



Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



ИНДУКТИВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

к.т.н., доцент каф. ФМПК ИНК ТПУ
Калиниченко Алексей Николаевич



- **Ознакомление с физическими основами индуктивного и взаимоиндуктивного измерительных преобразований.**
- **Ознакомление с вариантами конструкции, схемами включения и областями применения индуктивного и взаимоиндуктивного измерительных преобразований.**
- **Ознакомление с теоретическими основами и практическим применением для получения измерительной информации об объекте индуктивного и взаимоиндуктивного измерительных преобразователей соленоидальной конструкции с разомкнутым ферромагнитным сердечником.**

Индуктивное измерительное преобразование - основано на зависимости индуктивности обмотки от параметров обмотки и магнитной цепи, в которую включена обмотка.

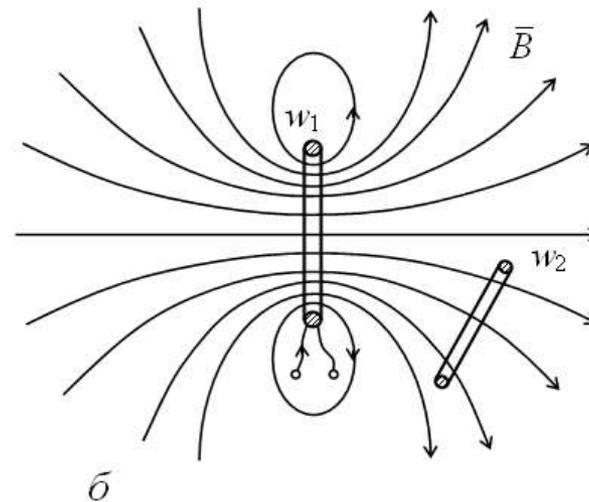
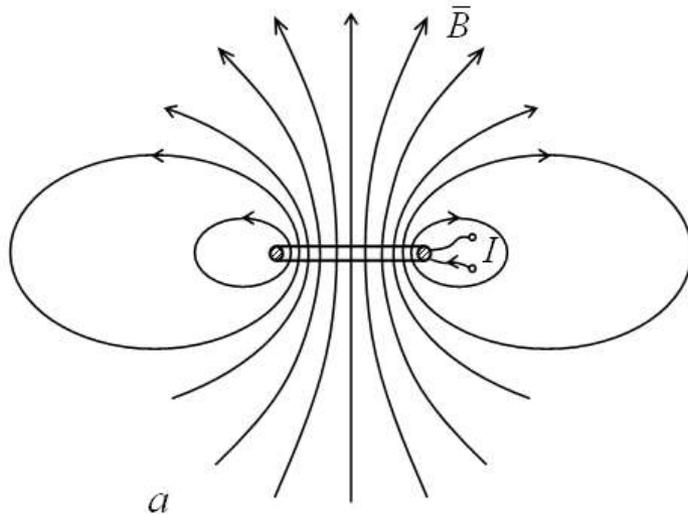
Взаимоиндуктивное измерительное преобразование - основано на зависимости взаимной индуктивности обмоток от параметров обмоток и магнитной цепи, в которую включены обмотки, а также от взаимного положения обмоток.

Индуктивность L (от латинского *inductio* – наведение) – величина, характеризующая связь между протекающим в обмотке электрическим током и создаваемым этим током потокосцеплением через данную обмотку (полный магнитный поток через все витки обмотки):

$$L = \frac{\Psi}{I}.$$

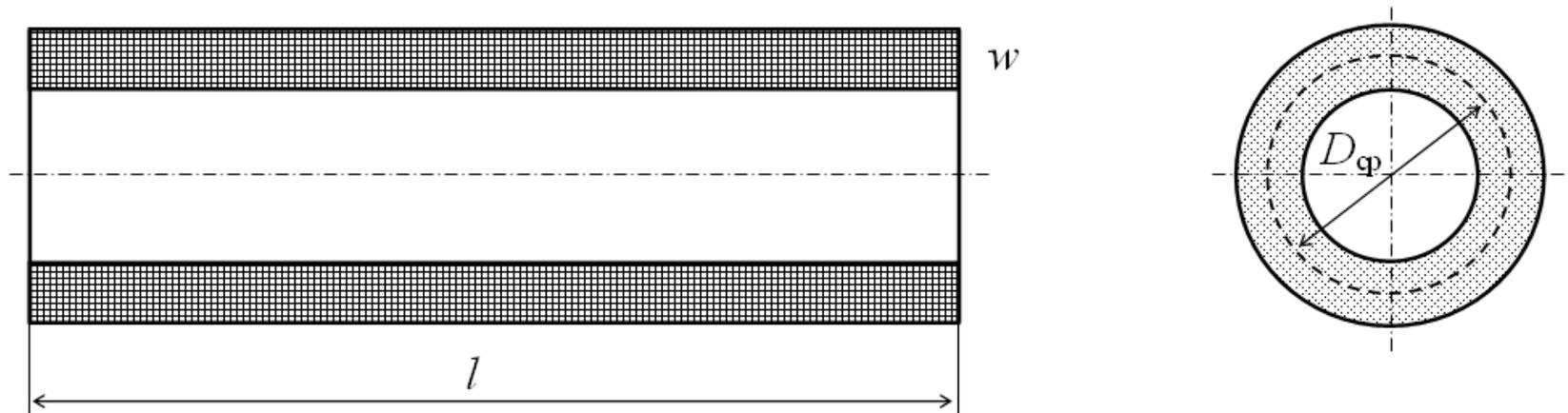
Единицей измерения индуктивности является Генри (Гн).

Взаимная индуктивность — величина, характеризующая магнитную связь двух или более электрических контуров (обмоток).



Взаимная индуктивность M_{12} двух обмоток: w_1 , в которой протекает электрический ток I_1 , и w_2 , находящейся в магнитном поле электрического тока первой обмотки:

$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_1} \qquad M_{21} = \frac{\Psi_{21}}{I_2}$$



Вид и геометрические параметры соленоида с витками круглой формы



Индуктивность соленоида:

$$L = \mu w^2 \frac{\pi D_{\text{ср}}^2}{4l} k_1,$$

$D_{\text{ср}}$ – диаметр среднего витка обмотки;

l – длина соленоида;

μ – магнитная проницаемость среды;

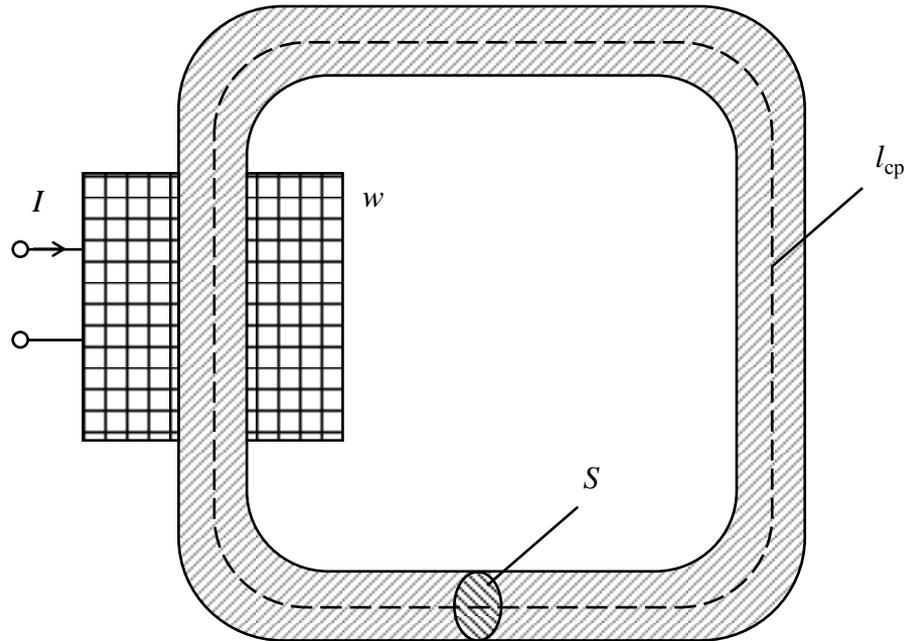
w – число витков обмотки;

k_1 – множитель, зависящий от соотношения геометрических размеров l и $D_{\text{ср}}$.

Для длинных соленоидов ($l > 10 D_{\text{ср}}$) множитель $k_1 \rightarrow 1$.



КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

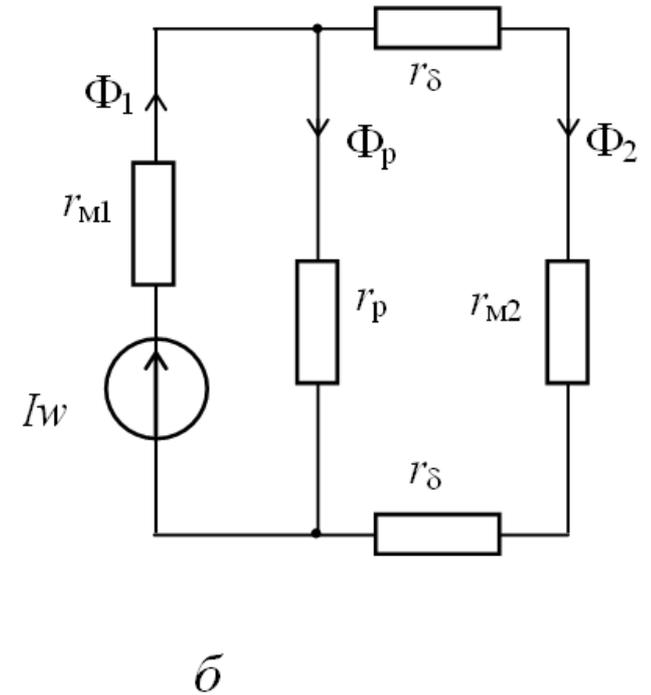
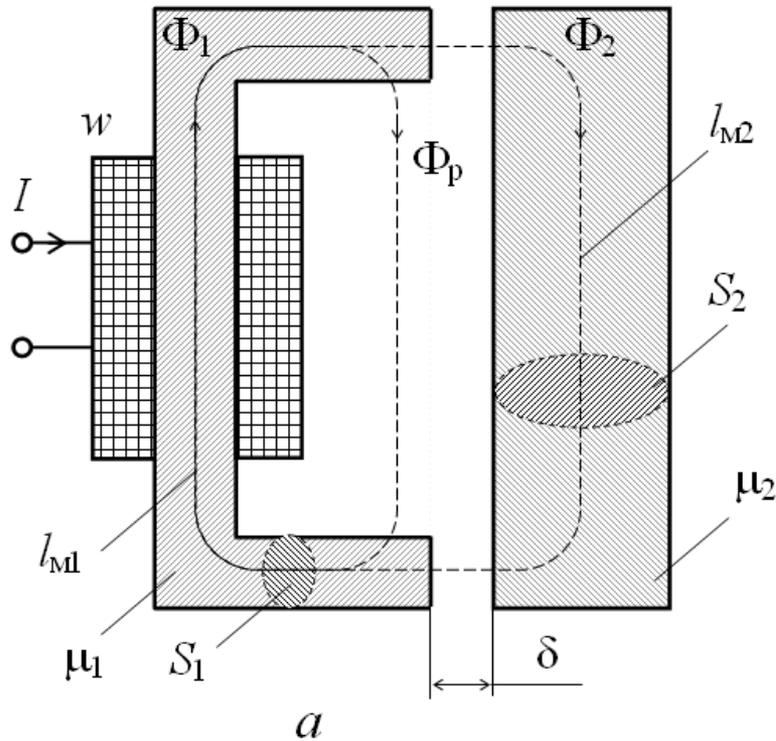


Обмотка с замкнутым ферромагнитным сердечником (магнитопроводом).

Практически весь магнитный поток, создаваемый электрическим током I обмотки, замыкается по магнитопроводу, магнитная проницаемость которого на несколько порядков превышает магнитную проницаемость воздуха



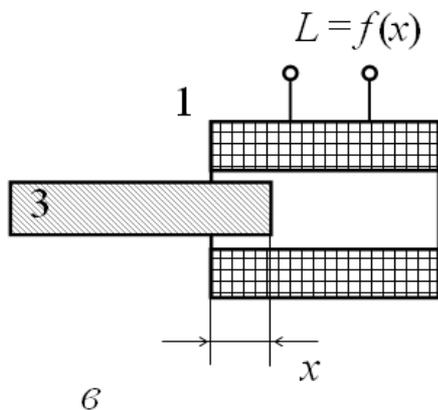
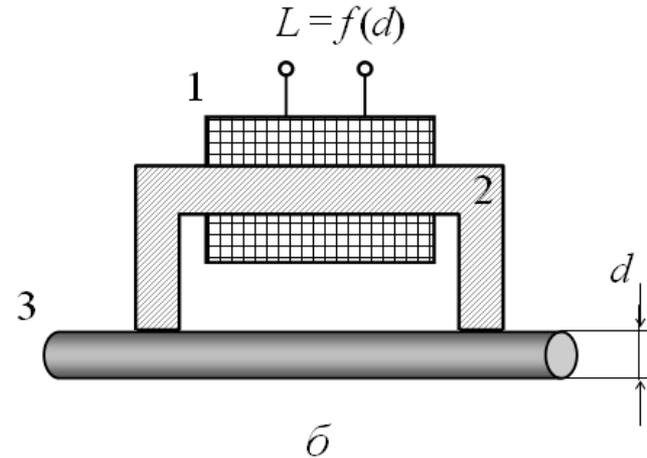
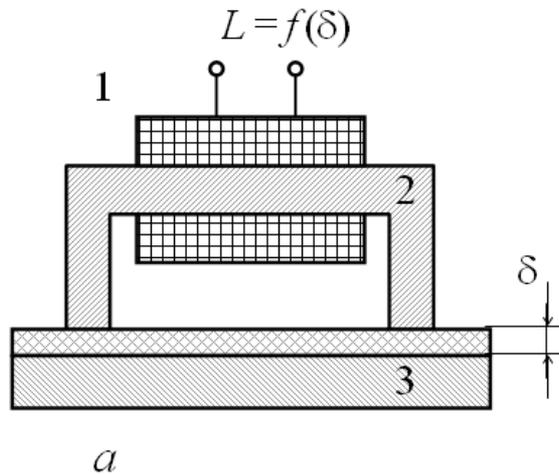
КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ



Сложная магнитная цепь (а) и ее схема замещения (б)



КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

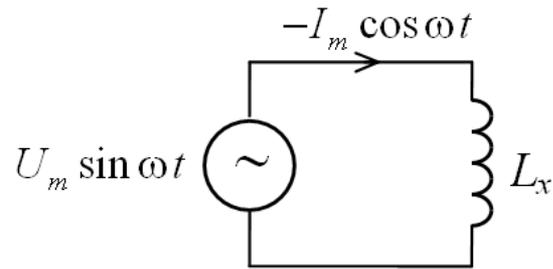


Примеры практического использования индуктивного измерительного преобразования для измерения толщины немагнитного покрытия ферромагнитной пластины (*a*), диаметра ферромагнитного стержня (*б*), перемещения ферромагнитного предмета (*в*):

1 – обмотка; 2 – магнитопровод;
3 – ферромагнитный объект

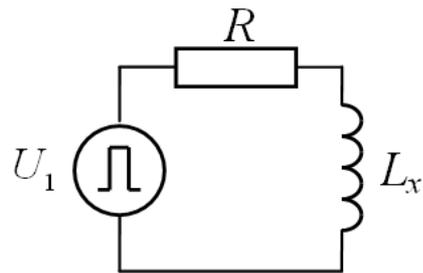


КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

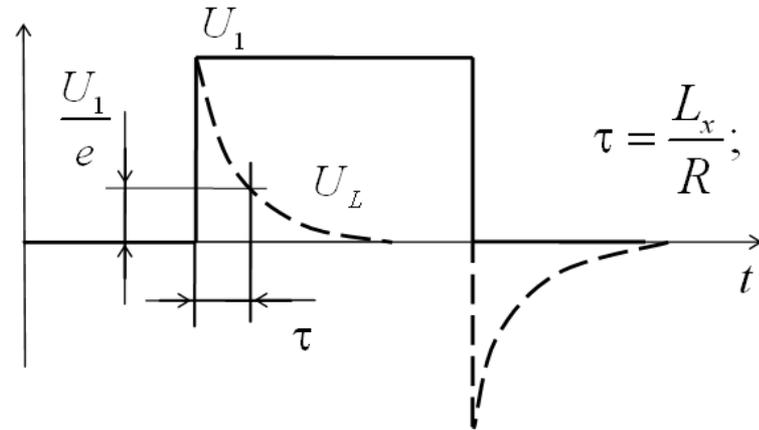


а

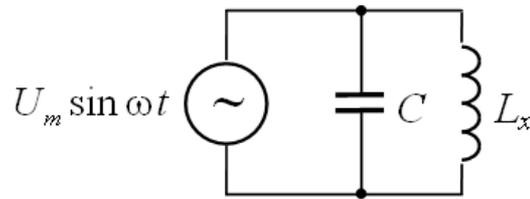
$$x_L = \frac{U_m}{I_m}; \quad L_x = \frac{x_L}{\omega}$$



б

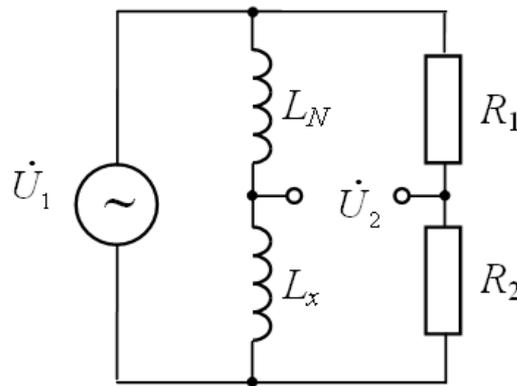


Основные методы измерения индуктивности:
амперметра-вольтметра (а); переходного процесса (б)



в

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_x C}}; \quad L_x = \frac{1}{\omega_0^2 C}$$



г

$$\dot{U}_2 = 0 \quad \text{при} \quad L_x R_1 = L_N R_2;$$

$$L_x = \frac{L_N R_2}{R_1}$$

Основные методы измерения индуктивности:
резонансный (в); мостовой (г)



Схема установки

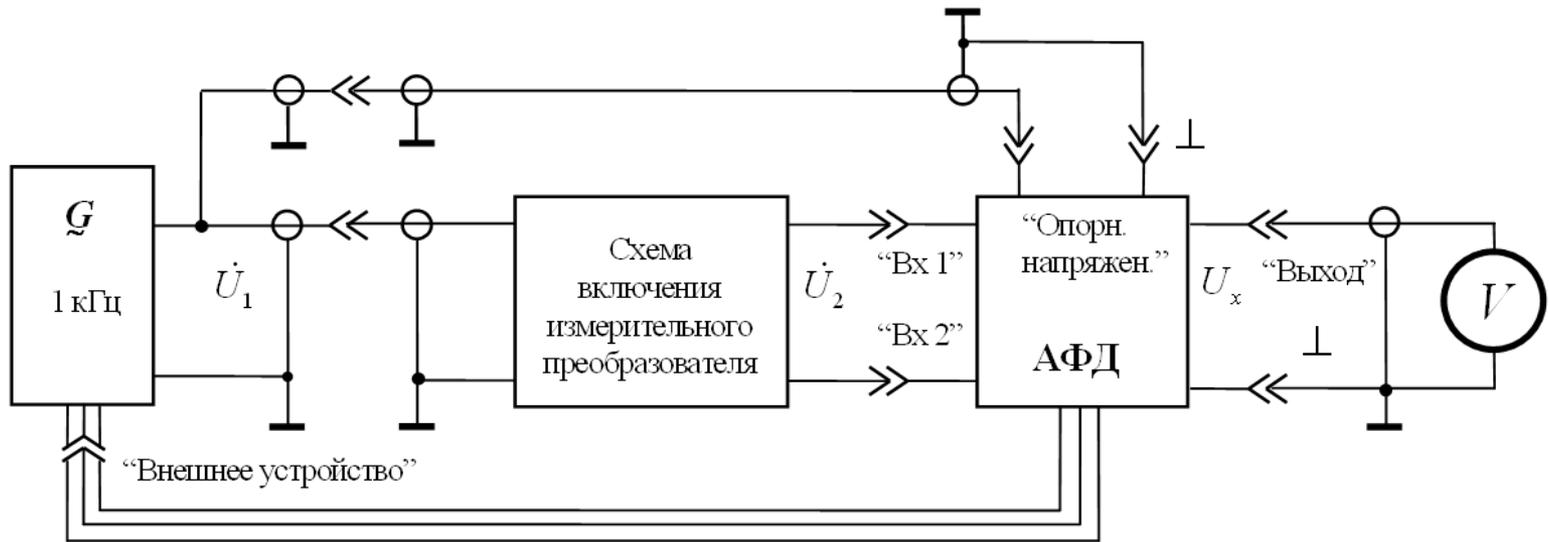
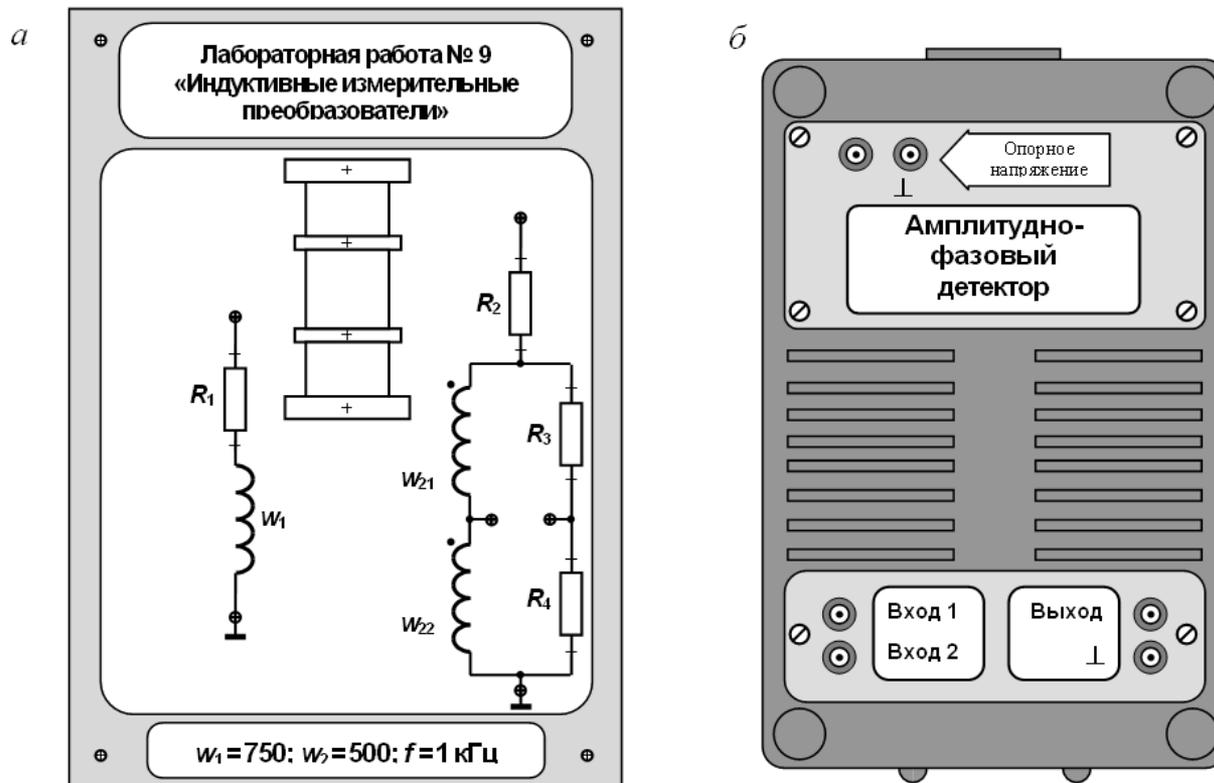


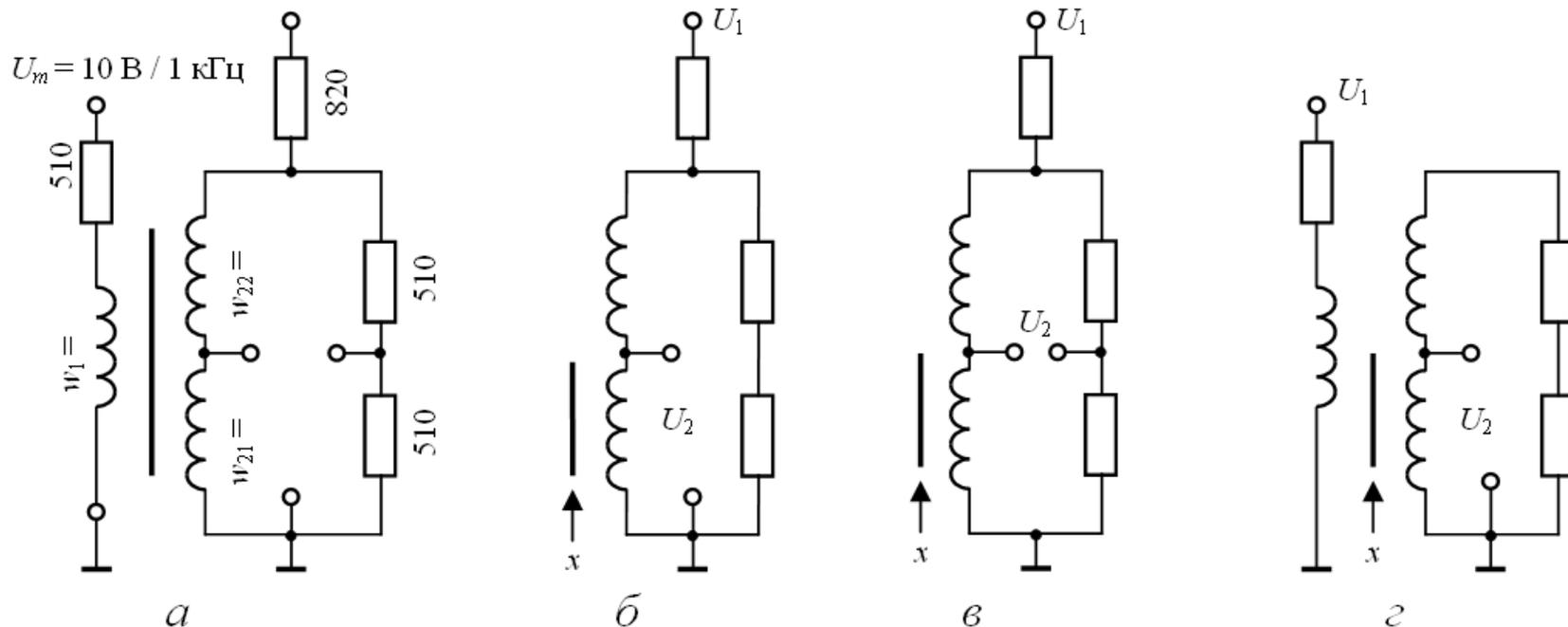
Схема измерительной установки для исследования индуктивного и взаимноиндуктивного измерительных преобразователей



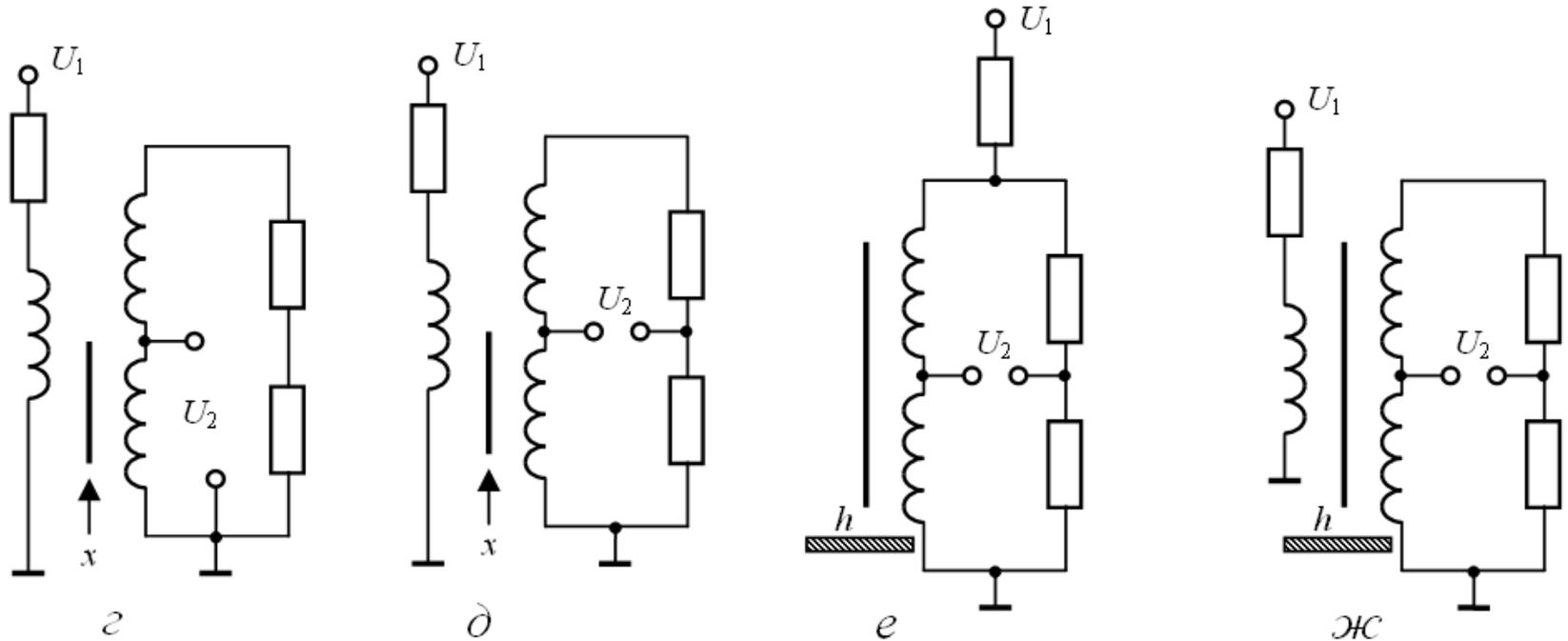
- Индуктивный и взаимоиндуктивный измерительные преобразователи соленоидальной конструкции с разомкнутыми ферромагнитными сердечниками стержневого типа.
- Сердечники: цилиндрический ферритовый стержень длиной 35 мм, цилиндрический ферритовый стержень длиной 62 мм.
- Щуп из оргстекла с метрической шкалой.
- Образец ферромагнитной пластины – стальная пластинка размерами (43×43×1) мм.
- Образцы немагнитного покрытия – набор диэлектрических пластин толщиной 0,8 мм и немагнитных металлических пластин толщиной 0,5 мм.



Внешний вид панели индуктивного (взаимоиндуктивного) измерительного преобразователя (а) и амплитудно-фазового детектора (б)



Принципиальная электрическая схема панели индуктивного (взаимоиндуктивного) измерительного преобразователя (а) и варианты включения отдельных преобразователей



Принципиальная электрическая схема панели индуктивного (взаимоиндуктивного) измерительного преобразователя (а) и варианты включения отдельных преобразователей



ЗАДАНИЕ

- Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала абсолютного индуктивного измерительного преобразователя от перемещения ферромагнитного сердечника.
- Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала дифференциального индуктивного измерительного преобразователя от перемещения ферромагнитного сердечника.
- Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала абсолютного взаимоиндуктивного измерительного преобразователя от перемещения ферромагнитного сердечника.
- Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала дифференциального взаимоиндуктивного измерительного преобразователя от перемещения ферромагнитного сердечника.



ЗАДАНИЕ

- Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала дифференциального индуктивного измерительного преобразователя от толщины непроводящего покрытия ферромагнитной пластины.
- Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала дифференциального индуктивного измерительного преобразователя от толщины электропроводящего покрытия ферромагнитной пластины.
- Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала дифференциального взаимоиндуктивного измерительного преобразователя от толщины непроводящего покрытия ферромагнитной пластины.
- Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала дифференциального взаимоиндуктивного измерительного преобразователя от толщины электропроводящего покрытия ферромагнитной пластины.