

**Список литературы:** 1. ГОСТ 15596 78. Источники тока химические. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1978. – 30 с. 2. ГОСТ 20911 89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1990. – 12 с. 3. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2003. – 224с. 4. Накопители энергии: Учеб. пособие для вузов / Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин, П. В. Васюкевич – М.: Энергоатомиздат, 1991.- 400с. 5. Романов В.В., Хашев Ю.М. Химические источники тока. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1978. – 264с. 6. Таганова А. А., Бубнов Ю. И., Орлов С. Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: Справочник.– Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. – 264с. 7. Пути продления ресурса электрохимических накопителей энергии, применяемых в ракетно-космической технике / К. В. Безручко, С. В. Губин, А. О. Давидов, В. П. Фролов, А. А. Харченко // Авиационно-космическая техника и технология: Научн.- техн. журн. – 2005.– № 7(23)– С. 228-242. 8. С.В.Сиденко, К.В.Безручко, А.О.Давидов. Диагностирование аккумуляторов энергоустановок летательных аппаратов импульсным током // Вісник Дніпропетровського Університету, Дніпропетровськ, ДНУ, – 2007.– №9/2.– с. 126-132. 9. К.В.Безручко, А.О.Давидов, С.В.Сиденко, С.В.Ширинский. Методы определения емкости электрохимических аккумуляторов //Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал – Нац. аэрокосмич. ун-т „Харк. авиац. ин-т”, Вып. 7(43), Харьков, ХАИ, 2007. с.120-124

УДК 620.179.14

**ГОРКУНОВ Б.М.**, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ"  
**АВРАМЕНКО А.А.**, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ"  
**ЛЬВОВ С.Г.**, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ"  
**СКОПЕНКО В.В.**, соискатель НТУ "ХПИ"

### ПЕРЕМЕННО-ЧАСТОТНЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ПОПЕРЕЧНЫМ ПОЛЕМ

В роботі запропоновано два метода реалізації вихрострумового перетворювача та отримано залежності частоти вихідного сигналу від зміни питомої електропровідності металевого виробу, що знаходиться в поперечному однорідному електромагнітному полі.

Two method of realization of eddy current transformer is in-process offered and dependences of frequencies of initial signal are got from a change specific conductivity of hardware which is in the transversal homogeneous electromagnetic field.

Вопросы увеличения точности и чувствительности первичных преобразователей всегда занимают актуальные позиции при разработке устройств бесконтактного контроля параметров металлических изделий [1, 2].

Применение первичных вихретоковых преобразователей с поперечным полем является весьма актуальной задачей в тех случаях, когда доступ к деталям ограничен в виду их значительной длины (прокат труб, прутков). В работах [3, 4] описан вихретоковый метод бесконтактного контроля электропроводности немагнитных изделий в поперечном поле.

Недостатком реализации данного метода является то, что при контроле металлических образцов, у которых изменяются физико-химические параметры, а значит и  $\sigma$ , происходит уход режима работы ВТП в области не рациональные по точности и чувствительности, так как изменяется обобщенный  $x$ , выражение для которого ( $\mu_r = 1$ ) имеет вид:

$$x = R\sqrt{\mu_0\sigma\omega}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус цилиндрического изделия;  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота зондирующего поля;  $f$  – циклическая частота намагничивающего тока генератора;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная.

Как показано в работах [4, 5], изменение параметра  $x$  приводит к изменению модуля амплитуды выходного сигнала и его фазы, причем по нелинейному закону (см. рис. 1 а, б).

Полученные в работах [3, 5] соотношения, связывающие амплитуду и фазу нормированного выходного сигнала преобразователя от обобщенного параметра  $x$ , дают возможность установить определенную последовательность измерительных и вычислительных процедур необходимых для определения  $\sigma$ . При этом, амплитудный метод состоит в том, что по измеренной величине разностной нормированной ЭДС и известной геометрической функции  $\lambda$  из графической зависимости рис. 1 а находят обобщенный параметр  $x$ , а при фазовом методе по измеренному значению угла  $\varphi$  из графика рис. 1 б также находят параметр  $x$ . Величину удельной электрической проводимости  $\sigma$  как при использовании амплитудного, так и фазового методов рассчитывают по формуле:

$$\sigma = \frac{x^2}{R_2\mu_0\omega}. \quad (2)$$

Следует отметить, что полученные значения  $\sigma$  соответствуют величине продольной удельной электрической проводимости, поскольку при выбранном направлении напряженности возбуждающего поля она определяется зондирующими вихревыми токами, текущими вдоль образующей цилиндрического изделия (см. рис. 2).

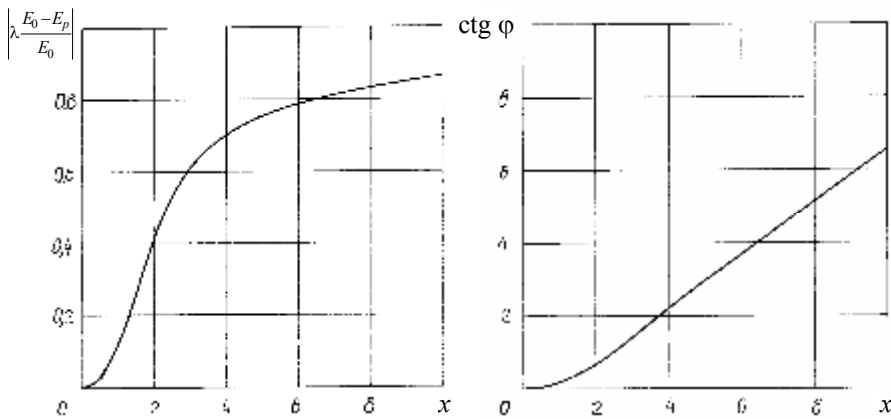


Рис. 1. Зависимости амплитуды  $a$  и фазы  $b$  разностного нормированного сигнала ВТП от величины обобщенного параметра  $x$

На рис. 2 приведена функциональная схема установки, реализующая амплитудный и фазовый методы вихревого контроля  $\sigma$  в поперечном поле. Установка содержит рабочий ВТПР и опорный ВТПО (построенные на основе катушек Гельмгольца) преобразователи, исследуемый образец  $O$ , вольтметр  $V_1$  и образцовое сопротивление  $R_0$ , предназначенные для контроля намагничивающего тока, опорное сопротивление  $R_\phi$  для измерения фазового угла фазометром  $\Phi$ , вольтметр  $V_2$  для измерения разностной ЭДС выходного сигнала преобразователя, источник синусоидального напряжения  $G$  и частотомер  $f$ .

Приведенная установка позволяет осуществить два метода бесконтактного контроля  $\sigma$ : переменнo-частотный метод при фиксации амплитуды и переменнo-частотный метод при фиксации фазы выходного разностного сигнала ВТП.

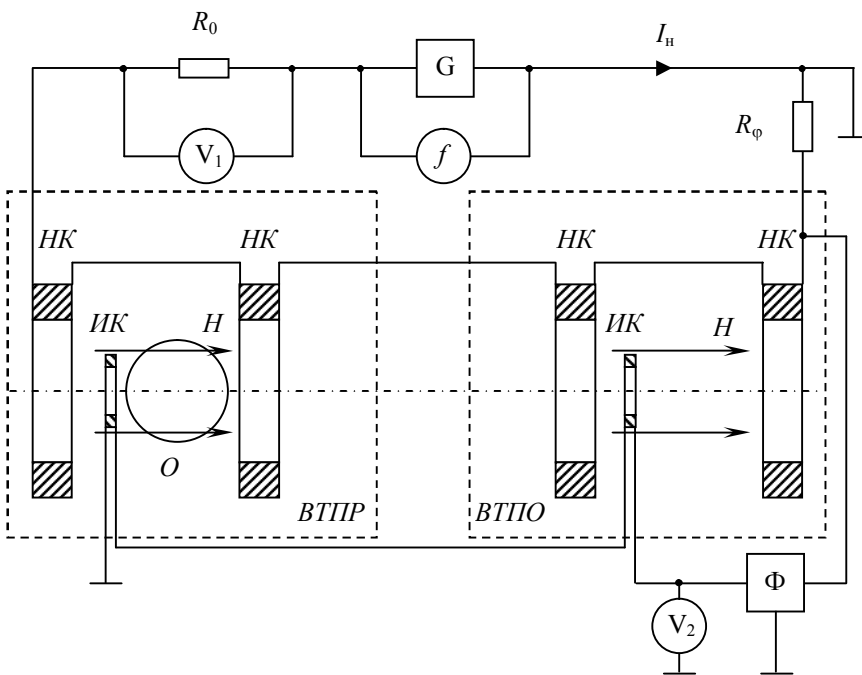


Рис. 2. Схема установки, реализующая переменнo-частотный амплитудный и фазовый метод контроля  $\sigma$  в поперечном поле

Для реализации данных методов вначале с помощью генератора  $G$  устанавливают значение намагничивающего тока по показаниям вольтметра  $V_1$  и по частотомеру  $f$  устанавливают значение частоты зондирующего поля при которой для данного исследуемого образца  $O$  значение обобщенного параметра  $x_0$  будет рациональным с точки зрения максимальной точности и чувствительности ВТП. Затем, если по каким-то причинам изменится значение  $\sigma \pm \Delta\sigma$  (механическое воздействие на образец), то при том же токе  $I_n$  и  $f_0$  изменится значение  $E_p = E_{p0} \pm \Delta E$  и  $\varphi = \varphi_0 \pm \Delta\varphi$ . Для реализации переменнo-частотного амплитудного метода необходимо с помощью генератора  $G$  изменять частоту зондирующего поля до тех пор, пока показания вольтметра  $V_2$  станут равными показанию  $E_{p0}$ . Аналогично, при реализации переменнo-частотного фазового метода изменяют частоту поля до тех пор пока фазометр  $\Phi$  не покажет значение фазового угла  $\varphi_0$ .

В работе были проведены экспериментальные исследования на образце, изготовленном из сплава алюминия Д16 с диаметром  $d = 2R = 23,5$  мм. Параметры преобразователя: геометрический форм-фактор  $\lambda = 4,44$ ; напряженность электромагнитного поля  $H_0 = 100$  А/м. Результаты экспериментов сведены в табл. 1 и 2.

Переменно-частотный метод при фиксированной амплитуде выходного сигнала ВТП

$\sigma$ , МСм/м	$\lambda \frac{\Delta E}{E_0}$	$x$	$f$ , Гц	$E_0$ , В	$\Delta E$ , В	$x'$	$f'$ , Гц
16,2	0,1612	1,15	67	0,1018	0,00369	1,088	75
17,1				0,0963	0,00349	1,118	71
18,0				0,0909	0,0033	1,15	67
18,9				0,0868	0,00315	1,175	64
19,8				0,0828	0,0030	1,202	61

Таблица 2

Переменно-частотный метод при фиксированной фазе выходного сигнала ВТП

$\sigma$ , МСм/м	$\varphi$ , град.	$\text{ctg } \varphi$	$x$	$f$ , Гц	$\varphi'$ , град.	$x'$	$f'$ , Гц
16,2	35,7	1,39	3	460	38,2	2,84	510
17,1					36,9	2,93	483
18,0					35,7	3,0	460
18,9					34,6	3,07	437
19,8					33,5	3,14	417

На основании результатов эксперимента можно сделать следующие выводы. Относительные чувствительности переменного частотного метода при фиксированной нормированной амплитуде выходного сигнала ВТП составляет  $S_a \approx 1,0$  а чувствительность переменного частотного метода при фиксированной фазе ВТП –  $S_\varphi \approx 0,9$ . Хотя чувствительность  $S_\varphi$  и ниже  $S_a$ , но реализация этого метода проще и быстрее и самое главное слабо зависит от изменения или неточности определения геометрических параметров контролируемого образца.

**Список литературы:** 1. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7 т. Т. 2 / Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, – 2003. – 688 с. 2. Герасимов В.Г., Останин Ю.Я., Покровский А.Д. и др. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами. -М.: Энергия, 1978. -215с. 3. Бесконтактное измерение удельной электрической проводимости цилиндрических изделий в поперечном переменном магнитном поле / А.А. Авраменко, В.П. Себко, В.И. Тюпа, В.А. Друнов – Метрология, 1983, №10, с. 48-54. 4. Измерение удельной электрической проводимости цилиндрических изделий / А.А. Авраменко, В.А. Друнов, В.П. Себко, В.И. Тюпа – Дефектоскопия, 1984, №6, с. 79-84. 5. Бесконтактное измерение удельной электрической проводимости / А.А. Авраменко, Б.М. Горкунов, В.П. Себко – Дефектоскопия, 1988, №12, с. 77-80.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>П. В. Прудовский.</b> Метрологическое обеспечение рентгеновских толщиномеров	3
<b>Н. Ф. Хорло, В. Н. Горбенко, К. Л. Ноздрачова.</b> Требования стандартов европейского союза к неразрушающему ультразвуковому контролю сварных соединений	8
<b>В. В. Волохин.</b> Визначення добротності біконічного резонатора .	22
<b>Ю. К. Тараненко.</b> Методика расчёта вибрационных плотномеров с цилиндрическими резонаторами, обеспечивающая инвариантность к колебаниям температуры и давления контролируемой среды.....	31
<b>Н. В. Тігова, Г. М. Сучков.</b> Математичні моделі вихорострумів перетворювачів	43
<b>Й. І. Стенцель, В. В. Євсюков, Л. І. Петросян, А.Ф. Помещенко.</b> Математичні моделі хлопаючих мембран першого роду .....	49
<b>Й. І. Стенцель, А. В. Томсон, А. В. Рябіченко.</b> Аналіз похибок вимірювання ультразвукових рівнемірів .....	55
<b>А. В. Рябіченко, Й. І. Стенцель.</b> Математичні моделі ультразвукового рівнеміра рідини з компенсуючим входним сигналом.....	61