

Таким образом, проведенные исследования показали, что датчик, изготовленный из $InSb$ р-типа не уступает по основным показателям существующим полупроводниковым датчикам, но прост в изготовлении и конструктивном оформлении, благодаря чему может найти применение в измерительной технике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. М.-Л., 1953.
2. Температура и ее измерение. Изд. «Иностранная литература», 1960.
3. Маделунг О. Физика полупроводниковых соединений элементов III и V групп. М., 1967.
4. Weiss H. «Solid State Phys. Electronand Telecommuns», vol2. 1960.
5. Церих Ф. А. Научные труды ВНИЭСХ, 1964, № 3.

В. А. ДЕНИСОВ, А. В. ПОЛУЛЕХ, В. А. ШАРКОВ

ПОГРЕШНОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В последнее время в области электромагнитного контроля широкое распространение получили вихретоковые преобразователи (ВТП). В общем случае выходные характеристики ВТП имеют нелинейную зависимость от контролируемых параметров, что позволяет отнести их к классу нелинейных измерительных преобразователей.

Точность ВТП зависит от электрофизических параметров контролируемого объекта, геометрических размеров как самого объекта, так и ВТП, их относительного положения, частоты питания и т. д. Указанные факторы могут изменяться в широком диапазоне при контроле различных объектов. Анализ вопроса точности ВТП посвящен ряд работ [1, 2], в которых контролируемый объект представлялся в виде проводящего полупространства. На практике часто встречаются случаи, когда исследуемый объект имеет прерывистую или профилированную форму поверхности. Представляет интерес исследование погрешностей ВТП в этом случае. Применение оптимальных конструкций ВТП, а также использование некоторых принципов отстройки от мешающих воздействий позволяют обеспечить достаточную для практических задач точность контроля. Например, подавление воздействий низкочастотных вибраций можно произвести, используя в измерительных схемах фильтры с заданной полосой пропусканий. Измерение профиля тел прерывистой формы (ТПФ) независимо от биений и вибраций может осуществляться дифференциальными ВТП.

На основании проведенного обзора работ, посвященных расчету накладных ВТП, можно сделать вывод, что применительно

к контролю перемещений аналитическое исследование может быть выполнено на основе решения одной из двух задач:

1) внешней краевой задачи для ВТП над проводящим телом ограниченных размеров;

2) внешней краевой задачи для ВТП с локальной зоной контроля над проводящим полупространством с целью определения размеров взаимодействующей поверхности и выходных характеристик преобразователя.

Результаты решения первой задачи важны при использовании ВТП для контроля изделий без подавления влияния их размеров и геометрий.

Результаты решения краевой задачи второго типа позволяют установить наиболее эффективные области применения ВТП при контроле перемещений изделий с исключением влияния их размеров на выходные параметры и произвести синтез ВТП с локальной зоной контроля. Решение этой задачи необходимо для контроля перемещений и геометрических параметров изделий со сложными поверхностями, а также с поверхностями прерывистой формы при небольших расстояниях между контролируемыми участками. Приближенные методы расчета позволяют определить погрешность ВТП, обусловленную геометрией изделия. В общем случае погрешность ВТП по активному и реактивному сопротивлению оценивается через абсолютные

$$A_i = \frac{\partial X}{\partial q_i} \quad (1)$$

и относительные коэффициенты влияния

$$B_i = \frac{\partial X}{\partial q_i} \frac{q_i}{X}, \quad (2)$$

где X — выходной параметр ВТП, q_i — влияющие на него факторы.

Для проводникового ВТП, расположенного над ограниченной с двух сторон проводящей ферромагнитной поверхностью, величина вносимого реактивного сопротивления определяется выражением [3]

$$X = \frac{\omega \mu_0 l}{\pi} \left(\frac{\pi}{\sqrt{2} k 2b \operatorname{sh} \frac{\pi y_0}{2b}} - \ln \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi r_0}{2b}}{2 \operatorname{sh} \frac{\pi y_0}{2b} + \operatorname{sh} \frac{\pi r_0}{2b}} \right), \quad (3)$$

где ω — частота питания, μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, $2b$ — ширина поверхности, l — длина провода ВТП, r_0 — его радиус, y_0 — контролируемое перемещение, $k = \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}$, μ_2 и σ_2 — магнитная проницаемость и проводимость контролируемой поверхности. На основании (3) нетрудно получить коэффициенты влияния ширины поверхности.

$$A_b^x = \frac{\omega \mu_0 l \left(y_0 \operatorname{ch} \frac{\pi y_0}{2\delta} \operatorname{sh} \frac{\pi r_0}{2b} - r_0 \operatorname{ch} \frac{\pi r_0}{2b} \operatorname{sh} \frac{\pi y_0}{2b} \right)}{4b^2 \operatorname{sh} \frac{\pi y_0}{2b}} +$$

$$+ \frac{\omega \mu_0 l \left(y_0 \operatorname{ch} \frac{\pi y_0}{2b} - 2b \operatorname{sh} \frac{\pi y_0}{2b} \right)}{\sqrt{2} kb^2 8 \operatorname{sh} \frac{\pi y_0}{2b}}. \quad (4)$$

Абсолютные и относительные погрешности ВТП по реактивному сопротивлению определяются из выражений

$$\Delta X = \sum_{i=1}^n A x_i \Delta g_i; \quad (5)$$

$$Y_x = \frac{\Delta X}{X} = \sum_{i=1}^n B_{xi} \frac{\Delta g_i}{g_i}. \quad (6)$$

Перспективным методом контроля ТПФ является создание ВТП с локальной зоной контроля. Наиболее просто такой метод реализуется с помощью щелевых вихретоковых преобразователей перемещений (ЩВП). Наличие узколокальной зоны контроля у ЩВП, позволяющей отстраиваться от геометрии контролируемой поверхности, обуславливает их широкое применение для контроля ТПФ. Локальные свойства ЩВП, определяемые через размеры взаимодействующей (активной) поверхности изделия, являются функциями обобщенных параметров

$$\rho = \delta \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}, \quad n_0 = x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2},$$

где 2δ — ширина щели;

μ_2, σ_2 — электрофизические параметры активной поверхности;

x_0 — величина перемещения.

Допустимая погрешность измерения за счет вариации размеров активной поверхности может быть представлена равенством

$$\gamma = \frac{\int_0^{\infty} F_j^2 dm - \int_0^m F_j^2 dm}{\int_0^{\infty} F_j^2 dm} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где F_j — функция распределения потока энергии через поверхность, определяющая размеры активной поверхности.

Для ЩВП величина вносимого реактивного сопротивления определяется выражением [4]

$$X_n = \frac{\omega \mu_1 l}{2\pi} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{n_0}{p} \right)^2 \ln \left(\frac{n_0}{p} \right)^2 - \left[\left(\frac{n_0}{p} \right)^2 - 1 \right] \times \right. \quad (8)$$

$$\times \ln \sqrt{1 + \left(\frac{n_0}{p}\right)^2} + 2 \frac{n_0}{p} \operatorname{arctg} \frac{p}{n_0} \left\{ + \right. \\ \left. + \frac{\sqrt{2} \omega \mu_1 l}{\pi} \frac{0,1 + n_0}{p^2} \left(\frac{p}{0,1 + n_0} \operatorname{arctg} \frac{p}{0,1 + n_0} - \frac{1}{2} \ln \left[1 + \left(\frac{p}{0,1 + n_0} \right)^2 \right] \right) \right\},$$

где μ_1 — магнитная проницаемость магнитопровода. Воспользовавшись (1) и (2), получим коэффициенты влияния электрофизических параметров μ_2 и σ_2 на погрешности измерения ЦВП

$$A_{\mu_2}^x = \frac{0,1 + 0,5x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}}{\mu_2 (0,1 + 0,5x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2})} X_{\mu_2} + \\ + \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\mu_1 l}{\pi \mu_2 \delta} \frac{0,1 \sqrt{\frac{\omega}{\mu_2 \sigma_2}}}{0,1 + x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}} \operatorname{arctg} \frac{\delta \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}}{1 + x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}}; \quad (9)$$

$$A_{\sigma_2}^x = \frac{0,1 + 0,5x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}}{\sigma_2 (0,1 + x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2})} X_{\sigma_2} + \\ + \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\mu_1 l}{\sigma_2 \delta} \frac{0,1 \sqrt{\frac{\omega}{\mu_2 \sigma_2}}}{0,1 + x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}} \operatorname{arctg} \frac{\delta \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}}{0,1 + x_0 \sqrt{\omega \mu_2 \sigma_2}}. \quad (10)$$

На основании вышеизложенного сделаем выводы:

При контроле ТПФ с использованием ВТП точность измерения можно повысить двумя способами: учетом влияния геометрии ТПФ, применяя численные методы расчета; подавлением влияния геометрии контролируемого изделия путем применения ВТП с узлокальной зоной контроля типа ЦВП. В первом случае учет всех факторов, влияющих на точность измерения, затрудняется из-за сложности решения внешней краевой задачи, в связи с чем метод может применяться для ТПФ, имеющих простую геометрию. Погрешность измерения в этом случае определяется по формулам (5) и (6). Щелевые вихретоковые преобразователи позволяют исключить влияние на точность измерения сложной геометрии изделия и могут применяться для контроля ТПФ при широкой вариации их размеров. Погрешность в этом случае в основном определяется электрофизическими параметрами контролируемого объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев В. С. Шкарлет Ю. М. Накладные и экранные датчики. Изд. «Наука», Новосибирск, 1967.
2. Дорофеев А. Л. Электроиндуктивная дефектоскопия. «Машиностроение», М., 1967.
3. Денисов В. А., Шатерников В. Е. Расчет параметров проводникового вихретокового датчика. Автоматические измерительные и регули-

рующие устройства». Научные труды вузов Поволжья, вып. V, Куйбышев, 1970.

4. Денисов В. А., Шатерников В. Е. Метод расчета локального электромагнитного поля, щелевого токовихревого датчика. «Автоматические измерительные и регулирующие устройства». Научные труды вузов Поволжья, вып. V. Куйбышев, 1970.

А. А. РОТ, Б. И. ШХИНЕК, М. И. КАРАКОЗ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖЭЛЕКТРОДНЫХ ЕМКОСТЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОМЕТРА С УЧЕТОМ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ

Для измерения ЭДС источников с большим внутренним сопротивлением, малых токов, зарядов, сверхбольших сопротивлений в настоящее время широко применяются электрометрические преобразователи с электростатическими измерительными механизмами — электрометрами, выполняющими функции чувствительного элемента [1, 2].

Повышение точности электрометрических преобразователей в первую очередь связано с уменьшением погрешностей электрометра, которые зависят от его конструктивных параметров. Одной из важнейших задач является определение изменения межэлектродных емкостей электрометра при различном взаимном расположении подвижного и неподвижных электродов. Такая задача решалась рядом авторов, однако при определении емкостей и расчете электростатических полей не учитывалось

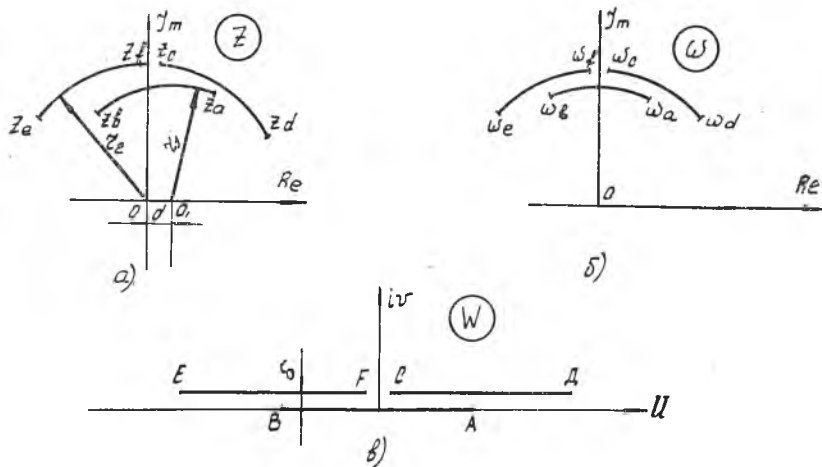


Рис. 1. Отображение дуг некоцентрических окружностей в отрезки прямых