

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра автоматике и
вычислительной техники**

Исследование работы датчиков

Мурманск
2007

УДК

Составители: Маслов Алексей Алексеевич, к.т.н., профессор кафедры автоматике и вычислительной техники Мурманского государственного технического университета;
Яценко Виктория Владимировна, старший преподаватель той же кафедры

Издаются в авторском исполнении без редакторской правки

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой
«25» апреля 2007г., протокол № 4

Рецензент – Висков Андрей Юрьевич, к.т.н., доцент кафедры автоматике и вычислительной техники Мурманского государственного технического университета

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

1. Цели работы:

изучение конструктивных особенностей и принципа действия, схемы включения, области применения, достоинств и недостатков потенциометрического датчика, выработка практических навыков построения статических характеристик датчика, исследование влияния величин сопротивлений нагрузки на чувствительность потенциометрического датчика.

2. Теоретические сведения

Переменные резисторы, применяемые в электроавтоматике для регистрации линейных и угловых перемещений, а также преобразования этих перемещений в электрическое напряжение, называются потенциометрическими датчиками (ПД).

В простейшем виде ПД представляет собой резистор (R), включенный по схеме делителя напряжения (рис. 1, а).

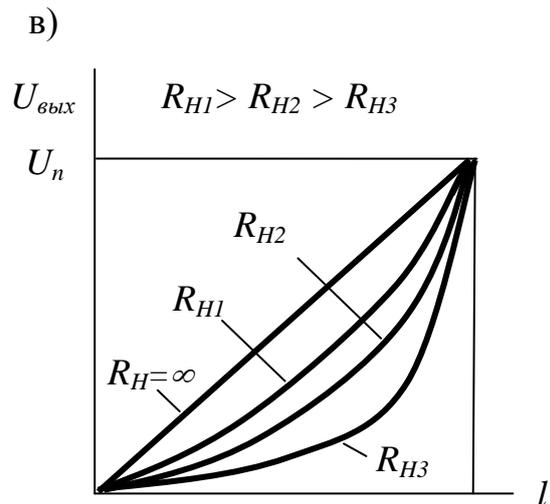
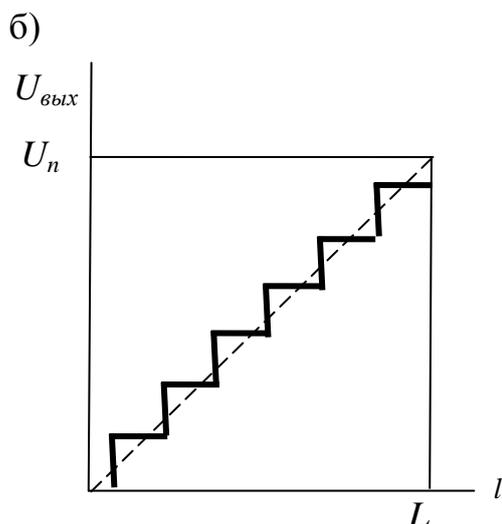
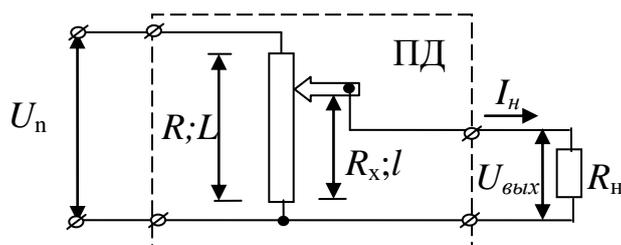


Рис. 1 Однотактный ПД (а) и его характеристики (б, в)

В устройствах автоматики чаще всего применяют проволочный ПД с непрерывной намоткой. Он представляет собой устройство, состоящее из каркаса, на который намотан в один ряд изолированный провод с высоким удельным сопротивлением, и подвижного контакта (движка), скользящего по виткам провода. Каркас выполняют из диэлектрического материала (текстолита, эбонита, стеклотекстолита, керамики) или металла (оксидированного алюминия). Применяют и другие металлы, покрытые тонким слоем изоляции.

Металлические каркасы обладают повышенной теплопроводностью и пропускают большие плотности тока через обмотку ПД. Для обработки используют тонкий провод из константана, манганита, нихрома, а также сплавы из благородных металлов на основе платины, серебра. Намоточный провод должен иметь большое удельное сопротивление и маленький температурный коэффициент сопротивления. Диаметр провода делают в пределах $0,03 \div 0,1$ мм для прецизионных (высокоточных датчиков) и $0,3 \div 0,4$ мм – для датчиков низкого класса точности. Контактующая с обмоткой часть движка выполняется в виде двух – трех проволочек или пластинок, укрепленных в щеткодержателе. Контактное давление для уменьшения усилий перемещения движка делается небольшим (до десятых долей грамма). Для увеличения надежности и улучшения отвода тепла ПД иногда герметизируют, заполняя свободные полости инертными газами или водородом.

По конструктивному исполнению каркаса различают плоские и цилиндрические ПД с прямолинейным перемещением движка, а также кольцевые и спиральные. Наиболее распространенной формой исполнения каркаса ПД является тороидальная форма. Благодаря малому радиусу движка такая форма позволяет снизить до минимума момент, необходимый для перемещения движка, что увеличивает чувствительность ПД.

Конструкция ПД может определять схему включения.

На рис. 1,а показана однотактная схема включения ПД с прямолинейным перемещением движка. Входной величиной ПД является перемещение l движка, выходной – напряжение $U_{вых}$ на сопротивление нагрузки R_n , которое имитирует входное сопротивление последующего элемента системы автоматического управления. Основной характеристикой любого

элемента системы автоматики является статическая характеристика, которая определяет зависимость выходной величины от входной в установившемся режиме. Так, для ПД (рис. 1, а) зависимость выходного напряжения от перемещения движка $U_{\text{вых}} = \varphi(l)$ является статической характеристикой ПД.

При холостом ходе (х.х.) ($R_n = \infty$, $I_n = 0$) напряжение на выходе датчика $U_{\text{вых}}$ равно падению напряжения на введенном участке ПД с сопротивлением R_x (рис. 1,а):

$$U_{\text{вых}} = I R_x = \frac{U_n}{R} R_x,$$

где I - ток в цепи ПД;

R - полное сопротивление ПД.

При х.х. и плавном изменении сопротивления ПД выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ является линейной функцией входного перемещения l . Однако в многовитковых прецизионных ПД необходимо учитывать ступенчатость изменения напряжения при перемещении движка с витка на виток. Поэтому реальная зависимость $U_{\text{вых}} = \varphi(l)$ для этих датчиков представляет собой ступенчатую характеристику (рис. 1, б), а штриховая прямая, проходящая через середины ступенек, – расчетную (экспериментальную) характеристику.

Для получения аналитического выражения статической характеристики $U_{\text{вых}} = \varphi(l)$ при подключении нагрузки R_n используют метод эквивалентного генератора. При этом ток нагрузки (рис. 1, а)

$$I_n = \frac{U_x}{R_n + R_i},$$

где U_x - напряжение на выходе ПД при данном положении движка в режиме х.х.;

$$R_i = \frac{R_x(R - R_x)}{R_x + (R - R_x)} = \frac{lR}{L} \left(1 - \frac{l}{L}\right) - \text{внутреннее сопротивление}$$

эквивалентного генератора (сопротивление между выходными выводами ПД при замкнутых накоротко входных выводах).

Следовательно, выходное напряжение

$$U_{\text{вых}} = \frac{U \cdot \frac{l}{L} \cdot a}{a + \frac{l}{L} - \left(\frac{l}{L}\right)^2}, \quad (2.1)$$

где $a = \frac{R_n}{R}$

Из формулы (2.1) следует, что подключение нагрузки приводит к нелинейности статических характеристик $U_{\text{вых}} = \varphi(l)$ (рис. 1, в).

Для уменьшения нелинейности статических характеристик ПД сопротивление нагрузки R_n должно быть во много раз больше

сопротивления потенциометрического датчика R (обычно $a = \frac{R_H}{R} > 10 \div 100$).

Схема, приведенная на рис 2.1, а, является нереверсивной, так как при любом положении движка знак выходного напряжения или его фаза при питании от сети переменного тока не меняется.

В качестве датчиков, реагирующих на знак входного перемещения, используют двухщеточные мостовые двухтактные ПД (рис. 2, а), а также реверсивные или двухтактные ПД с выводом средней точки (рис. 2, б). Статические характеристики таких датчиков приведены на рис. 2, в. Например, при перемещении движка вниз от средней точки, что соответствует изменению знака перемещения, изменяется знак выходного напряжения (рис. 2, г, д). У двухтактных датчиков, питаемых переменным током, изменение знака входного перемещения приводит к изменению фазы выходного напряжения на 180° (рис. 2, е). Если при перемещении движка выходное напряжение должно изменяться по определенной нелинейной функции, то применяют профильные, ступенчатые, синусо-косинусные и другие ПД.

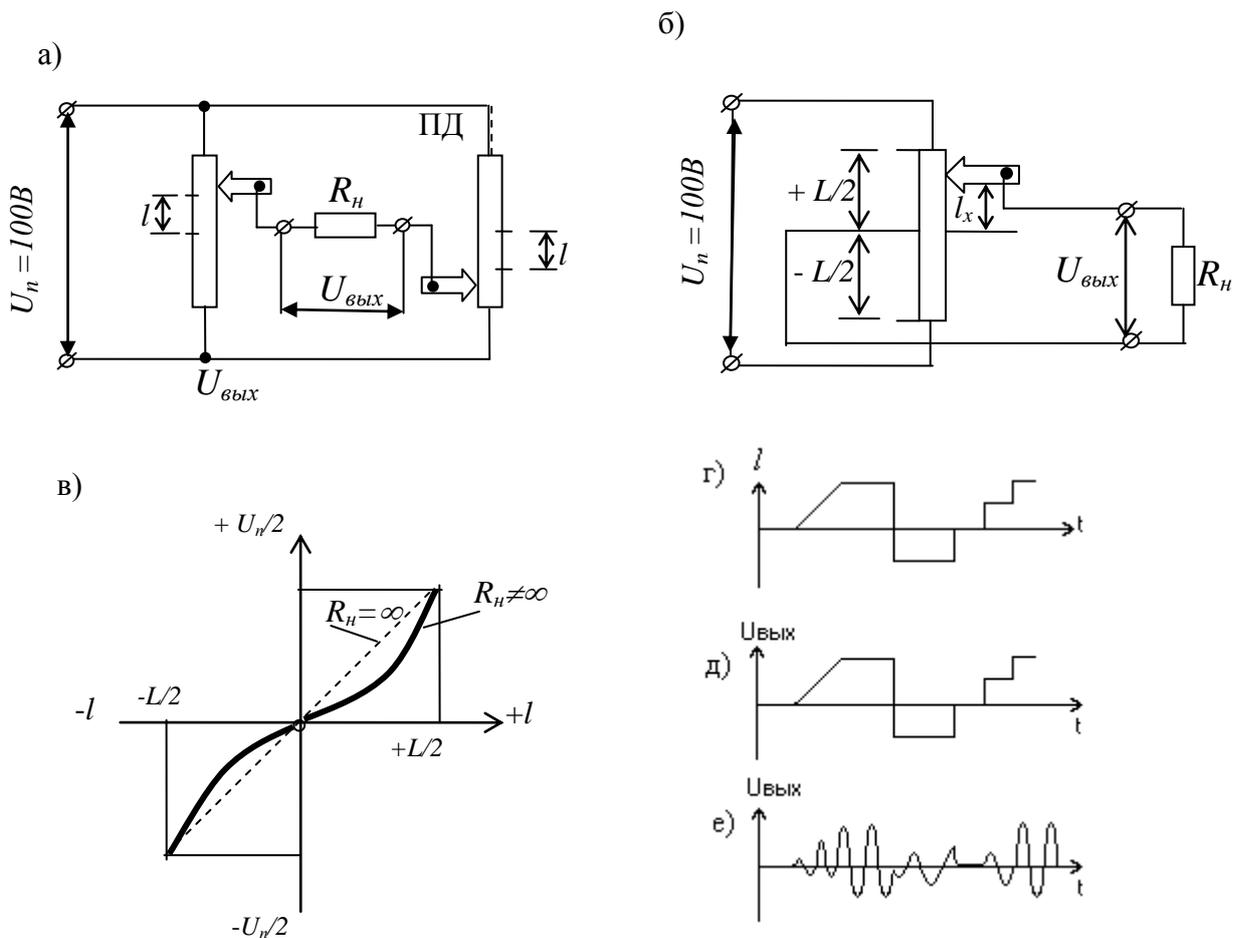


Рис. 2. Двухтактные ПД (а, б) и их характеристики (в, г, д, е)

Потенциометрический датчик, как чувствительный (измерительный) элемент автоматической системы регулирования, рассматривается вместе с сопротивлением нагрузки. При активной нагрузке ПД является безинерционным звеном автоматической системы, так как его индуктивность очень мала. Поэтому ею можно пренебрегать до частот, достигающих нескольких десятков килогерц. При активно-реактивной нагрузке начинает проявляться инерционность устройства. Тип звена (его динамические свойства) в этом случае определяется характером нагрузки.

ПД нашли широкое применение в судовых системах автоматического управления сигнализации и защиты. Как правило, ПД работают совместно с манометрами, преобразующими давление рабочей среды в перемещение движка потенциометра. Таков, например, потенциометрический датчик давления типа F16.1NAZ, установленный на судах проекта "Атлантик 333".

Широкое применение ПД получили благодаря таким достоинствам, как простота конструкции, малые габариты, достаточно большая мощность, работа на постоянном или переменном токах, высокая чувствительность. К недостаткам ПД относятся: наличие скользящего контакта, что снижает их надежность и требует усилий для его перемещения; ступенчатость статических характеристик и их нелинейность при больших нагрузках по току и мощности.

3. Описание лабораторной установки

Принципиальная электрическая схема лабораторной установки приведена на рис.3. В состав установки входят мостовые потенциометрические датчики RR_1 , RR_2 , у которых есть вывод средней точки, ключ S_1 , нагрузочные резисторы R_1 и R_2 , переключаемые ключом S_2 . Один из потенциометров мостового датчика может использоваться в качестве однопольного нереверсивного датчика. Отсчет входного напряжения ведется по шкале, встроенной в корпус ПД. Отсчет выходного напряжения производится с помощью вольтметра, подключаемого на выходные клеммы ПД 3-2 или 3-4. К этим клеммам подключается через S_1 , S_2 нагрузка датчика (R_1 и R_2). Питание лабораторной установки осуществляется постоянным напряжением 110В, поступающим на выводы 1,2 ПД.

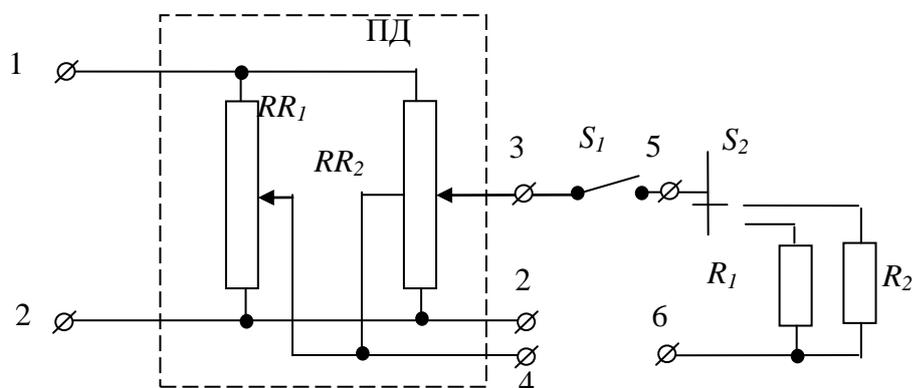


Рис. 3 Схема лабораторной установки

4. Порядок выполнения работы

4.1. Собрать схему однофазного ПД согласно рис. 4.

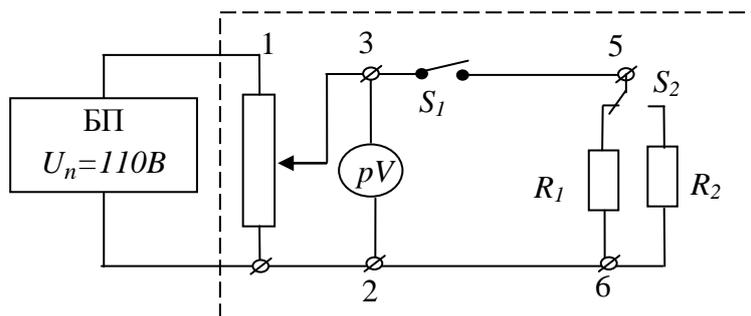


Рис. 4 Схема для исследования однофазного ПД

4.2. Подать питание на схему ($U_n = 110В$).

4.3. В режиме холостого хода (S_1 разомкнут) снять статическую характеристику $U_{вых} = \varphi(l)$.

4.4. Снять статическую характеристику для двух значений сопротивлений нагрузки R_1 и R_2 .

4.5. На одном рисунке представить графики $U_{вых} = \varphi(l)$ в режиме х.х. и для двух значений сопротивлений нагрузки.

4.6. Собрать схему двухфазного ПД со средней точкой согласно рис. 5.

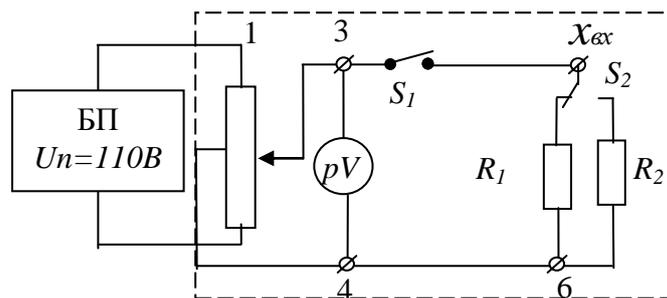


Рис. 4.2. Схема для исследования двухтактного ПД

4.7. Выполнить действия, указанные в пп. 4.2.–4.5., для двухтактного датчика.

4.8. Представить отчет о лабораторной работе.

5. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- принципиальные схемы однотактного и двухтактного ПД;
- статические характеристики ПД;
- анализ влияния величины сопротивления нагрузки на чувствительность ПД.

6. Вопросы для самопроверки

- 6.1. Каковы устройство и принцип действия однотактного ПД?
- 6.2. Каковы устройство и принцип работы двухтактного ПД?
- 6.3. Какие конструктивные особенности ПД служат для:
 - а) увеличения выходной мощности;
 - б) увеличения чувствительности;
 - в) уменьшения инерционности;
 - г) увеличения надежности?
- 6.4. От чего зависит линейность статической характеристики?
- 6.5. В каких системах автоматического регулирования может быть применен данный датчик?
- 6.6. Как влияет схема включения данного ПД на диапазон изменения входного воздействия?
- 6.7. Каким функциональным элементом является ПД в системах автоматического регулирования?
- 6.8. Как влияет сопротивление нагрузки ПД на его чувствительность и нелинейность статической характеристики?
- 6.9. Какие функциональные элементы являются нагрузкой ПД в системах автоматического регулирования?

Литература

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы автоматики: Учеб. пособие – М., 1985. – С. 24-29.
2. Сухарев Е.М. Основы электроники и судовой электроавтоматики: Учеб. пособие. – М., 1985. – С. 117-119.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА

1. Цели работы:

Изучение принципа действия, конструктивных особенностей исполнения датчиков, области их применения, выработка практических навыков балансировки мостовых измерительных схем и экспериментального определения характеристик датчиков.

2. Теоретические сведения

Принцип действия индуктивных и трансформаторных датчиков основан на изменении индуктивности катушек со стальным сердечником при перемещении подвижной части магнитной системы.

В связи с тем, что измерительные функции датчика выполняют переменные реактивные сопротивления (дроссель с переменным воздушным зазором), его питание должно осуществляться от источников переменного тока.

Схема простейшего индуктивного датчика с плоским подвижным зазором и его статическая характеристика приведены на рис 2.1.

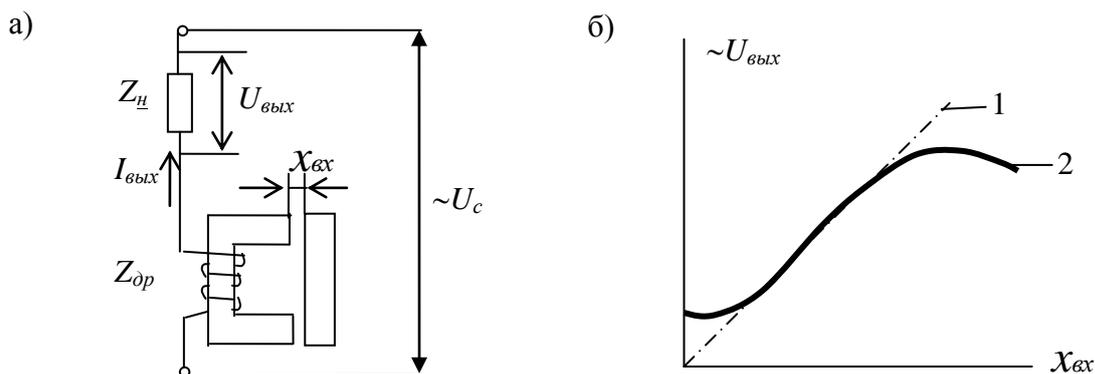


Рис. 2.1. Однофазный индуктивный датчик (а)
и его статическая характеристика (б)

Входной величиной датчика является изменение воздушного зазора $X_{вх}$, выходной – ток в цепи $I_{вых}$ и, соответственно, падение напряжения на нагрузке $U_{вых}$. Величина тока в цепи зависит от индуктивного сопротивления обмотки. Индуктивность катушки с учетом двух воздушных зазоров можно определить по приближенной формуле:

$$L = \frac{2 \cdot \pi \cdot n^2 S \cdot 10^{-5}}{x_{\text{вх}}},$$

где n – число витков катушки;
 S – поперечное сечение магнитопровода;
 $L_{\text{н}}, L_{\text{др}}$ – индуктивность нагрузки и дросселя;
 $R_{\text{н}}, R_{\text{др}}$ – активное сопротивление нагрузки и дросселя;
 $x_{\text{вх}}$ – воздушный зазор.

Для случая активно-индуктивной нагрузки падение напряжения на ней определяется выражением:

$$U_{\text{вых}} = I_{\text{вых}} \cdot z_{\text{н}} = \frac{U \cdot z_{\text{н}}}{\sqrt{(R_{\text{н}} + R_{\text{др}})^2 + \omega^2 (L_{\text{н}} + L_{\text{др}})^2}},$$

где $z_{\text{н}} = \sqrt{R_{\text{н}}^2 + (\omega \cdot L_{\text{н}})^2}$; $z_{\text{др}} = \sqrt{R_{\text{др}}^2 + (\omega \cdot L_{\text{др}})^2}$

Для случая активной нагрузки падение напряжения на ней определяется выражением:

$$U_{\text{вых}} = I_{\text{вых}} R_{\text{н}} = \frac{U \cdot R_{\text{н}}}{\sqrt{(R_{\text{н}} + R_{\text{др}})^2 + \omega^2 L_{\text{др}}^2}}$$

Чувствительность датчика без учета активного сопротивления определяется выражением:

$$k_{\partial} = \frac{dI}{dx_{\text{вх}}} = \frac{U \cdot 10^5}{2 \cdot \pi n^2 \cdot \omega \cdot S}$$

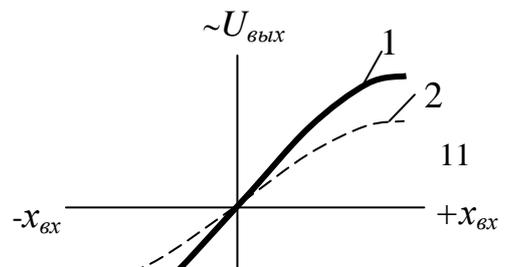
Простейший индуктивный датчик применяется очень редко, так как имеет серьёзные недостатки: его реальная статическая характеристика 2 (рис. 2.1) линейна в очень узком диапазоне (характеристика 1 – расчетная, идеальная), точность и чувствительность невелики, фаза выходного сигнала не изменяется при смене знака входной величины.

Наиболее широкое распространение получили дифференциальные датчики. В дифференциальном индуктивном датчике, схема которого изображена на рис. 2.2,а, усилие, действующее на якорь, равно разности сил притяжения со стороны сердечника. В среднем (нулевом) положении якоря при полной симметрии устройства результирующее усилие равно нулю. Входной величиной датчика является смещение якоря относительно среднего положения, выходной – геометрическая разность токов $I_{1_} - I_{2_}$ (рис. 2.2,б), которая определяет величину выходного напряжения $U_{\text{вых}}$.

а)



б)



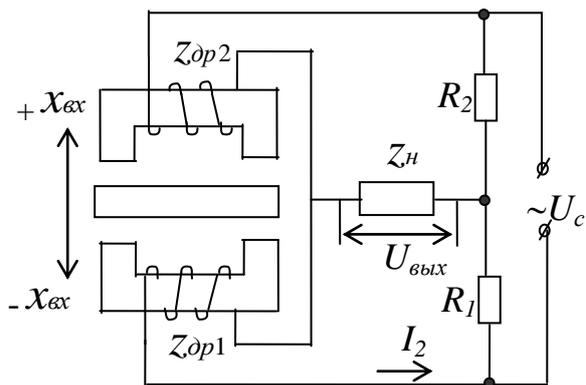


Рис. 2.2. Двухтактный индуктивный датчик (а)
и его статические характеристики (б)

При нейтральном среднем положении якоря, когда выполнено условие балансировки $z_{dp1} R_1 = z_{dp2} R_2$, $I_1 = I_2$, следовательно, ток в нагрузке отсутствует. При смещении якоря относительно нейтрального положения изменяются индуктивные сопротивления обмоток датчика, поэтому нарушается равенство токов I_1 и I_2 , в результате чего в нагрузке протекает ток. Фаза выходного сигнала при этом зависит от направления перемещения якоря. На рис. 2.2 изображены статические характеристики дифференциального датчика, где 1 – характеристика холостого хода; 2 – с нагрузкой. С учетом изменения фазы тока нагрузки, в зависимости от направления перемещения якоря датчика от нейтрали, на рис. 2.2 характеристика датчика для случая перемещения якоря в направлении $+X$ изображена в 1-м квадранте, для случая $-X$ – в 3-м квадранте. Этим подчеркивается изменение фазы выходного напряжения $U_{вых}$ при переходе якоря датчика через нулевое (нейтральное) положение на 180° , поэтому схемы дифференциальных датчиков называют реверсивными. При небольших отклонениях якоря выходное напряжение будет возрастать практически линейно, т.е. можно полагать $U_{вых} = k \cdot x_{вх}$.

Балансировка нуля в реверсивных схемах индуктивных датчиков затруднена тем, что здесь необходимо добиваться одновременного равенства не только реактивных, но также и активных параметров обеих частей схемы.

Индуктивные датчики получили широкое распространение при измерении линейных и угловых перемещений, а также уровня жидких сред благодаря простоте и надежности конструкции, большой мощности на выходе и отсутствию подвижных контактов.

3. Описание лабораторной установки

В качестве исследуемого датчика используется датчик полупроводникового реле ПРУ-5. Принцип действия ПРУ-5 (индуктивного датчика реверсивной схемы исполнения) аналогичен описанному выше и основан на получении сигнала разбаланса моста переменного тока при изменении индуктивного сопротивления катушек датчика, включенных в плечи мостовой схемы. Конструктивной особенностью исполнения датчика ПРУ-5 является то, что обмотки датчика, намотанные на одном магнитопроводе цилиндрического типа с равным количеством витков, в общей точке подключены встречно. Индуктивное сопротивление катушек изменяется сферическим сердечником (якорем) – поплавком, свободно перемещающимся вместе с уровнем жидкости в поплавковой камере датчика. При перемещении поплавок магнитное сопротивление для потока одной обмотки увеличивается, а для потока второй – уменьшается, вследствие чего на выходе измерительного моста, в плечи которого подключены обмотки датчика, появляется напряжение и в нагрузке протекает ток. Поплавковая камера по способу сообщающихся сосудов соединяется с резервуаром, в котором контролируется уровень жидкости. Датчики ПРУ-5 находят широкое применение на судах для контроля уровня жидких сред: воды, топлива, хладагента.

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис. 3.1. Установка питается от сети переменного тока напряжением 220В. С помощью ключа S_1 подключается нагрузка для снятия нагрузочной характеристики датчика. Для предотвращения выхода датчика из строя напряжение с выхода первоначально установлено 18В! Измерения на выходе производить высокоомным вольтметром.

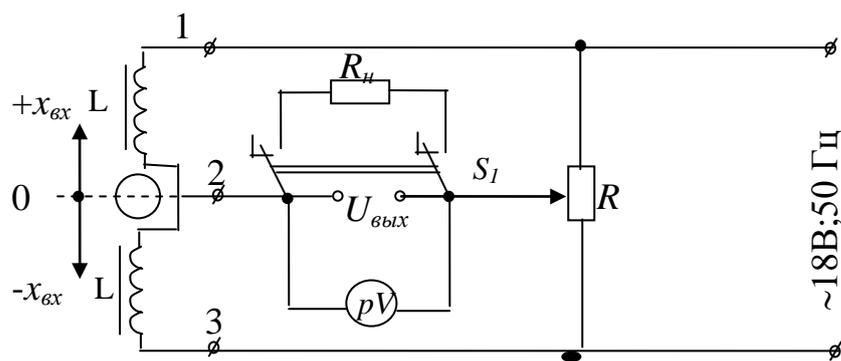


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

4. Порядок выполнения работы

4.1. Собрать электрическую схему установки и предъявить ее преподавателю.

4.2. Включить питание на лабораторную установку.

4.3. Произвести балансировку мостовой схемы. С этой целью перемещением потенциометра R и сферического шарика добиться

установки показаний вольтметра на нуль. Изменение фазы выходного сигнала при переходе поплавка через нуль наблюдать на экране осциллографа.

4.4. Снять статическую характеристику $U_{вых} = f(x_{вых})$ при холостом ходе.

4.5. Снять статическую характеристику $U_{вых} = f(x_{вх})$ при включенной с помощью ключа S_I нагрузке R_n .

4.6. Результаты наблюдений занести в таблицы, на основании которых построить статические характеристики на одном графике.

4.7. Составить отчет.

5. Вопросы для самопроверки

5.1. Каково устройство и принцип действия индуктивного датчика, его достоинства и недостатки?

5.2. Начертить принципиальную электрическую схему однотактного индуктивного датчика.

5.3. От каких конструктивных особенностей зависит:

- линейность статической характеристики;
- чувствительность;
- выходная мощность индуктивного датчика?

5.4. Каким функциональным элементом является индуктивный датчик в системах автоматического регулирования?

5.5. Как влияет сопротивление нагрузки на чувствительность и линейность статической характеристики датчика?

5.6. В каких системах автоматического регулирования применяется данный датчик?

5.7. Какие функциональные элементы являются нагрузкой для индуктивного датчика в системах автоматического регулирования?

Литература:

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы автоматики: Учеб. пособие.-М., 1985.-с.30.

2. Сухарев Е.М. Основы электроники и судовой электроавтоматики: Учеб. пособие. –М.,1985.-с.121.

