

**Федеральное агентство по образованию
Пермский государственный технический университет
Кафедра электрификации и автоматизации горных
предприятий**

Утверждено на
заседании кафедры
“ ___ ” _____ 2007 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ

Аристов Е.В., Хузин Р.А.

Методическое руководство к лабораторной работе для
студентов всех специальностей и форм обучения
горно-нефтяного факультета

Пермь - 2007

Цель работы:

1. Ознакомление с экспериментальными методами определения статических характеристик индуктивного датчика;
2. Ознакомление с конструкцией индуктивных датчиков;
3. Изучение схем включения индуктивных датчиков.

Основные положения

Индуктивные датчики предназначены для преобразования механического перемещения в электрическую величину в виде напряжения или тока. По принципу действия индуктивные датчики являются устройствами, в которых изменяется индуктивное сопротивление при изменении положения подвижной части датчика. Индуктивные датчики делятся на две группы: датчики с переменным коэффициентом самоиндукции и трансформаторные датчики, в которых изменение положения подвижной системы вызывает изменение коэффициента взаимной индукции.

Датчики с переменной индуктивностью

Простейшим датчиком с переменной индуктивностью является дроссель, у которого может изменяться воздушный зазор между сердечником 1 и подвижным якорем 2 (рис.1).

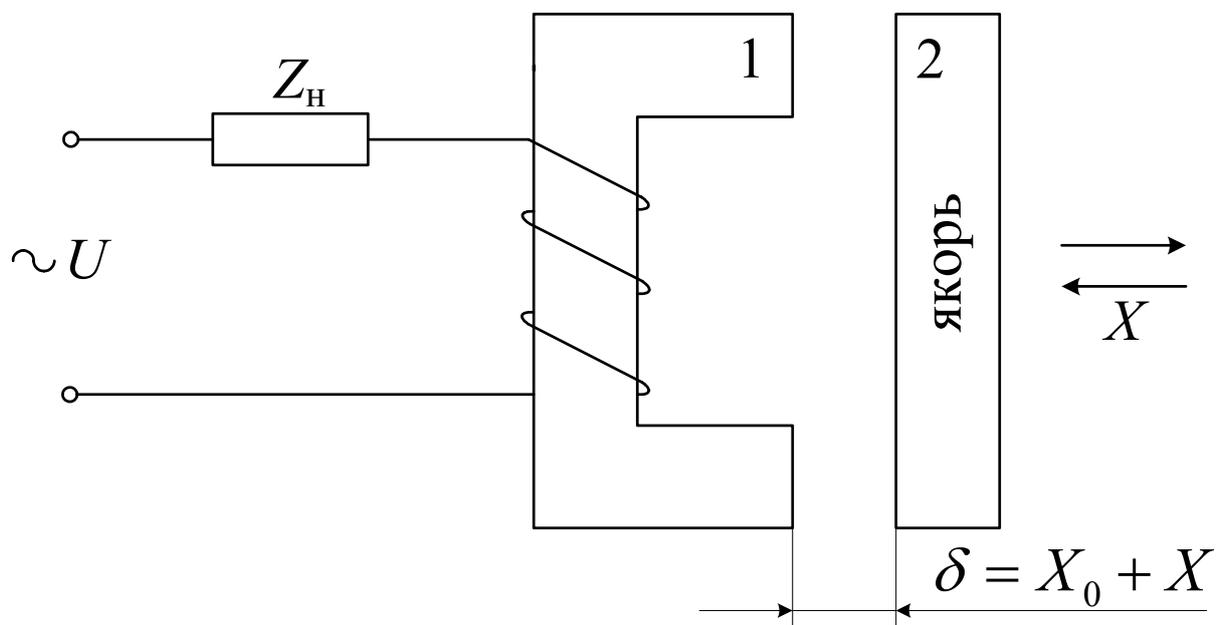


Рис.1. Датчик с переменной индуктивностью

При отсутствии насыщения магнитопровода индуктивность дросселя определяется формулой:

$$L = \frac{\omega^2}{R_M + 2 \frac{\delta_{\text{возд}}}{S_{\text{возд}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-9}}} \approx \frac{\omega^2 \cdot S_{\text{возд}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-9}}{2\delta_{\text{возд}}}, \quad \text{Гн} \quad (1)$$

где ω – число витков обмотки;

$S_{\text{возд}}$ – площадь воздушного зазора, см²;

R_M – магнитное сопротивление сердечника и якоря;

$\delta_{\text{возд}}$ – величина воздушного зазора, см.

Для ненасыщенного магнитопровода магнитное сопротивление железа R_M мало по сравнению с сопротивлением воздушного зазора и им можно пренебречь.

Так как воздушный зазор $\delta_{\text{возд}} = X_0 + X$ состоит из начального зазора X_0 и переменной величины X , определяемой перемещением якоря, то формула (1) преобразуется к виду:

$$L = \frac{L_0}{1 + \sigma}, \quad (2)$$

где L_0 – начальная индуктивность,

$$L_0 = \frac{1}{2X_0} \omega^2 \cdot S_{\text{возд}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-9}; \quad (3)$$

σ – относительное перемещение якоря,

$$\sigma = \frac{X}{X_0}.$$

Выражение (2) показывает, что при изменении положения якоря изменяются индуктивность, индуктивное сопротивление и ток в цепи нагрузки.

Индуктивный датчик конструкции, показанный на рис.1, прост, но имеет некоторые недостатки. При перемещении якоря нужно развивать большое усилие, необходимое для преодоления не только трения, но и силы притяжения якоря сердечником. Кроме того, датчик является однопольным, и вследствие этого изменение направления перемещения якоря не вызывает изменения знака выходной величины датчика.

Мостовая и дифференциальная схемы индуктивных датчиков

Отмеченные выше недостатки дросселей устраняются в мостовой и дифференциальной схемах индуктивных датчиков, показанных на рис.2.

В мостовой схеме индуктивного датчика (см. рис.2,а) якорь 3 перемещается между двумя сердечниками 1 и 2, на которых имеются обмотки, включенные в плечи моста L_1, L_2, R_1, R_2 . К одной диагонали моста подводится напряжение питания U_0 переменного тока, со второй диагонали снимается выходное напряжение U . Если якорь 3 занимает нейтральное положение, то индуктивности двух дросселей L_1 и L_2 одинаковы и мост сбалансирован. Выходное напряжение при этом равно нулю. При отклонении якоря от нейтрали баланс моста нарушается, так как индуктивность одного дросселя увеличивается, а второго - уменьшается. Изменение направления отклонения якоря вызывает изменение фазы выходного напряжения на 180° , т.е. характеристика мостового датчика является реверсивной. Силы притяжения якоря к сердечникам возникают и в этом случае, но они направлены в противоположные стороны и поэтому почти полностью взаимно компенсируются. Вследствие этого для перемещения якоря нужно прикладывать очень незначительное усилие.

Индуктивный датчик дифференциальной схемы приведен на рис.2б. Напряжение питания для этой схемы подается через трансформатор Tr . Сопротивление нагрузки R_n включается между средней точкой вторичной обмотки трансформатора Tr и средней точкой двух обмоток дросселей 1 и 2. Выходом схемы является напряжение, снимаемое с сопротивления нагрузки R_n . Если якорь 3 занимает нейтральное положение, то индуктивности двух дросселей L_1 и L_2 одинаковы следовательно токи I_1 и I_2 равны по амплитуде и противоположны по фазе. Вследствие этого результирующий ток протекающий через R_n равен нулю и выходное напряжение отсутствует. При отклонении якоря от нейтрального положения индуктивность одного дросселя увеличивается, а второго уменьшается. Следовательно аналогично изменяются сопротивления дросселей (Z_1 и Z_2) и амплитуды токов I_1 и I_2 . Вследствие этого появляется результирующий ток и выходное напряжение.

Рассмотрим схему, приведенную на рис.2а. Используя выражение (2), для дросселей 1 и 2 можно написать:

$$L_1 = \frac{L_0}{1-\sigma}; L_2 = \frac{L_0}{1+\sigma}, \quad (4)$$

Полагая, что мост не нагружен, а также учитывая, что максимально возможная частота колебаний якоря и, следовательно, изменения индуктивности датчика значительно меньше частоты источника питания ω , определим выходное напряжение схемы:

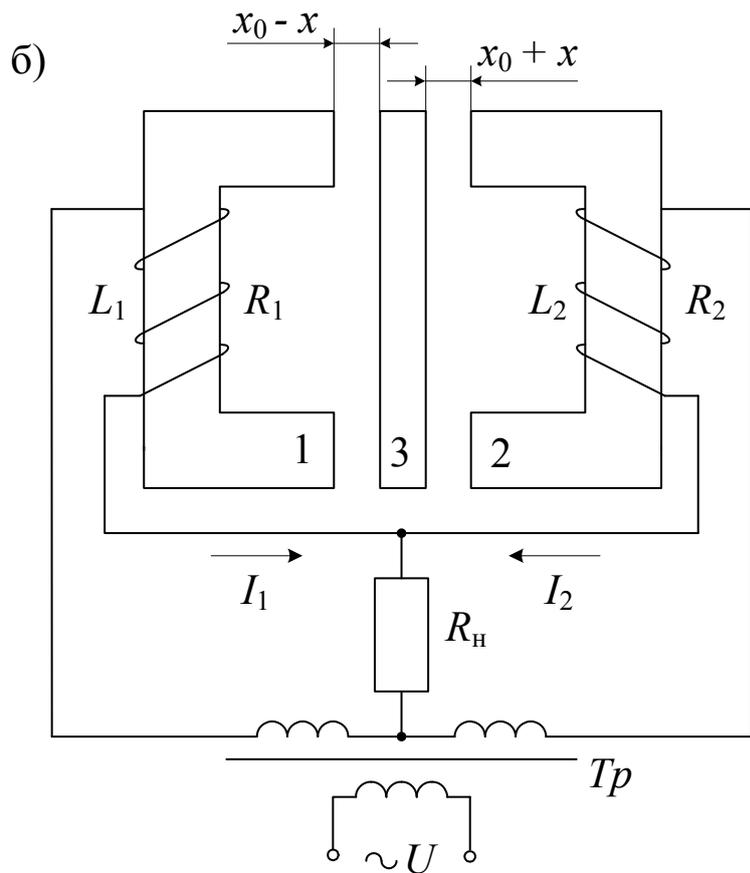
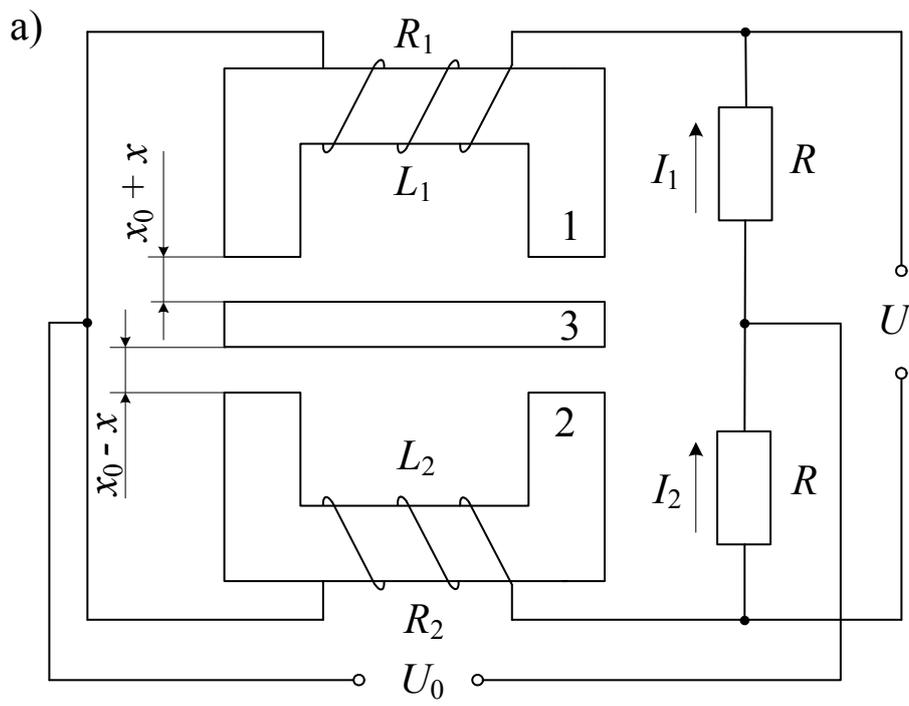


Рис.2. Мостовая (а) и дифференциальная (б) схема индуктивного датчика

$$U = R_{\text{H}} I_1 - R_{\text{H}} I_2 = \frac{U_0 R_{\text{H}} [R_2 - R_1 + j\omega(L_2 - L_1)]}{[(j\omega L_1 + R_1 + R_{\text{H}})(j\omega L_2 + R_2 + R_{\text{H}})]}. \quad (5)$$

Формула (5) написана при условии, что активные сопротивления R_1 и R_2 обмоток дросселей 1 и 2 соответственно имеют различную величину. Подставляя в (5) значения индуктивностей L_1 и L_2 , определяемых выражениями (4), и учитывая малое отклонение якоря от нейтрали, найдем

$$U = \frac{U_0 R_{\text{H}} [R_2 - R_1 - j\omega \cdot 2L_0 \sigma]}{[(j\omega L_0 + R_1 + R_{\text{H}})(j\omega L_0 + R_2 + R_{\text{H}})]}. \quad (6)$$

Модуль выражения (6) определяет амплитуду выходного напряжения, а аргумент – фазу.

Если оба дросселя обладают симметричными параметрами, т.е. $R_1 = R_2 = R$, то амплитуда выходного напряжения

$$|U| = \frac{2U_0 L_0 R_{\text{H}} \sigma}{[\omega^2 L_0^2 + (R + R_{\text{H}})^2]}. \quad (7)$$

Следовательно, коэффициент усиления датчика, или его чувствительность, находится по формуле:

$$K = \left[\frac{d|U|}{dx} \right]_{x=0} = \frac{U_0}{x_0} \frac{2\omega L_0 R_{\text{H}}}{\omega^2 L_0^2 + (R + R_{\text{H}})^2}. \quad (8)$$

При неидентичности параметров датчика (6) в случае нейтрального положения якоря выходное напряжение не равно нулю и определяется равенством

$$U = \frac{U_0 R_{\text{H}} (R_2 - R_1)}{[(j\omega L_0 + R_1 + R_{\text{H}})(j\omega L_0 + R_2 + R_{\text{H}})]}. \quad (9)$$

Остаточное напряжение (9) сдвинуто по фазе относительно напряжения питания, фаза которого определяет фазу основного полезного сигнала.

Следовательно, остаточное напряжение может быть разложено на две составляющие. Одна составляющая, совпадающая по фазе с полезным сигналом, называется синфазной. Вторая составляющая, сдвинутая по фазе на 90° относительно полезного сигнала, называется квадратурной.

Следует иметь в виду, что остаточное напряжение является напряжением погрешности и поэтому желательно его скомпенсировать. Синфазную составляющую остаточного напряжения можно скомпенсировать соответствующим перемещением якоря от нейтрали. Одновременно скомпенсировать и синфазное, и квадратурное напряжения погрешности таким способом нельзя. Для подавления квадратурной составляющей могут быть использованы демодуляторы, которые часто предусматриваются в усилительном тракте системы измерения. Демодулятор не пропускает сигналы,

сдвинутые по фазе на 90^0 относительно опорного напряжения (напряжения питания).

В динамическом отношении индуктивный датчик можно рассматривать как безинерционное устройство с коэффициентом усиления, определяемым выражением (8). Это объясняется тем, что максимально возможная частота колебаний якоря значительно меньше частоты источника питания, вследствие чего амплитуда выходного напряжения определяется уравнениями установившегося режима.

Для датчика с симметричными параметрами при напряжении питания $U=U_0\sin\omega t$ на основании формулы (7) выходное напряжение

$$U = -KX \sin(\omega t + \varphi), \quad (10)$$

где K – коэффициент усиления датчика, определяемый выражением (8);

φ – фазовый сдвиг выходного напряжения по отношению к напряжению питания.

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - 2\arctg\left[\frac{\omega L_0}{R + R_H}\right].$$

Формула (10) показывает, что на выходе датчика имеется амплитудно-модулированное напряжение. Амплитуда этого напряжения зависит от положения якоря.

Трансформаторные датчики

Примером трансформаторного датчика, в котором при изменении положения якоря изменяется коэффициент взаимной индукции, может служить следящий трансформатор (рис.3).

На среднем стержне Ш-образного сердечника имеется первичная обмотка, к которой подводится напряжение питания переменного тока. На двух крайних стержнях располагаются две одинаковые вторичные обмотки ω_{-1} и ω_{-2} , включаемые в схему последовательно и встречно. Подвижной частью датчика является якорь 2, поворачивающийся вокруг точки 0. Если якорь 2 занимает нейтральное симметричное положение относительно крайних стержней, то магнитное сопротивление обеих выходных обмоток одинаково и, следовательно, одинаковы коэффициенты взаимной индукции между каждой из выходных обмоток и первичной обмоткой трансформатора. В этом случае в обмотках ω_{-1} , ω_{-2} находятся равные по амплитуде и противоположные по фазе ЭДС, что соответствует выходному напряжению $U=0$. Поворот якоря 2 в ту или иную сторону вызывает увеличение или уменьшение магнитного сопротивления для одного крайнего стержня и противоположное изменение магнитного сопротивления для другого крайнего стержня сердечника. Это приводит к соответствующим изменениям коэффициентов взаимной индукции и к

появлению результирующей ЭДС, амплитуда которой будет зависеть от величины угла поворота якоря 2, а фаза - от направления поворота.

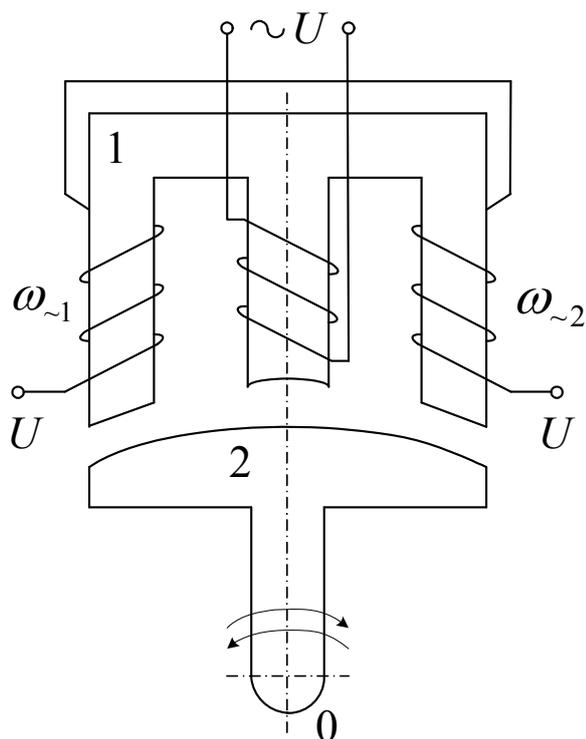


Рис.3. Трансформаторный датчик

электромагнита на якорь) и влияние инерции якоря на частотную характеристику прибора.

При использовании трансформаторного датчика в следящих системах предусматривается возможность соединения Ш-образного сердечника с выходной осью системы, а якоря - с входным устройством.

Индуктивные преобразователи используются для преобразования перемещения и других неэлектрических величин которые могут быть преобразованы в перемещение (усилие, давление, момент и т.д.).

По сравнению с другими преобразователями перемещения индуктивные преобразователи отличаются значительными по мощности выходными сигналами, простотой и надежностью в работе.

Недостатком их является наличие обратного воздействия преобразователя на измеряемый объект (воздействие

Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки показана на рис. 4. О расположении приборов на стенде можно судить по рис. 5. В качестве объекта испытания используется нереверсивный индуктивный датчик перемещения ДПА-Ф60-40У-2110-Н (диапазон измерения 5-35 мм).

С помощью микрометра осуществляется перемещение якоря индуктивного датчика. Питание на схему испытания подается через блок питания от сети переменного тока 220В, 50Гц выключателем К4. Подача напряжение сигнализируется световой сигнализацией. Отсчет величин перемещения якоря осуществляется по шкале микрометра. Выходной сигнал индуктивного датчика в виде унифицированного токового сигнала (4-20 мА) преобразуется измерителем-регулятором ТРМ-1 в текущее цифровое значение измеряемой величины (перемещение).

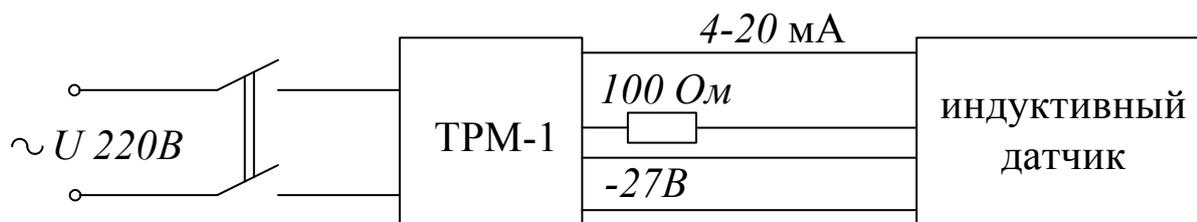


Рис.4. Схема лабораторной установки

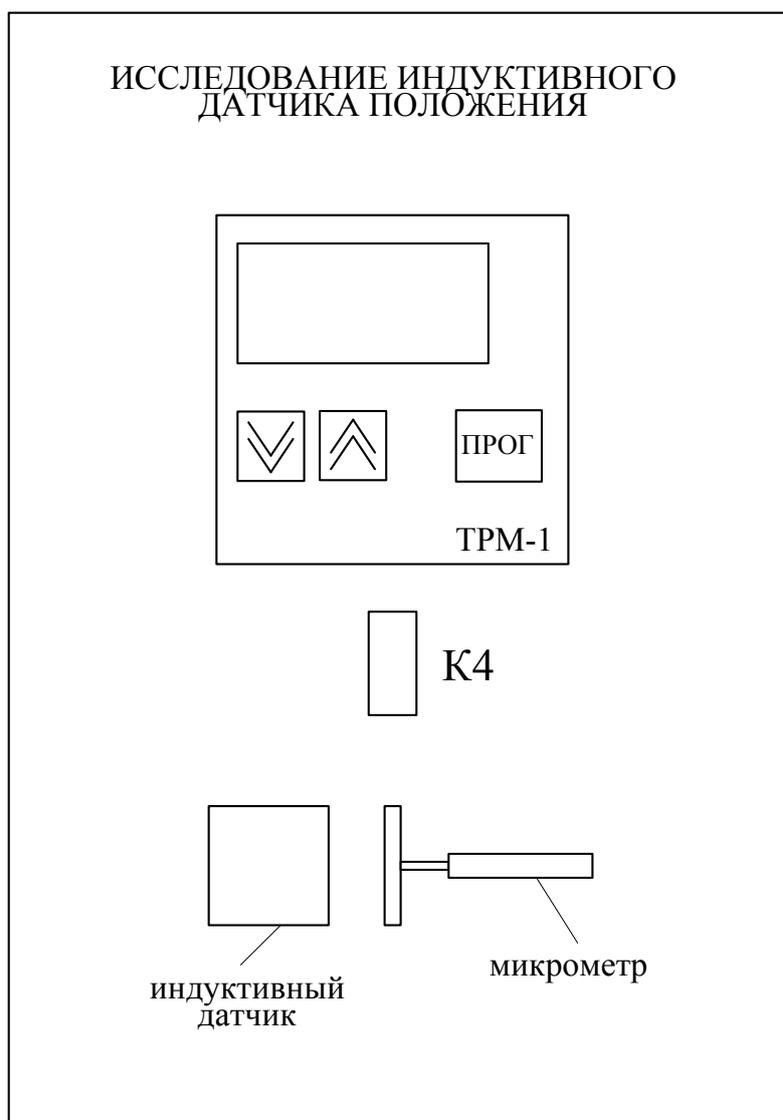


Рис.5. Схема расположения приборов на стенде

Описание измерителя-регулятора ТРМ-1

Измеритель-регулятор ТРМ-1 фирмы ОВЕН совместно с входным датчиком предназначен для контроля и управления различными технологическими производственными процессами.

При работе с датчиками, формирующими на выходе унифицированный сигнал тока или напряжения, предусматривается произвольное масштабирование шкалы измерения. Для этого в соответствующих функциональных параметрах устанавливается нижняя и верхняя границы диапазона отображения, а также положение десятичной точки.

Нижняя граница (параметр b1-5) определяет, какое значение будет выводиться на индикатор при минимальном уровне сигнала с датчика (при 4 мА для датчика с выходным сигналом 4-20 мА).

Верхняя граница (параметр b1-6) определяет, какое значение будет выводиться на индикатор при максимальном уровне сигнала с датчика (при 20 мА для датчика с выходным сигналом 4-20 мА).

Параметр “положение десятичной точки” b1-7 определяет количество знаков после запятой, которое после масштабирования будет выводиться на индикатор полученный результат.

Вычисленные прибором значения могут быть откорректированы пользователем с целью устранения начальной погрешности преобразования входных датчиков. Эти погрешности выявляются после проведения метрологических испытаний и устраняются путем ввода корректирующих значений.

В приборе заложены два параметра, позволяющие осуществить сдвиг и изменение наклона измерительной характеристики прибора на заданную величину (рис.6).

При сдвиге вычисленному значению измеренной величины прибавляется значение, заданное параметром b1-1.

Изменение наклона характеристики скорректированной “сдвигом”, осуществляется умножением значения на поправочный коэффициент, задаваемый параметром b1-2. Этот коэффициент близок к единице и находится в пределах 0.900...1.100.

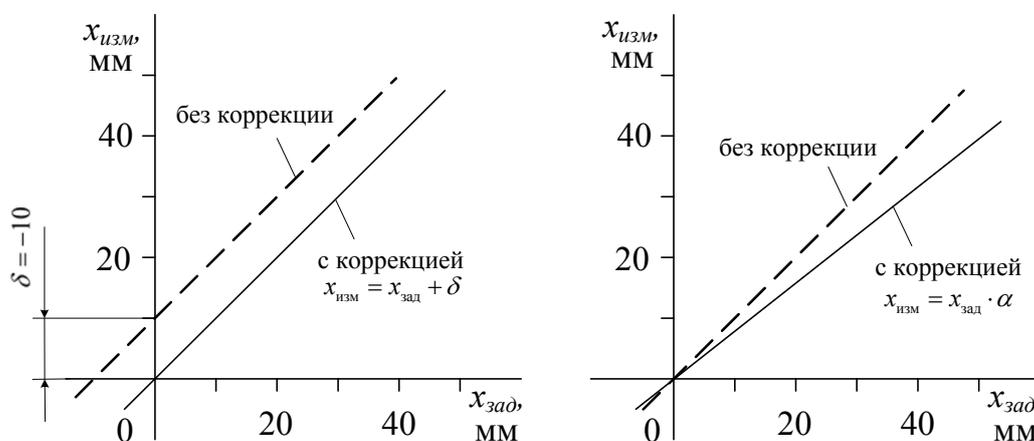


Рис.6. Редактирование характеристики сдвигом и наклоном

Программирование измерителя-регулятора ТРМ-1

Программирование предназначено для задания и записи в энергонезависимую память прибора требуемых при эксплуатации рабочих параметров измерения. При входе в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ если в течение 20 с не производится операций с кнопками, прибор автоматически возвращается в режим РАБОТА.

Функциональные параметры прибора разложены на группы А и В. В группе А находятся параметры, определяющие логику работы прибора. В группе В – параметры, отвечающие за настройку измерительной части прибора.

Вход в режим программирование осуществляется нажатием и удерживанием кнопки «ПРОГ» более 6с. Последовательность процедуры программирования прибора для группы В приведена на рис.7.

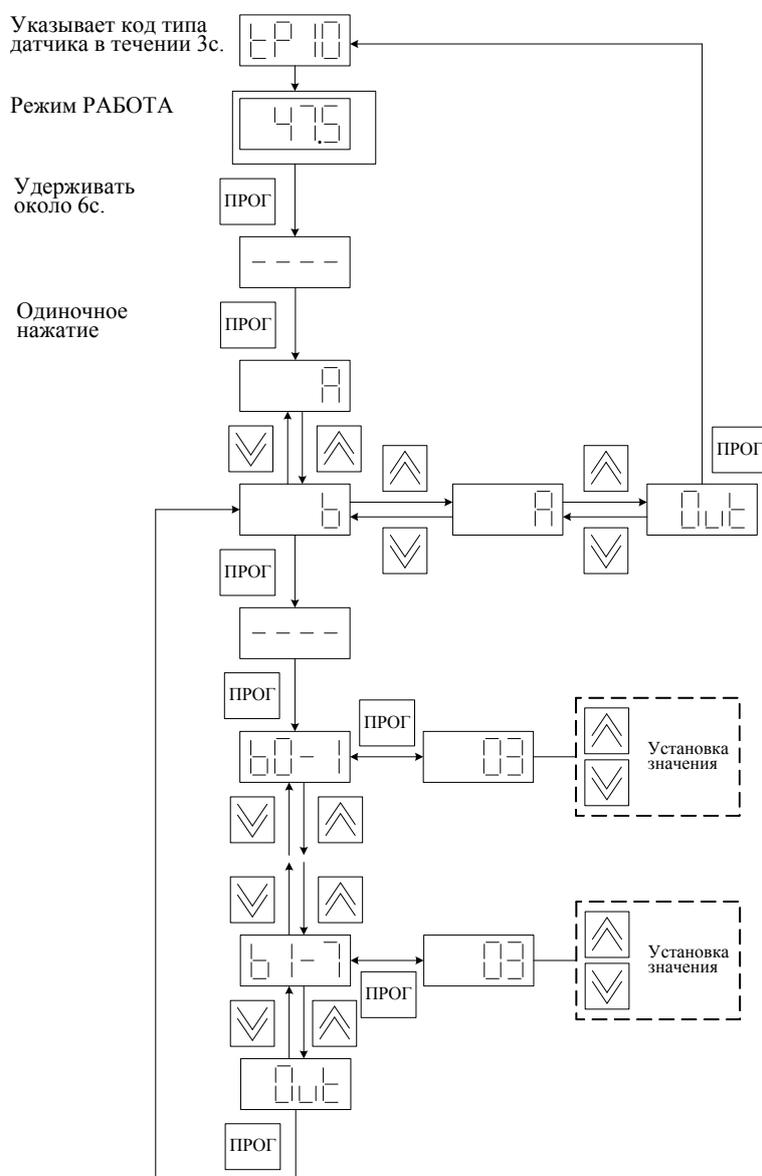


Рис.7. Последовательность процедуры программирования прибора для группы В

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с данными методическими указаниями и лабораторным стендом;
2. Подготовить протокол для записи показателей опытов;
3. Установить автомат К0 в положение «ВКЛ». Подать питание на схемы выключателя К4;
4. Запрограммировать параметры b1-5 (0) и b1-6 (30);
5. Снять характеристику $x_{\text{вых}} = f(x_{\text{вх}})$;
6. Определить погрешности;
7. Используя сдвиг и изменение наклона характеристики при помощи параметров b1-1 и b1-2 снизить погрешности к минимуму.

Отчет по работе

1. Цель работы;
2. Задание на работу;
3. Схема установки
4. Протокол наблюдений;
5. Получившиеся параметры b1-1 и b1-2;
6. Статические характеристики без компенсации и с компенсацией погрешностей;
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвано изменение индуктивности индуктивных преобразователей?
2. Назовите преимущества дифференциальных индуктивных датчиков?
3. Нарисуйте основные конструкции индуктивных датчиков.
4. От каких параметров индуктивного датчика зависит индуктивность индуктивного преобразователя?
5. Объясните принцип действия мостового индуктивного датчика.
6. Объясните принцип действия дифференциального индуктивного датчика.
7. Объясните принцип действия трансформаторного индуктивного датчика.

Список литературы

1. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин/ под ред. Е.О. Полищука. – Киев; Высшая школа, 1984. с. 284-288.
2. Савостьянов В.П., Филатова Г.А., Филатов В.В. Расчет и конструирование деталей аппаратуры САУ. –М.: Машиностроение, 1982, -с.207-219.