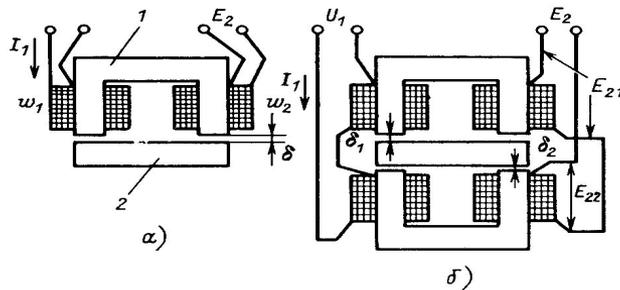


# Лекция №15

## 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  $\delta$  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  $\delta$ .
- 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:

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

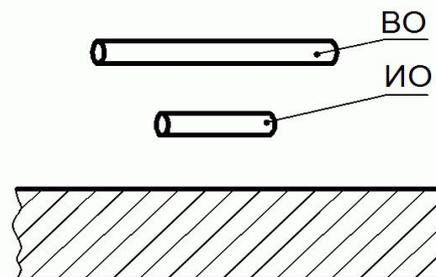
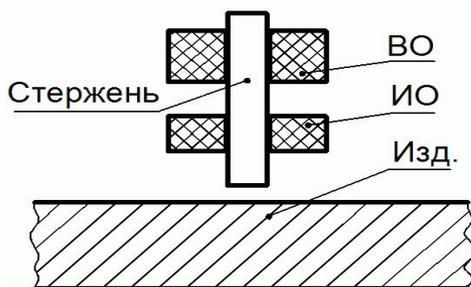
где  $\Delta\delta$  – смещение якоря относительно его среднего положения. Чувствительность такого датчика пропорциональна питающему напряжению  $\tilde{U}_1$ .

# 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  $\mu$  материала изделия, его электропроводностью  $\sigma$ , частотой возбуждающего тока  $\omega$  ;

$x$  – 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;  $\Phi$  – 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

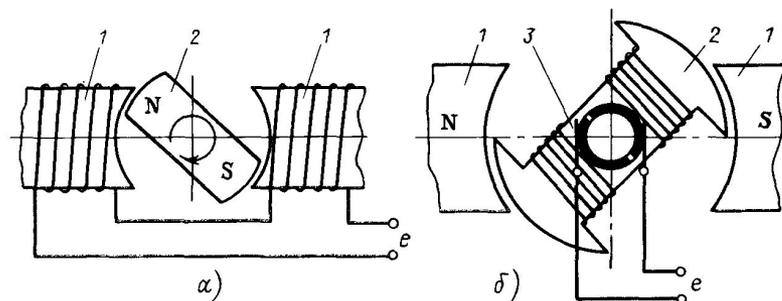
- В качестве примера рассмотрим преобразователь, представляющий собой постоянный магнит с полюсными наконечниками, в воздушном зазоре которого перемещается прямоугольная катушка с  $n$  витками. При движении катушки изменяется ее площадь  $S$ , находящаяся в магнитном поле с индукцией  $B_0$ . Это приводит 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.