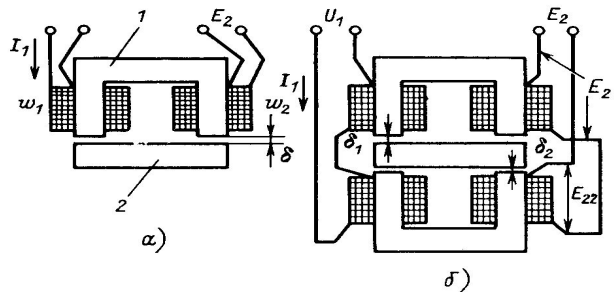


Лекция №15

Электромагнитные измерительные преобразователи

К классу электромагнитных преобразователей относят близкие им по принципу действий взаимоиндуктивные (трансформаторные), вихретоковые и индукционные преобразователи, используемые для измерений широкого спектра физических величин.

Взаимоиндуктивные (трансформаторные) преобразователи конструктивно аналогичны индуктивным преобразователям и отличаются тем, что вместо одной имеют две обмотки, как представлено на рисунке:



Электромагнитные преобразователи

Преобразователь состоит из П-образного магнитопровода 1, подвижного якоря 2 и двух обмоток с числом витков w_1 и w_2 . При изменении воздушного зазора δ изменяются магнитное сопротивление магнитопровода Z_M и взаимная индуктивность первой и второй обмоток. При этом изменение ЭДС, наводимой во второй обмотке, составит:

$$\tilde{E}_2 = j\omega M \tilde{I}_1,$$

где \tilde{I}_1 – ток катушки возбуждения.

Пренебрегая рассеянием магнитного потока и выражая взаимную индуктивность M через отношение $M = w_1 w_2 / Z_M$, получим:

$$\tilde{E}_2 = j\omega w_1 w_2 \tilde{I}_1 / Z_M$$

Электромагнитные преобразователи

Так как магнитная цепь *трансформаторного преобразователя* аналогична магнитной цепи индуктивного преобразователя можно записать его функцию преобразования в виде:

$$\tilde{E}_2 = j\omega w_1 w_2 \tilde{I}_1 \frac{\mu_0 S_0}{2\delta + l/\mu} .$$

Пренебрегая магнитным сопротивлением сердечника по сравнению с магнитным сопротивлением воздушных зазоров (выполняется при условии $l/\mu \ll 2\delta$), окончательно получим:

$$\tilde{E}_2 = j\omega w_1 w_2 \tilde{I}_1 \mu_0 S_0 / 2\delta .$$

Электромагнитные преобразователи

- Описанный одинарный преобразователь имеет существенный недостаток, вызванный зависимостью возбуждающего тока I_1 от величины воздушного зазора δ .
- Большой стабильностью возбуждающего тока обладает дифференциальный преобразователь. У этого преобразователя первичные обмотки соединены последовательно и подключены к источнику переменного напряжения, а вторичные включены встречно. Можно показать, что функция преобразования дифференциального трансформаторного датчика имеет вид:

$$\tilde{E}_2 \approx \tilde{U}_1 \frac{w_2}{w_1} \frac{\Delta\delta}{\delta_0},$$

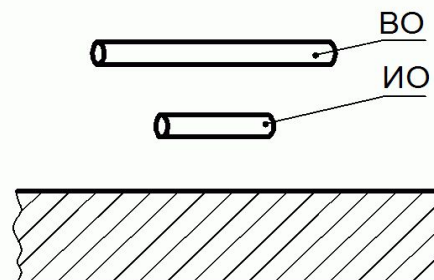
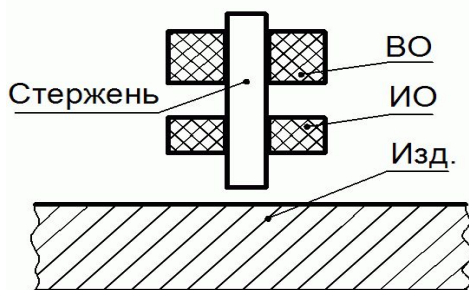
где $\Delta\delta$ – смещение якоря относительно его среднего положения. Чувствительность такого датчика пропорциональна питающему напряжению \tilde{U}_1 .

Электромагнитные преобразователи

- **Вихретоковые преобразователи (ВТП)** по своей конструкции схожи с индуктивными и трансформаторными датчиками соленоидного типа. Они представляют собой одну или несколько катушек (чаще – две), с помощью которых в электропроводящем объекте контроля возбуждаются вихревые токи и осуществляется их регистрация.
- Результат взаимодействия поля возбуждающей катушки (ВО) и поля, возбуждаемого вихревыми токами, регистрируют либо отдельной измерительной катушкой (ИО), в которой наводится ЭДС результирующего поля, либо той же возбуждающей катушкой, электрические параметры которой изменяются в результате взаимодействия полей.

Электромагнитные преобразователи

Поскольку сигналы ВТП имеют комплексный характер, то в случае применения отдельных ВТП информативными параметрами являются амплитуда и фаза наведенной в измерительной катушке ЭДС (или действительная и мнимая составляющие \tilde{U}), а в случае применения совмещенного ВТП – составляющие комплексного импеданса самой катушки ВТП: $\text{Re}\tilde{Z}$ и $\text{Im}\tilde{Z}$.



Электромагнитные преобразователи

- В случае изделий плоской формы изменение напряженности магнитного поля вглубь материала описывается выражением:

$$\tilde{H}(x) = H_0 e^{-\alpha x} e^{-j\alpha x},$$

где H_0 – напряженность магнитного поля на поверхности изделия; $\alpha = \sqrt{\omega\mu\sigma/2}$ – параметр, определяемый магнитной проницаемостью μ материала изделия, его электропроводностью σ , частотой возбуждающего тока ω ;

x – координата в направлении распространения волны

перпендикулярно поверхности изделия. Первый сомножитель выражения $H_0 e^{-\alpha x}$ характеризует амплитуду убывания вихревых токов вглубь изделия, второй – изменение фазы волны.

Электромагнитные преобразователи

- Глубина проникновения электромагнитной волны $\delta = 1/\alpha$, под которой понимают расстояние, на котором напряженность поля ослабляется в $e = 2,71$ раз, для металлов невелика, что ограничивает возможности контроля достаточно тонкостенными изделиями – листами, трубами, прутками, проволокой и т.п.
- Поскольку параметры электромагнитной волны и поля вихревых токов зависят от электропроводности материала , магнитной проницаемости , размеров изделия (например, толщины листов или диаметра прутков), появляется возможность их измерения путем регистрации информативных параметров.
Существуют *вихретоковые толщиномеры, измерители электропроводности, структуроскопы, дефектоскопы.* Существенно, что возможности метода можно расширить, проводя измерения на разных частотах и осуществляя многопараметровый контроль.

Электромагнитные преобразователи

- Принцип действия **индукционных преобразователей** основан на явлении электромагнитной индукции, согласно которому величина наведенной в контуре ЭДС пропорциональна скорости изменения потокосцепления:

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} = -w\frac{d\Phi}{dt} = -w\left(S\frac{\partial B}{\partial t} + B\frac{\partial S}{\partial t}\right),$$

где потокосцепление $\Psi = w\Phi = wBS$; w – число витков катушки; Φ – проходящий через нее магнитный поток; S – площадь, через которую проходит этот поток; B – индукция магнитного поля. ЭДС в обмотке катушки может наводиться при изменении во времени любой из перечисленных величин:

w, B, S . Очевидно, что индукционные датчики относятся к классу генераторных преобразователей.

Электромагнитные преобразователи

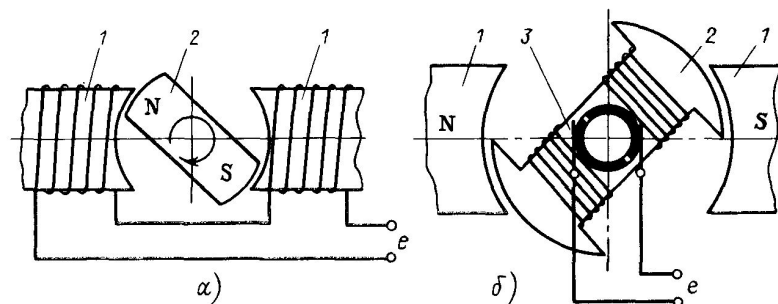
- В качестве примера рассмотрим преобразователь, представляющий собой постоянный магнит с полюсными наконечниками, в воздушном зазоре которого перемещается прямоугольная катушка с n витками. При движении катушки изменяется ее площадь S , находящаяся в магнитном поле с индукцией B_0 . Это приводит к изменению потокосцепления $\Phi = nB_0S$, и в катушке наводится ЭДС:

$$e = -nB_0b \frac{dx}{dt} = -nB_0bv,$$

где v — линейная скорость перемещения катушки относительно полюсов магнита.

Электромагнитные преобразователи

Варианты индукционных датчиков, называемых тахометрами и используемых для измерения частоты вращения валов, приведены на рисунке:



Преобразователь с вращающимся постоянным магнитом состоит из статора 1, на котором размещена обмотка, и ротора 2 с закрепленным на нем постоянным магнитом. При вращении магнита изменяется поток, проходящий через обмотку, и в ней индуцируется переменная ЭДС. Амплитуда и частота ЭДС пропорциональны частоте вращения ротора.