключаемые конденсаторы, сканирование по частоте.

**ВВЕДЕНИЕ**

В работах [1,2,3] рассматриваются характеристики, свойства и особенности мостовых вихретоковых преобразователей. Ранее, в работе [4] рассматривалась схема лабораторной установки для исследования частотных свойств мостового ВТП. В этой установке, в качестве детектора выходного напряжения ВТП, использовался дифференциальный амплитудный детектор [5,6].

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Наиболее простая реализация амплитудного детектора была представлена в [3], схема первого варианта детектора представлена на рис. 1.

На рис. 1, на компонентах L1-L4 собран мостовой ВПТ, причем катушки L1 и L4 индуктивно связаны, и на них воздействует объект контроля (ОК) на расстоянии  $\Delta l$ . Катушки L2 и L3 индуктивно связаны, и не взаимодействуют с ОК и являются опорными для мостовой схемы. Сигнал с выхода ВТП поступает на два амплитудных диодных детектора, построенных по классической схеме, работающих на общую нагрузку R2 и C1. Для устранения явления смещения нуля, вызванного не идентичностью характеристик катушек моста и диодов, используется резистор R1.

При кажущейся простоте схемотехническое решение, представленное на рисунке 1, обладает таким недостатком, как чувствительность

схемы к изменению температуры окружающей среды. Особенно сильно это эффект проявляется при «установке нуля» резистором R1, что приводит к разбалансу плеч детектора.

В ходе проведения экспериментального исследования было установлено, что при установке диодов с идентичными характеристиками (VD1, VD2) и их работе на аналогичную нагрузку (выбрано центральное положение движка R1), чувствительность схемы к изменению температуры окружающей среды резко снижается. В результате чего, была предложена схема, изображенная на рисунке 2. В этой схеме применены резисторы R1', с допуском 1%, и диодная матрица VD1 (содержащая идентичные диоды VD1.1 и VD1.2).

После проведения экспериментального исследования были получены следующие значения температурной нестабильности схемы детектора, отраженные в выводах.

Выводы:

1) При реализации дифференциального амплитудного детектора по схеме предложенной на рисунке 1, следует ожидать температурной нестабильности не менее  $2\text{ мВ}/\text{C}^\circ$ , при установке движка переменного резистора в пределах  $\pm 5\%$  среднего положения.

2) При реализации дифференциального амплитудного детектора по схеме предложенной на рисунке 2, следует ожидать температурной нестабильности порядка  $0,09\text{ мВ}/\text{C}^\circ$ .

3) Одной из особенностей дифференциального амплитудного детектора, является неполное использование выходного напряжения получаемого с ВТП.

Для устранения неполного использования выходного напряжения ВТП- третьего недостатка дифференциального амплитудного де-

*Ворох Дмитрий Александрович, аспирант.*

*E-mail: fallout2s@yandex.ru*

*Данилин Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники.*

*E-mail: aidan@ssau.ru*

*Бояркина Ульяна Викторовна, аспирант.*

*E-mail: uvbojarkina@yandex.ru*

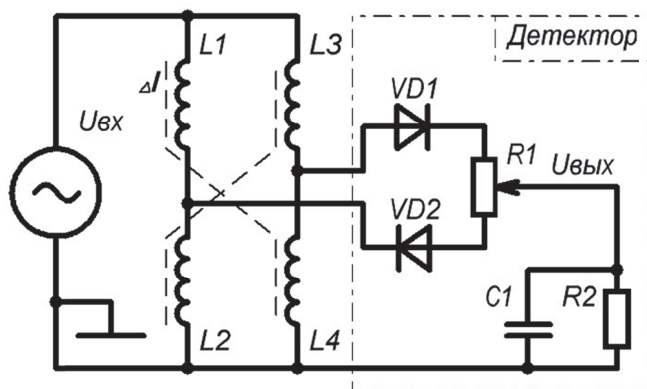


Рис. 1. Схемотехническая реализация дифференциального амплитудного детектора, вар. 1

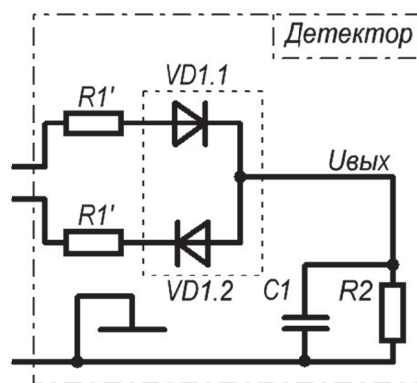


Рис. 2. Схемотехническая реализация дифференциального амплитудного детектора, вар. 2

детектора, предлагается использовать принцип синхронного детектирования. Схема ключевого (синхронного) детектора представлена на рисунке 3. Здесь на компонентах L1-L4 собран мостовой ВТП, аналогичный описанному выше. Генератор G1 вырабатывает прямоугольные импульсы заданной частоты, на двух противофазных выходах. Далее сигнал с прямого выхода генератора поступает на мостовой ВТП. Под действием объекта контроля происходит разбалансировка моста, и между выходными диагональными клеммами моста возникает разность напряжений. Сигнал с выхода ВТП поступает на 4 ключа, которые соединены в определённом порядке (см. рис. 3) и управляются автоматически от генератора G1.

Далее сигнал поступает на два фильтра низких частот Z1 и Z2. После выделения сочетаний полувольт и их фильтрации в фильтрах низкой частоты Z1 и Z2 сигнал поступает на вычитающее устройство. Так же на вычитающее устройство поступает напряжение  $U_{см}$ , которое необходимо для устранения явления смещения нуля, вызванного неидентичностью

характеристик катушек моста и другими эффектами. С выхода вычитающего устройства сигнал поступает на компоненты R2 и C1, которые предназначены для дополнительной фильтрации выходного сигнала. На рисунке 4 представлены диаграммы, поясняющие принципы работы ключевого детектора. В качестве одного из недостатков предлагаемого синхронного детектора, можно выделить зависимость выходного напряжения одновременно от фазировки и амплитудных значений информационного сигнала.

Возможным способом устранения указанного недостатка синхронного детектора, является его совместное использование с фазовым детектором, изображенным на рис. 5. Фазовый детектор построен по классической схеме, и измеряет разность фаз напряжений между плечами моста. Компараторы D1 и D2 преобразуют синусоидальное напряжение в прямоугольный сигнал. После преобразования прямоугольные сигналы с двух плеч моста поступают на элемент «исключающее ИЛИ» D3, который сравнивает сигналы без учета знака. Результат сравнения поступает

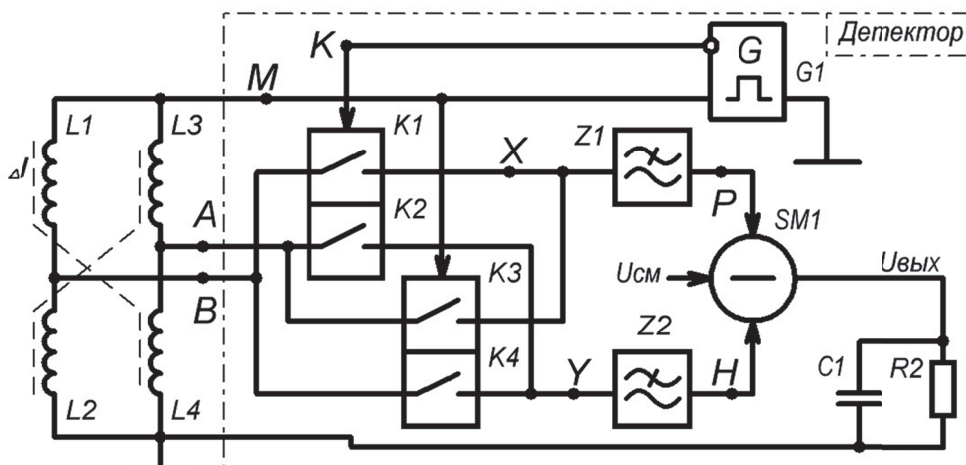


Рис. 3. Синхронный детектор для мостового ВТП

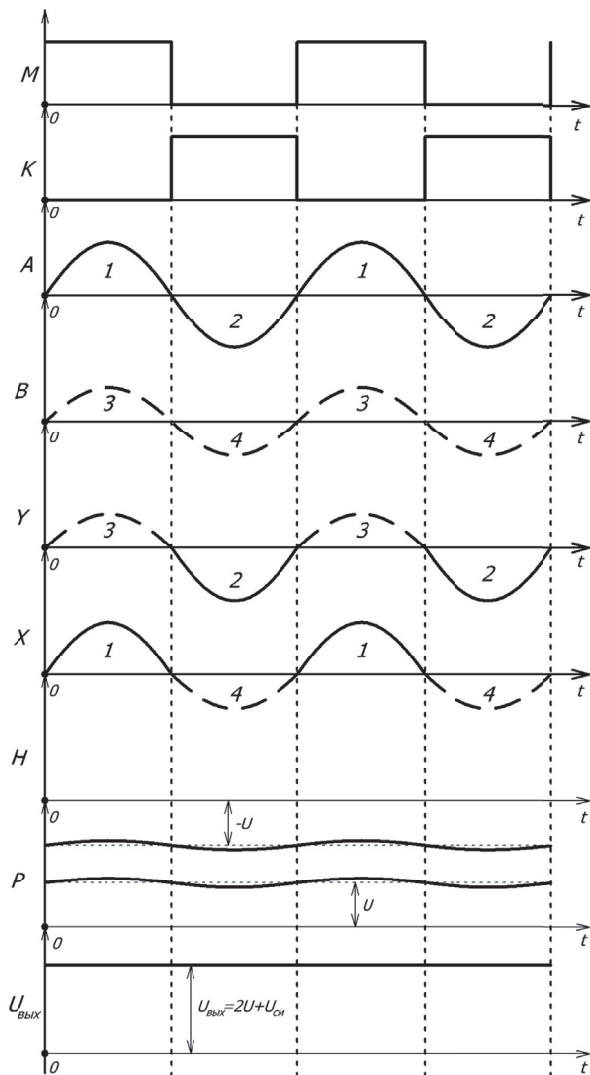


Рис. 4. Временные диаграммы, поясняющие принципы работы ключевого детектора

на ФНЧ Z1, где преобразуется в постоянное напряжение.

Следует отметить, что схемотехнически фазовый детектор реализуется добавлением одной микросхемы типа 74LV86, к существующей схеме синхронного детектора.

### ВЫВОДЫ

К достоинствам предложенной схемы следует отнести:

- 1) Полное использование амплитуды выходного сигнала ВТП;
- 2) Возможность линейного детектирования сигнала при малых амплитудах информационного сигнала;
- 3) Возможность перестройки (сканирования) в широких пределах частоты генератора G1, без изменений в схеме ключевого детектора.
- 4) Раздельное измерение фазировки и амплитудных значений информационного сигнала.

К недостаткам можно отнести: более сложную схемотехническую реализацию детектора.

В качестве дальнейшего развития предложенного способа детектирования сигналов мостовых ВТП, можно предложить использование в схеме переключаемых конденсаторов, что позволит объединить функции блоков Z1, Z2 и SM1 в одном устройстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилин А.И., Ворох Д.А. Анализ частотных характеристик мостового вихретокового преобразователя перемещения // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции (г.Самара,18-20 мая 2016 г.) Самара : ООО «Офорт», 2016. С. 77-80.
2. Мостовой вихретоковый преобразователь перемещения и его конструктивная компоновка / Я.А. Иванова, Е.А. Руденко, А.Н. Садыков, Д.А. Ворох // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции (г. Самара,18-20 мая 2016г) Самара: ООО «Офорт», 2016. С. 73-76.
3. Ворох Д.А., Иванова Я.А. Эквивалентная схема мостового вихретокового преобразователя//Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции (г.Самара,16-18мая 2017г) Самара: ООО «Офорт», 2017. С. 58-60.
4. Данилин А.И., Ворох Д.А. Мостовой вихретоковый

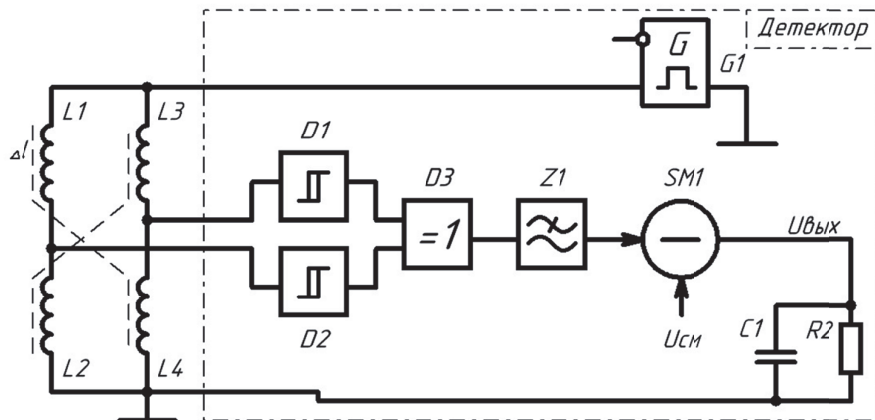


Рис. 5. Фазовый детектор для мостового ВТП

- преобразователь и анализ его экспериментальных частотных характеристик // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. №4(6). С. 1268-1271.
5. Данилин А.И., Ворох Д.А. Амплитудный детектор для мостового вихретокового преобразователя // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции (г.Самара, 16-18 мая 2017г) Самара : ООО «Офорт», 2017. С. 19-21.
6. Первичный преобразователь для реализации оптоэлектронного дискретно-фазового метода измерения деформаций лопаток турбомашин / А.И. Данилин, В.А. Медников, А.Ж. Чернявский, А.С. Капустин // Известия Самарского научного центра РАН. 2003. Т. 5, №2. С. 388-395.

## SYNCHRONOUS DETECTOR FOR BRIDGE EDDY CURRENT PROBES

© 2017 A.I. Danilin, D.A. Vorokh, U.V. Boyarkina

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

In this paper, the circuit-based realization of a synchronous (key) detector for the separation of a useful signal generated by AC bridge circuits, in particular, a bridge-based transducer (VTD) is considered. The functional diagram of the above detector, the operating principle and the time diagrams of the detector operation are considered in the article. The comparison of the synchronous detector circuit with the classical variant of the amplitude detector is shown the advantages and disadvantages of a synchronous detector for a bridge VTP are noted. The ways of further development of the circuit-based realization of the synchronous detector are proposed.

*Keywords:* eddy current, differential detector, eddy current transducer, key detector, phase detector, amplitude detector, switched capacitors, frequency scanning.

---

*Dmitry Vorokh, Graduate Student.*

*E-mail: fallout2s @ yandex.ru*

*Aleksandr Danilin, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head at the Radio Engineering Department.*

*E-mail: aidan@ssau.ru*

*Ulyana Boyarkina, Graduate Student.*

*E-mail: uvbojarkina@yandex.ru*