

В.П. СЕБКО, докт. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков

В.В. СЕБКО, докт. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

О.Л. БАГМЕТ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

КОНТАКТНЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С КВАЗИПОСТОЯННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

В роботі розглянуто можливість використання контактної вихорострумівого перетворювача з квазіпостійного магнітного поля для вимірювання магнітних, електричних та геометричних параметрів циліндричних провідників. Наведено формули для обчислення питомої електропровідності, відносної магнітної проникності та радіусу циліндричного виробу.

В работе рассмотрена возможность использования контактного вихретокового преобразователя квазипостоянного магнитного поля для измерения магнитных, электрических и геометрических параметров цилиндрических проводников. Приведены формулы для вычисления удельной электропроводимости, относительной магнитной проницаемости и радиуса цилиндрического изделия.

В современной литературе хорошо описана теория работы контактного вихретокового преобразователя (КВП) для контроля параметров цилиндрических и трубчатых изделий [1-5]. Как известно КВП обладает рядом преимуществ по сравнению с трансформаторным и параметрическим вихретоковыми преобразователями (ТВП и ПВП), связанные с простотой схемной реализации и точностью измерений, так как КВП представляет собой цилиндрический проводник с продольным током [3-5].

Таким образом, в работах [1-5] описана теория работы КВП, схемы включения и вихретоковые многопараметровые методы контроля магнитных и немагнитных изделий. Недостатком работ [1-5] является то, что достаточно трудно получить результаты экспериментального определения такого важного информативного параметра, как внутренняя индуктивность L_i немагнитных и магнитных цилиндрических изделий. Оказывается, если использовать квазипостоянный ток (с небольшой частотой изменения), можно упростить алгоритм измерительных и расчетных процедур определения магнитной проницаемости μ_r , удельной электрической проводимости σ и радиуса a изделия.

Целью работы является разработка контактного трехпараметрового вихретокового метода совместного определения магнитных, электрических и геометрических параметров ферромагнитных цилиндрических изделий.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать алгоритм совместного определения μ_r , a , σ .

2. Привести основные соотношения, описывающие контактный трехпараметровый метод определения параметров цилиндрических изделий.

На рис. 1 показан цилиндрический проводник с постоянным по времени током I , длина проводника l , радиус a , текущий радиус r , приращение радиуса δ_r , внутренняя напряженность магнитного поля H_i , напряженность внешнего поля H_e , μ_r - относительная магнитная проницаемость [1]. Если принять однородное распределение плотности тока по сечению проводника, то тогда по закону полного тока, ток в контуре радиусом r найдем, как в [1]:

$$I_0 = \frac{r^2}{a^2} I. \quad (1)$$

При этом магнитная индукция определяется по формуле:

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r I r}{2\pi a^2}. \quad (2)$$

Запишем дифференциал магнитного потока Φ на малом участке δr , как

$$d\Phi = B ds = \frac{\mu_0 \mu_r I r l \delta r}{2\pi a^2}. \quad (3)$$

Внутреннее потокоцепление найдем по формуле [1]:

$$\Psi_{\text{внутр}} = \int \frac{I \frac{r^2}{a^2}}{I} \frac{\mu_0 \mu_r I r l dr}{2\pi a^2} = \frac{\mu_0 \mu_r I l}{8\pi}. \quad (4)$$

Определим внутреннюю индуктивность проводника, как [2]

$$L_i = L_{\text{внутр}} = \frac{\Psi_{\text{внутр}}}{I} = \frac{\mu_0 \mu_r l}{8\pi} \quad (5)$$

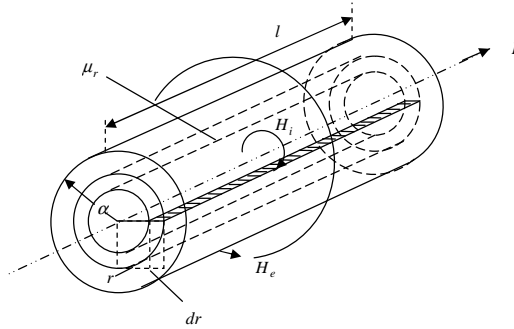


Рис. 1. Прямолинейный проводник с продольным квазипостоянным током.

Существует еще внешняя индуктивность проводника, которая записывается формулой [2]

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

Таким образом, суммарная индуктивность L_{Σ} записывается в виде [2-5]

$$L_{\Sigma} = L_i + L_e. \quad (7)$$

Как уже отмечалось выше, для измерения магнитных, электрических и геометрических параметров цилиндрического проводника на постоянном токе весьма трудно найти экспериментально внутреннюю индуктивность L_i . Частоту изменения магнитного поля на квазипостоянном токе находим из условия

$$x \leq a \sqrt{2\pi f \mu_0 \mu_r \sigma} \leq 0,5, \quad (8)$$

где x – обобщенный магнитный параметр; f – частота изменения тока; σ – удельная электрическая проводимость материала проводника.

Для того, чтобы выполнить это условие, приведем характерные значения начальной магнитной проницаемости μ_r ряда материалов: сталь 3: $\mu_r = 100-120$; сталь 45: $\mu_r = 100-110$; автоматная сталь А20: $\mu_r = 120-130$; нержавеющая магнитная сталь 9Х18: $\mu_r = 80-90$; сталь У7: $\mu_r = 130-150$; чистое железо $\mu_r = 400-500$; нержавеющая немагнитная сталь 9Х18Н10Т: $\mu_r = 1,005-3$; латунь: $\mu_r = 1,1-1,3$; парамагнитный чугун: $\mu_r = 1,05-3$.

Удельная электрическая проводимость этих материалов составляет: сталь 3: $\sigma = 0,4 - 0,5 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$; сталь 45: $\sigma = 3 - 4 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$; автоматная сталь А20: $\sigma = 5 - 7 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$; нержавеющая магнитная сталь 9Х18: $\sigma = 15 - 20 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$; чистое железо : $\sigma = 8 - 10 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$; нержавеющая немагнитная сталь 9Х18Н10Т: $\sigma = 1,3 - 1,45 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$; латунь: $\sigma = 1,2 - 1,4 \cdot 10^7 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$; парамагнитный чугун: $\sigma = 0,02 - 0,05 \cdot 10^7 \frac{\text{МСм}}{\text{м}}$.

Следует отметить, что радиус a для выполнения условия (8) выбирают для конкретного проводника, при этом характерные значения a изменяются от 1 до 40 мм.

Для того чтобы определить совместно параметры μ_r , σ и a целесообразно использовать RL – мост [3-5] с выполнением условия (8), частоту тока при этом выбирают из этого условия для используемого материала проводника.

С целью предложенного многопараметрового контроля на мосту измеряют величину L_Σ и, зная L_e , с учетом [3-5] определяют L_i , как

$$L_i = L_\Sigma - \frac{\mu_0 l}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{2l}{a} - 1 + \frac{4a}{\pi l} - \frac{a^2}{l^2} \right) \quad (9)$$

Затем с учетом (5) находим значения μ_r по формуле [3]

$$\mu_r = \frac{L_i 8\pi}{\mu_0 l L_{iH}}, \quad (10)$$

где L_{iH} - нормированная внутренняя индуктивность.

После этого определяют радиус a , с учетом (6) из выражения

$$a = \frac{2l}{1 + \frac{2\pi L_e}{e \mu_0 l}}. \quad (11)$$

Далее находят величину σ с учетом (8) и (10) по формуле

$$\sigma = \frac{x^2 l}{16\pi^2 f L_i a^2}. \quad (12)$$

Таким образом, на квазипостоянном токе с помощью КВП включенного в RL – мост совместно определяют три параметра цилиндрического ферромагнитного проводника, т.е. величины относительной магнитной проницаемости μ_r , радиуса a и удельной электрической проводимости σ . Итак, создан контактный трехпараметровый вихретоковый метод совместного определения магнитных, электрических и геометрических параметров ферромагнитных цилиндрических изделий, разработан алгоритм определения μ_r , a , σ . Приведены основные соотношения для определения магнитных, геометрических и электрических параметров цилиндрических изделий при реализации контактного трехпараметрового вихретокового метода, использующего квазипостоянное магнитное поле.

Список литературы: 1. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 1959. – 532 с. 2. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Справочник. – Л.: Энергия, 1970. – 415 с. 3. Себко В.П., Львов С.Г., Бабак В.П. Контактный двухпараметровый контроль цилиндрических изделий // Труды международной научно-практической конференции "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". – Харьков: ХГПУ. – 1997. – Ч. 3. – С. 5-7. 4. Себко В.П., Тюна И.В. Контактный метод определения электромагнитных параметров трубчатых изделий // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 92. – С. 84-86. 5. Себко В.П., Себко В.В., Багмет О.Л., Минеева Е.Ю. Двухпараметровый контактный электромагнитный метод контроля немагнитных цилиндрических изделий // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – №25. – С. 114-121.

Поступила в редколлегию 06.07.2009