

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОГЕНЕРАТОРНОЙ СХЕМЫ ДЕФЕКТОСКОПА

В. В. ВОЛОДАРСКИЙ, В. К. ЖУКОВ

(Представлена объединенным научным семинаром сектора  
электромагнитных методов контроля и кафедры информационно-  
измерительной техники)

Важнейшей задачей, стоящей перед исследователями, работающими в области дефектоскопии, является повышение разрешающей способности дефектоскопов. С этой целью совершенствуются конструкции первичных вихретоковых преобразователей и схемы обработки снимаемой с них информации.

Одной из схем обработки информации вихретокового преобразователя является фазогенераторная схема (ФГС), исследуемая в данной работе. В настоящее время фазогенераторная схема (ФГС) начинает широко использоваться [1—4] благодаря высокой помехозащищенности и большой чувствительности.

Согласно [5] потенциальная помехоустойчивость в случае фазовой модуляции, что имеет место для ФГС, незначительно ниже, чем в случае частотной модуляции, и на порядок и более выше, чем для амплитудной модуляции.

Для иллюстрации высокой чувствительности ФГС можно привести следующий пример [2]. Применение ФГС для разбраковки конденсаторов позволило разбраковать конденсаторы, отличающиеся друг от друга по емкости на четырехмиллионную долю процента.

Применение ФГС для целей дефектоскопии позволяет автоматически реализовать принцип самосравнения, что является затруднительным или практически невозможным для многих способов контроля методом вихревых токов. Кроме того, схема дефектоскопа значительно упрощается.

Рассмотрим, что из себя представляет ФГС, применяемая для целей дефектоскопии.

Фазогенераторная схема (рис. 1) состоит из двух генераторов:  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  с контурами  $L_1, C_1$  и  $L_2, C_2$ , связанных через взаимную индуктивность  $M$ . Генераторы работают в режиме захватывания частот.

Сущность явления захватывания частот заключается во взаимной синхронизации двух взаимных генераторов, работающих на очень низ-

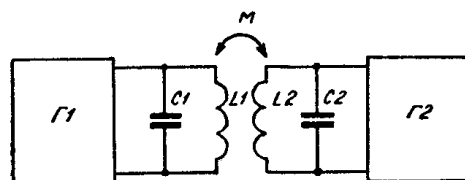


Рис. 1. Фазогенераторная схема

ких частотах, то есть благодаря наличию связи через взаимную индуктивность  $M$  и при близких частотах генераторов один генератор (например, Г1) заставляет другой (Г2) генерировать на частоте первого генератора.

При равенстве собственных частот контуров генераторов, т. е. при выполнении условия  $L_1C_1=L_2C_2$ , фазовый сдвиг между напряжениями генераторов равен нулю.

При индуктивной расстройке одного из контуров на величину  $\Delta L$  генераторы продолжают работать на одной частоте, но между их напряжениями возникает фазовый сдвиг  $\varphi$ .

Синхронизация нарушается при  $\varphi = \pm 90^\circ$ .

Чувствительность ФГС значительно изменяется в зависимости от степени связи генераторов. Причем чувствительность будет тем выше, чем меньше коэффициент связи контуров генераторов  $k = \frac{M}{\sqrt{L_1L_2}}$ .

График зависимости величины фазового сдвига для различных коэффициентов связи при асимметричной индуктивной расстройке  $\Delta L$  приведен на рис. 2, а.

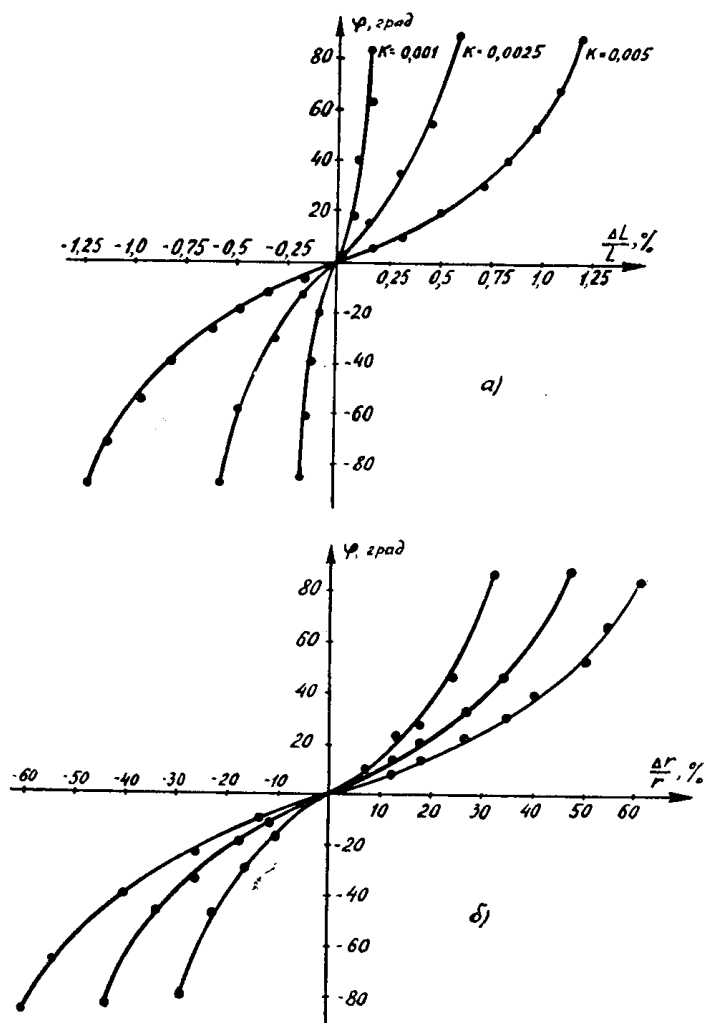


Рис. 2. Зависимость фазового сдвига от изменения индуктивности (а) и активного сопротивления (б) датчика

Кроме чувствительности ФГС к изменению индуктивности контура, наблюдается зависимость величины фазового сдвига от изменения активного сопротивления датчика.

График зависимости  $\varphi = f\left(\frac{\Delta r}{r}\right)_{k=\text{const}}$  при асимметричной расстройке генераторов приведен на рис. 2, б.

Были проведены также исследования, направленные на выяснение возможности практического применения ФГС для дефектоскопии протяженных изделий.

Цель этих экспериментальных исследований:

- 1) определение зависимости чувствительности ФГС от расстояния между датчиками и степени их экранирования;
- 2) определение оптимального расстояния между датчиками;
- 3) исследование выявляемости поверхностных дефектов заготовок турбинных лопаток с помощью фазогенераторного дефектоскопа (ФГД) с датчиками проходного типа.

Первый вопрос, который имеет большое практическое значение, является вопрос о влиянии расстояния между датчиками на чувствительность ФГД.

С увеличением расстояния между датчиками чувствительность дефектоскопа растет, так как коэффициент связи уменьшается. Но работа при больших расстояниях между датчиками нежелательна вследствие того, что при этом увеличивается влияние мешающих факторов, таких как изменение электромагнитных свойств образцов (электропроводности  $\gamma$  и магнитной проницаемости  $\mu$ ), а также изменение геометрических размеров по оси образца. При близком расположении датчиков влияние изменения  $\gamma$  и  $\mu$  на изменение фазы будет значительно меньше, так как их градиент невелик. Однако при близком расстоянии между датчиками связь между генераторами получается сильной, а следовательно, чувствительность низкой.

Для уменьшения связи и увеличения чувствительности были применены экраны. Исследовались экраны различных форм: короткозамкнутое проволочное кольцо, медные пластины, цилиндрические экраны закрытого типа.

Как показали исследования, наилучшие результаты получаются при применении цилиндрических экранов закрытого типа. Использование этих экранов позволило значительно увеличить чувствительность ФГД при расстояниях между датчиками, не превышающих его радиус. Оптимальное расстояние между датчиками, позволяющее получить высокую чувствительность и отстроиться от неоднородности электромагнитных свойств и изменения геометрических размеров по оси образца, примерно равно радиусу датчика.

Как указывалось ранее, основной целью экспериментальных исследований является исследование выявляемости поверхностных дефектов с помощью ФГД.

Для решения вопроса о выявляемости дефектов на образце были нанесены однотипные искусственные дефекты в виде отверстий различной глубины и диаметра. Этот метод оценки электромагнитной дефектоскопической аппаратуры был впервые предложен доктором Ферстером [6] и сейчас получает все большее распространение. Расстояние между дефектами выбиралось таким, чтобы исключить влияние соседних дефектов на результаты испытаний. Различные размеры дефектов позволяли выявить закономерность изменения выходных сигналов в зависимости от геометрии дефектов.

Блок-схема ФГД для контроля поверхностных дефектов заготовок турбинных лопаток представлена на рис. 3.

На блок-схеме приняты следующие обозначения элементов:

Д1, Д2 — параметрические проходные датчики, включенные в контуры генераторов;

Г1, Г2 — генераторы;

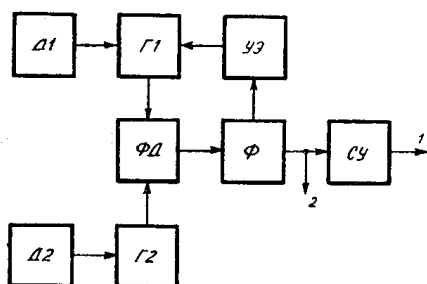


Рис. 3. Блок-схема фазогенераторного дефектоскопа

ФД — фазовый детектор;

Ф — фильтр;

УЭ — управляющий элемент для автоподстройки генераторов;

СУ — селектирующее устройство.

С выхода 1-й схемы снимались импульсные сигналы, свидетельствующие о наличии дефектов в образцах.

С выхода 2-й схемы подключался самописец КСП-4, с помощью которого осуществлялась запись сигналов от дефектов на диаграммную бумагу.

Из рассмотрения полученных диаграмм видно, что самый малый дефект испытуемых образцов глубиной 0,5 мм и диаметром 1 мм выявляется при соотношении сигнал—шум не хуже пяти, что является вполне удовлетворительным.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что ФГС обладает высокой чувствительностью к изменениям реактивного и активного сопротивлений датчика и хорошей помехозащищенностью, вследствие чего может быть рекомендована к применению в электромагнитных дефектоскопах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. С. Полулях и др. Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении. Вып. 4, Львов, Изд-во Львовского университета, 1966.
2. Klutke F. „Arch. für technisches Messen“, Januar, 1961, № 300.
3. Б. З. Михлин. Высокочастотные емкостные и индуктивные датчики. М., Госэнергоиздат, 1960.
4. К. С. Полулях. Гальванометрический усилитель с генераторным фазовым преобразователем. «Измерительная техника», 1966, № 9.
5. В. А. Котельников. Теория потенциальной помехоустойчивости. М., Госэнергоиздат, 1956.
6. Förster F. Die magnetische und elektromagnetische Sortentrennung von Strahlhalbzeug und Massenteilen, „Arch. Eisenhüttenw“, 25, 1954, 383.