

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Томский политехнический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ
В ПОЛЯХ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ**

Методические указания
по выполнению лабораторной работы № 4
по курсу “Физические основы получения информации”

ТОМСК 2011

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Измерительные преобразования в полях вихревых токов основаны на возбуждении в проводящих объектах переменным магнитным полем вихревых токов и зависимости параметров этих токов от свойств объекта. В качестве источника переменного магнитного поля обычно используется обмотка, с переменным током частоты ω (ток возбуждения, обмотка возбуждения). Интенсивность, фаза, распределение вихревых токов зависят от геометрических размеров и формы проводящего объекта, электрических и магнитных характеристик материала, его однородности, взаиморасположения объекта и обмотки возбуждения, размеров и формы обмотки возбуждения, частоты и амплитуды тока возбуждения. Благодаря этой зависимости измерительные преобразования в полях вихревых токов могут быть использованы для идентификации геометрических и электромагнитных параметров локальных проводящих объектов, толщинометрии, структуроскопии, дефектоскопии, измерения перемещений проводящих объектов.

Информацию о параметрах вихревых токов получают путем измерения параметров их поля с помощью отдельной измерительной обмотки (индукционное, трансформаторное, взаимоиндуктивное преобразование) или с помощью той же обмотки, которой возбуждается переменное магнитное поле (индуктивное, параметрическое преобразование). Напряжение и сопротивление обмотки в отсутствие проводящего объекта называются соответственно начальным напряжением \dot{U}_0 и начальным сопротивлением \dot{Z}_0 .

Если вести отсчет сдвига фаз от фазы тока возбуждения, то для идеальных и большинства реальных обмоток можно принять, что начальные напряжения и сопротивления имеют только мнимые составляющие: $\dot{U}_0 = jU_0$; $\dot{Z}_0 = j\omega L_0$. Присутствие в переменном магнитном поле проводящего объекта вызывает появление в последнем вихревых токов, магнитное поле которых обуславливает изменение напряжения и сопротивления обмотки на величины $\dot{U}_{вн}$ и $\dot{Z}_{вн}$, называемые вносимыми напряжением и сопротивлением. Именно параметры комплексных $\dot{U}_{вн}$ и $\dot{Z}_{вн}$ (активная и реактивная составляющие или амплитуда и фаза) являются информативными параметрами, в которые преобразуются геометрические и электромагнитные параметры проводящего объекта.

Для того, чтобы на результаты преобразования не влияла интенсивность возбуждающего поля (ток возбуждения) $\dot{U}_{вн}$ и $\dot{Z}_{вн}$ нормируют по U_0 и ωL_0 :

$$\dot{U}_{вн}^* = \frac{\text{Re}\dot{U}_{вн}}{U_0} + j \frac{\text{Im}\dot{U}_{вн}}{U_0}; \quad \dot{Z}_{вн}^* = \frac{R_{вн}}{\omega L_0} + j \frac{L_{вн}}{L_0}, \quad (1)$$

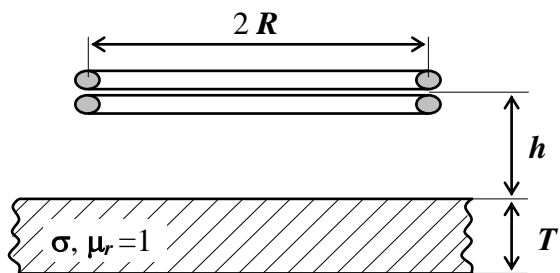
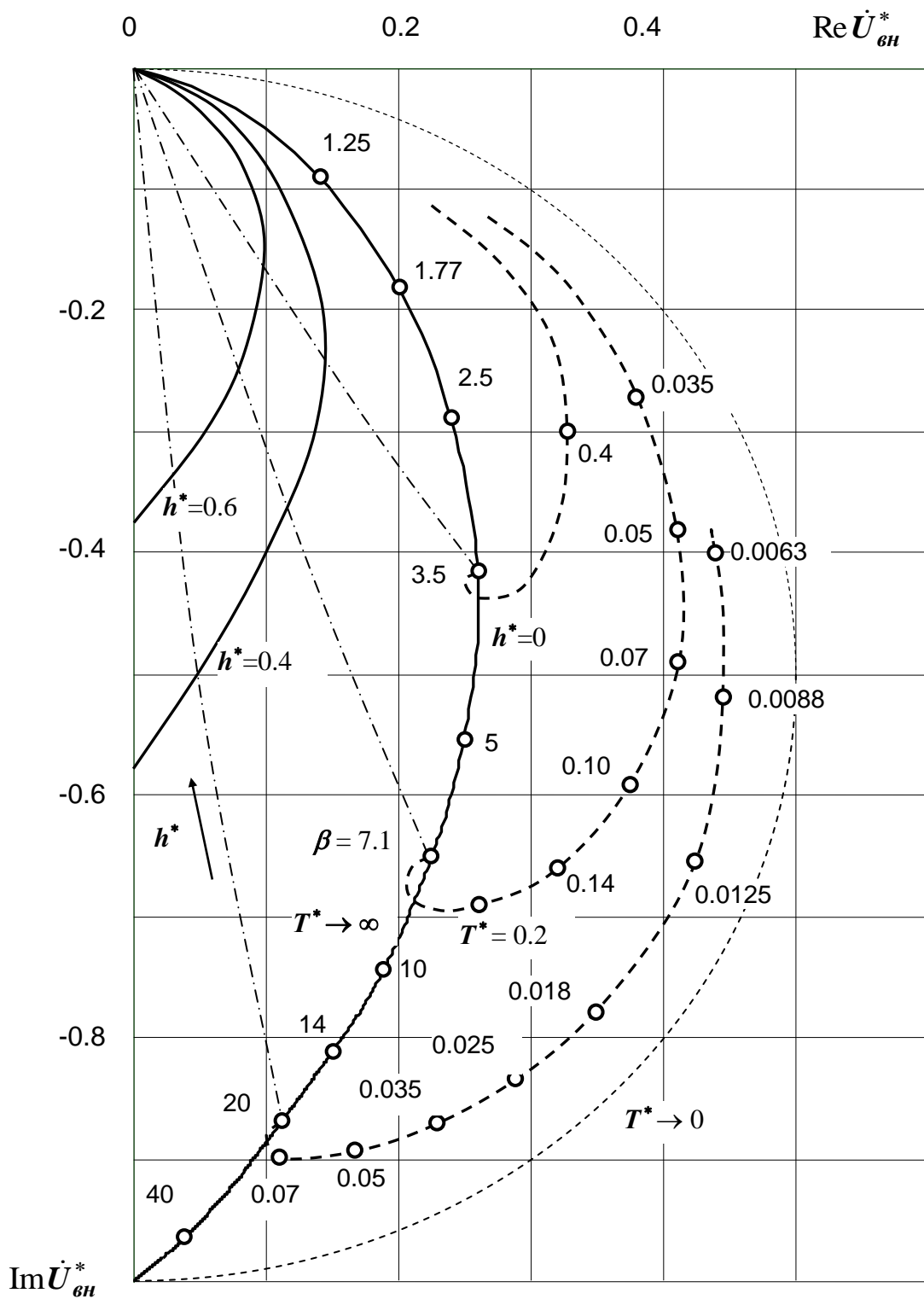


Рис. 1. Годографы относительного вносимого напряжения вихретокового преобразователя с немагнитной электропроводящей пластиной: $h^* = h/R$; $T^* = T/R$; $\beta = R\sqrt{\omega\sigma\mu_0}$.

где $\dot{U}_{вн}^*$ и $\dot{Z}_{вн}^*$ - относительные вносимые напряжение и сопротивление.

При этом $\operatorname{Re} \dot{U}_{вн}^* = R_{вн}^*$; $\operatorname{Im} \dot{U}_{вн}^* = L_{вн}^*$. В дальнейшем будем оперировать составляющими относительного комплексного вносимого напряжения. Их зависимость от геометрических и электромагнитных параметров проводящего объекта наиболее удобно представить с помощью годографов. Годограф относительного вносимого напряжения - линия на комплексной плоскости, вычерчиваемая концом вектора $\dot{U}_{вн}^*$ при изменении какого-либо геометрического или электромагнитного параметра проводящего объекта, либо частоты тока возбуждения. Параметры проводящего объекта или функции, оказывающие одинаковое влияние на $\dot{U}_{вн}^*$ объединяют в обобщенный параметр. В качестве такого обобщенного параметра в работе будем использовать $\beta = R\sqrt{\omega\mu_0\sigma}$, где R - радиус обмотки возбуждения; σ - удельная электрическая проводимость материала; μ_0 - магнитная постоянная. На рис. 1 показан годограф относительного вносимого напряжения трансформаторного вихретокового преобразователя, расположенного над немагнитной пластиной, от изменения обобщенного параметра β , расстояния от обмоток до проводящего объекта h , толщины пластины T .

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 2.1. Какими параметрами проводящей пластины определяются составляющие вносимого напряжения?
- 2.2. Какими физическими параметрами определяется глубина проникновения электромагнитного поля в проводящий объект?
- 2.3. Какова форма контуров вихревых токов в проводящем объекте?
- 2.4. В чем отличие годографов вносимого напряжения для ферромагнитных и немагнитных объектов?
- 2.5. На какой параметр $\dot{U}_{вн}^*$ главным образом влияет изменение расстояния от обмоток до проводящего объекта?
- 2.6. Какова фаза $\dot{U}_{вн}^*$ при $\sigma \rightarrow \infty$ или $\omega \rightarrow \infty$?
- 2.7. На какой частоте наиболее велико влияние на составляющие $\dot{U}_{вн}^*$ толщины проводящей пластины?

3. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с физическими основами измерительных преобразований в поле вихревых токов. Определить экспериментально годографы относительного вносимого напряжения трансформаторного вихретокового преобразователя, расположенного над электропроводящей пластиной от изменения различных параметров пластины.

4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

4.1. Определить зависимость амплитуды и фазы относительного вносимого напряжения от расстояния между обмотками и проводящей пластиной для случаев ферромагнитной и немагнитной пластин. Построить годографы относительного вносимого напряжения от изменения указанного параметра.

4.2. Определить зависимости амплитуды и фазы относительного вносимого напряжения от толщины немагнитной проводящей пластины. Построить годограф относительного вносимого напряжения от изменения указанного параметра.

4.3. Определить зависимость амплитуды и фазы относительного вносимого напряжения от удельной электрической проводимости проводящей немагнитной пластины. Построить годограф относительного вносимого напряжения от изменения указанного параметра.

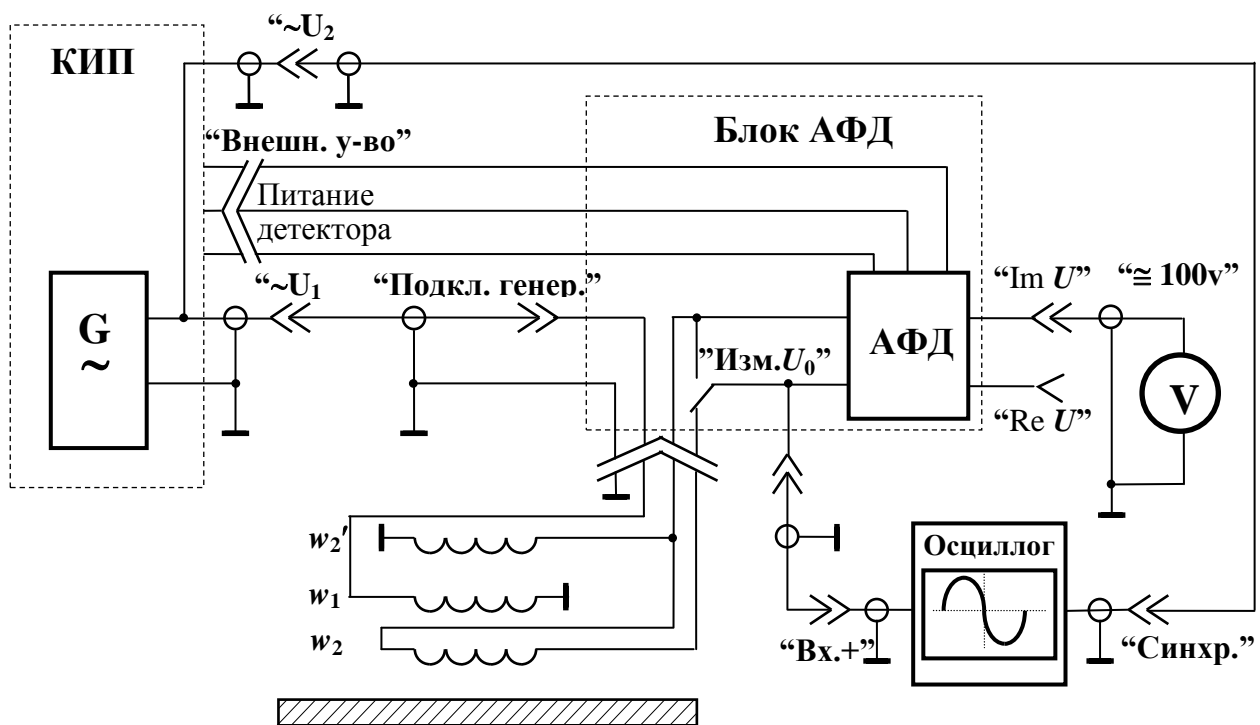


Рис. 2. Схема измерительной установки для исследования измерительных преобразований в полях вихревых токов: w_1 -обмотка возбуждения; w_2 - измерительная обмотка; w_2' - компенсационная обмотка; V - вольтметр; **КИП**- коммутационно-измерительная панель; G - источник переменного напряжения; **АФД** - амплитудно-фазовый детектор.

5. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

В качестве проводящих объектов в данной работе используется набор пластинок из различных магнитных и немагнитных металлов. Изменение зазора между обмотками и проводящими пластинками осуществляется с помощью набора из непроводящих (стеклотекстолитовых) пластинок. Обмотка возбуждения и измерительная обмотки конструктивно объединены в блок (блок обмоток), залитый эпоксидным компаундом. При проведении всех экспериментов следует следить, чтобы блок обмоток устанавливался в центре проводящих пластинок.

Для исследования измерительных преобразований используется схема рис. 2.

Измерение квадратурных составляющих вносимого и начального напряжений осуществляется с помощью блока амплитудно-фазового детектирования (АФД), внешний вид которого показан на рис. 3. Переменное синусоидальное напряжение подается в схему через гнезда блока АФД “Подключение генератора” с коммутационно-измерительной панели (выход “ $U_{2\sim}$ ”).

Питание электронной схемы блока АФД осуществляется через кабель питания с разъема КИП “Внешнее устройство”. Для исключения из сигнала измерительной обмотки его неинформативной составляющей - начального



Рис. 3. Внешний вид блока амплитудно-фазового детектора.

напряжения предусмотрены следующие конструктивные и схемотехнические меры. В блоке обмоток кроме обмотки возбуждения w_1 и измерительной w_2 имеется дополнительная компенсирующая обмотка w'_2 , идентичная w_2 и расположенная симметрично относительно w_1 (рис.4).

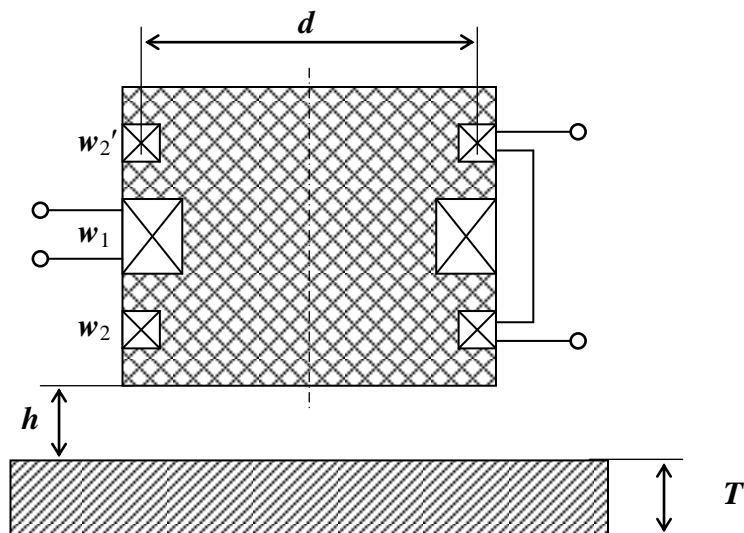


Рис. 4. Конструкция вихретокового преобразователя.

Обмотки w_2 и w'_2 включены последовательно встречено, их суммарное начальное напряжение равно нулю. Наличие проводящего объекта вызывает появление вносимого напряжения измерительной обмотки и практически не изменяет сигнала компенсирующей обмотки, расположенной значительно дальше от объекта. Поэтому можно считать, что суммарное напряжение обмоток w_2 и w'_2 равно вносимому напряжению $\dot{U}_{вн}$ измерительной обмотки. Этот сигнал подается на вход блока АФД, выходными сигналами которого являются постоянные напряжения, равные амплитудам действительной $\text{Re}\dot{U}_{вн}$ и мнимой $\text{Im}\dot{U}_{вн}$ составляющих вносимого напряжения (гнезда “ $\text{Re}U$ ” и “ $\text{Im}U$ ”). Опорным сигналом АФД является напряжение компенсирующей обмотки $\dot{U}_к$, противофазное начальному напряжению \dot{U}_0 .

Измерение амплитуды \dot{U}_0 осуществляется путем нажатия кнопки “Изм. U_0 ” на лицевой панели блока АФД. При этом на вход АФД согласно схеме рис. 2 подается $\dot{U}_к = -\dot{U}_0$. Следует обратить внимание на то, что это напряжение имеет только мнимую составляющую $\text{Im}\dot{U}_к = -U_0$.

Блок АФД непосредственно предназначен для детектирования сигналов частоты 4 кГц. Изменение рабочей частоты блока производится подключением к его гнездам “С” соответствующего конденсатора.

Входной сигнал схемы АФД $\dot{U}_{вн}$ или $\dot{U}_к$ (в зависимости от положения кнопки “Изм. U_0 ”), выведенный на гнезда лицевой панели блока “ U_x ”, подается на вход осциллографа С1-70, работающего в режиме внешней синхронизации развертки. Опорный сигнал синхронизации подается на осциллограф с выхода “ $U_{2\sim}$ ” КИП. Измерение $\text{Re}\dot{U}_{вн}$ и $\text{Im}\dot{U}_{вн}$ производится с помощью цифрового вольтметра В7-16 (В7-16А).

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

6.1. При определении зависимостей амплитуды и фазы $\dot{U}_{вн}$ от расстояния h между блоком обмоток и проводящей пластиной и при построении годографа $\dot{U}_{вн}$ от изменения h , значения h задаются в диапазоне от 0 до 10 мм с помощью набора стеклотекстолитовых пластинок толщиной 0,8мм. Для каждого значения h измеряются значения $\text{Re}\dot{U}_{вн}$ и $\text{Im}\dot{U}_{вн}$. Нормирующее значение U_0 определяется при отсутствии пластины путем нажатия кнопки “Изм. U_0 ” блока АФД. Далее вычисляются значения $\text{Re}\dot{U}_{вн}^*$ и $\text{Im}\dot{U}_{вн}^*$, амплитуды $U_{вн}^*$ и фазы φ относительного вносимого напряжения, строятся зависимости $U_{вн}^*(h)$, $\varphi(h)$, годограф $U_{вн}^*$ от изменения h .

6.2. При определении зависимостей амплитуды и фазы $U_{вн}^*$ от толщины T проводящей пластины и при построении годографа $U_{вн}^*$ от изменения толщины T , значения T задаются в диапазоне от 1 до 6 мм с помощью набора немагнитных (дюралевых) пластинок толщиной 1 мм. Значение зазора h между блоком обмоток и проводящей пластиной устанавливается равным нулю. Измерения проводятся по методике, описанной в разделе 6.1. Строятся зависимости $U_{вн}^*(T)$, $\varphi(T)$, годограф $U_{вн}^*$ от изменения T .

6.3. При определении зависимостей амплитуды и фазы $U_{вн}^*$ от удельной электрической проводимости σ проводящей пластины и построении годографа $U_{вн}^*$ от изменения σ в качестве проводящих объектов с разными значениями σ используются пластины одной толщины $T=1$ мм, но из немагнитных материалов с разными проводящими свойствами: дюралевая с $\sigma_1 = 16,7$ МСм/м; алюминиевая с $\sigma_2 = 32$ МСм/м и медная с $\sigma_3 = 52,3$ МСм/м. Значение зазора h между блоком обмоток и проводящей пластиной устанавливается равным нулю. Измерения проводятся по методике, описанной в разделе 6.1. Строятся зависимости $U_{вн}^*(\sigma)$, $\varphi(\sigma)$, годограф $U_{вн}^*$ от изменения σ . Для трех экспериментально найденных точек годографа вычисляются значения обобщенного параметра β .

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 7.1. Название работы.
- 7.2. Цель работы.
- 7.3. Программа работы.
- 7.4. Схема экспериментальной установки.
- 7.5. Основные соотношения, примеры расчетов.
- 7.6. Результаты экспериментов и расчетов, оформленные в виде таблиц.
- 7.7. Графики зависимостей и годографы.
- 7.8. Выводы.

8. ЛИТЕРАТУРА

- 8.1. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн.3 Электромагнитный контроль. Под ред. В.В. Сухорукова. - М.: Высш. шк., 1991.

Кафедра информационно-измерительной техники

Составитель профессор, д.т.н. А.Е. Гольдштейн