

2. Рускевич Ю.Н. К вопросу о нестационарном электромагнитном поле витка над проводящей средой. В сб.: "Приборы для неразрушающего контроля изделий", вып. 2, Рижский политехнический институт, 1968.

3. Рускевич Ю.Н. Становление электромагнитного поля витка над проводящим неферромагнитным слоем. "Дефектоскопия", Свердловск, 1971, № 3, с. 29.

4. Быховский К.С. Метод расчета сопротивления витка, расположенного вблизи проводящей поверхности. В сб.: "Радиоэлектроника в народном хозяйстве СССР", вып. 2, Кушбшевский электротехнический институт связи, 1963.

5. Быховский К.С., Старобинский Н.М. Метод расчета параметров, вносимых в круговой контур проводящей поверхностью. В сб.: "Автоматические измерительные и регулирующие устройства", вып. 2, КуАИ, 1965.

6. Соболев В.С., Шкарлет К.М. Накладные и экранные датчики. "Наука", Новосибирск, 1967.

7. Брунов Б.Я., Гольденберг Л.М., Кляцкин И.Г., Цейтлин Л.А. Теория электромагнитного поля. ГЭИ, М., 1962.

Ю.С.Быховский

ГРАДУИРОВКА ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕРЕНИЯ

При измерении с помощью вихретоковых преобразователей /ВТП/ выходной сигнал можно считать линейно-зависимым от контролируемого параметра, т.е.

$$u = k z + u_1,$$

/1/

где u - выходной сигнал;
 z - контролируемый параметр;
 k - коэффициент, характеризующий чувствительность ВТП к контролируемому параметру;
 u_1 - напряжение при начальном значении контролируемого параметра.

Градуировка заключается в определении значений K и U , и производится по образцам с известными значениями контролируемого параметра. Однако ВТП чувствителен не только к контролируемому параметру, но и к целому ряду мешающих факторов. Например, при измерении толщины диэлектрических покрытий, перемещений или вибраций на выходной сигнал, кроме расстояния от датчика до проводящей поверхности, влияют еще и такие факторы, как электрофизические свойства и конфигурация контролируемого объекта, параметры окружающей среды и др. Эта особенность ВТП заставляет использовать для градуировки образцы, полностью идентичные контролируемым объектам, и применять приборы с ВТП при стабильных внешних условиях, аналогичных условиям градуировки.

В Куйбышевском авиационном институте разработано несколько устройств для измерения перемещений и вибраций, свободных от указанных недостатков.

При контроле объектов как из немагнитных материалов, так и из магнитных, независимо от конфигурации поверхности объектов и окружающих условий /температуры, влажности/, сигнал на выходе зависит только от перемещений или вибрации объекта контроля. Это достигается за счет того, что градуировка преобразователя, то есть определение чувствительности преобразователя по перемещению в условиях действия всех мешающих факторов осуществляется одновременно с процессом измерения. Градуировка производится перемещением преобразователя на известную величину относительно объекта контроля. Высокое быстроедействие и отсутствие механического контакта у ВТП с объектом контроля позволяют производить градуировку через интервалы времени, в течение которых значения мешающих факторов мало изменяются.

ВТП перемещается электромагнитом. Величина этого перемещения выбирается таким образом, чтобы суммарные значения зазора не выходили за пределы участка линейной аппроксимации $1/\lambda$.

На рис. 1 приведены зависимости выходного параметра ВТП от расстояния до проводящего объекта для катушки ВТП диаметром 15 мм. Зависимость a построена для перемещения плоской проводящей поверхности, а зависимость b - для металлического прутка диаметром 8 мм. На участке от 0 до 3 мм эти зависимости можно аппроксимировать прямыми линиями. Изменение конфигурации

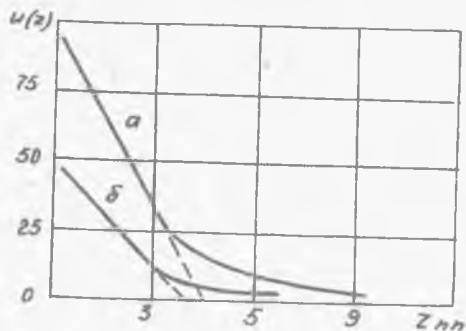


Рис. 1. Зависимости выходного параметра от расстояния до объектов различной конфигурации

/ в том числе и краевой эффект/ является сильно действующим мешающим фактором. Очевидно, мешающие факторы изменяют наклон зависимостей u / z /.

В измерительном устройстве с градуировкой преобразователя в процессе измерения формируются три сигнала.

Сигнал u_1 соответствует напряжению при исходном зазоре, а u_2 и u_3

получаются при воздействии на преобразователь контролируемого перемещения объекта z и образцового перемещения Δz . В соответствии с выражением /1/

$$u_2 = \kappa z + u_1 ; \quad /2/$$

$$u_3 = \kappa (z + \Delta z) + u_1 . \quad /3/$$

Для определения перемещения необходимо вычислительное устройство, реализующее алгоритм

$$\frac{z}{\Delta z} = \frac{u_2 - u_1}{u_3 - u_2} . \quad /4/$$

Были испытаны три устройства, действующие по описанному принципу. При эксплуатации первого устройства [1] выявились недостатки, обусловленные большой погрешностью блоков, запоминающих значения u_1 , u_2 , u_3 и осуществляющих деление аналоговых величин.

Наиболее целесообразно применение прибора для измерения амплитуд почти гармонических вибраций при длительных испытаниях в условиях, когда чувствительность ВТП меняется в широких пределах. Эти особенности эксплуатации предопределили изменения, внесенные в схему последующих разработок.

При измерении амплитуд вибраций интерес представляют только переменные составляющие сигнала, значение которых можно представить в виде

$$u_g(t) \cos \omega_g t + \Delta u \cos \omega_n t = k(t) [z(t) \cos \omega_g t + \Delta z \cos \omega_n t], \quad /5/$$

- где $u_g(t)$ - напряжение, пропорциональное закону изменения амплитуд вибрации;
 Δu - напряжение, пропорциональное перемещениям ВТП;
 ω_g и ω_n - частота вибраций и перемещений;
 $k(t)$ - чувствительность ВТП, изменяющаяся во времени из-за действия различных мешающих факторов.

Частоту перемещений всегда можно выбрать значительно отличающейся от частоты вибраций. Различие частот позволяет относительно просто выделить напряжения u_g и u_n с помощью простейших фильтров. Значения амплитуд вибраций независимо от чувствительности преобразователя получаются из выражения /5/ в виде

$$\frac{z}{\Delta z} = \frac{u_g}{\Delta u} \quad /6/$$

Чувствительность ВТП может колебаться в значительных пределах, но скорость изменений очень мала. После 15-20-минутного прогрева прибора чувствительность трансформируется по случайному закону приблизительно на 10% за час работы, если нет каких-либо резких изменений мешающих факторов. Поэтому нет необходимости непрерывно определять значения чувствительности $k(t)$ можно ограничиться измерением один раз за час работы, а также при резких изменениях мешающих факторов, например, при значительных перепадах температуры или конфигурации контролируемого изделия и т.д. Определение чувствительности сводится к определению Δu . При поддержании постоянного значения Δu будет постоянной и $k(t)$, а амплитуда вибраций прямо пропорциональна u_g . Автоматическая подстройка чувствительности оказалась нецелесообразной вследствие усложнения схемы и относительно простой ручной подстройки. Таким образом, усовершенст-

зование прибора с подстройкой градуировки в процессе измерения произошло за счет специализации /измерение только амплитуд ви-
браций/ и перехода на ручную подстройку вместо автоматической. Разделение сигналов вибраций и образцовых перемещений возможно в низкочастотной и в высокочастотной частях схемы. На рис. 2 приведена блок-схема, реализующая алгоритм /6/ с разделением сигналов в низкочастотных цепях. Вибрации контролируемого объ-
екта, воздействуя на поле ВТП, преобразуются в высокочастотный измерительный сигнал.

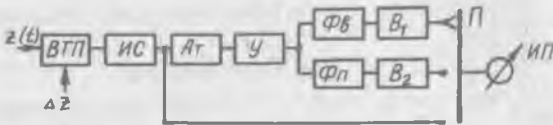


Рис. 2. Блок-схема прибора с разделением сигналов по низким частотам

В измерительной схеме ИС происходит сравнение этого сигнала с начальным уровнем и детектирование. Низкочастотный сигнал, описанный уравнением /5/, подается на attenuator АГ, в качестве которого используется обычный потенциометр с ручным управлением. Усиленный суммарный сигнал по частотному признаку делится на два с помощью пассивных фильтров. На выходе фильтра Φ_B выделяется сигнал, пропорциональный амплитуде вибраций U_B , а на выходе фильтра Φ_n - амплитуде перемещений ВТП U_n . Оба эти сигнала после выпрямления блоками B_1 и B_2 через переключатель П поступают на индикатор ИП. Как видно из описанной блок-схемы, образцовый сигнал от перемещения ВТП на Δz проходит по всем блокам, параметры которых могут изменяться под воздействием мешающих измерению факторов. Строго определенная величина сигнала от Δz поддерживается attenuатором, что обеспечивает постоянство коэффициента передачи по каналу измерения вибраций. Проверка чувствительности /постоянства К/ производится приблизительно один раз в час и при изменении режимов вибрационных испытаний. Для этого включается источник перемещения ВТП, а выходной индикатор ИП подключается к выпрямителю В. После завершения переходного процесса attenuатором

устанавливается заданное значение напряжения ΔU . Затем отключается механизм перемещений, а индикатор подключается к выпрямителю B_1 .

Недостатком описанной схемы является сложность полосового фильтра для выделения напряжения с частотой перемещений преобразователя /около 1,5 Гц/, которая в значительной степени зависит от конструкции. Пассивный фильтр на такую частоту получился очень громоздким. Схема с разделением сигналов перемещений и вибрации на высоких частотах /рис. 3/ исключает этот недостаток. Генератор Г, питающий ВТП, имеет кварцевую стабилизацию. На ВТП



Рис. 3. Блок-схема прибора с разделением сигналов по высоким частотам

воздействуют вибрации $z_g(t)$ и перемещения ΔZ . На измерительной схеме ИС образуется амплитудно-модулированное колебание. Модуляция осуществляется либо одновременно вибрациями и перемещениями при включении механизма перемещений ВТП, либо только за счет вибраций.

Эти колебания подаются на аттенуатор с ручным управлением. Для выделения образцового сигнала перемещений ΔU используется высокочастотный кварцевый фильтр $\Phi_{кв}$, настроенный на частоту несущей. Высокая добротность этого фильтра позволяет выделить напряжения несущей и боковых, обусловленных перемещениями с частотой около 1,5 Гц. Боковые, обусловленные вибрациями, занимают более широкий спектр и будут отфильтрованы $\Phi_{кв}$. Далее сигнал через переключатель P_r поступает на первый детектор D_1 . На выходе его получается переменный сигнал, пропорциональный перемещению, который, пройдя через усилитель U и второй детектор D_2 , поступает на индикатор ИП. При измерении вибрации отключается механизм перемещений ВТП, а сигнал после аттенуатора проходит через цепь ЭК, имеющую такой же коэффициент передачи, как и $\Phi_{кв}$ для сигналов перемещений. Последующие преобразо-

вания сигнала аналогичны вышеописанному прохождению сигналов перемещения. Вследствие малого влияния мешающих факторов на коэффициент передачи $\Phi_{кв}$ и ЭК можно производить подстройку коэффициента передачи в процессе измерения при действии всех мешающих факторов.

Главным недостатком описанных приборов является сложность и нестабильность механизма перемещения ВП. Точность градуировки ограничивается точностью задания образцовых перемещений. Поэтому пока целесообразно использовать проверку градуировки в процессе измерения либо при действии значительных мешающих факторов, либо при использовании нестабильных преобразователей.

Для широкого использования метода подстройки преобразователя незлектрических параметров в процессе измерения необходимо разработать устройства для введения образцовых мер незлектрической природы во взаимодействие с преобразователем в процессе измерения.

Л и т е р а т у р а

1. Быховский Ю.С. Автоматическое определение чувствительно - сти бесконтактного преобразователя перемещений и вибрации. Ж. "Известия вузов", серия "Приборостроение", т. XI, 1968, № 9, с. 21.

Г.П.Вечканов, Р.А.Вечканова

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ФАЗОМЕТР

Широко известные в настоящее время методы фазометрии и выпускаемые фазометры [1], [2] позволяют измерять разности фаз сигналов только при больших отношениях "сигнал - шум". Повышение чувствительности фазометрических приборов связано с длительным накоплением информации, существенным увеличением времени анализа, что сопровождается дрейфом нуля, флуктуацией параметров элементов схем и, следовательно, снижением точности измере-