

Лекция №14

Индуктивные измерительные устройства

- Индуктивный преобразователь представляет собой катушку индуктивности, полное сопротивление которой меняется при взаимном относительном перемещении элементов магнитопровода под влиянием измеряемого параметра.
- По принципу работы индуктивный преобразователь – датчик перемещений, однако, преобразуя разные физические величины (давление, сила, угол поворота, расход жидкости или газа и т.п.) в перемещение, можно эти физические величины эффективно измерять.
- Структурная схема типовой измерительной системы, содержащей индуктивный преобразователь, включает схему включения датчика, питаемую от генератора и преобразующую изменение сопротивления катушки в изменение напряжения или тока; усилитель сигналов датчика; демодулятор (амплитудный детектор), выделяющий огибающую промодулированного и усиленного напряжения несущей частоты; усилитель постоянного тока, усиливающий сигнал низкой частоты; устройство, регистрирующее выходной сигнал в виде напряжения или тока.

Индуктивные измерительные устройства

- Структура типовой индуктивной измерительной системы обычно строится по принципу прямого преобразования, поэтому ее интегральная чувствительность определяется соотношением:

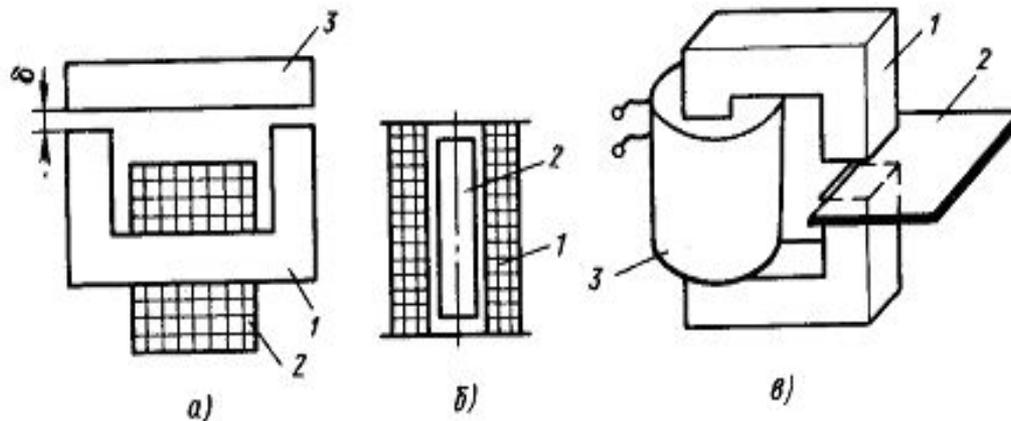
$$S = \prod_{i=1}^k S_{V_i} = \frac{\partial Z}{\partial l} \cdot \frac{\partial U}{\partial Z} \cdot k \cdot k \cdot k ,$$

где k_U, k_D, k_P — коэффициенты преобразования соответственно усилителя, демодулятора и регистратора.

- Имеются два класса преобразователей: с изменяющейся индуктивностью и с изменяющимся активным сопротивлением.
- Преобразователи первого класса делят на датчики с замкнутой магнитной цепью и датчики с разомкнутой магнитной цепью.

Индуктивные измерительные устройства

- Преобразователи с изменяющейся индуктивностью представлены в виде модификаций с замкнутой магнитной цепью а) и разомкнутой магнитной цепью б), а преобразователи с изменяющимся активным сопротивлением – в виде варианта в).



Индуктивные измерительные устройства

- Преобразователь (вариант а) состоит из П–образного сердечника (магнитопровода) 1, на котором размещена катушка 2, и подвижного якоря 3. При перемещении якоря изменяется длина воздушного зазора и, следовательно, магнитное сопротивление сердечника, что вызывает изменение индуктивности катушки датчика, которая может быть зарегистрирована.
- Возможен вариант преобразователя, в конструкции которого якорь перемещается горизонтально относительно П–образного сердечника и изменяет эффективную площадь замыкания магнитного потока. Оба варианта датчика: и с переменным зазором, и с переменной площадью – относятся к датчикам с замкнутой магнитной цепью.
- Пример датчика с разомкнутой магнитной цепью, называемого соленоидным или плунжерным преобразователем, показан в виде модификации б). Преобразователь представляет собой катушку 1, из которой может выдвигаться ферромагнитный сердечник 2 (плунжер), что приводит к изменению индуктивности катушки.

Индуктивные измерительные устройства

- Определим *функцию преобразования* датчика на примере преобразователя с переменным зазором (модификация а).
- Основные соотношения для ее расчета индуктивности L катушки имеют вид:

$$\Phi = Iw \quad / \quad ; \quad \Phi = Iw / Z_M ; \quad L = w^2 / Z_M ;$$

где w — число витков катушки; Φ — пронизывающий ее магнитный поток; I — проходящий по катушке ток.

Z_M — полное сопротивление магнитному потоку, которое состоит из двух составляющих: магнитного сопротивления сердечника Z_{mc} и магнитного сопротивления воздушных зазоров R_3 .

Индуктивные измерительные устройства

- Если пренебречь рассеянием магнитного потока и нелинейностью кривой намагничивания сердечника, то

$$Z_M = R_C + R_3 = \frac{l}{\mu\mu_0 S_{\mathcal{E}}} + \frac{2\delta}{\mu_0 S},$$

где R_C – суммарное магнитное сопротивление участков магнитопровода; l – длина средней силовой линии по участкам магнитопровода; S_C – их поперечное сечение; μ – магнитная проницаемость материала сердечника; μ_0 – магнитная постоянная; δ и S_3 – соответственно длина и сечение воздушного зазора. Отсюда:

$$L = \frac{\mu_0 w^2}{\frac{l}{\mu S_{\mathcal{E}}} + \frac{2\delta}{S}}$$

•

Индуктивные измерительные устройства

- Так как $S_g \approx S = S_0$, для удовлетворительной работы датчика требуется выполнение условия $2\delta \ll l/\mu$, что достигается выбором для магнитопровода материала с большим значением магнитной проницаемости $\mu \geq 10^3$, то окончательно получаем:

$$L \approx \mu_0 w^2 S_0 / 2\delta .$$

- Полное комплексное сопротивление катушки Z запишется в виде:

$$Z = R_{\Pi} + j\omega L \approx R_{\Pi} + j\omega\mu_0 w^2 S_0 / 2\delta ,$$

а его модуль равен:

$$|Z| = \sqrt{R_{\Pi}^2 + (\omega L)^2} .$$

Индуктивные измерительные устройства

- Модуль полного комплексного сопротивления катушки индуктивности часто записывают в виде:

$$|Z| = \sqrt{R_{II}^2 + (\omega L)^2} = \omega L \sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}},$$

где $Q = \omega L / R_{II}$ – добротность индуктивного датчика, характеризующаяся отношением запасенной энергии в контуре к энергии рассеянной. Значения Q для разных сердечников такие: сталь -- $Q = 1 - 4$; пермаллой -- $Q = 3 - 10$; ферриты -- $Q = 3 - 20$.

Индуктивные измерительные устройства

- Чувствительность датчика с переменным зазором равна:

$$S = \left| \frac{\partial Z}{\partial L} \right| \left| \frac{\partial L}{\partial \delta} \right| = \omega \sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}} \cdot \frac{\mu_0 w^2 S_0}{2\delta^2} .$$

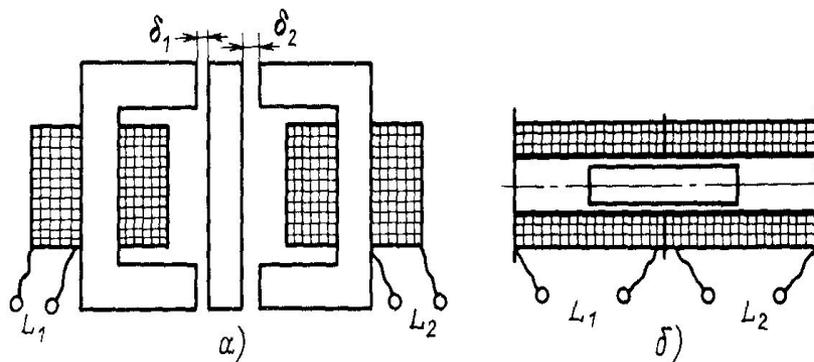
- В ряде случаев чувствительность индуктивного преобразователя удобно характеризовать величиной:

$$S \approx \frac{\Delta Z / Z}{\Delta \delta} = \frac{1}{Z} \cdot \frac{dZ}{d\delta} = \frac{1}{\delta} ,$$

из которой следует существенное возрастание чувствительности датчика с уменьшением протяженности воздушного зазора δ

Индуктивные измерительные устройства

- Недостатков одинарных датчиков лишены дифференциальные преобразователи. Они состоят из двух одинаковых одинарных преобразователей, которые имеют общий подвижный элемент. Примеры схем таких преобразователей приведены на рисунке:



Индуктивные измерительные устройства

Типовые схемы включения датчиков:

- последовательная схема, или схема генератора тока, преобразующая ΔZ в изменение тока ΔI ;
- схема делителя напряжения, преобразующая ΔZ в изменение напряжения ΔU ;
- мостовая схема включения, обеспечивающая преимущества дифференциальных индуктивных преобразователей по сравнению с одинарными датчиками;
- трансформаторная схема включения, основанная на измерении ЭДС, наведенной во второй обмотке датчика при изменении ΔZ первой обмотки;
- частотная схема включения, в которой изменение индуктивности катушки, входящей в состав колебательного контура, трансформируется в изменение частоты генерации Δf измеряемой, например, с помощью частотомера.