

ЛОКАЛЬНЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ
С ПРЕРЫВИСТЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Развитие бесконтактных методов контроля вносит существенное изменение в область измерений. До последнего времени контроль деталей с прерывистыми поверхностями (ДПП) производился в основном контактными методами и индикаторными скобами с дугообразными наконечниками.

Однако высокая скорость вращения ДПП и роторов со сложной формой, подлежащих контролю, воздействие на них внешних факторов ставят задачу измерения геометрии и их перемещений бесконтактными методами.

Контроль размеров ДПП особенно актуален при разработке и доводке энергетических машин — газотурбинных двигателей, коллекторных электрических машин, а также осевых компрессоров центробежных вентиляторов.

Вихрековые преобразователи получили достаточно широкое распространение в качестве первичных преобразователей при контроле размеров ДПП [1]. Такие преобразователи обладают высокой динамической точностью; позволяют локализовать поверхность, подлежащую контролю, и имеют относительно малую чувствительность к ряду дестабилизирующих факторов, сопровождающих контроль. Кроме того, при контроле ДПП влияние такого традиционного фактора, как температура, может быть существенно снижено за счет выбора весьма малого времени измерительного цикла, в течение которого не происходит существенного изменения температурного режима в зоне установки ВТП.

Высокую точность контроля ДПП можно достичь только при условии четкой локализации электромагнитного поля ВТП в пределах, не превышающих доминирующих размеров детали. При этом исключается влияние ширины доминирующего размера на результаты контроля.

С этой целью разработаны [2], [3], [4] локальные ВТП, эффект локализации взаимодействующего электромагнитного поля в которых достигается либо микроминиатюризацией размеров преобразователей, либо концентрацией поля, взаимодействующего с ДПП. Оба метода направлены на уменьшение объема участка изделия, взаимодействующего с ВТП.

Микроминиатюризация ВТП - наиболее простой способ реализации локального вихретокового контроля ДПП. При этом уменьшают габариты катушек, магнитопроводов и экранов преобразователей, исходя из доминирующего ДПП. Такой способ локализации достаточно прост, однако применение его ограничено пределом технологических возможностей миниатюризации и снижением чувствительности таких ВТП.

Наиболее перспективным методом локализации является использование в качестве взаимодействующего с ДПП полей - потоков рассеяния и выпучивания, получаемых за счет резкого перепада магнитных сопротивлений на одном или нескольких участках замкнутого магнитопровода ВТП [3], [4]. При этом локальность возмущающего поля определяется не размерами ВТП, а размерами участка магнитопровода с повышенным магнитным сопротивлением, который может быть выполнен весьма малым.

В тороидальных ВТП перепад магнитного сопротивления осуществляется либо за счет узкой щели [2], [4], либо с помощью короткозамкнутого витка, охватывающего грани магнитопровода [3]. Для увеличения чувствительности ВТП в щель вводят дополнительные элементы, увеличивающие ее магнитное сопротивление.

При использовании локальных преобразователей для контроля ДПП распределение вихревых токов в торце измеряемого доминирующего размера определяется геометрическими размерами "ВТП-изделие", параметрами тока питания, характером возмущающего поля и электрофизическими свойствами изделия. Следовательно, точную оценку локальности ВТП можно провести, исходя из топологии распределения поля внутри контролируемого изделия. Очевидно, что это распределение наиболее распространено по поверхности доминирующего размера ДПП. На этом основании для определения зоны контроля достаточно рассчитать размеры активной (взаимодействующей с преобразователем) поверхности доминирующего размера, которые обусловлены распределением поверхностно плотности вихревых токов и потока энергии через поверхность внутрь изделия.

Через векторный в проводящем пространстве потенциал A_2 определяется плотность вихревых токов в любой точке изделия и функции распределения активной (F_{ya}) и реактивной (F_{yp}) составляющих поверхностной плотности тока по координатам, определяющие взаимодействующую с полем поверхность изделия. Функция распро-

ления потока энергии через поверхность изделия (F_p) с помощью закона Джоуля-Ленца может быть определена также через функции распределения поверхностной плотности тока

$$F_p = \int_{S_i} F_{ji}^2 dS, \quad (1)$$

где S_i - произвольная площадь на поверхности изделия под преобразователем в направлении контроля по координатам в конечных точках которых плотность вихревых токов пренебрежимо мала.

Для количественной оценки локальных свойств ВТП, необходимо определить границы площади "S" по координатам поверхности, где функции распределения поверхностной плотности тока близки к нулю или же проинтегрировать выражение (1) по координатам в направлении контроля и определить зависимость функции F_p для различных значений координат ξ_i . Предельное значение координат при которых не происходит изменение " F_p ", характеризует зону локальности ВТП.

Пользуясь функцией распределения F_{ji} можно приближенно определить зависимость точности измерения от вариации доминирующих размеров контролируемого изделия. Погрешность измерения обусловленная конечными размерами изделия, определится как

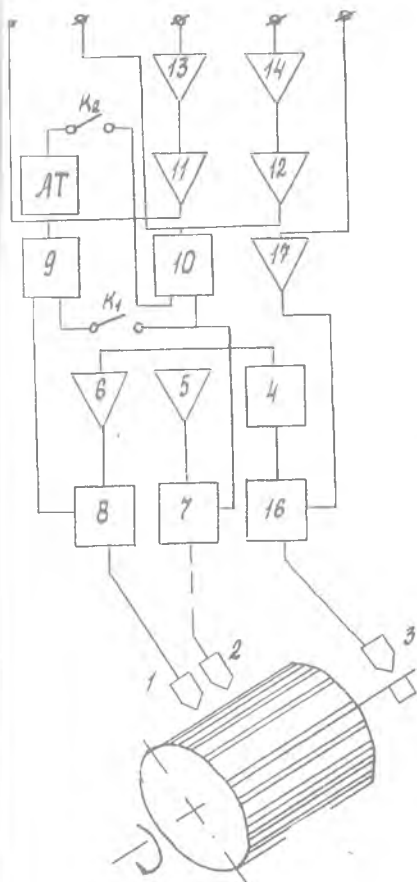
$$\gamma = \frac{F_{p\infty} - F_{pi}}{F_{p\infty}} 100\%, \quad (2)$$

где $F_{p\infty} = \int_S F_{ji}^2 dS$ - функция распределения потока энергии через проводящее полупространство;

$F_{pi} = \int_{S_i} F_{ji}^2 dS_i$ - функция распределения потока энергии через ограниченную поверхность контролируемого изделия, которая вычисляется через вектор-потенциал (\vec{A}_2) интегрированием по поверхности изделия (S_i).

Таким образом, используя решение внешних краевых задач для тел конечных размеров, можно через \vec{A}_2 определить локальность ВТП и погрешность измерения при контроле ДПП.

Разработанные локальные ВТП [2, 3, 4] были использованы при реализации ряда приборов применительно к конкретным задачам контроля. На рис. 1 приведена блок-схема устройства для контроля



Р и с. I.

циллографов, а регистрация - записью шлейфовым осциллографом.

Для измерения профиля ДПП включается ключ K_1 . При этом на второй вход 9 подаются импульсы противоположной на первом входе полярности, амплитуды которых обусловлены зазорами между ВТП и доминирующими размерами. В результате алгебраического сложения в 9 на выход поступают импульсы, амплитуды которых характеризуют профиль ДПП. Эти импульсы усиливаются И1 и И3.

профиля ДПП и биения ее поверхности. Устройство включает два идентичных измерительных канала с ВТП 1 и 2 и канала синхронизации с преобразователем 3.

Высокочастотный генератор 4 через усилители 5 и 6 и измерительные схемы 7 и 8 каналов питает ВТП.

Измерительные схемы 5 и 6 включают в себя параллельные резонансные контуры, каждый из которых образован индуктивностью ВТП и емкостью его соединительного кабеля, и диодно-выпрямительные схемы. Измерительные контуры настраиваются в резонанс с частотой, близкой к частоте генератора.

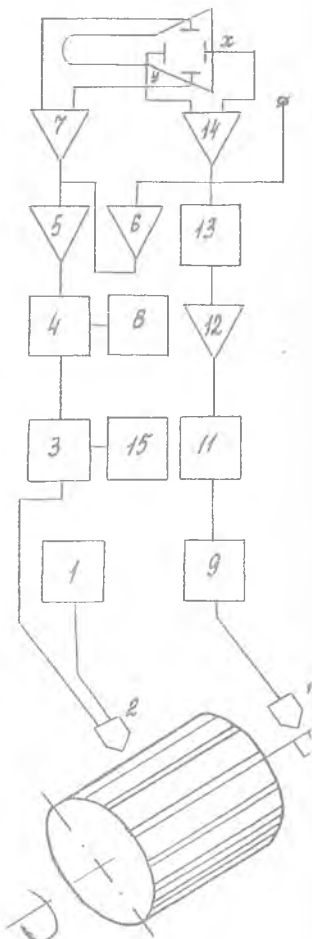
Импульсы, амплитуды которых определяются зазорами между доминирующими размерами ДПП и ВТП, с измерительных схем поступают на один из входов суммирующих усилителей 9 и 10. Затем они усиливаются по напряжению усилителями низкой частоты И1, И2, и по току - шлейфовыми усилителями И3, И4. Наблюдение результатов измерения производится на экранах электронных осциллографов, а регистрация - записью шлейфовым осциллографом.

Для измерения биения поверхности ДПП без учета ее профиля при включенном ключе K_1 , включается ключ K_2 . Импульсы, характеризующие профиль ДПП, с выхода 9 через аттенюатор I5 поступают на второй вход ИО. Результатом измерения являются импульсы, подаваемые на электронный и шлейфовый осциллографы, огибающая которых характеризует биение контролируемой детали без учета ее профиля по выступающим доминирующим разме-

рам. Для их фиксации на осциллограмме служит канал синхронизации, содержащий ВТП 3, измерительную схему I6 и усилитель синхроимпульсов I7, аналогичные соответствующим элементам измерительных каналов.

На рис. 2 приведена блок-схема устройства для контроля профиля ДПП с помощью дифференциального ВТП.

Устройство состоит из нескольких функциональных блоков, схемы которых обусловлены принятым методом измерения, способом наблюдения и регистрации осциллограмм профиля коллектора. Генератор высокой частоты I питает токовую катушку дифференциального ВТП (2). Напряжения на его измерительных катушках измеряются и вычитаются измерительной схемой 3 и в виде импульсов через аттенюатор 4 подаются на усилитель 5. Усиленные по амплитуде импульсы, характеризующие профиль измеряемой детали, поступают на шлейфовый усилитель 6 и на усилитель 7 вертикального отклонения луча "У" электронно-лучевого индикатора. Схема градуировки 8 позволяет осуществлять градуировку устройства в статическом и динамических режимах контроля.



Р и с. 2.

Генератор высокой частоты 9 питает ВТП синхронизации 10. Импульс синхронизации демодулируется измерительной схемой 11, проходит усилитель импульса 12 и поступает на запуск генератора развертки 13. пилообразное напряжение с развертки 13 усиливается усилителем горизонтального отклонения луча 14. С помощью блока контроля 15 осуществляется проверка схемы устройства путем наблюдения на экране ЭЛИ прохождения калиброванных по амплитуде импульсов.

В зависимости от конкретных задач контроля и геометрии ДПП применялось одно из описанных выше устройств.

Устройство (рис. 1) использовалось для одновременного контроля и регистрации общего биения, профиля и биения поверхности коллекторов электрических машин. Устройство (рис. 2) с дифференциальным ВТП позволяет контролировать с высокой точностью размеры ДПП с фиксированным шагом по доминирующим размерам. Наиболее эффективно его использование при контроле однотипных деталей, поскольку при этом требуется набор идентичных ВТП, отличающихся разными расстояниями между их щелями.

Разработанные устройства успешно используются при исследовании и доводке новых энергетических машин - коллекторных электрических двигателей и газотурбинных установок.

Л и т е р а т у р а

1. Денисов В.А., Шатерников В.Е.
Некоторые способы измерения перемещений и геометрии тел прерывистой формы локальными вихретоковыми преобразователями. Автоматические измерительные и регистрирующие устройства. Вып. 6, Куйбышев, 1971.
2. Денисов В.А., Шатерников В.Е.
Бесконтактный профилометр для контроля микрогеометрии коллекторов электрических машин.
А. с. №230951, БНТЗ №35, 1968.
3. Денисов В.А., Шатерников В.Е.
Токовихревой датчик. А.с. № 249723, БНТЗ № 25, 1969.

4. Д е н и с о в В.А., Ш а т е р н и к о в В.Е.
Токовихревой датчик для контроля металлических
поверхностей. А.с. № 256288 БНТЗ № 34, 1969.