

При $\delta_1 = \delta_2$ из (5) и (8) следует

$$T' = \frac{20 T}{\pi}. \quad (9)$$

Проведенный анализ показывает, что применение предложенного метода измерения оценки корреляционной функции, несмотря на некоторое увеличение интервала интегрирования, оправдано благодаря существенному упрощению аппаратуры по сравнению с многоканальными коррелометрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Winkler. Ein Simultan — Korrelator. — Elektronische Rundschau, 1963, № 4.
2. Г. Я. Мирский. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. М. — Л., «Энергия», 1967.

Поступило в редакцию
8 апреля 1969 г.,
окончательный вариант —
24 декабря 1969 г.

УДК 621.3.011.3

Н. Н. КАРИМОВ

(Подольск)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ НЕМАГНИТНОЙ ПОДЛОЖКИ НА ИНДУКТИВНОСТЬ ДАТЧИКА С ПЛОСКОЙ ОДНОСЛОЙНОЙ НАМОТКОЙ

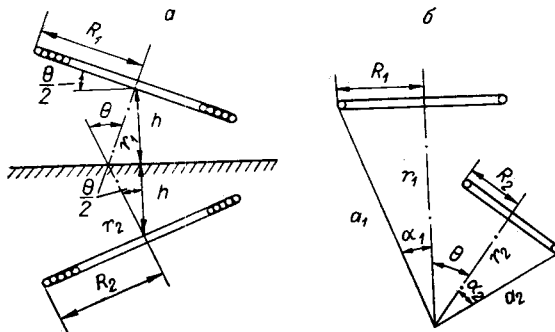
Вопросу влияния непараллельности на индуктивность плоского датчика до настоящего времени уделялось мало внимания.

Необходимость такого анализа вытекает из специфики применения индуктивного датчика с плоской намоткой для бесконтактного контроля толщины диэлектрических покрытий на металлической подложке. Приведенные в [1] экспериментальные кривые

для цилиндрического датчика с ферритовым сердечником не могут быть применены для индуктивного датчика с плоской намоткой. Ниже приводится анализ влияния непараллельности металлической подложки на индуктивность датчика с плоской однослойной намоткой, причем предполагается, что h — расстояние между датчиком и поверхностью металлической подложки, — остается неизменным для различных углов θ (см. рисунок, а).

Зависимость индуктивности плоского накладного датчика от угла θ (см. рисунок) можно получить, используя метод зеркальных отображений и приведенные в [2] формулы для расчета взаимной индуктивности

круговых контуров, оси которых пересекаются в произвольной точке (см. рисунок, б). Эти формулы выведены для расчета контуров (витков), а не катушек. Однако, пользуясь методом эквивалентных круговых контуров или методом ряда Тейлора [2], можно с их помощью рассчитать взаимную индуктивность катушек. Сущность метода заключается в том, что для расчета взаимной индуктивности каждая катушка заменяется несколькими эквивалентными круговыми контурами, диаметр и положение которых определяются так, чтобы при соответствующей магнитодвижущей силе, т. е. при



соответствующем токе и числе витков, эти контуры создавали бы приблизительно такое же магнитное поле, как и катушка.

В рассматриваемом случае, при зеркальном отображении (см. рисунок, а), т. е. когда обе плоские катушки имеют одинаковый внешний и внутренний диаметр, общее выражение для расчета взаимной индуктивности M по методу ряда Тейлора будет иметь вид

$$M = \frac{\omega^3}{3} (M_{Q1} + M_{Q3} + M_{PQ}), \quad (1)$$

где ω — число витков катушки; M_{Q1} — взаимная индуктивность центрального витка первой катушки с наружным витком второй катушки; M_{Q3} — взаимная индуктивность центрального витка первой катушки с внутренним витком второй катушки; M_{PQ} — взаимные индуктивности центральных витков обеих катушек.

Подставив в (1) значения M_{Q1} , M_{Q3} , M_{PQ} , определенные по формуле для круговых контуров с произвольно пересекающимися осями, получим выражение зависимости M от угла наклона Θ . Формулу, описывающую взаимную индуктивность круговых контуров с пересекающимися осями [2] (см. рисунок, б), удобно привести применительно к рассматриваемому случаю (см. рисунок, а) к виду ($\Theta > 90^\circ$)

$$M = - \frac{\pi \mu_0 R_1^2 R_2^2}{a_1^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left(- \frac{a_2}{a_1} \right)^{n-1} \frac{P_n(\nu) P'_n(\eta_1) P'_n(\eta_2)}{n(n+1)}, \quad (2)$$

где μ_0 — магнитная проницаемость вакуума; R_1 и R_2 — радиус первого и второго контуров;

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \sqrt{R_1^2 + r_1^2}; \\ a_2 &= \sqrt{R_2^2 + r_2^2}; \end{aligned} \right\} \text{— геометрический параметр (см. рисунок, б);}$$

$\nu = \cos\Theta$; $\eta_1 = \frac{r_1}{a_1}$; $\eta_2 = \frac{r_2}{a_2}$; Θ — угол между осями контуров; $P_n(\nu)$, $P_n(\eta_1)$, $P_n(\eta_2)$ — полиномы Лежандра; $P'_n(\eta_1)$, $P'_n(\eta_2)$ — производные от полиномов Лежандра по их аргументам. Значения $P_n(\nu)$, $P'_n(\eta_1)$, $P'_n(\eta_2)$ могут быть найдены по таблицам и формулам из [2].

При малых углах Θ порядка нескольких градусов расстояния a_1 , a_2 (см. рисунок, б), а следовательно, и коэффициенты η_1 и η_2 можно считать практически постоянными. Это дает возможность, пользуясь формулой (2), вывести выражение, показывающее, как изменяется взаимная индуктивность катушек при различных значениях угла Θ . Приращение ΔM взаимной индуктивности двух круговых контуров от угла Θ можно записать

$$\Delta M = M(\Theta) - M(0^\circ), \quad (3)$$

где $M(\Theta)$ — взаимная индуктивность круговых контуров при угле Θ ; $M(0^\circ)$ — взаимная индуктивность круговых контуров при $\Theta = 0^\circ$, т. е. когда плоскости круговых контуров параллельны и коаксиальны. Если в (3) подставить (2) при двух значениях ν , т. е. для $\nu = \cos\Theta$ и $\nu = 1$, когда $\Theta = 0^\circ$, то после соответствующих преобразований формула примет вид

$$\Delta M = - \frac{\pi \mu_0 R_1^2 R_2^2}{a_1^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left(- \frac{a_2}{a_1} \right)^{n-1} \frac{[P_n(\nu) - P_n(1)] P'_n(\eta_1) P'_n(\eta_2)}{n(n+1)}. \quad (4)$$

Разлагая в ряд Тейлора $P_n(\nu)$ и $\cos\Theta$ и пренебрегая членами с Θ^4 и более ввиду их малости (для $\Theta < 10^\circ$), после соответствующих преобразований в выражении (4) можно получить окончательный вариант формулы для расчета при малых углах ($\Theta < 10^\circ$):

$$\Delta M = \frac{\pi \mu_0 R_1^2 R_2^2}{2 a_1^3} \Theta^2 \sum_{n=1}^{\infty} \left(- \frac{a_2}{a_1} \right)^{n-1} \frac{P'_n(1) P'_n(\eta_1) P'_n(\eta_2)}{n(n+1)}. \quad (5)$$

Проиллюстрируем на числовом примере зависимость ΔM от угла Θ для плоской катушки индуктивности, которая имеет следующие данные: средний радиус $R_{cp} = 10 \cdot 10^{-3}$ м; ширину намотки $t = 1,7 \cdot 10^{-3}$ м; число витков $\omega = 15$; расстояние до

проводящей поверхности $h=2 \cdot 10^{-3}$ м. Согласно выражению (1), нужно найти три значения ΔM , т. е. ΔM_{Q1} , ΔM_{Q3} и ΔM_{PQ} . Эти значения (для соответствующих радиусов) находим по формуле (5). Вычисленные значения ΔM в функции от угла перекоса Θ занесены в таблицу.

Θ° , град	Θ , рад	Θ^2 , рад	ΔM , гн	ΔM , мкгн
1	0,0175	0,0003	$0,01 \cdot 10^{-7}$	0,001
3	0,0524	0,0027	$0,0956 \cdot 10^{-7}$	0,00956
5	0,0873	0,0076	$0,269 \cdot 10^{-7}$	0,0269
7	0,122	0,0148	$0,524 \cdot 10^{-7}$	0,0524
9	0,1571	0,0246	$0,871 \cdot 10^{-7}$	0,0871

Как видно из таблицы, приращение индуктивности катушки (при изменении угла Θ от 0 до 9°) очень незначительное, и поэтому на практике им можно пренебречь.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Ключев, В. М. Карпов. О методах измерений вибраций с помощью вихревых токов.— Приборостроение, 1964, № 9.
2. П. Л. Калантаров, Л. А. Цейтлин. Расчет индуктивностей. М.—Л., Госэнергониздат, 1955.

Поступило в редакцию
13 марта 1969 г.,
окончательный вариант —
29 сентября 1970 г.

УДК 621.3.008

М. М. МАЛЬГУН

(Челябинск)

ВЛИЯНИЕ ВХОДНОЙ ЦЕПИ УСИЛИТЕЛЯ ПЬЕЗОТОКОВ НА ПОГРЕШНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ УСКОРЕНИЙ

По вопросам точности измерения импульсных ускорений имеется много работ, но подавляющее их большинство посвящено рассмотрению «коротких»* ударов [1—3 и др.]; оценивается влияние собственных частот датчиков, гальванометров, степени их успокоения и т. п. Искажения «длинных» ударов почти не рассматривались, так как считалось целесообразным [4] для их регистрации применять аппаратуру на несущей частоте, принципиальные погрешности которой давно изучены.

* Здесь и ниже «коротким» («длинным») считается такой импульс ускорения, при оценке передачи которого не надо (надо) учитывать влияние постоянной времени входной цепи усилителя пьезотоков.