

Министерство образования Российской Федерации  
Томский политехнический университет

"УТВЕРЖДАЮ"  
Директор ЭЛТИ

\_\_\_\_\_ А.П. Суржиков

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2008 г.

## ДАТЧИКИ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Методические указания к выполнению курсового проекта  
по дисциплине "Бесконтактные электрические аппараты"  
для студентов специальности 180200  
"Электрические и электронные аппараты"

Томск 2008

УДК 621.316.7

Датчики линейных перемещений:

Метод. указ. к выполн. курс. проекта по дисциплине на тему "Бесконтактные электрические аппараты" для студентов специальности 180200 - "Электрические и электронные аппараты" - Томск: Изд. ТПУ, 2008. - 20 с.

Составитель доц., канд. техн. наук Е.П.Богданов

Рецензент доц., канд. техн. наук Р.Я.Кляйн

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры "Электрические машины и аппараты" ТПУ 1 сентября 2008 г.

Зав. кафедрой ЭМА

доц., канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ О.Л. Рапопорт

## 1. Задача курсового проектирования

В настоящих методических указаниях даются рекомендации и пояснения, помогающие студентам ориентироваться в расчете и конструировании датчиков линейных перемещений по литературе, государственным стандартам и требованиям по оформлению конструкторской и технической документации.

Задачей курсового проекта является обучение студентов основным методам проектирования бесконтактных коммутирующих устройств на примере датчиков. Проект позволяет глубже усвоить особенности электромагнитных датчиков, приобрести навыки расчета и конструирования линейных трансформаторных датчиков, исследования их рабочих режимов. В процессе работы над курсовым проектом студенты учатся самостоятельно квалифицированно решать задачи в области бесконтактных электрических аппаратов, закрепляют полученные теоретические знания.

## 2. Тематика курсового проекта

Темой курсового проекта являются датчики, относящиеся к дифференциально-трансформаторному типу, принцип действия которых основан на изменении взаимных индуктивностей между секциями рабочей обмотки и обмотки возбуждения при перемещении сердечника. При питании обмотки возбуждения датчика от источника переменного тока и среднем положении сердечника (нулевое положение) ЭДС, наводимые в секциях рабочей обмотки равны по величине и противоположны по фазе, поэтому результирующая ЭДС и выходное напряжение минимальны. В случае смещения сердечника из среднего положения равновесие нарушается и напряжение на выходе увеличивается. Выходное напряжение изменяется пропорционально величине перемещения сердечника. При переходе сердечника через нулевое положение фаза выходного напряжения изменяется на  $180^\circ$ .

Из анализа существующих конструкций датчиков следует, что за основу при проектировании может быть взята конструкция датчика типа ЛДТ (линейный дифференциальный трансформатор), представленная на рис. 3, поскольку другие конструкции не обеспечивают требуемых габаритных размеров. Кроме того, датчики подобного типа отличаются сравнительной простотой конструкции, высокой надёжностью и стабильностью параметров.

Датчик представляет собой линейный дифференциальный трансформатор (ЛДТ) с воздушным ярмом. Электрическая схема датчика показана на рис. 1.

Датчик состоит из корпуса 1, магнитопровода 2, катушки 3, стакана 4, подвижной части 5.

Корпус представляет собой полый цилиндр с толщиной стенки 1мм. Для обеспечения требований исходных данных и стойкости при

внешних воздействующих факторов он выполнен из немагнитной трубы (сталь 12X18H10T).

Для снижения потребляемой датчиком мощности и уменьшения влияния на его параметры внешних магнитных полей, внутри корпуса помещён внешний магнитопровод, который представляет собой трубку из ферромагнитного материала 79НМ толщиной 0.35мм.

Сплав 79НМ уступает другим магнитомягким материалам по магнитной проницаемости, но имеет большое удельное электрическое сопротивление и малую зависимость  $\mu$  от частоты. Кроме того, он обладает низкой магнитострикцией и малой коэрцитивной силой. Вязкость и пластичность материала обеспечивает использование прогрессивных методов изготовления магнитопровода (вытяжка, штамповка, изгиб и т. д.).

Катушка состоит из каркаса, выполненного из фенопласта, на котором размещены первичная обмотка (ОВ) и две секции вторичной обмотки (РО1 и РО2). Рабочие обмотки включены последовательно-встречно.

Выводы обмоток распаяны на лепестки колодки, а затем монтажным проводом выведены наружу.

Стакан представляет собой полый цилиндр из немагнитной стали, внутри которого с гарантированным зазором размещается подвижная часть.

Подвижная часть датчика представляет собой сердечник, шихтованный магнитомягкими пластинами. В рассматриваемом датчике используется новый вид сердечника, как технически совершенного и улучшающего линейность выходной характеристики. Сердечник представляет собой полу трубку с тягой из нержавеющей стали (шток), заполненную тонкими пластинами из магнитомягкого материала, залитых для неподвижности компаундом.

Датчик относится к дифференциально-трансформаторному типу, принцип действия которого основан на изменении взаимных индуктивностей между секциями рабочей обмотки и обмотки возбуждения при перемещении сердечника. При питании обмотки возбуждения датчика от источника переменного тока и среднем положении сердечника (нулевое положение) ЭДС, наводимые в секциях рабочей обмотки равны по величине и противоположны по фазе, поэтому результирующая ЭДС и выходное напряжение минимальны. В случае смещении сердечника из среднего положения равновесие нарушается и напряжение на выходе увеличивается.

Выходное напряжение изменяется пропорционально величине перемещения сердечника. При переходе сердечника через нулевое положение фаза выходного напряжения изменяется на  $180^{\circ}$ .

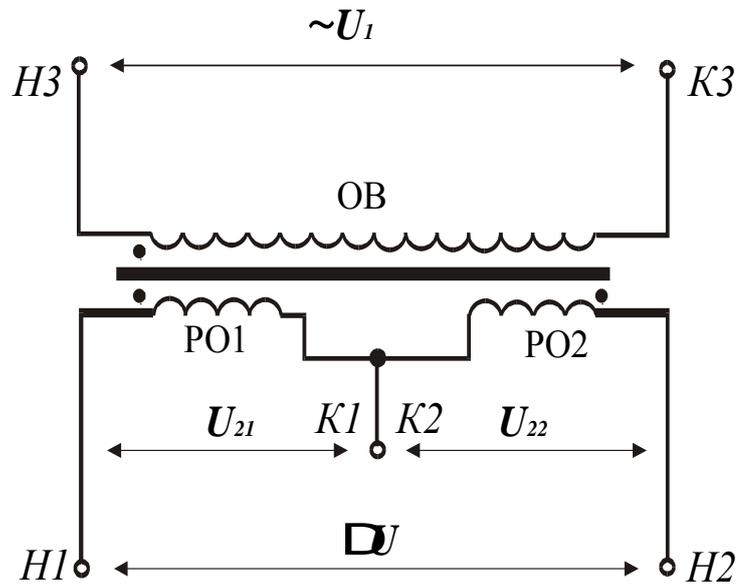


Рис. 1  
Электрическая схема датчика ЛДТ

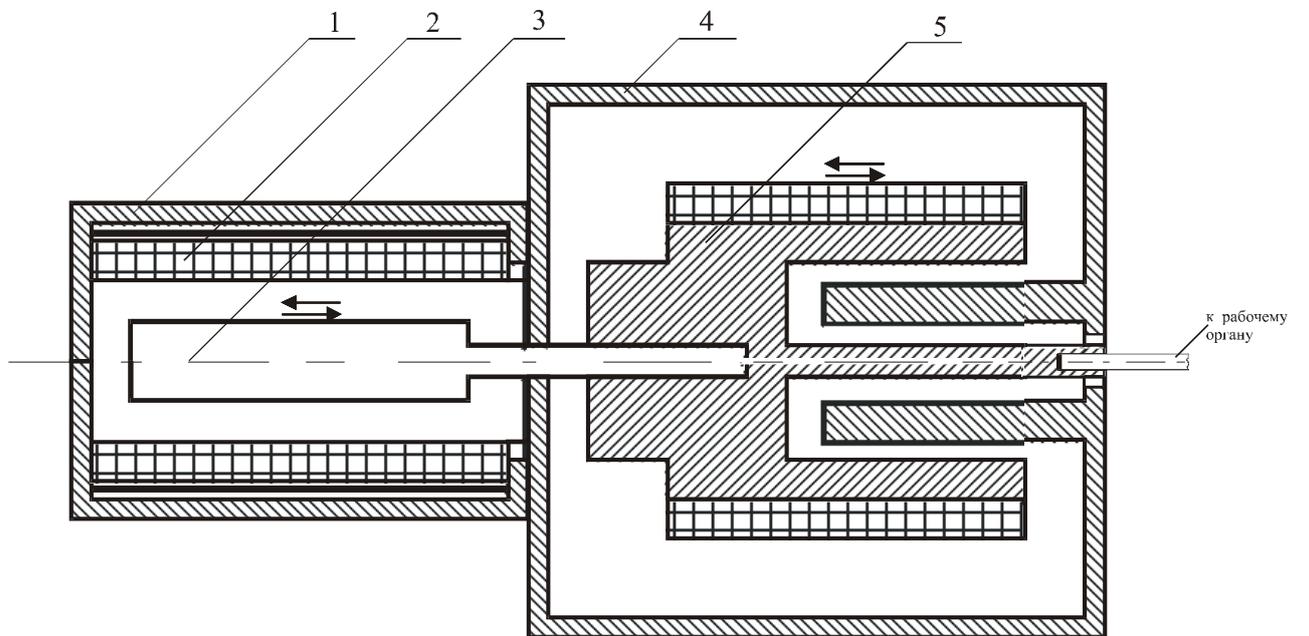


Рис. 2  
Общий вид ЛЭП

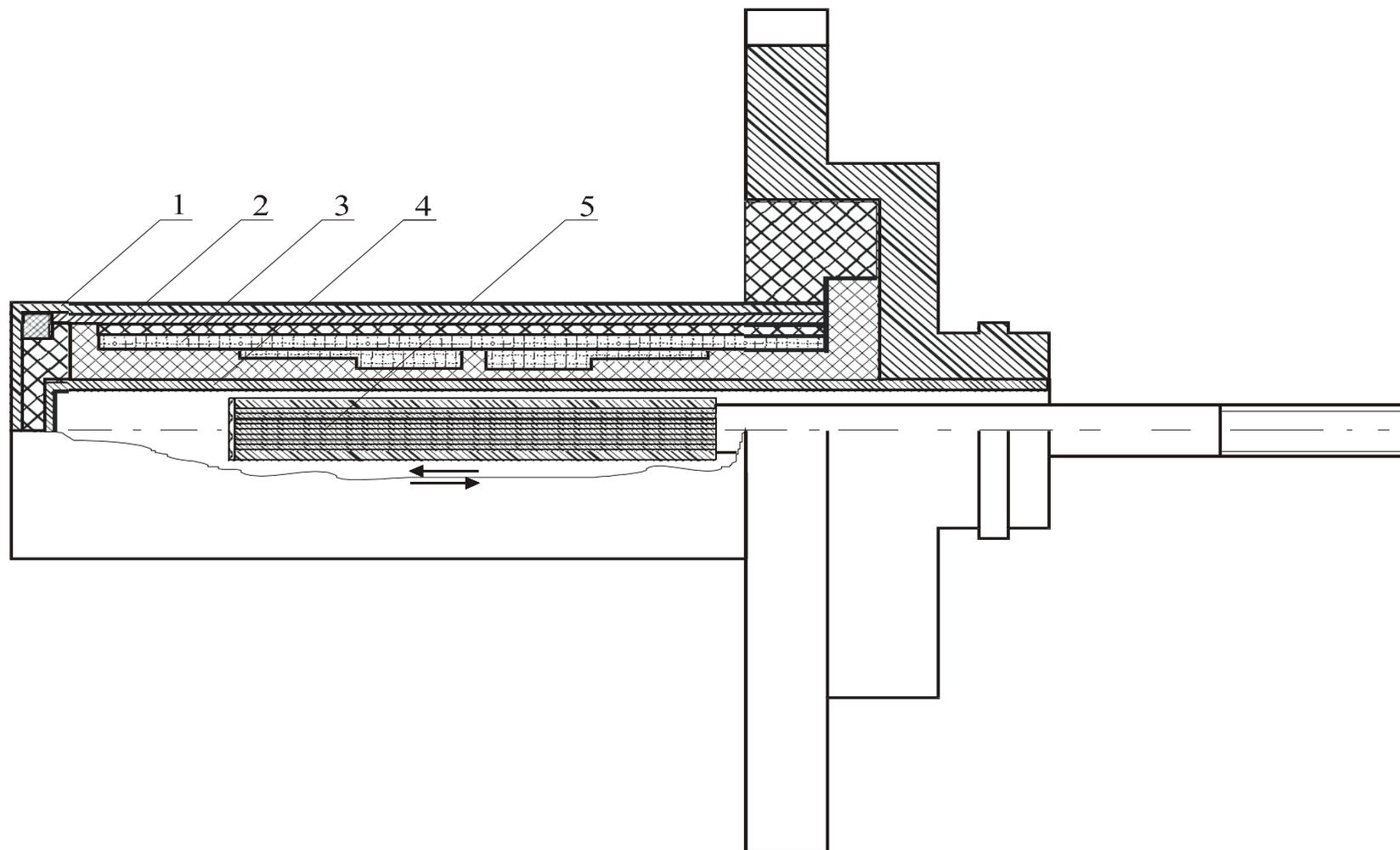


Рис. 3  
Конструктивная схема датчика

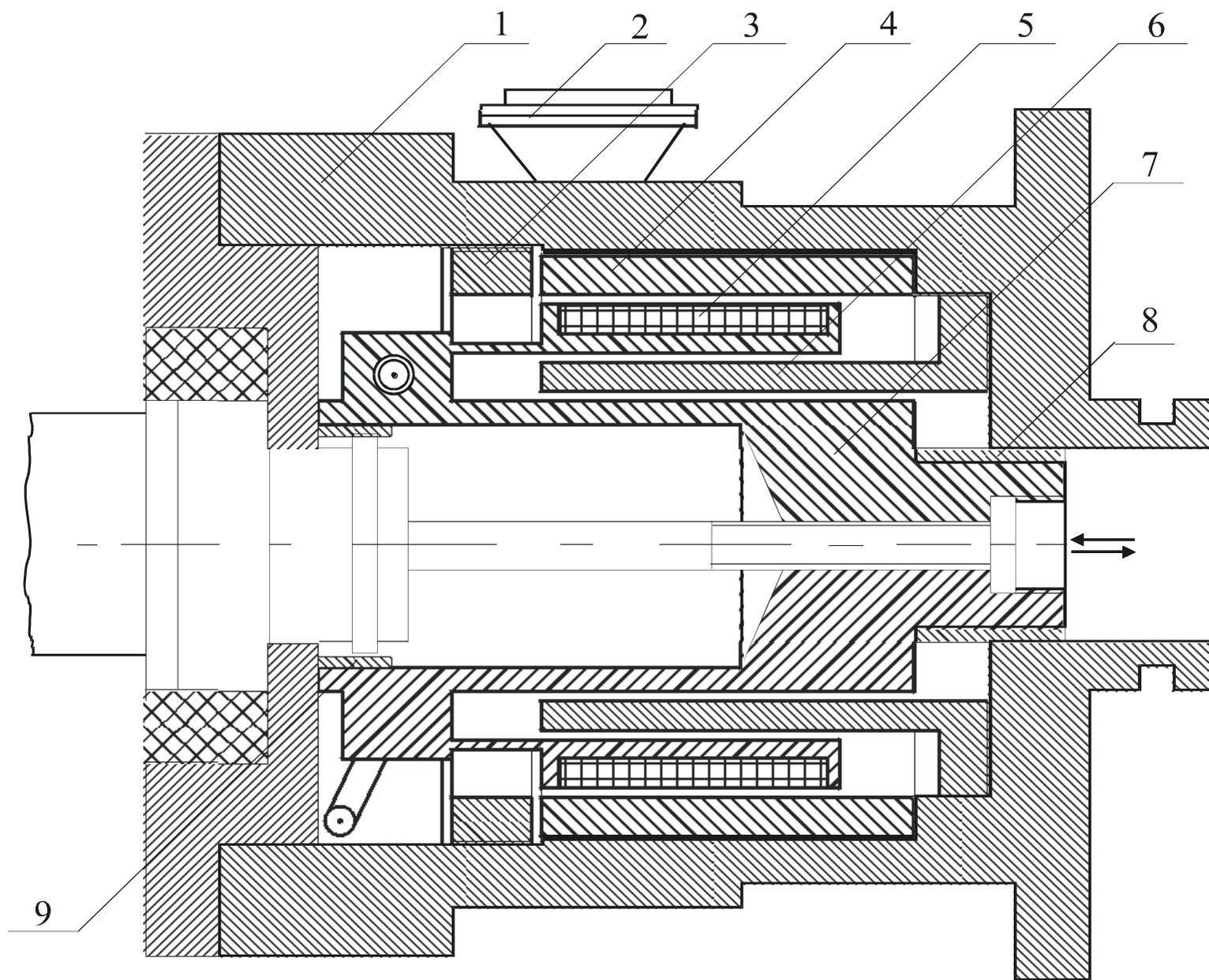


Рис. 4

В настоящее время требуются измерения, погрешность которых не превышает десятых долей процента. Этому требованию в наибольшей степени удовлетворяют индукционные бесконтактные датчики.

Раздельное применение исполнительного механизма и датчика требует наличия промежуточного звена между этими приборами, кроме того, увеличивается количество подводимых проводов. Это приводит к увеличению массы подвижных частей, габаритов, уменьшается надёжность и возрастает стоимость. Поэтому исполнительный механизм и датчик объединены в один прибор, называемый линейным электромагнитным преобразователем со встроенным датчиком положения (ЛЭП).

Общий вид ЛЭП показан на рис. 2.

ЛЭП состоит из двух основных элементов: датчика 1 и исполнительного механизма 4, объединённых в один прибор.

Датчик представляет собой цилиндр, в котором расположена подвижная часть 3, катушка 2. Исполнительный механизм состоит из корпуса, внутри которого расположен подвижный якорь 5. Подвижная часть датчика и якорь жестко связаны между собой и могут перемещаться. Якорь соединяется с рабочим органом агрегата, перемещение которого измеряется.

При подаче управляющего сигнала на исполнительный механизм, якорь начинает перемещаться влево или вправо. С катушки датчика снимается переменное напряжение, амплитуда которого пропорциональна величине перемещения подвижной части.

За основу конструкции исполнительного элемента была принята магнитоэлектрическая система, как наиболее полно удовлетворяющая требованиям технического задания.

Конструктивная схема исполнительного механизма (в дальнейшем - преобразователь) показана на рис. 4.

Преобразователь состоит из стального корпуса 1, на внутреннюю поверхность которого на клей посажены постоянные магниты 4. Для надёжности магниты прижаты гайкой 3. Внутри корпуса располагается якорь, состоящий из немагнитного каркаса 7 с расположенной на нём обмоткой постоянного тока 5.

Якорь может свободно перемещаться в корпусе на бронзовых втулках 8, 9. Электрическая связь между внешней цепью и катушкой осуществляется с помощью гибких проводников.

Для увеличения усилия, развиваемого якорем, а также для уменьшения мощности, потребляемой преобразователем, между магнитами и якорем устанавливается дополнительный магнитопровод 6, представляющий собой полый цилиндр, выполненный из ферромагнитного сплава 50НХС.

Для подключения обмоток датчика и преобразователя к внешней цепи на корпусе установлена вилка 2.

Принцип действия преобразователя основан на взаимодействии двух потоков: поляризующего, создаваемого постоянными магнитами и рабочего, создаваемого обмоткой якоря. В результате этого взаимодействия якорь развивает усилие, величина которого пропорциональна величине тока, протекающего по обмотке.

### **3. Содержание и объем курсового проекта**

Курсовой проект состоит из расчетной и графической частей для выполнения и оформления которых требуется ориентировочно 40 часов самостоятельной работы студента. Расчетная часть оформляется в виде пояснительной записки и содержит 25-40 страниц рукописного текста формата А4. Допускается представлять расчетно-пояснительную записку в машинописном или компьютерном виде.

Структура пояснительной записки:

- техническое задание на специальном бланке;
- содержание;
- введение;
- выбор и описание проектируемого датчика;
- основные аналитические соотношения;
- электромагнитный расчет;
- тепловой расчет элементов устройства;
- определение параметров и построение характеристик датчика;
- заключение;
- список использованных источников.

В расчетно-пояснительной записке приводятся расчетные формулы, куда подставляются значения величин, входящих в формулу, после формулы дается конечный результат без промежуточных вычислений, а также необходимые иллюстрации и пояснения.

Полученные величины должны иметь соответствующую размерность, произвольные сокращения слов не допускаются, за исключением общепринятых. Обязательно делаются ссылки на используемую литературу с указанием страницы, рисунка, таблицы и т.п. Пояснительная записка должна содержать следующие рисунки, графики и схемы:

- электрическая схема датчика ЛДТ;
- конструктивная схема датчика ЛДТ;
- конструктивная схема преобразователя;
- общий вид ЛЭП;
- схема замещения датчика;
- графические зависимости: нелинейность характеристики выходного напряжения; выходная характеристика датчика; график коэффициента крутизны выходной характеристики; нагрузочная характеристика.

Графическая часть проекта выполняется на листах формата А1. В качестве обязательного графического материала должны быть представлены: электрическая и конструктивная схемы датчика ЛДТ; нелинейность характеристики выходного напряжения; выходная характеристика датчика; график коэффициента крутизны выходной характеристики; нагрузочная характеристика, конструкция датчика.

При необходимости должно быть сделано необходимое количество разрезов, вырывов, а также выносок в увеличенном масштабе, поясняющих конструкцию данного узла, компоновку и взаимную связь отдельных его деталей.

## 4. Расчетная часть

### 4.1 Основные аналитические соотношения

На основании рассмотренной конструкции и принципа действия составляется схема замещения датчика (рис. 5).

По схеме замещения уравнения Кирхгофа для цепи первичной обмотки имеют вид

$$U_1 = (R_1 + j\omega L_1) \cdot I_1 - j\omega \cdot (M_{12} - M_{13}) \cdot I_2. \quad (4.1)$$

Для цепи вторичной обмотки:

$$0 = [2R_2 + R_H + j\omega \cdot (L_2 + L_3 - 2M_{23})] \cdot I_2 - j\omega \cdot (M_{12} - M_{13}) \cdot I_1. \quad (4.2)$$

Решая совместно уравнения (3.1) и (3.2), находится ток в цепи нагрузки

$$I_2 := \frac{j\omega U_1 \cdot (M_{12} - M_{13})}{\omega^2 \cdot (M_{12} - M_{13})^2 + (R_1 + j\omega L_1) \cdot [2R_2 + R_H + j\omega \cdot (L_2 + L_3 - 2 \cdot M_{23})]} \quad (4.3)$$

Выходное напряжение датчика

$$U_2 = I_2 \cdot R_H,$$

тогда

$$U_2 := \frac{j\omega U_1 \cdot R_H \cdot (M_{12} - M_{13})}{\omega^2 \cdot (M_{12} - M_{13})^2 + (R_1 + j\omega L_1) \cdot [2R_2 + R_H + j\omega \cdot (L_2 + L_3 - M_{23})]} \quad (4.4)$$

Угол сдвига фазы выходного напряжения относительно напряжения питания:

$$\phi := \frac{\pi}{2} + \operatorname{atan} \left[ \frac{\omega [R_1 \cdot (L_2 + L_3 - 2 \cdot M_{23}) + L_1 \cdot (2 \cdot R_2 + R_H)]}{R_1 + (2R_2 + R_H) + \omega^2 (M_{12} - M_{13})^2 - \omega^2 L_1 (L_2 + L_3 - 2M_{23})} \right] \quad (4.5)$$

Уравнения (4.4) и (4.5) характеризуют выходное напряжение датчика в определенном положении сердечника. Для достижения линейности

выходного напряжения по (4.4) необходимо, чтобы при перемещении сердечника индуктивность первичной обмотки  $L_1$  и величина  $(L_2 + L_3 - M_{13})$  оставались неизменными, а разность взаимных индуктивностей  $(M_{12} - M_{13})$  изменялась линейно в зависимости от величины перемещения сердечника.

Для случая  $R_H = \infty$  выражение выходного напряжения датчика имеет вид

$$U_2 := \frac{j\omega \cdot U_1 \cdot (M_{12} - M_{13})}{R_1 + j\omega \cdot L_1} \quad (4.6)$$

Угол сдвига фазы выходного напряжения

$$\phi := \frac{\pi}{2} + \operatorname{atan}\left(\frac{\omega \cdot L_1}{R_1}\right) \quad (4.7)$$

Определив взаимные индуктивности секций вторичной и первичной обмоток через количество витков, итоговое выражение (4.6) для выходного напряжения принимает вид:

$$U_2 := \frac{U_1}{Z_1} \cdot \omega \cdot \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (2\mu_c - 1)}{2 \cdot R_{\mu \text{ в}}} \quad (4.8)$$

где  $Z_1 = R_1 + j\omega \cdot L_1$  – полное сопротивление первичной обмотки.

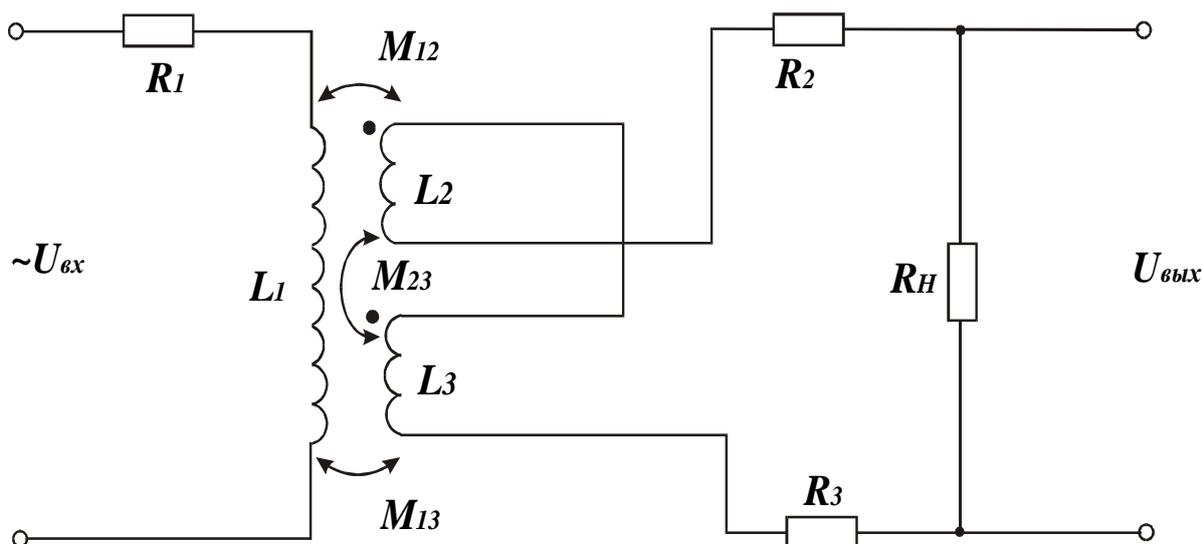


Рис. 5  
Схема замещения датчика

## 4.2 Электромагнитный расчёт

В данном разделе представлен электромагнитный расчет датчика ЛДТ.

Датчики типа ЛДТ имеют разомкнутую магнитную систему с большими величинами потоков рассеяния, точный расчет которых является сложной задачей. В инженерных расчетах индуктивности или числа витков катушки с ферромагнитными сильно разомкнутыми сердечниками учет размагничивающего фактора сердечника ведут через эффективную магнитную проницаемость  $\mu_c$ . При этом принимаются допущения, что обмотка распределена равномерно по всей длине сердечника, между обмоткой и сердечником отсутствует зазор, уменьшение проницаемости материала под влиянием поля и частоты отсутствует.

Расчет датчика упрощается при условии, что сопротивление сердечника мало по сравнению с сопротивлением воздушного промежутка и им можно пренебречь. Расчет первичной обмотки проводится в режиме холостого хода, подвижная часть находится в нулевом положении.

*Исходные данные для расчета:*

1. Напряжение питания  $U_1$  (В) ;
2. Частота напряжения питания  $f$  (Гц) ;
3. Ток потребления  $I_1$  (А) ;
4. Величина выходного напряжения в нулевом положении  $U_{max}$  (В) ;
5. Крутизна выходной характеристики  $K$  (мм<sup>-1</sup>) ;
6. Рабочий ход подвижной части  $l_p = l_{max}$  (м) ;
7. Длина сердечника  $l_c$  (м) ;
8. Сечение сердечника  $S_c = S_b$  (м<sup>2</sup>) ;
9. Диаметр каркаса по краям первичной обмотки  $D_{к1}$  (м) ;
10. Диаметр каркаса под вторичной обмоткой  $D_{к2}$  (м) ;
11. Диаметр каркаса  $D_{кар} =$  (м).

Индуктивное сопротивление первичной обмотки

$$X_L = \frac{U_1}{I_1} .$$

Индуктивность первичной обмотки

$$L_1 = X_L / 2 \cdot \pi \cdot f .$$

Количество витков первичной обмотки под сердечником

$$N_{11} = \sqrt{\frac{L_1 \cdot l_{cp}}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_c}},$$

где  $l_{cp} \approx 2 \cdot l_p$  – средняя длина силовой линии;

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнитная постоянная;

$\mu_c$  - эффективная магнитная проницаемость сердечника для сплава 50НХС;

$S_c$  - сечение сердечника.

Для обеспечения высокой линейности характеристики необходимо, чтобы индуктивность первичной обмотки была величиной постоянной при перемещении сердечника на всём рабочем ходе.

Поэтому обмотка должна быть намотана плотно виток к витку на всей длине каркаса.

Длина каркаса

$$l_k = l_c + 2 \cdot l_p.$$

При выполнении обмотки у щёчек каркаса получается нелинейная намотка на длине около 1.5 мм у каждой щёчки. В связи с этим длину каркаса необходимо увеличить на 3 мм. С учетом корректировок принимается  $l_k$ .

Общее количество витков первичной обмотки

$$N_1 = N_{11} \cdot \frac{l_k}{l_c}.$$

Для обмотки выбирается провод марки ПЭТ-155 с диаметром провода  $d_{пр} = 0.125$  мм и диаметром изоляции  $d_{из} = 0.155$  мм

Количество витков в одном слое

$$N_{1c} = \frac{l_k}{d_{из} \cdot K_y},$$

где  $K_y = 1.05$  - коэффициент укладки обмотки.

Количество слоёв первичной обмотки

$$n_1 = \frac{N_1}{N_{1c}}.$$

Количество слоёв должно быть целым и по конструкторским соображениям чётным, чтобы начало и конец обмотки были у одной щёчки каркаса. Исходя из этого принимается  $n_1$ .

Уточнённое количество витков первичной обмотки

$$N_1 = N_{1c} \cdot n_1.$$

Уточнённое количество витков первичной обмотки под сердечником

$$N_{11} = N_1 \frac{l_c}{l_k} .$$

Уточнённое значение индуктивности

$$L_{1c} = \mu_o \cdot \mu_c \frac{2 \cdot N_{11}^2 \cdot S_c}{l_{cp}} .$$

Полная индуктивность первичной обмотки

$$L_1 = L_{1c} + L_s ,$$

где  $L_s = \mu_o \frac{(N_1 - N_{11})^2 \cdot S_k}{l_k - l_c}$  ,  $S_k = \pi \cdot \frac{D_{k1}^2}{4}$  ,  $D_{k1}$  - диаметр каркаса по краям первичной обмотки.

Активное сопротивление первичной обмотки

$$R_1 = \rho \cdot \frac{l_{B1}}{S_{пр}} \cdot N_1 ,$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление меди;  $l_{B1} = \pi \cdot D_{k1}$  - средняя длина витка;

$S_{пр} = \pi \cdot \frac{d_{пр}^2}{4}$  - сечение провода.

Полное сопротивление цепи первичной обмотки

$$Z_1 = R_1 + j\omega L_1 ,$$

где  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  - круговая частота;

Ток, потребляемый датчиком

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1} .$$

Плотность тока первичной обмотки

$$\Delta_1 = \frac{I_1}{S_{пр}} .$$

Количество витков секции вторичной обмотки при перемещении сердечника на величину полного рабочего хода

$$N_2 = U_{\max} \cdot \frac{2 \cdot R_{\text{МВ}}}{I_1 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot f \cdot N_{11} \cdot (2 \cdot \mu_c - 1)},$$

где  $R_{\text{МВ}} = \frac{l_0}{\mu_0 \cdot S_B}$  - сопротивление воздушного участка магнитной цепи.

Количество витков в слое

$$N_{2c} = \frac{l_p}{d_{\text{из}} \cdot K_y}.$$

Количество слоёв секции вторичной обмотки

$$n_2 = \frac{N_2}{N_{2c}}.$$

Принимается  $n_2$  (количество слоёв обмотки должно быть целым и чётным).

Уточненное количество витков секции вторичной обмотки

$$N_2 = N_{2c} \cdot n_2.$$

Активное сопротивление секции вторичной обмотки

$$R_2 = \rho \cdot \frac{l_{B2}}{S_{\text{пр}}} \cdot N_2,$$

где  $l_{B2} = \pi \cdot D_{K2}$  - средняя длина витка;  $D_{K2}$  - диаметр каркаса под вторичной обмоткой.

Индуктивность секции вторичной обмотки

$$L_{2c} = L_{3c} = N_2^2 \cdot G,$$

где  $G = \frac{\mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_c}{l_{\text{ср}}}$ .

Полная индуктивность вторичной обмотки

$$L_2 = L_{2c} + L_{3c} + L_s.$$

Наружный диаметр катушки датчика

$$D_K = D_{\text{кар}} + 2 \cdot n \cdot d_{\text{из}},$$

где  $n = n_1 + n_2$  - общее количество слоёв.

Напряжения на клеммах рабочей обмотки в нулевом положении подвижной части

$$U_{21} = (U_{\max} + U_{\max})/2 \cdot K \cdot I_{\max} ,$$

$$U_{22} = U_{\max}/(2 \cdot K \cdot I_{\max} - 0.5 \cdot U_{\max}) ,$$

где  $I_{\max}$  - максимальное перемещение подвижной части датчика.

### 4.3 Тепловой расчёт

При протекании тока по токоведущим деталям электрического аппарата возникают потери электрической энергии в виде тепла. В общем случае тепловая энергия расходуется на повышение температуры аппарата и частично рассеивается в окружающей среде.

При повышении температуры происходит ускоренное старение изоляции проводников и уменьшение их механической прочности. Например, срок службы изоляции при возрастании длительной температуры всего лишь на  $8^{\circ}\text{C}$  выше номинальной, сокращается в два раза. Поэтому во всех возможных режимах работы температура их не должна превышать таких значений, при которых обеспечивается заданная длительность работы аппарата [8].

Рассчитывается превышение температуры катушки датчика.

По закону Ньютона-Рихмана превышение температуры катушки определяется как

$$\tau = \frac{P}{K_{\text{то}} \cdot S_{\text{охл}}} , \quad (4.9)$$

где  $P$ - мощность потерь, выделяемая в обмотке;

$K_{\text{то}}$  - коэффициент теплоотдачи для катушек аппаратов по табл. 16-1 [7, стр. 392] .

$S_{\text{охл}}$  - поверхность охлаждения катушки .

В катушке данного датчика используется изоляция класса А, допустимая температура нагрева  $\Theta = 105^{\circ}\text{C}$ .

Тогда удельное сопротивление медного провода при температуре  $105^{\circ}\text{C}$

$$\rho_{105} = \rho_{20} [1 + \alpha (\Theta - 20)] ,$$

$\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления меди.

Активное сопротивление при температуре  $105^{\circ}\text{C}$  обмоток

✓ возбуждения

$$R_{1\ 105} = \rho_{105} \cdot \frac{l_{\text{в1}}}{S_{\text{пр}}} \cdot N_1 ,$$

✓ рабочих

$$R_{2\ 105} = R_{3\ 105} = \rho_{105} \cdot \frac{l_{\text{в2}}}{S_{\text{пр}}} \cdot N_2$$

Полное сопротивление цепи первичной и вторичной обмоток

$$Z_1 = R_{1\ 105} + j \omega L_1 ,$$

$$Z_2 = 2 \cdot R_{2_{105}} + j\omega L_2 .$$

Мощность, выделяемая на первичной и вторичной обмотках

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_{1_{105}} ,$$

где  $I_1 = \frac{U_1}{Z_1} ;$

$$P_2 = I_2^2 \cdot 2 \cdot R_{2_{105}} ,$$

где  $I_2 = \frac{U_{\max}}{Z_2} .$

Суммарная мощность

$$P = P_1 + P_2 .$$

Поверхность охлаждения катушки

$$S_{\text{охл}} = \pi \cdot D_k \cdot l_k .$$

Рассчитывается перегрев катушки  $\tau$  по (4.9).

Установившаяся температура поверхности

$$\Theta_y = \Theta_{\text{ос}} + \tau .$$

Температура не должна превышать допустимую для данного класса изоляции (105 °С).

Таким образом рассчитывается датчик линейных перемещений трансформаторного типа ЛДТ, удовлетворяющий заданным условиям.

## 5. Определение параметров и построение характеристик

5.1. *Определение нелинейности характеристики* выходного напряжения датчиков линейного перемещения ЛДТ –3522 с использованием экспериментальной установки.

Сопротивление нагрузки датчиков 10 кОм.

Рабочий диапазон датчика ЛДТ – 3522:  $\pm 30$  мм;

”+” – перемещение штока из датчика;

”-” – перемещение штока во внутрь датчика.

5.2. Определяется зависимость выходного напряжения датчика ЛДТ – 3522 от перемещения в точках ( $l_i$ )

-30; -25; - 20; - 15; -10; -5; 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30.

5.3. Результаты измерений заносятся в табл. 1.

Таблица 1. Датчик ЛДТ – 3522

Перемещ.	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Увых., В													
Нелин., %													

5.4. *Нелинейность характеристики* подсчитывается по формуле

$$n = \frac{U_i - l_i}{K} \times 100 \%,$$

где  $U_i$  – напряжение, В, измеренное в точках, указанных в таблице.

$l_i$  – точки, указанные в таблицах в миллиметрах;

$K$  – крутизна характеристики выходного напряжения в конце рабочего диапазона;

$l_k$  – рабочий диапазон, мм.

5.5. *Выходная характеристика* датчика представляет собой зависимость выходного напряжения от положения подвижной части и описывается выражением

$$U_{\text{вых}} = f(l_i).$$

5.6. *Коэффициент крутизны выходной характеристики*  $K$  подсчитывается отдельно в положительную и отрицательную стороны по формуле

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{l_k},$$

где  $U_{\text{вых}}$  – напряжение в конце рабочего диапазона.

5.7. *Построение нагрузочной характеристики.*

Нагрузочная характеристика необходима для определения пределов, в которых можно изменять нагрузку так, чтобы выходное напряжение датчика изменялось незначительно.

Нагрузочная характеристика описывается выражением

$$U_{\text{вых}} = f(R_n).$$

Для проведения опыта необходимо:

- а) Установить подвижную часть датчика в произвольной точке в конце рабочего диапазона.
- б) Изменять выходное напряжение изменением нагрузки датчика. Нагрузка датчика изменяется переключателем SA6.
- в) Данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Нагрузка $R_{н}$ , кОм	2 кОм	6 кОм	10 кОм
Напряжение $U_{вых}$ , В			

5.8. Построить и проанализировать графические зависимости для определения нелинейности выходного напряжения, выходной характеристики, коэффициента крутизны выходной характеристики и нагрузочной характеристики.

### Контрольные вопросы

1. Назвать пути повышения линейности характеристики.
2. Конструкция магнитопровода датчика линейных перемещений.
3. Отличие индуктивных датчиков от индукционных.
4. Типы датчиков.
5. Определение датчика.
6. Принцип действия датчика линейных перемещений.
7. Что называется основной характеристикой датчика?
8. Что называется чувствительностью датчика?
9. Основные требования, предъявляемые к датчикам.
10. Чем определяется быстродействие датчика?

### Список использованных источников

1. Буль Б.К. Основы теории электрических аппаратов. – М.: Высшая школа, 1970.
2. Витенсберг М.И. Расчет электромагнитных реле. – М.: Энергия, 1961.
3. Егоров М.Е., Деменьтьев В.И. Технология машиностроения. – М.: Высшая школа, 1976.
4. Куликовский Л.Ф., Зарипов М.Ф. Индуктивные преобразователи перемещения с распределёнными параметрами. – М.: Энергия, 1966.
5. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985.
6. Савченко М.Г., Филиппов В.И., Марьянов Г.М. Проектирование устройств электропитания и электропривода. – М.: Энергия, 1973.
7. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов. – М.: Энергия, 1971.
8. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
9. Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. научн. трудов, НПЦ "Полюс", Томск. – 1997.

Евгений Петрович Богданов

## ДАТЧИКИ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Методические указания к выполнению курсового проекта

Подписано к печати

Формат 60×84/16. Бумага офсетная

Плоская печать. Усл. печ. л. 1,18. Уч. изд. л. 1,06.

Тираж 100 экз. Заказ № . Цена свободная.

ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ №1 от 18.07.97.

Ротапринт ТПУ. 634034, Томск, пр. Ленина 30.