

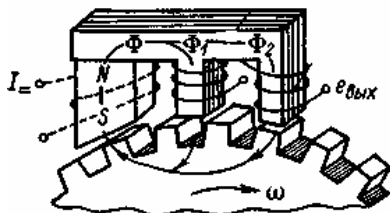
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе
по дисциплине «Физические основы получения информации»
для студентов направления 12.03.01 "Приборостроение"
(направленность "Приборостроение") всех форм обучения



Воронеж 2016

Составители: канд. техн. наук А.В. Турецкий,
канд. техн. наук Н.В. Ципина,
канд. техн. наук В.А. Шуваев

УДК 621.3.049.7.002 (075)

Исследование характеристик индукционных датчиков: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Физические основы получения информации» для студентов направления 12.03.01 "Приборостроение" (направленность «Приборостроение») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Турецкий, Н.В. Ципина, В.А. Шуваев. Воронеж, 2016. 17 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторной работы по дисциплине «Физические основы получения информации». Основной целью указаний являются выработка навыков работы с индукционными датчиками, уяснение их принципа действия, характеристик и параметров.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле «LR4 FOPI.pdf».

Ил. 5. Библиогр.: 2 назв.

Рецензент д-р. техн. наук, проф. О.Ю. Макаров

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.В. Муратов

Издается по решению редакционно–издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный технический
университет», 2016

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Изучение теории индукционных преобразователей и проведение экспериментальных исследований выдаваемых ими сигналов.

1.2. Содержание работы

Индукционные преобразователи широко применяются для преобразования оборотов вращения в переменный электрический сигнал, а также измерения параметров магнитных полей и уровень вибрации.

- 1) изучить принцип действия, конструкцию, характеристики индукционных преобразователей различного типа;
- 2) освоить методику работы с USB осциллографом;
- 3) изучить форму сигнала индукционных преобразователей;
- 4) по полученным данным построить зависимость амплитуды сигнала от оборотов вращения;
- 5) составить отчет о выполненной лабораторной работе.

При выполнении лабораторной работы техника безопасности должна соблюдаться при работе со стендом лабораторной установки.

2. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание № 1

Изучить принцип действия, конструкцию, характеристики индукционных преобразователей различного типа.

Для выполнения домашнего задания следует проработать содержание настоящего раздела.

Индукционные преобразователи основаны на использовании явления электромагнитной индукции. Различают индукционные преобразователи для измерения параметров магнитных полей, для измерения частоты вращения и измерения параметров уровня вибрации.

Для измерения магнитной индукции переменного магнитного поля применяются преобразователи со стационарными (неподвижными) обмотками. Коэффициент преобразования, связывающий действующее значение индуцируемой ЭДС с амплитудным значением индукции периодически симметрично меняющегося магнитного поля, определяется выражением

$$K_B = \frac{E}{B_m} = - \frac{4k_\phi f \omega S \cos \alpha \mu'}{[1 + N(\mu' - 1)]}; \quad (1)$$

где k_ϕ - коэффициент формы кривой;

f - частота переменного магнитного поля.

α - угол между магнитной осью преобразователя, совпадающей с нормалью к плоскости обмотки, и вектором магнитной индукции;

S - площадь поперечного сечения катушки;

μ' - магнитная проницаемость среды в единицах μ_0 ;

N - коэффициент размагничивания сердечника, определяемый формой и соотношением размеров сердечника.

При искаженной форме кривой обычно измеряют среднее значение индуцируемой ЭДС

$$E_{CP} = \frac{E}{k_\phi}.$$

Для измерения индукции постоянного магнитного поля могут быть использованы как преобразователи с условно ста-

ционарной обмоткой, так и преобразователи с принудительным движением обмотки. В преобразователях со стационарной обмоткой изменение магнитного потока, сцепляющегося с витками обмотки, может происходить в результате изменения самого измеряемого поля, например при измерениях магнитного поля, вызываемого включением какого-то агрегата, или в результате однократного изменения положения самого преобразователя - удаления преобразователя из магнитного поля или поворота в поле на 90 или 180°.

Выходным сигналом такого преобразователя является импульс тока или импульс ЭДС, которые возникают при изменении полного магнитного потока. Изменение потока $\Delta\Psi$ связано с ЭДС и током как

$$\Delta\Psi = \int_{t_1}^{t_2} e dt = r \int_{t_1}^{t_2} i dt = rQ; \quad (2)$$

где r — полное сопротивление измерительной цепи с учетом сопротивления преобразователя;

Q - количество электричества.

В качестве интеграторов используются баллистический гальванометр (при интегрировании тока) или магнитоэлектрические, фотогальванометрические и электронные веберметры с операционными усилителями, применяемые для интегрирования ЭДС.

Индукционные преобразователи для измерения параметров магнитных полей в воздушном пространстве обычно выполняются в виде измерительных катушек различной формы, начало и конец обмотки которых находятся в одном месте, чтобы не создавались дополнительные контуры за счет подводящих проводов.

Для измерения напряженности магнитного поля при испытании ферромагнитных материалов используются плоские измерительные катушки (рис. 1, а), помещаемые на поверхно-

сти испытуемого образца; при этом измеренная в воздухе напряженность поля

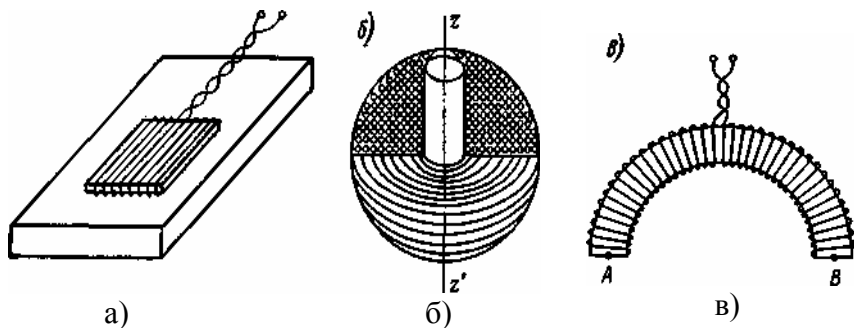


Рис. 1. Конструкции индукционных преобразователей

принимается равной напряженности поля на поверхности образца.

Для измерения магнитной индукции и напряженности неоднородных магнитных полей целесообразно использовать шаровые индукционные преобразователи (рис. 1, б). Магнитный поток, сцепляющийся с такой катушкой, равен

$$\Phi = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot w \cdot B_0}{3}, \quad (3)$$

где B_0 — индукция в центре преобразователя;

r — радиус сферы;

w — число витков на единицу длины оси zz' , которая должна совпадать с вектором B_0 .

Для измерения МДС используются индукционные преобразователи, называемые магнитными потенциометрами, обычно выполняемые в виде равномерной обмотки на гибком изоляционном каркасе. Обмотка выполняется с четным числом

слоев так, чтобы выводы находились в середине обмотки (рис. 1, в). Магнитный потенциометр помещается в магнитное поле таким образом, чтобы его концы находились в точках А и В, между которыми измеряется МДС. Магнитный поток, сцепляющийся с витками потенциометра, равен

$$\Psi = S \cdot w \cdot \mu_0 \cdot \int_A^B H_X dl = S \cdot w \cdot \mu_0 \cdot F_X \quad (4)$$

Порог чувствительности средств измерений со стационарными индукционными преобразователями определяется главным образом механическими помехами (вибрации, сейсмические и акустические воздействия), которые приводят к колебаниям преобразователя и наведению дополнительной ЭДС, а также дрейфом интегрирующего выходного преобразователя. Наиболее чувствительные магнитоэлектрические веберметры имеют цену деления $5 \cdot 10^{-6}$ Вб, а фотогальванометрические веберметры — $4 \cdot 10^{-8}$ Вб.

На (рис. 1, а) показана схема α -преобразователя (так называемого измерительного генератора), который состоит из рамки 1 с числом витков w и вращается при помощи двигателя 2 с угловой частотой

$$\Omega = \frac{d\alpha_2}{dt}; \quad (5)$$

где α_2 — угол между магнитной осью преобразователя и поперечной компонентой вектора магнитной индукции

$$B_{01} = B_0 \sin \alpha_1,$$

где α_1 — угол между осью вращения преобразователя и вектором B_0 .

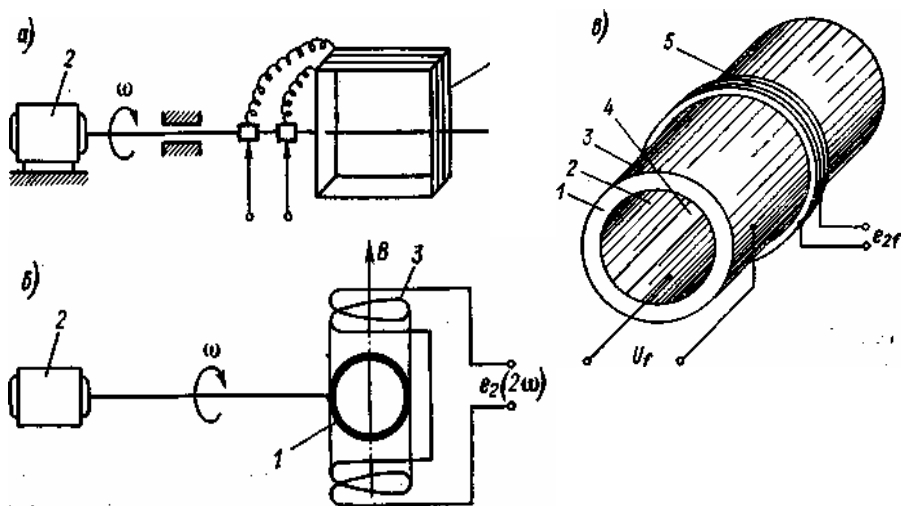


Рис. 2. Схема измерительного генератора

Коэффициент преобразования преобразователя

$$k_B = \frac{E_m}{B_0} = \Omega \omega S \quad (6)$$

где E_m — амплитудное значение генерируемой ЭДС.

Преобразователи с вращающейся катушкой отличаются высокой чувствительностью (до 300 В/Тл). Порог чувствительности ограничен уровнем шума коллектора и наводками от электродвигателя и цепи питания. Для снижения порога чувствительности используются бесколлекторные токосъемы, а вращение генератора осуществляется через редуктор, с тем чтобы частота выходного сигнала отличалась от частоты сети и не была кратной частоте вращения двигателя.

На (рис. 2, б) изображен четногармонический преобразователь. В качестве вращающегося элемента используется короткозамкнутое кольцо 1, которое вращается двигателем 2 в

неподвижной обмотке 3. Магнитное поле, создаваемое током, индуцированным в короткозамкнутом кольце при его вращении во внешнем поле с индукцией B_0 , изменяется с одинаковой частотой как по модулю, так и по направлению. Вследствие этого проекция вектора магнитной индукции поля на ось неподвижной обмотки, совпадающей с вектором измеряемой магнитной индукции B_0 , будет изменяться пропорционально $\cos^2 \Omega t$. Суммарный поток, пронизывающий неподвижную катушку (активным сопротивлением кольца пренебрегаем), равен

$$\Phi_{\Sigma} = SB_0 - SB_0 \cos^2 \Omega t = 0.5SB_0(1 - \cos 2\Omega t); \quad (7)$$

и ЭДС, наводимая в неподвижной обмотке,

$$e = \Omega w SB_0 \sin 2\Omega t; \quad (8)$$

Разнесение частот напряжения питания и полезного сигнала позволяет отфильтровать наводки и создать на рассмотренном принципе индукционные преобразователи с порогом чувствительности 10^{-10} Тл.

На (рис. 2, в) показан S-преобразователь с радиальными колебаниями, возбуждаемыми электрострикционным вибратором. Вибратором является тонкостенный цилиндр 1 из сегнетокерамики $PbZrO_3$ с металлизированными внутренней 2 и внешней 3 поверхностями, куда подводится переменное управляющее напряжение U_f . Внутренний электрод имеет продольный разрез 4, а внешний представляет собой короткозамкнутый виток, на котором находится вторичная многовитковая обмотка 5. Вследствие радиальных электрострикционных колебаний периодически изменяется площадь поперечного сечения короткозамкнутого витка, и при наличии постоянного

магнитного поля, вектор магнитной индукции которого направлен по оси цилиндра, в наружном короткозамкнутом витке возникает переменный ток, который вызывает во вторичной обмотке ЭДС, пропорциональную индукции B_0 . Частота электрострикционных колебаний и выходной ЭДС равна удвоенной частоте управляющего напряжения.

Для измерения частоты вращения используются α - и N-преобразователи. Конструктивно они отличаются от преобразователей магнитной индукции тем, что дополняются устройством (обычно постоянный магнит), создающим магнитное поле с заданной индукцией, а вращение подвижных элементов осуществляется объектом, частота вращения которого измеряется. На (рис. 6.3, а) показано принципиальное устройство тахогенератора, выходная ЭДС которого

$$e = \Omega B_N wS \sin \Omega t ; \quad (9)$$

где Ω — частота вращения катушки.

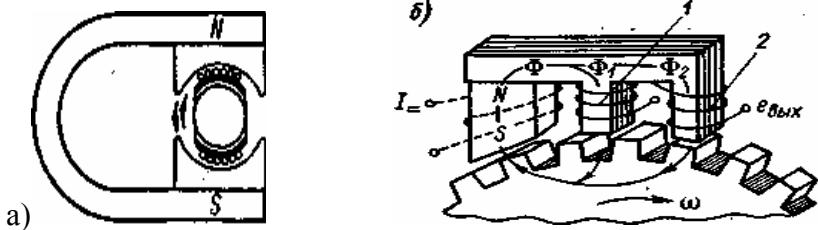


Рис. 3. Схема тахогенератора

Для измерения частоты вращения используются также N-преобразователи с неподвижной обмоткой. Принцип действия такого преобразователя показан на (рис. 3, б). В этом преобразователе постоянный магнит и катушка, содержащая две полуобмотки с числом витков W , неподвижны. При вращении

ротора происходит перераспределение магнитного потока постоянного магнита: увеличивается поток через полюс магнитопровода, под которым проходит зубец ротора, и уменьшается поток через полюс, под которым проходит паз ротора. Поток постоянного магнита остается при этом неизменным, так как полное магнитное сопротивление для суммарного потока остается почти постоянным. Таким образом, в части магнитопровода, образованной полюсами 1 и 2 к ротором, за счет изменения размагничивания полюсов при вращении ротора появляется переменная составляющая магнитного потока, и в катушке индуцируется ЭДС, частота Ω которой определяется частотой вращения Ω_{MX} и числом n зубцов ротора:

$$\Omega = n\Omega_{MX}, \quad (10)$$

а амплитуда

$$E_m = 2\Omega \Delta \Phi_M w, \quad (11)$$

где $\Delta \Phi_M$ — амплитуда переменной составляющей потока. В подобных преобразователях в качестве выходной величины чаще используется не ЭДС, а частота.

Индукционные преобразователи параметров вибрации.

Принцип действия преобразователя виброскорости поясняется (рис. 4, а.) В катушке, колеблющейся в зазоре, индуцируется ЭДС

$$e = \Omega X_m B_N w l_{cp} \sin \Omega t \quad (12)$$

где $\Omega X_m \sin \Omega t = x'$ — скорость катушки, совершающей колебания $x = X_m \cos \Omega t$;

B_N — индукция в зазоре;

w и l_{cp} — число витков и средняя длина витка.

Если индукция в зазоре преобразователя составляет $B_N = 0,5$ Тл, диаметр обмотки $d = 20$ мм, площадь окна, заполняемого проводом, $S_{окн} = (1 \times 5)$ мм, то, выбрав провод диаметром 0,05 мм ($w' = 180$ витков/мм²), можно получить коэффициент преобразования $k_v = 10$ В/(м/с), и амплитуда выходного напряжения преобразователя, подвижная часть которого совершает колебания с амплитудой $X_m = 1$ мм и частотой $f = 10$ Гц, составляет 0,630 В.

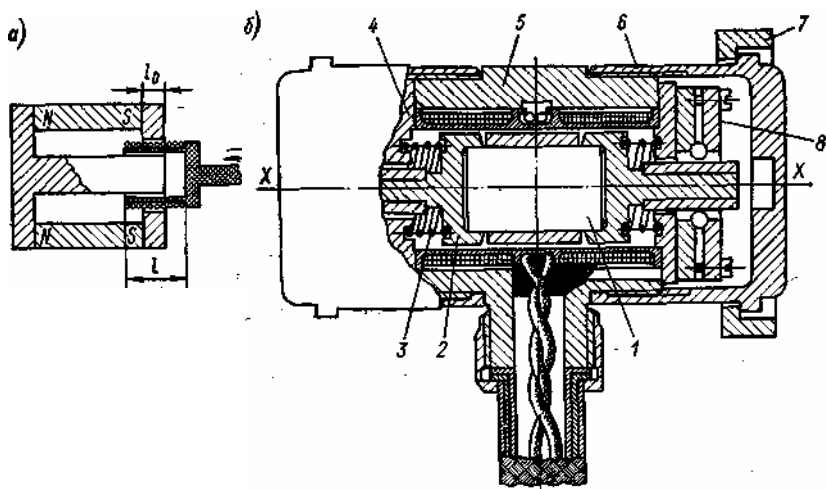


Рис. 4. Схема вибрметра

Чтобы получить значение виброперемещения или виброускорения, выходной сигнал подается соответственно на интегрирующий или дифференцирующий усилитель. Во избежание нелинейных искажений выходного электрического сигнала, повторяющего по форме входной механический сигнал, усредненное по всем виткам значение индукции при колебаниях катушки должно оставаться постоянным. Для этих целей

длина катушки l выбирается или меньше ширины зазора l_0 так, чтобы при колебаниях катушка не доходила до его краев, или больше ширины зазора так, чтобы края катушки были всегда за пределами зазора. Обычно индукционные преобразователи применяются для измерения параметров вибраций в диапазоне частот 1—50 Гц при амплитуде вибраций не более 1—5 мм. Чувствительность индукционных преобразователей сейсмоприемников достигает 140 В/(м/с) (например, для СК-1П).

Устройство датчика вибromетра показано на (рис. 4, б). По измерительной оси xx расположена подвижная часть, представляющая собой магнит 1 и полюсные наконечники 2. Подвижная часть крепится в подшипниках 8, ограничивающих ее перемещения по осям, перпендикулярным измерительной, и поджимается пружинами 3. Измерительная обмотка, состоящая из двух половин, намотана на медный каркас 4 и укреплена в стальной обойме 5, которая одновременно служит корпусом. Датчик закрывается крышками 6 и при помощи фланца 7 крепится к объекту измерения. Магнитные поля в рабочих зазорах, в которых расположены измерительные полуобмотки, направлены встречно; благодаря этому уменьшается погрешность от влияния внешнего магнитного поля. Медный каркас за счет наводимых в нем при движении магнита токов служит для увеличения коэффициента успокоения.

Погрешность индукционных преобразователей.

ЭДС индукционных преобразователей пропорциональна скорости перемещения катушки лишь при условии, что индукция B постоянна на протяжении всего пути ее перемещения. Непостоянство индукции вызывает возникновение погрешности.

Погрешность индукционных преобразователей также во многом зависит от тока, который потребляет вторичный преобразователь. Проходя по измерительной обмотке индукционного преобразователя, этот ток создает магнитное поле, которое согласно правилу Ленца направлено встречно направлению основного поля и производит размагничивающее дейст-

вие. Вследствие этого суммарная индукция уменьшается, уменьшается и ЭДС преобразователя. Это явление, имеющее место в электрических машинах и, в частности, в тахометрических преобразователях называется *реакцией якоря*. Вследствие реакции якоря уменьшается чувствительность тахометрического преобразователя и его функция преобразования становится нелинейной, что приводит к погрешности. Для уменьшения погрешности следует уменьшить ток преобразователя. Имеются также конструктивные методы уменьшения этой погрешности.

Описанный вид погрешности присущ тахометрическим преобразователям, поскольку их вторичными приборами служат электромеханические приборы с большим потреблением мощности.

Влияние тока нагрузки на функцию преобразования преобразователей вибрации меньше, чем на функцию преобразования тахометрических преобразователей. Нагрузкой преобразователей вибрации обычно являются электронные усилители. Они имеют большое входное сопротивление, которое ограничивает ток преобразователя и тем самым уменьшает погрешность.

Если нагрузка индукционного преобразователя потребляет значительный ток, то может возникнуть погрешность вследствие изменения внутреннего сопротивления преобразователя, поскольку изменится падение напряжения на его внутреннем сопротивлении. Изменение внутреннего сопротивления может быть обусловлено температурными изменениями сопротивления измерительной обмотки и сопротивления линии связи со вторичным прибором. Внутреннее сопротивление тахометрического преобразователя постоянного тока нестабильно также вследствие изменения сопротивления коллектора.

При изменении частоты вращения синхронного тахометрического преобразователя изменяется как ЭДС, так и ее частота. При изменении частоты меняются его входное сопротивление и входное сопротивление его нагрузки. Изменения

сопротивлений могут привести к нелинейной функции преобразования прибора в целом, даже если ЭДС тахометрического преобразователя линейно зависит от измеряемой скорости.

Выходной величиной синхронных тахометрических преобразователей является либо значение генерируемой ЭДС, либо ее частота. В последнем случае в качестве вторичного преобразователя используется частотомер. Применяемые стрелочные частотомеры не должны изменять свои показания при изменении напряжения.

Меньшие погрешности имеют место в режиме холостого хода, когда ток в измерительной катушке практически отсутствует. При работе в таком режиме требуется более сложная и дорогая аппаратура, должны использоваться измерительные механизмы повышенной чувствительности или усилительные устройства.

При измерении частоты вращения вала наименьшую погрешность можно получить, если в качестве выходной величины тахометрического преобразователя используется частота изменения ЭДС, а в качестве вторичного преобразователя — цифровой частотомер. При этом исключается влияние нестабильности величины выходного напряжения преобразователя и используется высокая точность цифрового частотомера. Однако в этом случае требуется наиболее сложная и дорогая аппаратура.

2.2. Контрольные вопросы к домашнему заданию

1. Каково назначение индукционных преобразователей ?
2. Каково устройство индукционных преобразователей различных типов?
3. Как измеряются параметры магнитных полей в воздушном пространстве?
4. Как измеряется напряженность магнитного поля при испытании магнитных материалов?
5. Как измеряются параметры магнитных полей в воздушном пространстве?

6. Объяснить устройство датчика виброметра показанного на рисунке 4?

7. В чем заключается принцип действия N-преобразователя?

8. Приведите примеры использования индукционных преобразователей в технике?

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Задание

1) Изучить теоретическую часть работы. Ознакомиться с принципом действия N-преобразователя.

2) Получить сигнал с N-преобразователя. Изучить его форму.

3) Снять зависимость амплитуды сигнала N-преобразователя от частоты.

5) Сделать заключение по выполненной лабораторной работе.

3.2. Описание лабораторной установки

Внешний вид лабораторной установки приведен на рис. 5. Она состоит из лабораторного блока питания 1 с возможностью регулировки тока и напряжения. Электродвигатель постоянного тока 2 запитывается от блока питания. На вал двигателя насажено зубчатое колесо. Перпендикулярно колесу располагается индуктивный преобразователь 3. К индуктивному преобразователю подключается USB осциллограф для наблюдения за формой сигнала.

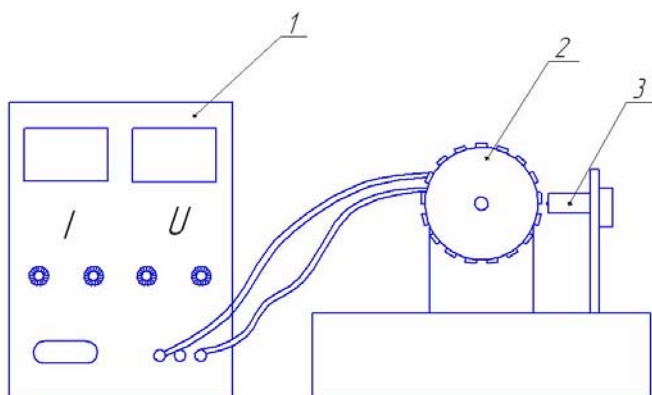


Рис. 5. Схема лицевой панели лабораторной установки

3.3. Методика проведения эксперимента

Наблюдение за формой сигнала

1. Подключить блок питания и USB осциллограф к установке.
2. Включить блок питания в сеть.
3. Регулировкой напряжения на блоке питания добиться равномерного вращения шпинделя двигателя.
4. Добиться устойчивой картинке на USB осциллографе. Определить частоту и амплитуду сигнала. Подсчитать по осциллограмме количество зубцов на колесе
5. Регулируя напряжение на блоке питания получить данные для построения зависимости амплитуды сигнала от числа оборотов двигателя.

Составить отчет по работе, в содержании которого привести:

1. теоретическую часть;
2. конструкцию индукционных преобразователей;

3. таблицы результатов эксперимента;
4. построенные характеристики.

3.4. Контрольные вопросы.

1. Каковы достоинства и недостатки индуктивных преобразователей?
2. Каковы области применения индуктивных преобразователей?
3. Дайте оценку погрешностей, вносимых при использовании индуктивных преобразователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шишмарев, В.Ю. Физические основы получения информации: учеб. пособие для студ. высш. проф. образования [Текст] / В.Ю. Шишмарев. -М.: Академия, 2010. - 448 с.
2. Дресвянников, А.Ф. Физические основы измерений [Текст] / А.Ф. Дресвянников, Е.В. Петрова, Е.А. Ермолаева. - М.: ЛЕНАНД, 2011. - 296 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие указания.....	1
2. Домашние задания и методические указания по их выполнению.....	1
3. Лабораторные задания и методические указания к его выполнению.....	14
Библиографический список.....	16

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе
по дисциплине «Физические основы получения информации»
для студентов направления 12.03.01 "Приборостроение"
(направленность "Приборостроение") всех форм обучения

Составители:
Турецкий Андрей Владимирович
Ципина Наталья Викторовна
Шуваев Владимир Андреевич

В авторской редакции

Компьютерный набор А.В. Турецкого

Подписано к изданию 15.11.2016.
Уч.-изд. л. 1,0. «С»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14