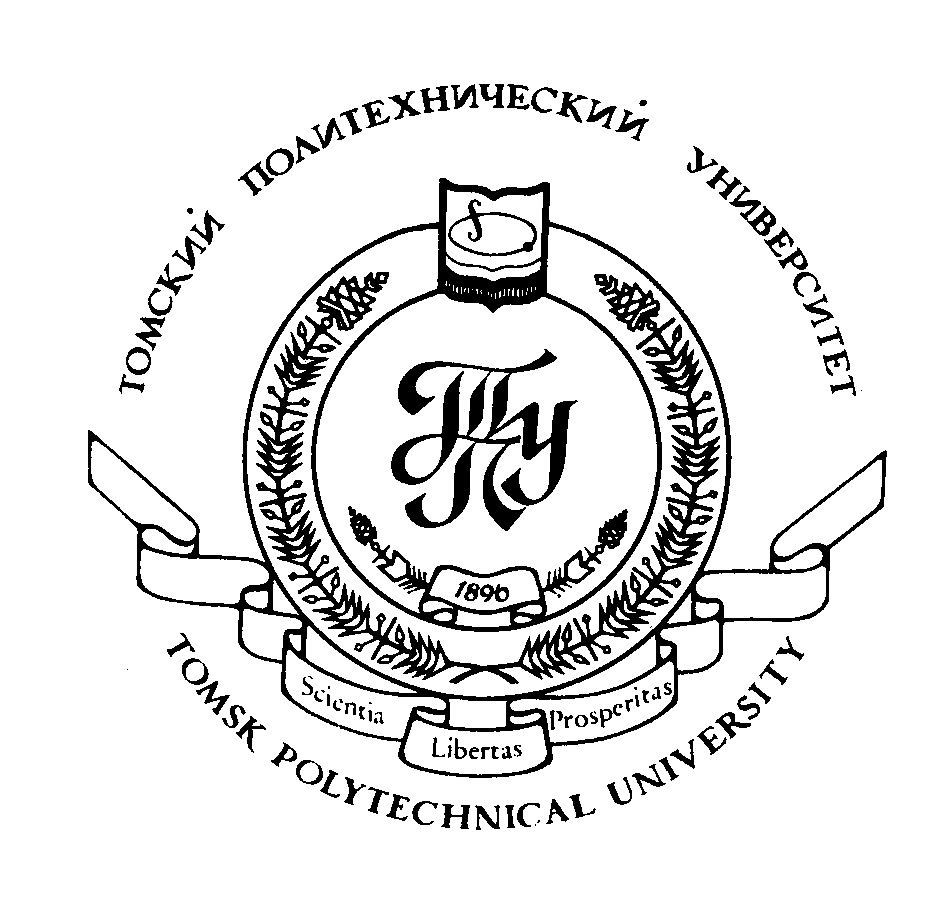
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Томский политехнический университет

Институт дистанционного образования

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ “ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ”**

**Часть II**

ТОМСК 2006

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

**″ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

**В ПОЛЯХ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ″**

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  и начальным сопротивлением .

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:  Присутствие в переменном магнитном поле проводящего объекта вызывает появление в последнем вихревых токов, магнитное поле которых обуславливает изменение напряжения и сопротивления обмотки на величины  и , называемые вносимыми напряжением и сопротивлением. Именно параметры комплексных  и  (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)  и  нормируют по  и **ω*L***0:

 (1)

0

0.2

0.4





-0.2

-0.4

-0.6

-0.8

40

20

14

10

***β*** = 7.1

5

3.5

2.5

1.77

1.25

***h*\***=0

***h*\***=0.4

***h*\***=0.6

***h*\***

***Т*\***→ 0

***Т*\*→ ∞**

***Т*\***= 0.2

0.14

0.10

0.07

0.05

0.035

0.4

0.07

0.05

0.035

0.025

0.018

0.0125

0.0088

0.0063

Рис. 1. Годографы относительного вносимого напряжения вихретокового преобразователя с немагнитной электропроводящей пластиной:

***h*\***= ***h***/***R***; ***T*\***= ***T***/***R***; .

***h***

# *Т*

**σ**, **μ*r***=1

2 ***R***

где  и  - относительные вносимые напряжение и сопротивление.

При этом  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  при изменении какого-либо геометрического или электромагнитного параметра проводящего объекта, либо частоты тока возбуждения. Параметры проводящего объекта или функции, оказывающие одинаковое влияние на  объединяют в обобщенный параметр. В качестве такого обобщенного параметра в работе будем использовать , 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 ***Т***.

1. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
2. Какими параметрами проводящей пластины определяются составляющие вносимого напряжения?
3. Какими физическими параметрами определяется глубина проникновения электромагнитного поля в проводящий объект?
4. Какова форма контуров вихревых токов в проводящем объекте?
5. В чем отличие годографов вносимого напряжения для ферромагнитных и немагнитных объектов?
6. На какой параметр  главным образом влияет изменение расстояния от обмоток до проводящего объекта?
7. Какова фаза  при **σ** → ∞ или **ω** → ∞ ?
8. На какой частоте наиболее велико влияние на составляющие  толщины проводящей пластины?
9. 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.

1. ПРОГРАММА РАБОТЫ
2. 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.
3. Определить зависимости амплитуды и фазы относительного вносимого напряжения от толщины немагнитной проводящей пластины. Построить годограф относительного вносимого напряжения от изменения указанного параметра.
4. 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.

**КИПП**

**G**

**V**

**~**

**“Вх.+”**

**“Синхр.”**

**“~U2”**

***w*2′**

**“≅ 100v”**

**“**Re ***U*”**

**”Изм.*U*0”**

**“~U1”**

**Осциллогр.**

**“Подкл. генер.”**

# Блок АФД

Питание

детектора

**“Внешн. у-во”**

**АФД**

**“**Im ***U*”**

***w*1**

***w*2**

1. 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~”).

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

**⊥**

Лаб. раб. 4 **Измерительные преобразования в полях вихревых токов**

Подключение генератора

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

Im***U***

Re***U***

***Ux***

***Uк***

к1

к2

к3

## C

Изм. ***U***0

f = 4 кГц

к4 **С**

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  измерительной обмотки. Этот сигнал подается на вход блока АФД, выходными сигналами которого являются постоянные напряжения, равные амплитудам действительной Reи мнимой Im составляющих вносимого напряжения (гнезда “Re***U***” и “Im***U***”). Опорным сигналом АФД является напряжение компенсирующей обмотки , противофазное начальному напряжению .

***w***1

***w***2′

***w***2

***h***

# *T*

***d***

Рис. 4. Конструкция вихретокового преобразователя.

Измерение амплитуды  осуществляется путем нажатия кнопки “Изм.” на лицевой панели блока АФД. При этом на вход АФД согласно схеме рис. 2 подается = -. Следует обратить внимание на то, что это напряжение имеет только мнимую составляющую Im= -.

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  или  (в зависимости от положения кнопки “Изм.”), выведенный на гнезда лицевой панели блока “***Uх***”, подается на вход осциллографа С1-70, работающего в режиме внешней синхронизации развертки. Опорный сигнал синхронизации подается на осциллограф с выхода “***U***2~” КИП. Измерение Re и Im производится с помощью цифрового вольтметра В7-16 (В7-16А).

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
2. При определении зависимостей амплитуды и фазы  от расстояния ***h*** между блоком обмоток и проводящей пластиной и при построении годографа  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 Re и Im. Нормирующее значение  определяется при отсутствии пластины путем нажатия кнопки “Изм.” блока АФД. Далее вычисляются значения Re и Im, амплитуды  и фазы **ϕ** относительного вносимого напряжения, строятся зависимости (***h***), **ϕ**(***h***), годограф  от изменения ***h***.
3. При определении зависимостей амплитуды и фазы  от толщины ***Т*** проводящей пластины и при построении годографа  от изменения толщины ***Т***, значения ***Т*** 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 (***Т***), **ϕ**(***Т***), годограф  от изменения ***Т***.
4. При определении зависимостей амплитуды и фазы  от удельной электрической проводимости ***σ*** проводящей пластины и построении годографа  от изменения ***σ*** в качестве проводящих объектов с разными значениями **σ** используются пластины одной толщины ***Т***=1мм, но из немагнитных материалов с разными проводящими свойствами: дюралевая с **σ**1 = 16,7 МСм/м; алюминиевая с **σ**2 = 32 МСм/м и медная с **σ**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 (**σ**), **ϕ**(**σ**), годограф  от изменения **σ**. Для трех экспериментально найденных точек годографа вычисляются значения обобщенного параметра **β**.
5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Название работы.

7.2. Цель работы.

1. Программа работы.
2. Схема экспериментальной установки.
3. Основные соотношения, примеры расчетов.
4. Результаты экспериментов и расчетов, оформленные в виде таблиц.
5. Графики зависимостей и годографы.
6. Выводы.
7. ЛИТЕРАТУРА

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

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6**

**″ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО**

**ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ″**

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Физической основой электромеханического преобразования является воздействие на объекты, находящиеся в электромагнитном поле, механических (пондеромоторных) сил. Возникновение этих сил обусловлено свойством электрической и магнитной компонент электромагнитного поля воздействовать на неподвижные и движущиеся (вторая компонента) электрически заряженные частицы. Для практических преобразований используются случаи взаимодействия электрически заряженных тел (электростатическое взаимодействие), контуров с токами (электродинамическое взаимодействие), постоянного магнита и контура с током (магнитоэлектрическое взаимодействие), контура с током и ферромагнитного тела (электромагнитное взаимодействие), контуров с токами и проводящего тела (индукционное взаимодействие). В общем случае для системы тел и контуров момент вращения ***М***в или сила***F***, действующие на любой объект этой системы, могут быть определены как производные электромагнитной энергии ***W***эм, сосредоточенной в системе взаимодействующих объектов, соответственно по углу поворота **α** или линейному перемещению***x*** рассматриваемого объекта:

 (1)

В данной работе исследуются электромагнитное, электродинамическое, магнитоэлектрическое взаимодействия. Рассмотрим их подробнее.

Рис. 1 иллюстрирует электромагнитное взаимодействие обмотки с током ***I*** и ферромагнитного сердечника. В зависимости от взаиморасположения сердечника и обмотки, а также крепления сердечника (степени свободы) результатом взаимодействия может быть как линейное (рис. 1*а*, 1*б*), так и угловое (рис. 1*в*, 1*г*) перемещение сердечника. Обмотка выполняется неподвижной. Для усиления электромагнитного взаимодействия используется магнитопровод (рис. 1*б*, 1*г*). Энергия электромагнитного поля обмотки с током определяется выражением:

** (2)

где ***L*** - индуктивность обмотки; ***I*** - действующее значение тока.

В соответствии с (1) сила ***F*** и момент ***М***вопределяются следующим образом:

 (3)

Данные соотношения устанавливают зависимость величин ***I***,***L***,***x***, **α**и могут быть использованы для измерительного преобразования последних в механические величины - силу и момент вращения. Наибольшее значение имеют используемые на практике зависимости ***F***(***I***), ***M***в(***I***), ***F***(***x***).

***F***

2

1

*г*

***I***

***x***

***x***

1

2

***I***

***Мв***

***I***

**α**

1

2

***Мв***

1

2

**α**

***I***

Рис. 1. Варианты электромагнитного взаимодействия:

1 - обмотка ; 2 - ферромагнитный сердечник.

***F***

*в*

*б*

*а*

Рис. 2 иллюстрирует электродинамическое взаимодействие двух обмоток с токами ***I***1 и ***I***2. Аналогично предыдущему случаю возможны варианты линейного перемещения подвижной обмотки (рис. 2*а*, 2*б*) и вращения (рис. 2*в*, 2*г*). Для усиления электродинамического взаимодействия используются магнитопроводы (рис. 2*б*, 2*г*).

Энергия электромагнитного поля двух обмоток с токами определяется следующим образом:

 (4)

где ***I****1 ,* ***I****2 -* действующие значения токов; **ϕ** - фазовый сдвиг токов; ***L***1 , ***L***2- индуктивности обмоток; ***M***12- взаимная индуктивность обмоток (знак последнего слагаемого зависит от взаимоориентации магнитных моментов обмоток).

***I***2

***I***2

***I***1

***F***

2

2

1

1

*a*

***I***1

***x***

***x***

***Мв***

***Мв***

1

2

**α**

**α**

***I***1

***I***2

***A***2

***A***1

***I***2

1

***I***1

***x***

2

Рис. 2. Варианты электродинамического взаимодействия:

1 - неподвижная обмотка ; 2 - подвижная обмотка.

***F***

*б*

*в*

*г*

Первые два слагаемых выражения (4) практически не зависят от перемещения подвижной обмотки, поэтому дифференцирование по формулам (1) дает результаты:

 (5)

Исключение составляет вариант 2*б*, где нужно учитывать изменение индуктивности подвижной обмотки, но данный случай имеет ограниченное практическое применение. Наибольшее применение для измерительных преобразований имеют зависимости ***М***в(***I***1***I***2), ***M***в(cos **ϕ**), ***M***в(***I***1***I***2 cos **ϕ**).

Различные варианты магнитоэлектрического взаимодействия можно получить заменой постоянным магнитом ферромагнитного сердечника рис. 1 или одной из обмоток с током (электромагнита) рис. 2. На рис. 3 показан наиболее важный случай взаимодействия.

***Мв***

1

***α***

***I***

***A2***

***A1***

**N**

3

2

1 - обмотка;

2 - постоянный магнит;

3 - магнитопровод.

.

Рис.3. Вариант магнитоэлектрического взаимодействия

**S**

Выражение, описывающее данное взаимодействие, может быть получено из (5) формальной заменой ***I***1=***I***; ***I***2⋅d***M***12=d**Ψ**. Здесь **Ψ** - потокосцепление поля постоянного магнита с обмоткой. Обычно обеспечивается однородность поля магнита в плоскости витков обмотки. В этом случае:

 (6)

где ***I***,***w***,***S*** *–* сила тока, число витков и площадь подвижной обмотки; ***B*** - индукция в воздушном зазоре магнитопровода; **α** - угол между плоскостью витков и линиями индукции (параллельны **А**1**А**2 - рис.3).

Наибольшее значение для измерительных преобразований имеют зависимости ***М***в(***I***), ***M***в(***В***).

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

2.1. В чем общность физической сущности магнитоэлектрического, индукционного, электродинамического, электромагнитного взаимодействий?

2.2. Как определить направление силы и момента вращения?

2.3. Дать определение и физическое толкование величин ***L*** и ***М***12.

2.4. Почему магнитопровод увеличивает ***F*** и ***М***в?

2.5. Какие из рассмотренных взаимодействий реализуются на постоянном, переменном, постоянном и переменном токах?

2.6. В каком положении подвижного элемента рис. 1, 2, 3 значения ***F*** и ***М***в максимальны (минимальны)?

3. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с физическими основами электромеханических измерительных преобразований, вариантами их практической реализации. Экспериментально проверить функции преобразования для случаев электромагнитного, электродинамического, магнитоэлектрического взаимодействий.

4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

4.1. Проверить экспериментально функцию преобразования (3), описывающую электромагнитное взаимодействие.

4.2. Проверить экспериментально функцию преобразования (5), описывающую электродинамическое взаимодействие.

4.3. Проверить экспериментально функцию преобразования (6), описывающую магнитоэлектрическое взаимодействие.

5. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Основой лабораторного макета является электромагнит - неподвижная обмотка с магнитопроводом из феррита. Магнитопровод имеет воздушный зазор, в котором размещается или ферритовый сердечник (исследование электромагнитного взаимодействия) или подвижная обмотка (исследование электродинамического и магнитоэлектрического взаимодействий). Сердечник и подвижная обмотка закреплены на осях, вращающихся в специальных опорах с токосъемами для питания обмотки. На каждой из осей имеются стрелка для отсчета угла поворота и коромысло для крепления грузика, создающего противодействующий момент. На одной из боковых сторон корпуса макета расположены гнезда для подключения неподвижной обмотки ***w***1, на другой - гнезда для подключения подвижной обмотки ***w***2 и потенциометр для регулирования тока этой обмотки ***I***2. Необходимые для исследований преобразований постоянные и переменные питающие напряжения снимаются с выходных клемм коммутационно-измерительной панели (КИП). На этой же панели расположены переключатель и амперметр для регулирования и измерения тока неподвижной обмотки ***I***1. Измерение ***I***2, более точное измерение ***I***1, а также необходимое по ходу исследований измерение напряжений осуществляется универсальным цифровым вольтметром В7-16 (В7-16А). При измерении тока вольтметром используется добавочный образцовый резистор ***R***0=1 Ом. Измерение индуктивности осуществляется прибором Е7-2 (Е7-8).

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ
2. Для экспериментальной проверки функции преобразования, соответствующей электромагнитному взаимодействию, используется схема рис.4.

Измерение ***М***в может быть осуществлено путем уравновешивания его известным противодействующим моментом ***М***пр ,создаваемым грузиком массой ***m*** =(640; 670; 760; 910) мг на плече ***l*** =15 мм. Изменение ***М***в для достижения равновесия осуществляется изменением тока ***I*** с помощью переключателя на КИП. В состоянии равновесия:

***М***пр***= m g l***⋅cos **α**, (7)

где ***g*** = 9,81 м/с2 - ускорение силы тяжести; **α** -угол по шкале макета.

**G**- регулируемый

источник постоянного напряжения

**КИПП**

## А

# G

**V**

***I***

***w***1

**“Iпласт.”**

***R***0*=* 1 Ом

Рис. 4. Схема для исследования электромагнитного взаимодействия.

Измерение ***I***осуществляется по падению напряжения на образцовом резисторе. Для определения значения входящей в выражение (3) величины сначала с помощью измерителя индуктивности снимается зависимость ***L***(**α**) в интервале **α** = (-15...+15)°, а затем графически находится значение производной для значения **α**, соответствующего положению равновесия моментов. Далее по формуле (3) рассчитывается значение ***М***в и определяется относительная погрешность преобразования **γ**. В качестве действительного значения результата преобразования берется в данном случае значение ***М***пр:

 (8)

1. Для экспериментальной проверки функции преобразования, соответствующей электродинамическому взаимодействию используется схема рис. 5.

Измерение ***М***в может быть осуществлено путем уравновешивания его известным противодействующим моментом ***М***пр , создаваемым грузиком массой ***m*** = (640; 670; 760; 910) мг на плече ***l*** =15мм. Изменение ***М***вдля достижения равновесия осуществляется грубо изменением токов ***I***1и ***I***2 переключателем на КИП и плавно - потенциометром ***R***д ,расположенным на боковой стенке макета. Значение ***М***пр в положении равновесия определяется по формуле (7). Значения токов ***I***1и ***I***2, необходимые для определения ***М***в измеряются с помощью соответственно амперметра КИП и по падению напряжения на образцовом резисторе ***R***0. Для определения значения входящей в выражение (5) величины d***M***12/d**α**сначала снимается зависимость ***М***12(**α**) в интервале**α** = (-15...+15)°, а затем графически находится значение производной для значения **α**, соответствующего положению равновесия моментов. Схема измерения ***M***12 представлена на рис. 6. В данном случае обмотка ***w***1 запитывается синусоидальным током частоты ***f*** = 1 кГц. Действующее значение эдс ***Е***2второй обмотки ***w***2 связано при таком питании с***M***12 соотношением:  (9)

где **ω** *=* 2 **π*****f*** - угловая частота тока.

Рис. 5. Схема для исследования электродинамического взаимодействия.

**КИПП**

**А**

# G

**V**

***R***д

***I***2

***I***1

***w***2

**“Iнам.”**

**“Iпласт.”**

***R***0*=* 1 Ом

**G**- регулируемый

источник постоянного напряжения

***w***1

Измерение ***I***1 осуществляется по падению напряжения на образцовом резисторе ***R***0*.*

Рассчитанное по формуле (5) значение ***М***в сравнивается с действительным значением результата преобразования, в качестве которого берется значение ***М***пр, определяется погрешность преобразования по формуле (8).

6.3. Экспериментальную проверку функции преобразования, соответствующей магнитоэлектрическому взаимодействию, можно осуществить с использованием схем и методик измерения раздела 6.2 если условно считать поле постоянного тока обмотки ***w***1 эквивалентным полю некоторого постоянного магнита. В соответствии с этим, сначала по описанной в разделе 6.2 методике определяются ***М***пр , уравновешивающий ***М***в , а также значения токов ***I***1 и ***I***2 = ***I***, соответствующие положению равновесия. Далее по формуле (6) находится расчетное значение ***М***в. Необходимые для расчета ***М***в параметры подвижной обмотки: число витков ***w***2 = 250; диаметр среднего витка ***d***ср = 27 мм. Значение индукции ***B***, входящей в выражение (6), может быть определено с использованием схемы рис. 6 методом пропорцианального пересчета, физической основой применения которого является линейная в диапазоне измерений зависимость индукции магнитного поля от напряженности поля (тока) полезадающей обмотки ***w***1. Коэффициент пропорцианальности между током ***I***1 и индукцией ***В***удобно находить на переменном токе, поскольку в этом случае можно использовать индукционное преобразование. Роль индукционной обмотки выполняет подвижная обмотка ***w***2, ориентируемая под некоторым углом 5°≤ **α** ≤ 15° к линиям индукции магнитного поля, параллельным **А**1**А**2 (рис. 3). В соответствии с функцией индукционного преобразования действующее значение индукции переменного магнитного поля ***B***\*связано с действующим значением наводимой в обмотке эдс ***Е***2 и параметрами обмотки следующим образом:

 . (10)

**~G** - регулируе­-мый источник переменного напряжения

***f*** = 1 кГц

Рис. 6. Схема для измерения индукции магнитного поля.

**КИПП**

**G**

**V**

***~ I***1

***w***2

***w***1

**~**

**V**

***R***0***=* 1 Ом**

**“~U1”**

Искомое значение индукции ***В***постоянного магнитного поля, создаваемого постоянным током ***I***1, отличается от значения индукции ***B***\* переменного магнитного поля, создаваемого переменным током ***I***1\*, во столько раз, во сколько отличаются токи:

 . (11)

Отсюда определяется значение ***В***, а далее по формуле (6) значение ***М***в . Погрешность результата электромеханического преобразования оценивается аналогично предыдущему случаю.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Название работы.

7.2. Цель работы.

7.3. Программа работы.

7.4. Схемы экспериментальных установок.

7.5. Основные соотношения, примеры расчетов.

7.6. Результаты экспериментов и расчетов, оформленные в виде таблиц.

7.7. Графики зависимостей.

7.8. Выводы.

8. ЛИТЕРАТУРА

8.1. Савельев И.В. Курс общей физики, том 2. Электричество. М. : Наука, 1973. - 432 с.

8.2. Электрические измерения. Под ред. Е.Г. Шрамкова. Учебное пособие для втузов. М. : Высшая школа, 1972. - 520 с.

8.3. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Справочная книга. - 3-е изд. Л. : Энергоатомиздат, 1986. - 488 с.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7**

**″ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ТЕПЛОВЫХ ПОЛЯХ″**

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Основным уравнением измерительных преобразований в тепловых полях является уравнение теплового баланса, согласно которому подводимое к объекту количество теплоты ***Q***вн равно сумме количества теплоты ***Q***р, отдаваемой им в среду, и количества теплоты ***Q***с, идущей на изменение его теплосодержания:

***Q***вн *=* ***Q***р *+* ***Q***с. (1)

Количество отдаваемой в единицу времени теплоты ***q***р (полный тепловой поток теплоотдачи) равно сумме тепловых потоков теплопроводности ***q***т, конвекции ***q***к и излучения ***q***л:

***q***р *=* ***q***т *+* ***q****к +* ***q***л . (2)

Теплообмен посредством теплопроводности происходит путем взаимодействия частиц, находящихся в непосредственном соприкосновении друг с другом и имеющих различную температуру. Тепловой поток теплопроводности в некотором объекте, создаваемый разностью температур Δ**θ**, определяется зависимостью:

***q***т *=* **γ**тΔ**θ** , (3)

где **γ**т - теплопроводность объекта.

По аналогии с электрической проводимостью тепловая проводимость стержня длиной ***l***и сечением ***S*** может быть определена как

**γ**т = **λ**** , (4)

где **λ**  - коэффициент теплопроводности.

Коэффициент теплопроводности зависит от природы и физического состояния вещества. Теплопроводность твердых тел в большинстве случаев обусловлена двумя механизмами: движением электронов проводимости (доминирует в металлах) и тепловыми колебаниями атомов решетки (определяет теплопроводность неметаллов). Соответственно теплопроводность металлов пропорциональна их электрической проводимости.

Теплообмен посредством конвекции осуществляется за счет перемещения материальных частиц, имеющих разную температуру. Тепловой поток конвекции равен:

***q***к = **γ**к Δ**θ** = **α**к ***S***пΔ**θ**, (5)

где **γ**к - проводимость теплоотдачи путем конвекции;

Δ**θ** - разность температур окружающей среды и тела;

**α**к- коэффициент конвективного теплообмена;

***S***п - площадь поверхности тела.

Коэффициент конвективного теплообмена зависит от размеров тела, формы поверхности, теплопроводности и вязкости взаимодействующей с телом среды, но главным образом от скорости ***V*** взаимного перемещения тела и среды. Можно ориентировочно принять, что **α**к пропорционален ***V*** 0,4.

Сущность теплообмена посредством излучения заключается в излучении телом электромагнитных волн определенной длины. Тепловой поток излучения системы двух тел

***q***л = **γ**л Δ**θ** = **α**л***S***12Δ**θ**, (6)

где **γ**л- проводимость теплоотдачи путем излучения ;

Δ**θ** - разность температур двух тел;

**α**л- коэффициент теплообмена излучением;

***S***12- взаимная поверхность излучения тел.

Коэффициент теплообмена излучением зависит от формы, взаиморасположения, температуры взаимодействующих тел, от состояния и цвета их поверхностей. Взаимная поверхность излучения двух плоскопараллельных тел, квадрат расстояния между которыми меньше площадей их поверхностей, равна площади поверхности меньшего тела, обращенной к другому телу.

Тепловой поток изменения внутренней энергии (теплосодержания тела) описывается выражением:

***q***с = , (7)

где ***c****,* ***m****,* **θ** - теплоемкость, масса, температура тела.

Наличие теплового потока ***q***с обуславливает инерционность изменения температуры тела при изменении температуры окружающей среды или теплового потока ***q***вн, подводимого к телу. Если в момент времени ***t*** = 0 существовала разность Δ**θ**о температуры тела **θ**т и температуры окружающей среды **θ**с, то при отсутствии ***q***вн и постоянстве ***θ***с уравнивание температур **θ**т и **θ**с происходит по апериодическому закону:

**θ**т = **θ**с + Δ**θ**о ***e***-***t*** */***τ**, (8)

где **τ** - показатель тепловой инерции (постоянная времени апериодического процесса).

Величина **τ**  является функцией параметров тела и окружающей среды:

**τ** =  , (9)

здесь **γ**∑ - полная тепловая проводимость окружающей среды.

Следует отметить, что начальный участок реального теплового процесса, называемый дорегулярным режимом, отличается от описываемого уравнением (8), что обусловлено перераспределением температур в толще самого тела. В нашем же случае будем считать, что весь тепловой переходный процесс протекает в регулярном режиме и описывается уравнением (8).

1. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

2.1. Какие тепловые потоки определяют энергетический баланс подводимой к объекту и расходуемой тепловой энергии?

1. В чем заключается физическая сущность теплообмена посредством теплопроводности, конвекции, лучеиспускания?
2. В чем заключается физическая сущность изменения теплосодержания тела?
3. Почему теплопроводность металлов пропорциональна их электрической проводимости?
4. Какие свойства окружающей среды влияют на инерционность изменения температуры тела при скачкообразном изменении температуры окружающей среды?
5. Зависит ли длительность теплового переходного процесса от начальной разности температур тела и окружающей среды?
6. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Ознакомиться с физическими основами измерительных преобразований в тепловых полях, вариантами их практической реализации. Экспериментально оценить для разных условий значения тепловых проводимостей посредством теплопроводности, конвекции, лучеиспускания, а также значения показателей тепловой инерции. Экспериментально определить зависимость этих величин от свойств объекта и окружающей среды.

1. ПРОГРАММА РАБОТЫ.
2. Определить экспериментально значения теплопроводности и коэффициента теплопроводности образцов из различных металлов.
3. Определить экспериментально зависимость проводимости теплоотдачи путем конвекции от скорости воздушного потока.
4. Сравнить экспериментально значения проводимости теплоотдачи путем лучеиспускания для объектов с разным цветом поверхности.
5. Определить экспериментально значения показателя тепловой инерции системы тело - окружающая среда для разных значений скорости движения среды.
6. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.

Объектами исследований являются три одинаковые по размерам полоски из разного металла (сталь, дюраль, медь), две одинаковые по размерам дюралевые пластинки с разным состоянием поверхности (полированная и черненая), дюралевая пластина большего размера с черненой поверхностью. В качестве нагревателя используется транзистор КТ818В. Для измерения температуры используется электронный преобразователь температура - напряжение, в котором в качестве чувствительных элементов используются диоды КД210. Преобразователь конструктивно выполнен в отдельном корпусе с выносными термочувствительными элементами. Питание преобразователя осуществляется с коммутационно - измерительной панели (КИП). Кабель питания подключается к разъему КИП “Внешнее устройство”. На этой же панели расположены переключатель и амперметр для регулирования и измерения тока нагревателя ***I****.* Измерение напряжения нагревателя ***U***, а также выходных напряжений электронного блока, пропорциональных температурам чувствительных элементов (гнезда “ ***t***1- **⊥**” и “ ***t***2- **⊥**”), осуществляется с помощью вольтметра В7-16 (В7-16А). Крепление нагревателя и термочувствительных элементов на объектах исследования осуществляется с помощью имеющихся на последних пружинных зажимов. Для создания высокого градиента температуры при исследовании тепловой проводимости металлических полосок используется радиатор с зажимом для крепления полоски. Для устранения паразитных тепловых потоков при измерении тепловых потоков теплопроводности и лучеиспускания используются пенопластовые теплоизолирующие кожухи. При исследовании теплообмена посредством конвекции используется вентилятор, скорость воздушного потока которого регулируется путем изменения площади сечения всасывающих отверстий специальными шторками. Шкала угла поворота регулирующих шторок отградуирована в единицах скорости создаваемого вентилятором воздушного потока. Крепление объектов исследования осуществляется на специальных кронштейнах с помощью пружинных зажимов.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.
2. Для определения значений теплопроводности и коэффициента теплопроводности материала металлической полоски используется схема рис. 1*а*. Согласно выражению (3) теплопроводность участка образца между двумя его сечениями может быть определена следующим образом:

, (10)

здесь ***q***т - тепловой поток теплопроводности через сечения образца; Δ**θ** - разность температур в первом и втором сечениях.

Тепловой поток теплопроводности через металлическую полоску может быть создан с помощью нагрева одного конца полоски нагревателем и охлаждения другого конца полоски с помощью радиатора за счет естественной конвекции. Для исключения паразитных тепловых потоков объект исследования помещается в теплоизолирующий пенопластовый кожух. Благодаря этому можно условно принять, что при установившемся тепловом режиме весь тепловой поток ***q***вн, создаваемый нагревателем, передается радиатору за счет теплового потока теплопроводности металлической полоски:

***q***т *=* ***q***вн. (11)

Подводимый к объекту тепловой поток ***q***вн равен мощности нагревателя и может быть определен путем измерения по схеме рис. 1 тока ***I***и напряжения ***U*** нагревателя:

**КИПП**

**А**

**G**

**V**

**“Iпласт.”**

*в*

*б*

*а*

Рис.1. Схема измерения проводимости теплоотдачи путем теплопроводности (*а*), конвекции (*б*), лучеиспускания (*в*):

**G** - регулируемый источник постоянного напряжения;

**ТЭ** - термочувствительный элемент; **Н** - нагреватель;

**ТК** - теплоизолирующий кожух; **ЭТ** - электронный термометр;

**Р** – радиатор.

**ЭТ**

**ТЭ1**

**ТЭ2**

**Н**

**Р**

**⊥**

***t2°***

***t1°***

**“Внешнее устройство“**

**−**

**+**

**ТК**

**ТЭ1**

**ТЭ2**

**Н**

**ТК**

**ТЭ1**

**Н**

***q***т *=* ***q***вн *=* ***I U***.(12)

При проведении данного эксперимента на нагреватель подается максимальная мощность. Температуры сечений образца могут быть измерены с помощью электронного термометра, выходные напряжения которого прямопропорциональны температурам его термочувствительных элементов:

**θ**° *=* ***S U***вых, (13)

где **θ**°- температура в градусах Цельсия;

***S*** - чувствительность преобразования, равная 100 град / В;

***U***вых - выходное напряжение электронного термометра, В.

Следует обратить особое внимание на то обстоятельство, что используемое в расчетах соотношение (11) справедливо только в случае установившегося температурного режима (при отсутствии теплового потока изменения теплосодержания тела). В соответствии с этим следует, учитывая инерционность теплового процесса (**τ**≈ 3 мин), проводить измерение разности температур Δ**θ**  не ранее 15 мин. после включения нагревателя. Значение теплопроводности **γ**т участка пластин между центрами чувствительных элементов определяется по формуле (10), а коэффициент теплопроводности **λ** - из соотношения (4) при известных значениях геометрических параметров металлической полоски: ***S*** = 12 мм2; ***l*** = 45 мм.

1. Для определения экспериментальной зависимости проводимости теплоотдачи путем конвекции от скорости воздушного потока используется электрическая схема рис. 1. Объектом исследования в этом случае является металлическая пластинка из полированного дюраля. Пластинка с закрепленными на ней нагревателем и термочувствительным элементом устанавливается на кронштейне вентилятора. Второй термочувствительный элемент крепится на пластинке из черненого дюраля и служит для измерения температуры окружающей среды. Согласно выражению (5) проводимость теплоотдачи путем конвекции может быть определена по формуле:

**γ**к = . (14)

В данном случае при установившейся температуре пластинки (отсутствии теплового потока изменения теплосодержания) можно принять, что практически весь подводимый к пластинке тепловой поток нагревателя расходуется на теплообмен с окружающей средой путем конвекции:

***q***к *=* ***q***вн *=* ***I U***.(15)

Другими составляющими теплообмена ввиду крепления пластинки на теплоизолирующем кронштейне, относительно низкой ее температуры и полированной поверхности в данном случае можно пренебречь.

Как и в предыдущем случае на нагреватель подается максимальная мощность. Первое измерение температур нагреваемой пластинки и окружающей среды производится при скорости воздушного потока равной нулю (естественная конвекция). Следует учесть, что ввиду тепловой инерции стационарный тепловой режим устанавливается в данном случае через 12 минут после включения нагревателя.

Следующие измерения разности температур производятся для значений скорости ***V*** воздушного потока 0.3; 0.4; ..., 1.0 м /счерез 2 минуты после изменения скорости.

На основе полученных данных строится зависимость **γ**к(***V***) в диапазоне скоростей 0 ... 1 м/с.

1. Измерение проводимости теплоотдачи путем лучеиспускания осуществляется с использованием электрической схемы рис.1. Объектами исследования в этом случае являются дюралевые пластинки с полированной и черненой поверхностями. При проведении эксперимента на одной из этих пластинок закрепляются нагреватель и чувствительный элемент. Второй термочувствительный элемент устанавливается на массивную дюралевую пластину большего размера (в дальнейшем основание), с которой и осуществляется теплообмен лучеиспусканием. Исследуемая пластинка помещается в теплоизолирующий кожух, уменьшающий паразитные тепловые потоки. Теплообмен с основанием осуществляется через отверстие в нижней части кожуха.

Согласно выражению (6) проводимость теплоотдачи путем лучеиспускания может быть определена по формуле:

**γ**л= , (16)

здесь Δ**θ**- разность температур пластинки и основания.

При установившемся тепловом режиме (отсутствии теплового потока изменения теплосодержания) можно принять, что основная часть теплового потока теплоотдачи пластинки обусловлена теплообменом нагреваемой исследуемой пластинки и основания путем лучеиспускания. И соответственно:

***q***л *=* ***q***вн *=* ***I U***. (17)

Значения тока и напряжения нагревателя выбираются в данном случае порядка 1.4 А и 1.4 В (восьмое положение переключателя установки тока).

Измерение температур пластинки и основания для определения разности их температур Δ**θ**с учетом тепловой инерции производится не ранее 15 минут после включения нагревателя. После проведения экспериментов с полированной и черненой пластинками определяется соотношение тепловых проводимостей в том и другом случаях.

6.4. Значения показателя тепловой инерции при разных скоростях воздушного потока, обуславливающего теплообмен конвекцией, могут быть определены путем анализа кривой переходного процесса изменения температуры объекта при скачкообразном изменении температуры окружающей среды или теплового потока, подводимого к объекту нагревателем. В нашем случае удобнее использовать второе. При проведении эксперимента используются те же электрическая схема, объект исследования и дополнительное оборудование, что и в разделе 6.2. Методика проведения эксперимента по определению теплового переходного процесса заключается в следующем. На кронштейн вентилятора устанавливается полированная дюралевая пластинка с нагревателем и термочувствительным элементом. Черненая пластинка с другим термочувствительным элементом размещается вблизи вентилятора. При выключенном вентиляторе осуществляется нагрев пластинки в течении 15 минут до установившегося значения температуры. Режим нагрева: ***I*** ≈ 1.4 А;***U***≈ 1.4 В (восьмое положение переключателя установки тока). Далее устанавливается фиксированная скорость воздушного потока и снимается кривая изменения температуры пластинки **θ***°*т(***t***). Значения времени, в которые производятся измерения, удобно брать равными 0; 1; 2; ..., 15 мин. Значение показателя тепловой инерции **τ** может быть определено на основе полученной зависимости **θ***°*т(***t***) двумя способами.

По первому способу в уравнение (8), описывающее апериодический тепловой процесс подставляется значение ***t*** *=* **τ**. В этом случае получаем:

**θτ**= **θ**с + , (18)

здесь **θτ** - температура пластинки в момент времени ***t*** *=* **τ** ;

**θ**с - температура окружающей среды;

Δ**θ**0- начальная разность температур пластинки и среды.

Таким образом, искомое значение **τ** равно значению времени ***t***, при котором температура пластинки достигает значения **θ**с + Δ**θ**о */* ***e****.*

По второму способу из графика зависимости **θ***°*т(***t***) определяются значения **θ**т(***t***1) и **θ**т(***t***2), соответствующие значениям времени ***t***1 и ***t***2 *=* 2 ***t***1. Искомое значение **τ** может быть найдено после некоторых математических преобразований (8) по формуле:

**. (19)

Соотношение показателей инерционности тепловых процессов при разных скоростях конвекционного потока должно соответствовать соотношению тепловых проводимостей теплообмена путем конвекции для этих же значений скоростей (см. результаты выполнения п. 4.2 программы экспериментов).

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Название работы.

7.2. Цель работы.

7.3. Программа работы.

7.4. Схемы экспериментальных установок.

7.5. Основные соотношения, примеры расчетов.

7.6. Результаты экспериментов и расчетов, оформленные в виде таблиц.

7.7. Графики зависимостей.

7.8. Выводы.

1. ЛИТЕРАТУРА

8.1.Электрические измерения неэлектрических величин. /Под ред. П. В. Новицкого. - Изд. 5-е. Л.: Энергия, 1975 - 576 с.

8.2. Полищук Е. С. Измерительные преобразователи. Киев : Вища школа, 1981. - 296 с.