

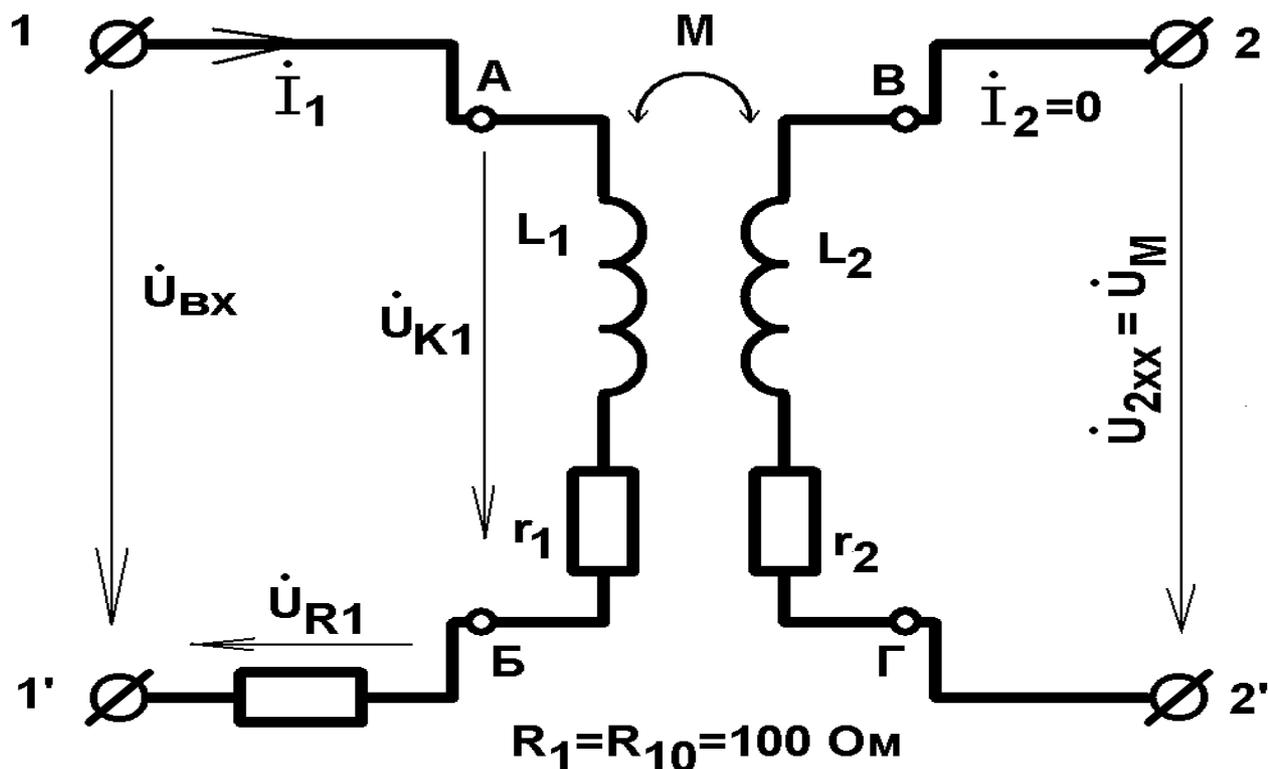
## Лабораторная работа #4.

### Магнитно-связанные катушки в синусоидальном режиме.

#### Часть I

Опытное определение параметров магнитно-связанных катушек:  $L_1, r_1, L_2, r_2, M$ .

Рис. 1



$$U_{BX} = \frac{U_M}{\sqrt{2}} = 1 \div 2 \text{ В} \quad \omega = 6280 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad f = 1 \text{ кГц}$$

Опыт I.A В цепи рис.1 , пользуясь милливольтметром, измерить действующие значения

напряжений  $U_{BX}; U_{R1}; U_{K2}; U_M^\sigma$

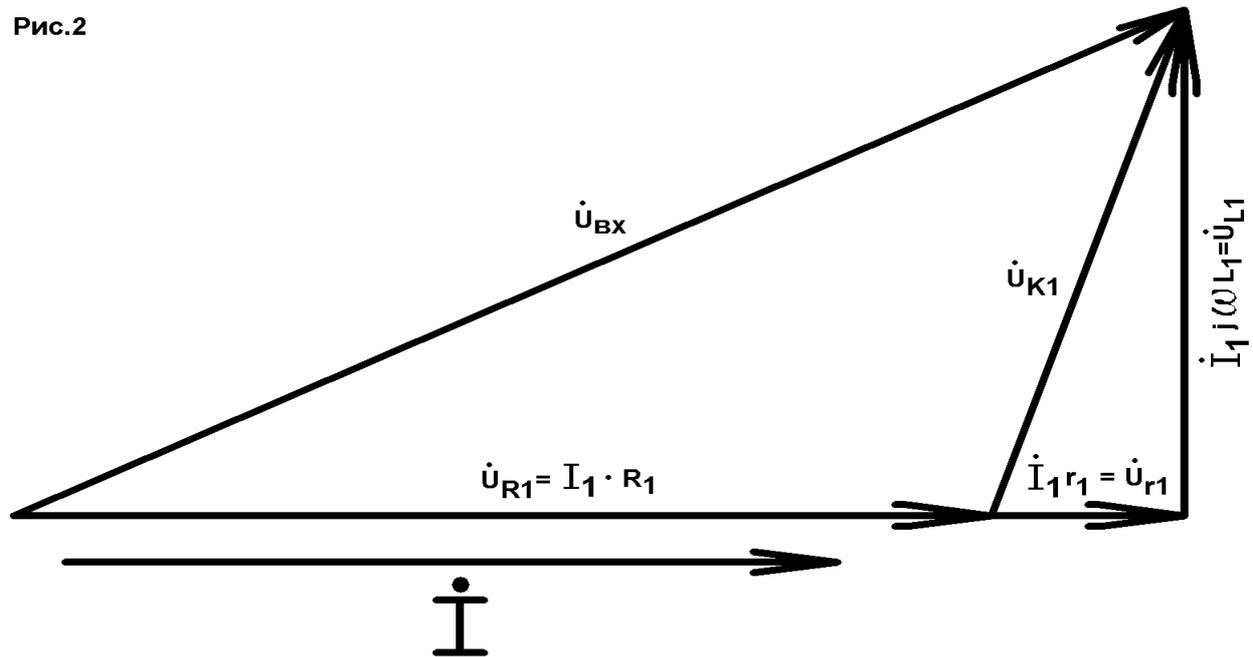
Опыт I.B Поменять местами катушки ( $L_1, r_1$ ) и ( $L_2, r_2$ ) и измерить

напряжения  $U_{BX}; U_{R1}; U_{K2}; U_M^\sigma$

### Расчет к части I.

- 1) По результатам опыта 1,А построить в масштабе (методом засечек) векторный реугольник со сторонами  $U_{BX}$ ,  $U_{R1}$ ,  $U_{K1}$ . (см. рис.2):

Рис.2



- 2) по построенной векторной диаграмме (проектируя вектор  $U_{K1}$  на направление тока  $I_1$ ) определить резистивную  $U_{r1}$  и  $U_{L1}$  индуктивную составляющие вектора  $U_{K1}$ .

- 3) Вычислить  $I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} (A)$  ;  $r_1 = \frac{U_{L1}}{I_1}$  ;  $X_{L1} = \omega \cdot L_1 = \frac{U_{L1}}{I_1}$  ;  $L_1 = \frac{X_{L1}}{\omega}$

$$X_m = \omega \cdot M = \frac{U_M^\alpha}{I_1} ; M = \frac{X_M}{\omega} .$$

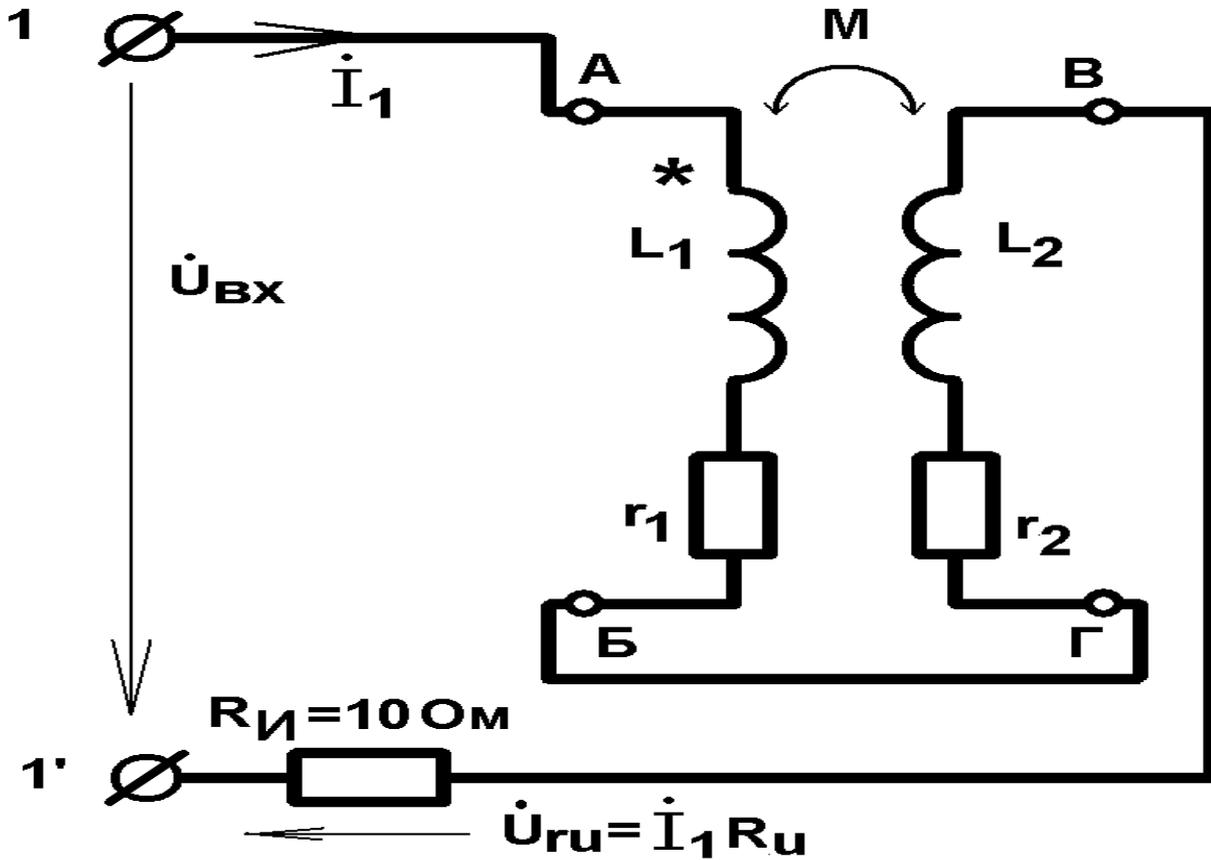
- 4) Выполнить аналогичные построения и расчеты по результатам опыта 1,Б с целью получения параметров:  $L_1$ ,  $r_2$ ,  $M$ .

Сравнить величины  $M$  из опытов 1,А и 1,Б

## Часть II.

Последовательное соединение магнитно-связанных катушек.  
(выполняется при  $f = 5 \div 7 \text{ кГц}$ ,  $U_{BX} = 1 \div 2 \text{ В}$ )

**Рис. 3**



Опыт 2.А В цепи рис.3 измерить напряжение  $U_{BX}$  и  $U_{RU}$ .

Опыт 2.В Повторить измерения в цепи рис.3 при переброске зажимов «В» и «Г».

### Расчет к части II

- По формулам  $I = \frac{U_{RU}}{R_U}$ ;  $|Z_{BX}| = \frac{U_{BX}}{I}$  найти действующее значение тока и

модуль комплексного входного сопротивления в опытах 2.А и 2.В.

- Назвать тип включения (встречное или согласное) в опытах 2.А и 2.В с учетом соотношений:

$$Z_{BX \text{ СОГЛ}} = (r_1 + r_2 + R_U) + j \cdot \omega \cdot (L_1 + L_2 + 2M);$$

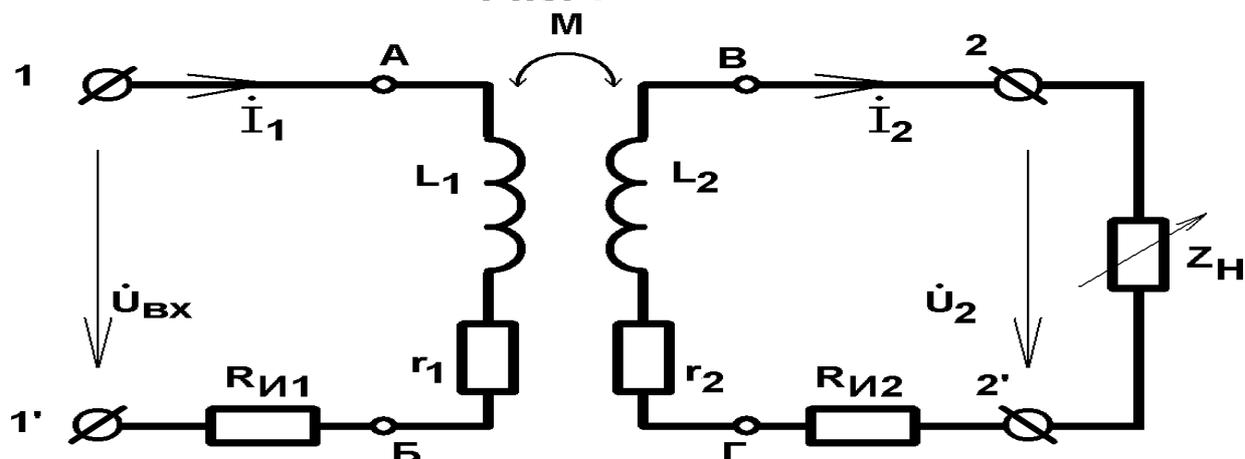
$$Z_{BX \text{ ВСТР}} = (r_1 + r_2 + R_U) + j \cdot \omega \cdot (L_1 + L_2 - 2M);$$

$$|Z_{BX \text{ ВСТР}}| < |Z_{BX \text{ СОГЛ}}| \rightarrow I_{\text{ВСТР}} > I_{\text{СОГЛ}}$$

- Сделать разметку катушек, отметив «\*» зажим второй катушки («В» или «Г» - ?), одноименный с зажимом «А».

Часть III  
Линейный трансформатор при различных нагрузках

Рис. 4



Опыты 3.А 3.Б 3.В В цепи рис.4 измерить напряжение на эталонных сопротивлениях  $U_{RU1}$  и  $U_{RU2}$ , а также на нагрузке  $U_2$  для следующих случаев:

- 1)  $Z_H = \infty$  (х.х.);
- 2)  $Z_H = R_H = 0.5 \div 1 \text{ кОм}$ ;
- 3)  $Z_H = -\left(\frac{j}{\omega \cdot C_H}\right)$ ;  $C_H = C_1 = 68 \text{ нФ}$

Расчет к части III.

- 1) Для всех случаев  $Z_H$  рассчитать модуль комплексного входного сопротивления относительно зажимов 1 — 1' :

$$|Z_{BX}| = \frac{U_{BX}}{I_1}; I_1 = \frac{U_{RU1}}{R_{UI}}$$

- 2) Сравнить величину  $|Z_{BX}|$  с результатом, полученным по формуле (см. рис.5)

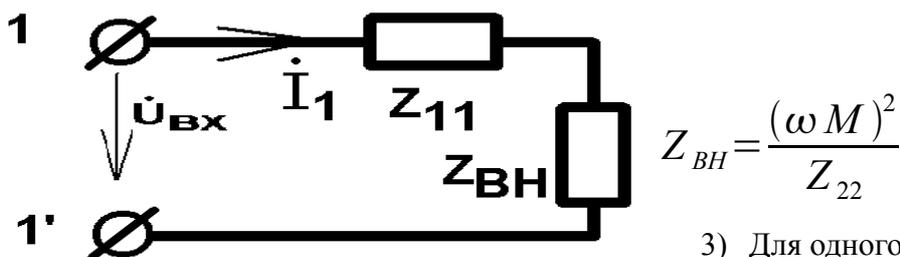
$$|Z_{BX}| = |Z_{11} + Z_{BH}| = \left| Z_{11} + \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}} \right|, \quad Z_{BH} = \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}},$$

где

$Z_{11} = R_{UI} + (r_1 + j \cdot \omega \cdot L_1)$  - сопротивление изолированного 1-го контура;

$Z_{22} = R_{U2} + (r_2 + j \cdot \omega \cdot L_2) + Z_H$  - сопротивление изолированного 2-го контура;

Рис. 5



$$Z_{BH} = \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}}$$

- 3) Для одного из случаев [ Б ) или В ) ] построить векторную диаграмму напряжений на элементах обоих контуров трансформатора. Фазу  $I_2$  принять равной нулю.

Пример расчета  $Z_{BXI}$  через  $Z_{BH}$ .

Дано:

$$\omega \cdot L_1 = \omega \cdot L_2 = 100 \text{ Ом} \quad r_1 = r_2 = 15 \text{ Ом}$$

$$\omega \cdot M = 30 \text{ Ом} \quad R_{U1} = R_{U2} = 5 \text{ Ом}$$

$$Z_H = R_H + j \cdot X_H = 20 - j \cdot 120 \text{ (резистивно-емкостная нагрузка)}$$

Решение:

$$1) \quad Z_{11} = r_1 + R_{U1} + j \cdot \omega \cdot L_1 = 20 + j \cdot 120 \text{ Ом}$$

$$2) \quad Z_{22} = r_2 + R_{U2} + R_H + j \cdot \omega \cdot L_2 + j \cdot X_H = 40 - j \cdot 20 \text{ (Ом)}$$

$$3) \quad Z_{BH} = \frac{(\omega \cdot M)^2}{Z_{22}} = \frac{900}{40 - j \cdot 20}$$

$$\left| \frac{1}{(40 - j \cdot 20)} \cdot \frac{(40 + j \cdot 20)}{(40 + j \cdot 20)} = \frac{40}{40^2 + 20^2 + j \cdot \frac{20}{40^2 + 20^2}} \right|$$

$$Z_{BH} = 900(0.02 + j \cdot 0.01) = 18 + j \cdot 9 \text{ (Ом)}$$

$$4) \quad Z_{BXI} = Z_{11} + Z_{BH} = 20 + j \cdot 100 + 18 + j \cdot 9 = 38 + j \cdot 109 \text{ (Ом)}$$

$$|Z_{BXI}| = \sqrt{38^2 + 109^2} \approx 115 \text{ (Ом)}$$

## Практическая часть

### Часть I.A

$U_{BX}$	$U_{R1}$	$U_{K1}$	$U_{M1}$	$U_{RK}$
1.5 В	1.3 В	0.5 В	0.04 В	0.15 В

$$\frac{U_{L1}}{I_1} = XL_1 = \omega L_1 = \frac{0.477}{0.013} = 36.6 \text{ Ом}$$

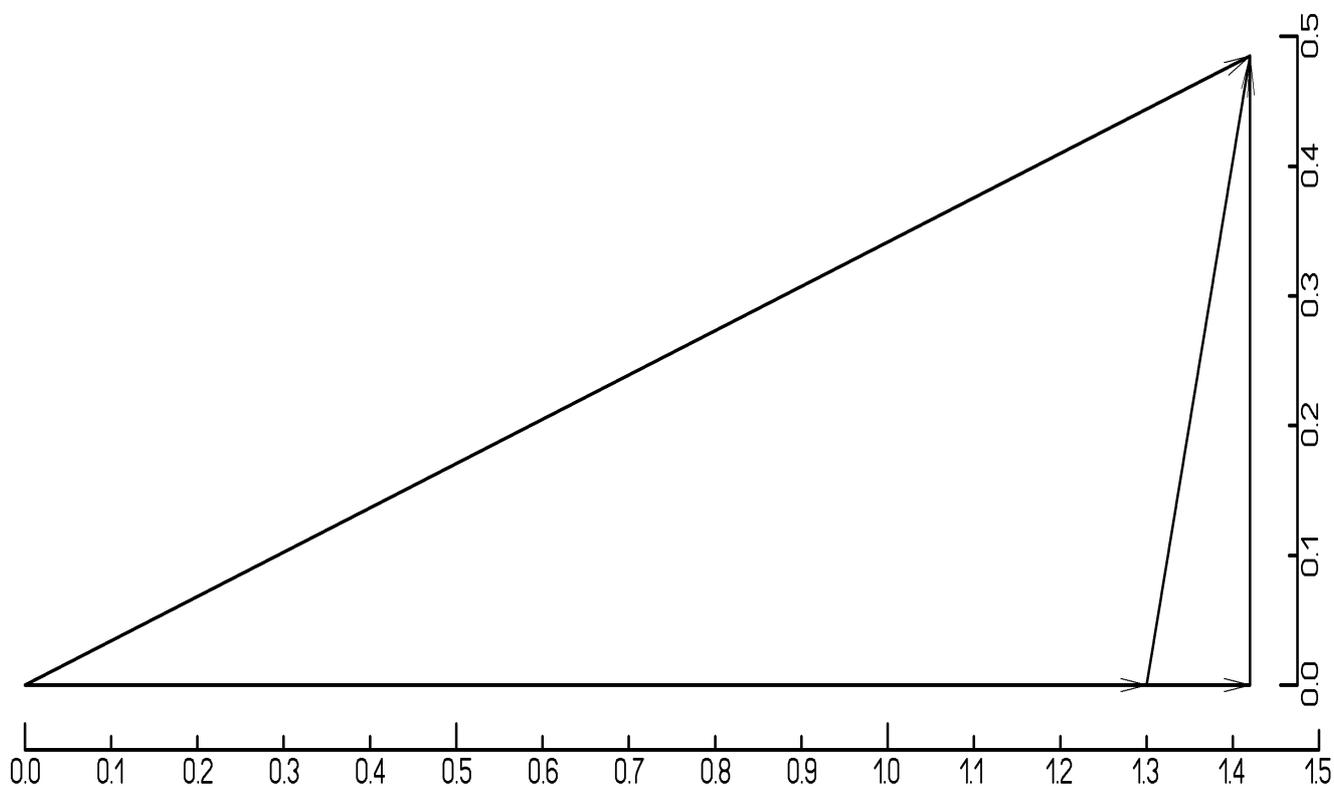
$$U_{LK} = \sqrt{U_{K1}^2 - U_{RK}^2} = \sqrt{0.25 - 0.15^2} = 0.477 \text{ В}$$

$$L_1 = \frac{XL_1}{\omega} = \frac{36.6}{628} = 0.006 \text{ Гн} = 6 \text{ мГн}$$

$$\frac{U_M}{I_1} = \omega M = X_M = \frac{0.04}{0.013} \approx 3 \text{ Ом}$$

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{1.3}{100} = 0.013 \text{ А} \quad M = \frac{X_M}{\omega} = \frac{3}{6280} \approx 0.5 \text{ мГн}$$

$$r_1 = \frac{0.15}{0.013} = 11.5 \text{ Ом}$$



Часть I.Б

$U_{BX}$	$U_{R2}$	$U_{K2}$	$U_M$	$U_{RK}$
1.0 В	0.75 В	0.55 В	0.015 В	0.1 В

$$U_{LK} = \sqrt{U_{K1}^2 - U_{rK}^2} = 0.54 \text{ В}$$

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = 0.0075 \text{ А}$$

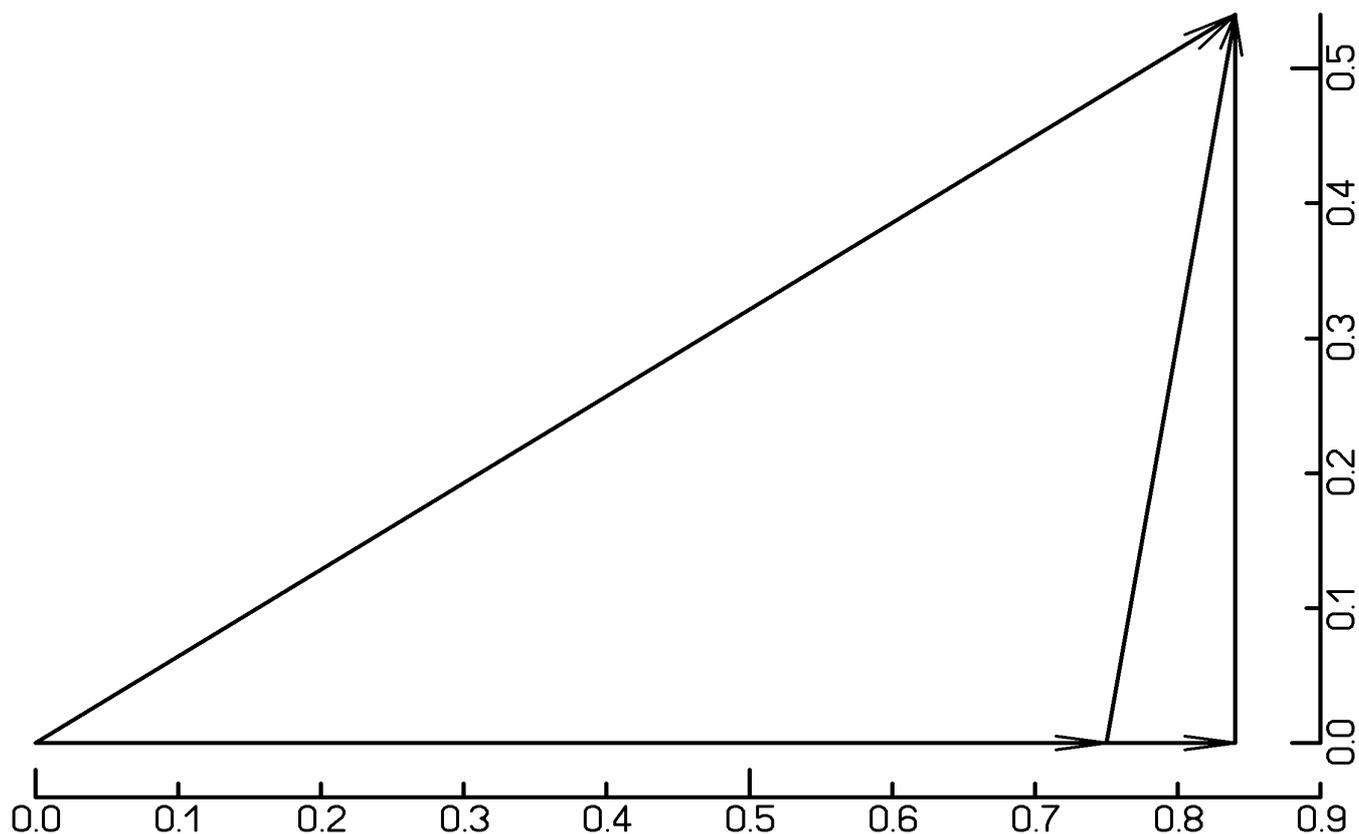
$$r_2 = \frac{U_{RK}}{I_2} = \frac{0.1}{0.0075} = 13 \text{ Ом}$$

$$XL_2 = \omega L_2 = \frac{U_{LK}}{I_2} = \frac{0.54}{0.0075} = 72 \text{ Ом}$$

$$L_2 = \frac{XL_2}{\omega} = \frac{72}{6280} = 12 \text{ мГн}$$

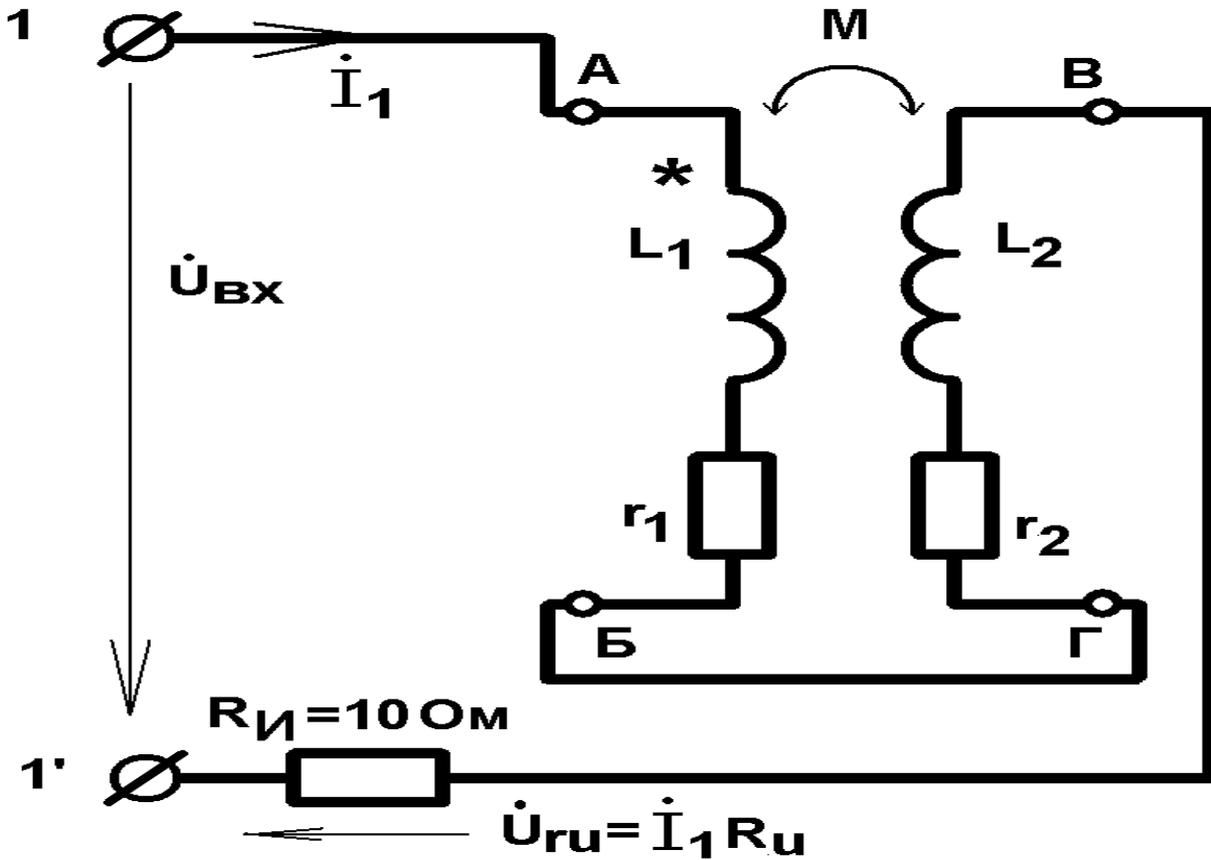
$$X_M = \omega M = \frac{U_M}{I_2} = \frac{0.015}{0.0075} \approx 2 \text{ Ом}$$

$$M = \frac{X_M}{\omega} = \frac{2}{6280} \approx 0.5 \text{ мГн}$$



Часть II.

Рис. 3



Часть II.А

$$I = \frac{U_{R_U}}{R_U} = \frac{0.017}{10} = 0.0017 \text{ A} \quad Z_{BX} = \frac{U_{BX}}{I} = 588.2 \text{ Ом}$$

Часть II.В

$$I = \frac{U_{R_U}}{R_U} = \frac{0.0175}{10} = 0.00175 \text{ A} \quad Z_{BX} = \frac{U_{BX}}{I} = 571.4 \text{ Ом}$$

Часть II.Пункт 2

$$Z_{BX \text{ СОГЛ}} = (r_1 + r_2 + R_U) + j\omega(L_1 + L_2 + 2M)$$

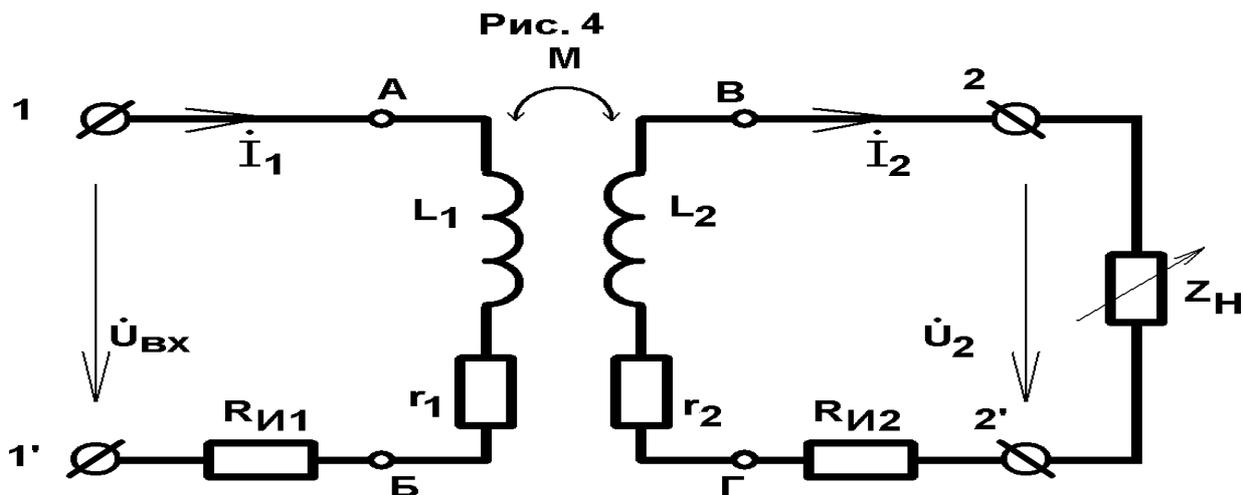
$$Z_{BX \text{ СОГЛ}} = (11.5 + 13 + 10) + 37680j(12 + 1 + 6) \cdot 10^{-3} = 34.5 + j715.92$$

$$Z_{BX \text{ ВСТР}} = (r_1 + r_2 + R_U) + j\omega(L_1 + L_2 - 2M)$$

$$Z_{BX \text{ ВСТР}} = 34.5 + j640.56$$

$$|Z_{BX \text{ ВСТР}}| < |Z_{BX \text{ СОГЛ}}| \rightarrow I_{\text{ВСТР}} > I_{\text{СОГЛ}}$$

Часть III



$$R_{И_1} = R_{И_2} = 10 \text{ Ом} \quad f = 6 \text{ кГц}$$

$$1) \quad Z_{BX_1} = \frac{U_{BX}}{I_1} \quad I_1 = \frac{U_{R_{И_1}}}{R_{И_1}}$$

$$a) \quad Z_H = \infty \quad I_1 = \frac{U_{R_{И_1}}}{R_{И_1}} = \frac{0.0036}{1} = 0.0036 \text{ А} \quad |Z_{BX_1}| = \frac{1}{0.0036} = 277.7 \text{ Ом}$$

$$б) \quad Z_H = R_H \quad I_1 = \frac{U_{R_{И_1}}}{R_{И_1}} = 0.003 \text{ А} \quad |Z_{BX_1}| = \frac{1}{0.003} = 333.3 \text{ Ом}$$

$$в) \quad Z_H = \frac{-j}{\omega C_H} \quad I_1 = \frac{U_{R_{И_1}}}{R_{И_1}} = 0.003 \text{ А} \quad |Z_{BX_1}| = \frac{1}{0.003} = 333.3 \text{ Ом}$$

$$2) \quad |Z_{BX_1}| = |Z_{11} + Z_{BH}| = \left| Z_{11} + \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}} \right|, \quad Z_{22} = R_{U_2} + (r_2 + j \cdot \omega \cdot L_2) + Z_H$$

$$|Z_{BX_1}| = \left| 1 + (14.5 + j226.08) + \frac{354.945}{(1 + 13 + j452.16 + j226.08 + 12.5)} \right| =$$

$$\left| 15.5 + j226.08 + \frac{354.9456}{26.5 + j678.24} \right| = \left| 15.5 + j226.08 + \frac{354.9456 e^{j0}}{678.76 e^{j87.8}} \right| =$$

$$\left| 15.5 + j226.08 + 0.52 e^{-j87.8} \right| = \left| 15.5 + j226.08 - j0.52 \right| =$$

$$\left| 15.52 + j225.56 \right| = 226.09 \text{ Ом}$$