

РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОМПОНЕНТОВ СИГНАЛОВ ТРЕХПАРАМЕТРОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Себко В.П., д.т.н., проф., Филоненко Д.В., Ноздрачева Е.Л.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", каф. "Приборы и методы неразрушающего контроля" тел. (0572) 70-76-380, факс (0572) 70-76-602, e-mail: sebko@kpi.kharkov.ua.

Проведено розрахунок двухчастотного контактного электромагнитного преобразователя на основе использования экстремума похідної нормованої внутрішньої індуктивності прямолинійного стержня. Запропоновано алгоритм спільного визначення двох значень опорів і індуктивностей, що відповідають частотам зміни магнітного струму при екстремумі й будь-якій іншій частоті.

Проведен расчет двухчастотного контактного электромагнитного преобразователя на основе использования экстремума производной нормированной внутренней индуктивности прямолинейного стержня. Предложен алгоритм совместного определения двух значений сопротивлений и индуктивностей, соответствующих частотам изменения магнитного тока при экстремуме и любой другой частоте.

Рассмотрена методика расчета ожидаемых значений сигналов контактного двухчастотного электромагнитного преобразователя на основе использования экстремума чувствительности нормированной внутренней индуктивности L_{in} т.е. dL_{in}/dx (где dL_{in} – дифференциал L_{in} , dx – дифференциал обобщенного параметра x [1, 2])

$$x = a \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \sigma \cdot f}, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; a – радиус изделия, μ_r – относительная магнитная проницаемость, σ – удельная электропроводность; f – частота тока.

График зависимостей нормированных сопротивлений R_n и индуктивности L_{in} от x приведены в [1] (рис. 1, 2).

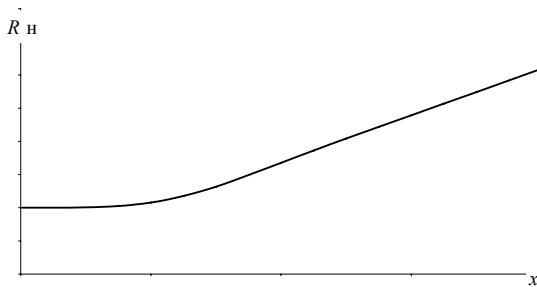


Рис. 1. Зависимость R_n от x

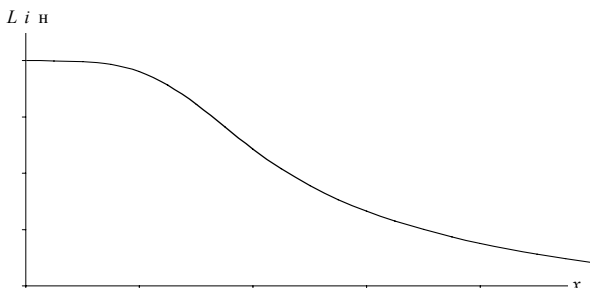


Рис. 2. Зависимость L_{in} от x

График зависимости dL_{in}/dx от x , где это производные L_{in} по x (рис. 3). Из этого рисунка видно, что

максимум кривой наступает при $x = 3,44$, а второе значение x возьмем равное 6.

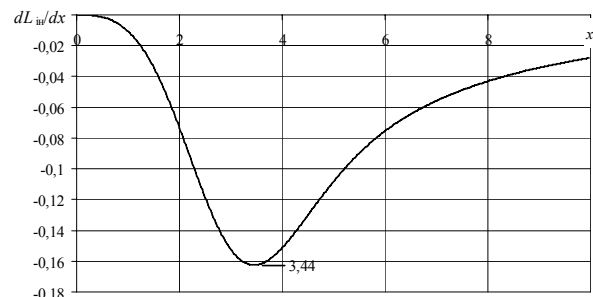


Рис. 3. График зависимости dL_{in}/dx от x

По зависимостям рис. 1 и 2 найдем для $x_1 = 3,44$ и $x_2 = 6$ значения R_{1n} , R_{2n} и L_{1in} , L_{2in} . Значение сопротивления R найдем по формуле

$$R = R_0 \cdot R_n, \quad (2)$$

где R_0 – сопротивление стержня постоянному току, равное

$$R_0 = \frac{l}{\sigma \cdot S}, \quad (3)$$

где l , S – длина и площадь поперечного сечения стержня

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (4)$$

Тогда из (2) и (3) найдем сопротивление стержня для $x_1 = 3,44$ и $x_2 = 6$, т.е. R_1 , R_2 .

Значение внутренней индуктивности найдем из соотношения

$$L_i = L_{in} \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot l}{8 \cdot \pi}. \quad (5)$$

Таким образом найдем L_{i1} , L_{i2} при каждом $x_1 = 3,44$ и $x_2 = 6$. После этого находим полные индуктивности стержня из суммы L_i и L_e (где L_e – внешняя индуктивность [3])

$$L_e = \frac{\mu_0 \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\ln \frac{2l}{a} - 1 + \frac{4a}{\pi \cdot l} - \frac{a^2}{l^2} \right), \quad (6)$$

тогда

$$L = L_i + L_e. \quad (7)$$

Из (6) и (7) найдем L_1, L_2 . Далее находим частоты f_1 и f_2 при $x_1 = 3,44$ и $x_2 = 6$ из формулы (1). При этом

$$f = \frac{x^2}{2 \cdot \pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \sigma \cdot a^2}. \quad (8)$$

Приведем конкретный пример расчета. По известным данным цилиндрического изделия (табл. 1) таким как радиус a , длина l , относительная магнитная проницаемость μ_r , удельная электропроводность σ рассчитываем ожидаемые значения компонентов сигналов преобразователя, решим так называемую прямую задачу.

Таблица 1

Исходные данные

x	R_H	L_H	a , мм
3,44	1,47052902	0,77508871	2,5
6	2,39393846	0,46512986	

Продолжение табл.1

l , м	μ_r	$\sigma \cdot 10^7$, См/м	Материал изделия
0,5	136	0,61	A-20

Из (4) определим площадь поперечного сечения S

$$S = \frac{\pi \cdot (2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,196 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 0,196 \text{ мм}^2.$$

Из (3) найдем R_0

$$R_0 = \frac{1}{0,61 \cdot 10^7} \cdot \frac{l}{0,196 \cdot 10^{-6}} = 0,004117 \text{ Ом}.$$

Значения сопротивлений R_1, R_2 найдем по формуле (2) при каждом $x_1 = 3,44$ и $x_2 = 6$

$$R_1 = 0,004117 \cdot 1,47052902 = 0,0061 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 0,004117 \cdot 2,39393846 = 0,01 \text{ Ом}.$$

Внутренние индуктивности L_{i1}, L_{i2} найдем из соотношения (5)

$$L_{i1} = 0,77508871 \cdot 136 \cdot 0,025 \cdot 10^{-6} = 2,64 \cdot 10^{-6} \text{ Гн};$$

$$L_{i2} = 0,46512986 \cdot 136 \cdot 0,025 \cdot 10^{-6} = 1,58 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}.$$

Внешняя индуктивность L_e рассчитаем по формуле (6)

$$L_e = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{2 \cdot \pi} \left(\ln \frac{2 \cdot 0,5}{2,5 \cdot 10^{-3}} - 1 + \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2}{\pi \cdot 0,5 \cdot 0,5^2} \right) = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}.$$

Полную индуктивность находим из (7)

$$L_1 = 2,64 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 10^{-6} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ Гн};$$

$$L_2 = 1,58 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 10^{-6} = 2,08 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}.$$

Исходя из этой формулы (8), найдем частоту f для каждого x :

$$f_1 = \frac{3,44^2}{2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 136 \cdot 0,61 \cdot 10^7 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2} = 289,05 \text{ Гц}.$$

$$f_2 = \frac{6^2}{2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 136 \cdot 0,61 \cdot 10^7 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2} = 879,36 \text{ Гц}.$$

Все рассчитанные значения сводим в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные значения ожидаемых компонентов сигналов преобразователя

	R_H	L_H	f , Гц	S , $\text{м}^2 \cdot 10^{-5}$
x_1	1,47052902	0,77508871	289,05	1,96
x_2	2,39393846	0,46512986	879,36	

Продолжение табл.2

	R_0 , Ом	R_2 , Ом	L_0 , $\text{Гн} \cdot 10^{-6}$	L_{e2} , $\text{Гн} \cdot 10^{-6}$
x_1	0,00417	0,0061	0,025	0,5
x_2		0,01		

Продолжение табл.2

	L_{i1} , $\text{Гн} \cdot 10^{-6}$	L , $\text{Гн} \cdot 10^{-6}$
x_1	2,64	3,14
x_2	1,58	2,08

Таким образом, проведен расчет двухчастотного контактного электромагнитного преобразователя на основе использования экстремума производной нормированной внутренней индуктивности прямолинейного стержня. Предложен алгоритм совместного определения двух значений сопротивлений и индуктивностей, соответствующих частотам изменения магнитного тока при экстремуме и любой другой частоте.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Себко В.П., Львов С.Г. Расчет магнитной проницаемости удельной электрической проводимости цилиндрических изделий по сигналам контактного электромагнитного преобразователя. Технічна електродинаміка. – 1998, – Вып. 2. – Т. 2. – С. 171-174.
- [2] Себко В.В. Контактный электромагнитный метод определения магнитной проницаемости, удельного электрического сопротивления и температуры цилиндрического изделия // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2002. – Вып. 7. – С. 152–157.
- [3] Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей // Л.: Энергоатомиздат. – 1986, – 488 с.

Поступила 10.03.2006