

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра водоснабжения и водоотведения

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ  
И СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы для  
студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»,  
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Казань  
2015

УДК (62-52:69);628

ББК 38

Д79

Д79 Исследование трансформаторных преобразователей механических перемещений и системы дистанционной передачи информации: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» / Сост. В.А. Дубяго. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2015. – 15с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

В методических указаниях изложен порядок проведения лабораторной работы «Исследование трансформаторных преобразователей механических перемещений и системы дистанционной передачи информации» по курсу «Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения», дано описание лабораторного стенда, порядок выполнения исследований, методы обработки результатов исследований и определены меры безопасности при проведении лабораторной работы.

Методические указания предоставлены для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Табл. 2; ил. 4; библиогр. 3 наименов.

Рецензент

Доцент кафедры теплоэнергетики Казанского государственного архитектурно-строительного университета

**В.Н. Енюшин**

УДК (62-52:69);628

ББК 38

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2015

© Дубяго В.А.,  
2015

## **Введение**

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы с целью закрепления знаний студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Данные методические указания могут быть использованы при проведении научно-исследовательских работ студентами, аспирантами и сотрудниками кафедры ВиВ.

Перед проведением лабораторной работы необходимо:

- ознакомиться с правилами техники безопасности при работе с электроприборами;
- изучить устройство лабораторной установки и порядок выполнения лабораторной работы.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- провести исследования работы трансформаторного преобразователя механических перемещений системы дистанционной передачи информации от первичного измерительного преобразователя давления к вторичному прибору контроля и регистрации давления в системах ВиВ;
- обработать результаты исследований;
- оформить и защитить отчет.

В отчете указываются: цель работы, описание лабораторной установки, методика проведения исследований и обработки их результатов.

Данная лабораторная работа выполняется группой студентов, а отчет составляется и защищается каждым студентом индивидуально.

### **1. Общие положения**

В водоснабжении и водоотведении (ВиВ) широко применяются преобразователи линейных и угловых механических перемещений в пропорциональный электрический сигнал. Эти преобразователи используются в первичных приборах (датчиках) и вторичных показывающих и самопишущих приборах, измеряющих и регулирующих давление, расход, уровень и другие неэлектрические параметры.

Первичный и вторичный приборы образуют измерительную дистанционную систему передачи информации, работающую на принципе ком-

пенсации напряжения определенной полярности или фазы, возникающего в результате изменения контролируемого параметра.

К таким приборам относятся электронные показывающие и самопишущие мосты КПМ и КСМ, потенциометры КПП и КСП.

В промышленности и, в частности, в строительной индустрии для измерения и преобразования различных механических перемещений, а также для дистанционной передачи информации об этих перемещениях широко используются трансформаторные и дифференциально-трансформаторные преобразователи угловых и линейных механических перемещений. Эти преобразователи применяются в измерительных системах приборов электронной ветви ГСП (государственной системы приборов) для измерения и контроля давления, расхода, уровня и других неэлектрических параметров, которые преобразуются в электрический сигнал.

Система дистанционной передачи информации состоит из передающего преобразователя (датчика), линии связи и приемного устройства – вторичного прибора регулятора.

Вторичные электронные приборы с встроенными в них преобразователями называются электронными компенсаторами, и обозначаются как КПД – компенсатор, показывающий с дифтрансформаторным преобразователем. Компенсатор КПФ с ферродинамическим преобразователем служит для преобразования угловых перемещений. Преобразователи позволяют непосредственно измерять деформацию кручения, прогиба, преобразуя эти параметры в пропорциональный электрический сигнал, который может быть измерен чувствительным вольтметром, подключенным непосредственно к данным преобразователям.

Для дистанционного измерения линейных перемещений наиболее широкое применение находят дифференциально-трансформаторные преобразователи. Это обусловлено их линейной реверсивной характеристикой и высокой чувствительностью.

Дифференциально-трансформаторный преобразователь (рис. 1а) состоит из двух одинаковых трансформаторов с общим каркасом и плунжером. Обе обмотки каждого трансформатора расположены на одной из половин каркаса. Электрическая схема такого трансформатора приведена на рис. 1б. Как видно из схемы, первичные обмотки обоих трансформаторов соединены так, что одна является продолжением другой (согласное включение обмоток). Вторичные же обмотки трансформаторов соединены таким образом, что их напряжения вычитаются друг из друга (встречное включение). Поэтому и результирующее напряжение  $U$  дифференциально-трансформаторного преобразователя равно разности напряжений вторичных обмоток. Зависимость напряжения преобразователя  $U$  (выходной сигнал) от перемещения плунжера  $L$  (входной сигнал) приведена на рис. 1в. Из рисунка видно, что при среднем положении плунжера ( $L = 0$ ), выходной сигнал равен нулю.

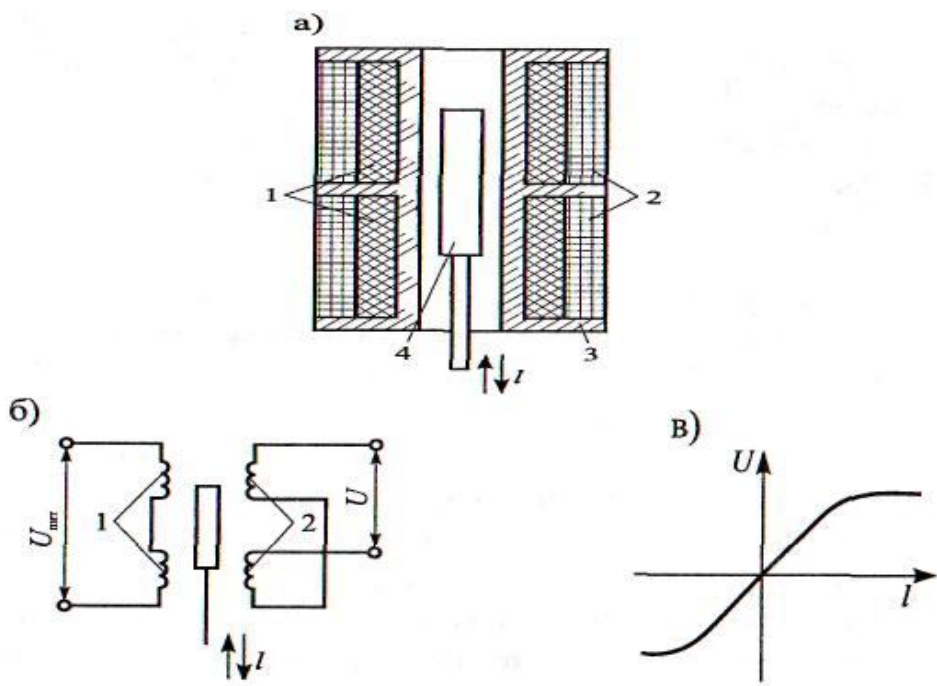


Рис. 1. Дифференциально-трансформаторный преобразователь:  
 а – устройство; б – электрическая схема; в – статистическая характеристика; 1 – первичные обмотки; 2 – вторичные обмотки; 3 – каркас; 4 – плунжер

В промышленных преобразователях этого типа ход плунжера выбирается малым по сравнению с длиной катушек трансформатора (обычно не более 5 мм). При этом, как видно из рис. 1в, зависимость напряжения  $U$  от перемещения плунжера  $L$  можно считать линейной.

$$U = kL, \tag{1}$$

где коэффициент пропорциональности  $K$  является коэффициентом передачи дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Линейность статической характеристики выгодно отличает данный преобразователь от просто трансформаторного преобразователя.

Дифференциально-трансформаторный преобразователь действует следующим образом. К первичной обмотке 1 преобразователя (рис. 1б) подводится переменное напряжение  $U_{пит} = \sim 33\text{В}$ . По этой обмотке  $W$  протекает переменный ток с частотой  $f$ , который создает переменный магнитный поток  $\Phi$ . Последний пронизывает витки вторичных обмоток преобразователя и наводит в них ЭДС  $E$ , пропорциональную магнитному потоку  $\Phi$ .

$$E = 4,44Wf\Phi \tag{2}$$

Величина магнитного потока  $\Phi$  для вторичных обмоток преобразователя зависит от положения плунжера. ЭДС  $E$ , наведенные во вторичных обмотках 2, пропорциональны магнитному потоку  $\Phi$ .

Дифференциально-трансформаторные преобразователи преобразуют входную величину – перемещение в напряжение переменного тока, причем изменение направления измеряемой величины вызывает изменение – фазу выходного напряжения на  $180^\circ$ .

Характерными и отличительными особенностями дифференциально-трансформаторных преобразователей являются:

а) простота, высокая надежность, долговечность, отсутствие контактов;

б) достаточная величина выходной мощности, позволяющая обойтись без усилительных устройств;

в) высокая чувствительность, точность.

Наряду с достоинствами эти преобразователи обладают и недостатками:

а) сильная зависимость их характеристик от частоты источника питания;

б) непригодность для измерения весьма быстрых перемещений вследствие относительно большого момента инерции подвижных частей и собственной электрической постоянной времени;

в) возможность работы только на переменном токе.

## **2. Цель лабораторной работы**

Целью данной лабораторной работы является:

а) изучение устройства и принципа действия трансформаторных преобразователей;

б) исследование работы дифтрансформаторного и ферродинамического преобразователя, снятие статических характеристик;

в) изучение и исследование системы дистанционной передачи информации, выполненной на дифтрансформаторных преобразователях.

## **3. Лабораторное оборудование**

Для проведения лабораторной работы необходимо подготовить:

а) лабораторный стенд «Исследование преобразователя механических перемещений и систем дистанционной передачи информации»;

б) осциллограф; в) вольтметр.

#### 4. Описание лабораторной установки

Лабораторный стенд предназначен для изучения устройства и исследования дифтрансформаторных и ферродинамических преобразователей линейных угловых перемещений, а также систем дистанционных передач информации.

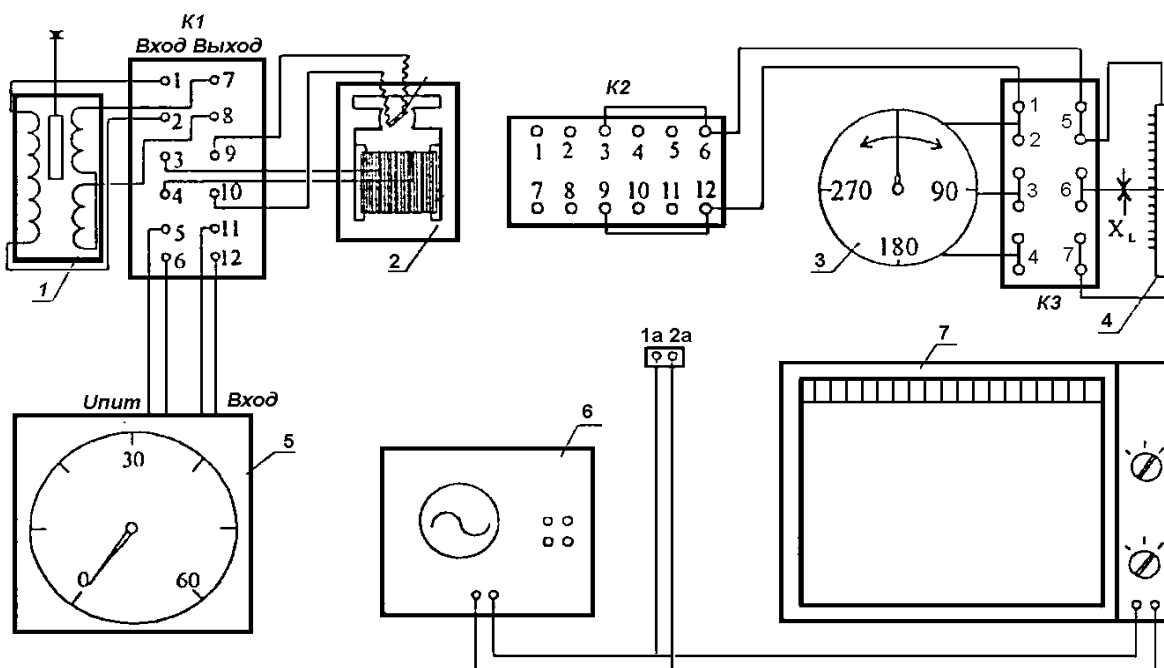


Рис. 2. Лицевая панель лабораторного стенда

На лицевой панели лабораторного стенда слева направо расположены:

- 1 – дифференциально-трансформаторный преобразователь линейных перемещений – ДТП;
- 2 – ферродинамический преобразователь угловых перемещений ФДП;
- 3 – потенциометрический преобразователь угловых перемещений – ПрУП;
- 4 – потенциометрический преобразователь линейных перемещений – ПрЛП.

В нижней части стенда расположены измерительные приборы:

- 5 – вторичный прибор КСД-3 – компенсатор, показывающий самопишущий дисковый с дифтрансформаторным преобразователем;
- 6 – осциллограф;
- 7 – универсальный самопишущий вольтметр – амперметр.

На этих панелях также расположены три колодки штекерных гнезд, которые обозначаются, соответственно, К1, К2, К3. К вертикально-расположенным колодкам К1 и К3 с внутренней стороны припаяны входные и выходные контакты преобразователей. Средняя горизонтально расположенная колодка К2 соединена с вольтметром.

Питание дифтрансформаторного преобразователя подается по двум проводам от КСД-3 к кл.5, кл.6 К1. К этим клеммам поочередно подключаются исследуемые преобразователи, расположенные на стенде.

На стенде поочередно могут выполняться две лабораторные работы.

1. Исследование дифтрансформаторного преобразователя и системы дистанционной передачи информации линейных перемещений.

2. Исследование ферродинамического преобразователя и системы дистанционной передачи информации угловых перемещений.

Для исследования преобразователя необходимо с помощью проводников со штекерами произвести подключение исследуемого преобразователя, согласно приведенной на рис. 2 схеме.

Для измерения выходного сигнала преобразователей подключается вольтметр переменного тока, измеряющий  $U_{\text{вых.}}=f(X_{\text{вх.}})$ .

Для визуализации выходного сигнала преобразователя подключается осциллограф.

Для линейного перемещения плунжера ДТП применен микрометрический винт «В» с делениями, который установлен на верхней части стенда с левой стороны.

Для изменения угла поворота рамки ФДП на панели стенда установлена ручка, при помощи которой происходит поворот рамки и связанной с ней шкалы, выраженной в градусах.

## **5. Порядок проведения лабораторной работы**

Порядок работы следующий.

### **5.1. Снятие характеристик холостого хода ДТП при $R=\infty$**

Для этого подключить с помощью проводников первичную обмотку ДТП кл.1, кл.2 (К1) к кл.11 и кл.12. Подключить вольтметр, соединив клемму 7 и кл.8 проводниками с кл.1а, кл.2а (К2).

Вращая винт микрометра (ввод X), который находится вверху над ДТП, установить плунжер ДТП в среднее положение (средняя риска на шкале отсчета).

Включать питание КСД-3. Перемещая винт микрометра  $X_{\text{вх.}}$  по часовой стрелке с шагом  $\Delta X_{\text{вх.}}=2$  мм снимать показания вольтметра до



нижней риски, затем перемещать винт до верхнего положения и от верхнего до среднего положения. Записать данные и внести в табл. 1.

### 5.2. Снятие статических характеристик ДТП при $R_n < \infty$

Для чего подключить поочередно один из резисторов, прилагаемых к лабораторной установке параллельно измерительному прибору. Установить плунжер ДТП в верхнее положение на отметку верхней риски. Изменяя положение микрометрического винта с шагом  $\Delta X_{вх} = 2$  мм до нижней отметки снять зависимость  $U_{вых.} = f(X_{вх})$  при  $R_n = 200$  и  $400$  ом. Данные записать в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследования ДТП

№№ п/п изм.	X <sub>вх.</sub> , мм	ΔX	Данные эксперимента			Данные расчета		
			U <sub>вых.</sub> В			K <sub>ст</sub> %		
			R <sub>n</sub> =∞	R <sub>n</sub> =200	R <sub>n</sub> =400	R <sub>n</sub> =∞	R <sub>n</sub> =200	R <sub>n</sub> =400
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

### 5.3. Снятие статических характеристик ФДП при $R_n < \infty$

Ферродинамический преобразователь ФДП служит для преобразования угловых перемещений в пределах  $\pm 30^\circ$  в пропорциональное напряжение.

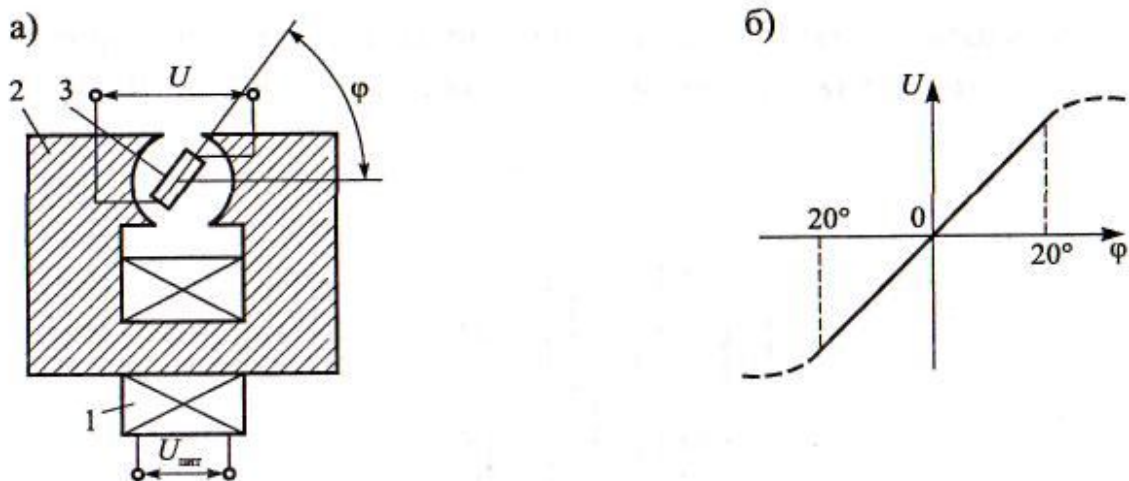


Рис. 3. Ферродинамический преобразователь:  
 а – устройство; б – статистическая характеристика;  
 1 – первичная обмотка; 2 – сердечник; 3 – вторичная обмотка (рамка)

ФДП представляет собой магнитную систему 2 с обмоткой возбуждения, размещенной на катушке 1. Катушка 1 создает переменное магнитное поле, в котором помещена вращающаяся на осях в пределах  $60^\circ$  рамка (3) с намотанным на ней изолированным проводом.

Величина ЭДС, наводимой в рамке (3) будет определяться величиной тока в катушке возбуждения и величиной взаимной индуктивности между обмоткой и рамкой.

Переменный магнитный поток, пронизывающий обмотку рамки наводит в ней ЭДС. При изменении положения рамки, пронизывающий ее магнитный поток также изменяется, при этом соответственно изменяется величина наведенной в ней ЭДС по формуле:

$$E_{\text{вых}} = KU_n \frac{W_2}{W_1} \sin \alpha, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – изменяется в пределах  $\pm 30^\circ$ . При горизонтальном положении рамки относительно магнитной оси  $U_{\text{вых}} = 0$ .

Подключить вход ФДП кл.3 и кл.4 колодка К1 к источнику питания кл.5 кл.6 (К1). Выход ФДП кл.9, кл.10 (К1) подключить к кл. 1а, 2а вольтметра. Поворачивая движок ( $\alpha_{\text{вх}}$ ) с шагом входа  $\Delta \alpha_{\text{вх}} = 5^\circ$  влево и вправо от «0» положения снять зависимость  $U_{\text{вых}} = f(\alpha_{\text{вх}})$ . Записать показания и занести в табл. 2.

Подключить к  $U_{\text{вых}}$  кл.9 и кл.10 резистор с сопротивлением R нагрузки  $= 200$  ом затем  $R_n = 400$  ом и поочередно снять зависимость  $U_{\text{вых}} = f(\alpha_{\text{вх}})$ . Данные занести в графы 5,6 табл. 2.

Таблица 2

№№ п/п изм.	$\alpha_{вх.}$ грд.	$\Delta\alpha_{вх.}$	Данные эксперимента			Данные расчета		
			U <sub>вых.</sub> В			Кст %		
			R <sub>н</sub> = $\infty$	R <sub>н</sub> = 200ом	R <sub>н</sub> = 400ом	R <sub>н</sub> = $\infty$	R <sub>н</sub> = 200ом	R <sub>н</sub> = 400ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9

#### 5.4. Исследование системы дистанционной передачи информации

Для дистанционного контроля за различными технологическими параметрами (давление: расход, уровень и т.п.) применяются дифференциально-трансформаторные и ферродинамические системы передачи информации.

Такая система включает в себя первичный прибор (в частности, для измерения давления применяется манометр с электрической дистанционной передачей) типа МЭД, состоящий из чувствительного элемента (трубка Бурдона) и механически связанного с ним дифференциально-трансформаторного преобразователя, канала связи и вторичного прибора с функцией показа, регистрации и регулирования, типа КСД, КПД.

Работа такой системы основана на принципе компенсации разности трансформируемых напряжений первичного и вторичного приборов (рис. 4, схема). В систему входят два конструктивно одинаковых преобразователя ДТ1 и ДТ2 (рис. 4), электронный усилитель ЭУ и двухфазный асинхронный двигатель РД-09, перемещающий сердечник преобразователя ДТ2.

С выходным валом электродвигателя связаны показывающая стрелка и самопишущее устройство. Первичные обмотки катушек преобразователей соединены последовательно и питаются переменным током от силового трансформатора, входящего в блок электронного усилителя ЭУ.

Вторичные обмотки преобразователей ДТП1 к ДТП2 соединены между собой с помощью линии связи встречно, и подключены на вход усилителя. Сердечник преобразователя ДТП1 механически связан с чувствительным элементом. Если сердечник катушки находится в среднем (нейтральном) положении ЭДС,  $L_1$  и  $L_2$ , индуцируемые в каждой из вторичных обмоток преобразователя ДТП1 будут равны, так как число витков обмоток и магнитные потоки, пронизывающие их, равны, а напряжения  $e_1$  и  $e_2$  направлены встречно. Следовательно, разность ЭДС во вторичных катушках будет равна нулю  $\Delta E = e_1 - e_2 = 0$ .

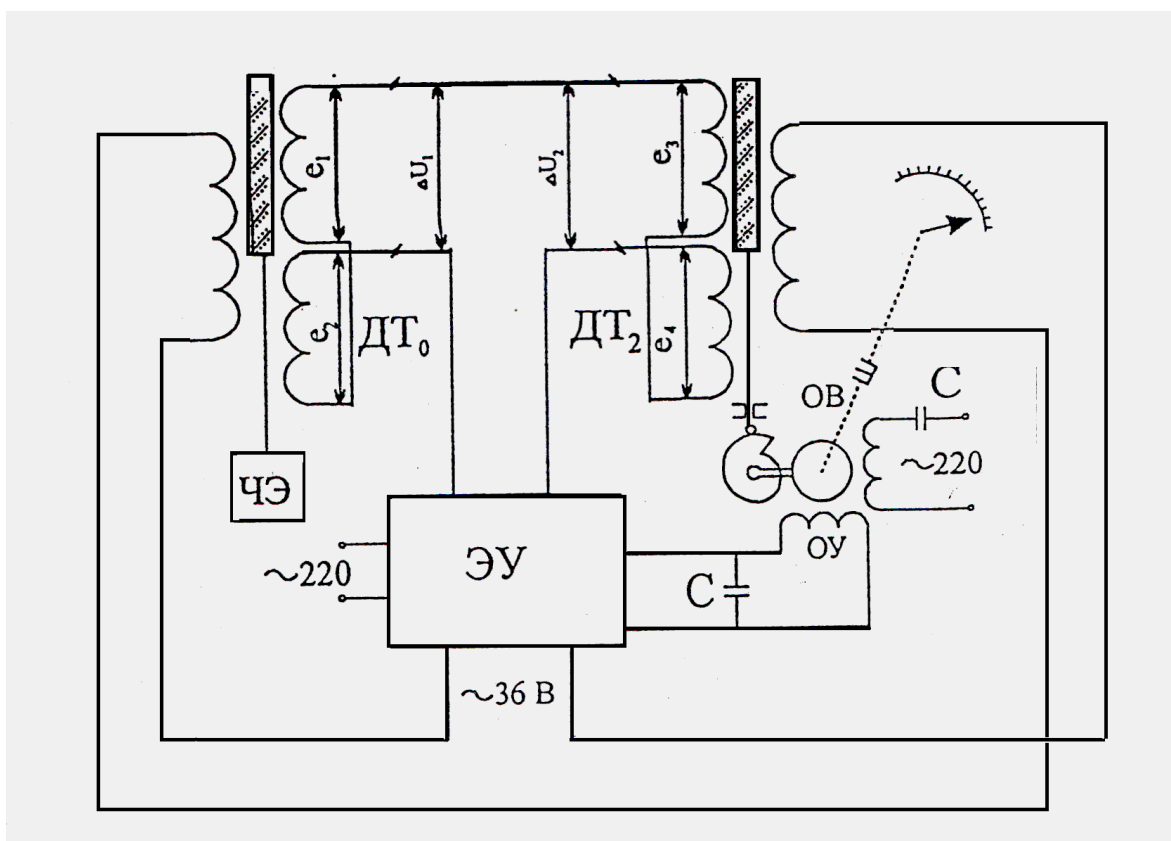


Рис. 4. Система дистанционной передачи информации

Если сердечник катушки ДТП2 вторичного прибора находится в среднем положении, то разность ЭДС во вторичных обмотках этой катушки тоже равна нулю  $\Delta E = e_3 - e_4 = 0$ , при одинаковых параметрах катушек напряжение на входе усилителя ЭУ будет равно  $\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2 = 0$ .

Система находится в покое. При смещении сердечника катушки ДТП1 от среднего положения изменится распределение в магнитах потоков во вторичных обмотках датчика и индуцируемые в них ЭДС не будут равны друг другу, т.е. формула  $\Delta E = e_1 - e_2 \neq 0$ .

Во вторичной цепи измерительной схемы возникает напряжение равное  $\Delta U = \Delta U_1 - \Delta U_2 \neq 0$ , величина этого напряжения является функцией линейного перемещения сердечника катушки ДТ1, а фаза – функцией направления перемещения сердечника от среднего положения.

Напряжение  $\Delta U$  усиливается усилителем ЭУ и поступает на обмотку асинхронного двигателя РД-09. Последний профильным кулачком «К» перемещает сердечник катушки ДТ2 вторичного прибора до тех пор, пока не сравняются напряжения, индуцируемые в обеих обмотках вторичных катушек.

Таким образом, каждому положению сердечника ДТ1 первичного преобразователя соответствует определенное положение сердечника катушки ДТ2 вторичного прибора. Допустимая погрешность измерения этой системы составляет 2,5%.

До недавнего времени ферродинамическая и дифференциально-трансформаторная системы не были унифицированы и требовали индивидуального подбора и настройки комплекта измерений. Кроме того, преобразователи одной системы не компоновались со вторичными приборами другой, хотя и та и другая системы основаны на измерении изменения взаимоиндуктивности. В настоящее время установлен унифицированный сигнал переменного тока, соответствующий изменению взаимоиндуктивности преобразователей в диапазоне 0–10 мГц и системы стали унифицированными.

## 6. Обработка опытных данных и составление отчета

а) построить статические характеристики ДТП;

$U_{\text{вых}} = f(X_{\text{вх}})$  при  $R_{\text{н}} = \infty$  и  $R_{\text{н1}}$  и  $R_{\text{н2}}$ ;

б) построить статические характеристики ФДП;

$U_{\text{вых}} = f(\alpha_{\text{вх}})$  при  $R_{\text{н}} = \infty$  и  $R_{\text{н1}}$  и  $R_{\text{н2}}$ ;

в) вычислить статический коэффициент передачи тока по соотношению:

$$K_{\text{ст}} = \frac{U_{n_{\text{вых}}} - U_{\text{вых}}(n-1)}{X_{n_{\text{вх}}} - X_{\text{вх}}(n-1)} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta X_{\text{вх}}}, \quad (4)$$

соответственно,  $K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta \alpha_{\text{вх}}}, \quad (5)$

г) построить графики зависимости  $K_{\text{ст}} = f(X_{\text{вх}})$  и  $K_{\text{ст}} = f(\alpha_{\text{вх}})$ ;

д) сделать сравнение статических характеристик при  $R_{\text{н}} = \infty$ , и  $R_{\text{н1}}$  и  $R_{\text{н2}}$ ;

ж) сделать вывод о влиянии  $R$  нагрузки на коэффициент передачи тока.

Отчет должен содержать следующее.

1. Схемы и краткое описание работы преобразователей ДТП и ФДП, основные формулы.
2. Графики зависимости.
3. Выводы из проделанной работы.

### **7. Контрольные вопросы к лабораторной работе**

1. Объяснить принцип действия дифтрасформаторного преобразователя ДТП.
2. Объяснить принцип действия феродинамического преобразователя ФДП.
3. Поясните область применения ДТП и ФДП.
4. Объясните зависимость изменения  $U_{\text{вых}}$  от  $R_{\text{н}}$
5. Объясните устройство и назначение систем дистанционных передач информации.
6. Поясните область применения систем дистанционных передач информации.
7. Поясните структурную схему системы дистанционной передачи информации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Попкович Г.О., Гордеев М.А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. – М.: Высшая школа, 1986.
2. Преобразователи измерительные разности давления ДМ3583М. Руководство по эксплуатации 2.833.004.РЭ.
3. Преобразователи давления (манометры, вакуумметры и мановакуумметры) типа МЭД, взаимозаменяемые. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 3.9026.142 ТО.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ  
И СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы для  
студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»,  
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Составитель Дубяго Владимир Александрович