

## Расчетная часть.

Исходные данные:

1. Обмотка медная
2. Мощность  $S=10\text{кВА}$
3. Схема и группа соединений  $Y/Y-0$
4. Номинальные напряжения, В:

$$\text{ВН } U_{1\text{ном}} = 380$$

$$\text{НН } U_{2\text{ном}} = 230$$

5. Обмотки:

Число витков:

$$\text{ВН } w_1 = 142$$

$$\text{НН } w_2 = 86$$

Сечение витков,  $\text{мм}^2$

$$\text{ВН } S_{\text{пр1}} = 6,29$$

$$\text{НН } S_{\text{пр2}} = 13,9$$

Внутренний диаметр обмотки НН  $D_1=10,5$  см

Радиальные размеры, см:

$$\text{ВН } a_1 = 1,1 \text{ см}$$

$$\text{НН } a_2 = 2,15 \text{ см}$$

Канал между обмотками ВН и НН  $a_{12}=1,35$  см

Высота обмотки,  $l_1 = l_2$   $l_1=17,1$  см

## 6. Магнитная система

Диаметр стержня  $d$ , см  $d=9,5$

Активное сечение, см<sup>2</sup>

стержень  $\Pi_c = 55$

яро  $\Pi_y = 64,5$

Высота, см

стержень  $h_c = 22$

яро  $h_y = 9$

Расстояние между осями, см

$C = 22$

## 7. Контрольные данные

$P_k, Вт = 300$

$P_x, Вт = 75$

$u_k, \% = 4.8$

$i_0, \% = 12$

2.1. Фазные значения номинального напряжения, а также номинальный ток и его фазные значения на сторонах ВН и НН, и коэффициент трансформации(для средней ступени напряжения ВН).

Фазные значения номинального напряжения. **Для соединения Y/Y-0**

$$U_{1\phi\text{ном}} = \frac{U_{1\text{ном}}}{\sqrt{3}} =$$

$$U_{2\phi\text{ном}} = \frac{U_{2\text{ном}}}{\sqrt{3}} =$$

$U_{1\text{ном}}$  – Номинальное напряжение ВН (В);

$U_{2\text{ном}}$  – Номинальное напряжение НН (В).

Номинальные значения и фазные значения токов

$$I_{1\text{ном}} = I_{1\phi} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_1} =$$

$$I_{2\text{ном}} = I_{2\phi} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} =$$

$U_1 U_2$  – номинальные напряжения.

$S$  – Мощность (кВА)

Коэффициент трансформации

$$k = \frac{w_1}{w_2} =$$

$w_1$  – Число витков ВН;

$w_2$  – Число витков НН.

2.2 Потери холостого хода  $P_x$ , реактивная мощность  $Q_x$ , ток холостого хода  $i_0$  и его активная  $i_0a$  и реактивная  $i_0r$  составляющие, а так же  $\cos\varphi_0$  – все величины для номинального значения фазного напряжения  $U_{1\phi\text{ном}}$  при  $f = 50$  Гц; Потери холостого хода  $P_x$ :

$$P_x = K_d \cdot (p_c G_c + p_y G_y) =$$

$K_d$  – постоянный коэффициент 1,25;

$p_c$  и  $p_y$  – удельные потери стали стержней и ярм, определенные по таблице 3. для соответствующих индукций в стержне  $B_c$  и ярме  $B_y$ , Вт/кг;

$G_c$  и  $G_y$  – Массы стали и стержни ярм, кг.

Удельные потери в стали стержней и ярм, определенные по табл.3

$$p_c = p_{я} =$$

Индукции в стержнях и ярмах

$$B_c = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B_{я} = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_{я}} =$$

Массы сталей стержней и ярм:

$$G_c = 3h_c \cdot \rho_{ст} \cdot \Pi_c =$$

$$G_{я} = 2 \cdot l_{я} \cdot \rho_{ст} \cdot \Pi_{я} =$$

$$l_{я} = 2 \cdot C + d =$$

Плотность холоднокатаной стали  $\rho_{ст} = 7650 \text{ кг/м}^3$

$h_c$  – Высота стержня см;

$C$  – Расстояние между осями см;

$d$  – Диаметр стержня см.

Намагничивающая мощность магнитной системы (реактивная мощность х.х.)

$$Q_x = q_c G_c + q_{я} G_{я} + q_{зс} n_{зс} \Pi_c + q_{зя} n_{зя} \Pi_{я} =$$

$$q_c = q_{зс} =$$

$$q_{я} = q_{зя} =$$

$$n_{зс} = , n_{зя} =$$

$q_{зс}$  и  $q_{зя}$  – Удельные намагничивающие мощности для зазоров в стержнях и ярмах В · А/см<sup>2</sup>;

$q_c$  и  $q_{я}$  – Удельная намагничивающая мощность для стали в стержнях и ярмах В · А/кг;

$n_{зс}$  и  $n_{зя}$  – Число воздушных зазоров;

$\Pi_c$  и  $\Pi_я$  – Активное сечение стержней и ярм см<sup>2</sup>;

$G_c$  и  $G_я$  – Массы стали стержней и ярм кг;

$w_1$  – Число витков в обмотке ВН;

$f$  – частота, Гц.

Ток холостого хода:

активная составляющая

$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$P_x$  – Потери холостого хода Вт;

$S$  – Мощность (кВА).

реактивная составляющая

$$i_{0p} = \frac{Q_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %;

$Q_x$  – реактивная мощность ВАр.

полный ток холостого хода

$$i_0 = \sqrt{i_{0a}^2 + i_{0p}^2} =$$

$i_0$  – полный ток холостого хода;

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %.

реальный ток холостого хода, А

$$I_{0a} = \frac{i_{0a} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_{0p} = \frac{i_{0p} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_0 = \frac{i_0 \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{0a}}{I_0} =$$

$$\sin\varphi_0 = \frac{I_{0p}}{I_0} =$$

$I_{1\text{фном}}$  – Номинальные значения и фазные значения токов.

Полученные данные сравниваем с контрольными

Контрольные данные	Результаты вычислений
$P_x =$	$P_x =$
$i_0 =$	$i_0 =$

2.3. Параметры схемы замещения

$$z_0 = \frac{U_{1\text{фном}}}{I_0} =$$

$$r_0 = z_0 \cdot \cos\varphi_0 =$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} =$$

2.4. Характеристики холостого хода:  $P_x = f(U)$ ,  $I_0 = f(U)$ ,  $I_{0p} = f(U)$ ,  $I_{0a} = f(U)$ ,  $\cos\varphi_0 = f(U)$ , рассчитываем изменяя напряжение от 0,5 до 1,1 от номинального фазного напряжения  $U_{1\text{фном}}$ .

Данные расчета сводим в таблицу

n	$U_{1\phi}, \text{В}$	$P_x, \text{Вт}$	$Q_x, \text{ВАр}$	$I_{0a}, \text{А}$	$I_{0p}, \text{А}$	$I_0, \text{А}$	$\cos\varphi_0$
0,5							
0,7							
0,8							
0,9							
1,0							
1,1							

При  $n=0,5$

$U_{1\phi_{\text{ном}}} = 219 \cdot 0,5 =$  // значение берете свое и проделяваете решение для  
заполнения таблицы

$$P_x = K_d \cdot (p_c G_c + p_y G_y) =$$

$K_d$  – постоянный коэффициент;

$p_c$  и  $p_y$  – удельные потери стали стержней и ярм, определенные по таблице 3.

для соответствующих индукций в стержне  $B_c$  и ярме  $B_y$ , Вт/кг;

$G_c$  и  $G_y$  – Массы стали и стержни ярм, кг.

Удельные потери в стали стержней и ярм, определенные по табл.3

$$p_c = p_y =$$

Индукции в стержнях и ярмах

$$B_c = \frac{U_{1\phi_{\text{ном}}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B_y = \frac{U_{1\phi_{\text{ном}}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_y} =$$

Массы сталей стержней и ярм:

$$G_c = 3h_c \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \Pi_c =$$

$$G_y = 2 \cdot l_y \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \Pi_y =$$

$$l_{\text{я}} =$$

Плотность холоднокатаной стали  $\rho_{\text{ст}} = 7650 \text{ кг/м}^3$

$h_c$  – Высота стержня см;

$C$  – Расстояние между осями см;

$d$  – Диаметр стержня см;

Намагничивающая мощность магнитной системы (реактивная мощность х.х.)

$$Q_x = q_c G_c + q_{\text{я}} G_{\text{я}} + q_{\text{зс}} n_{\text{зс}} \Pi_c + q_{\text{зя}} n_{\text{зя}} \Pi_{\text{я}} =$$

$$q_c = \quad q_{\text{зс}} =$$

$$q_{\text{я}} = \quad q_{\text{зя}} =$$

$$n_{\text{зс}} = , n_{\text{зя}} =$$

$q_{\text{зс}}$  и  $q_{\text{зя}}$  – Удельные намагничивающие мощности для зазоров в стержнях и ярмах  $\text{В} \cdot \text{А/см}^2$ ;

$q_c$  и  $q_{\text{я}}$  – Удельная намагничивающая мощность для стали в стержнях и ярмах  $\text{В} \cdot \text{А/кг}$ ;

$n_{\text{зс}}$  и  $n_{\text{зя}}$  – Число воздушных зазоров;

$\Pi_c$  и  $\Pi_{\text{я}}$  – Активное сечение стержней и ярм  $\text{см}^2$ ;

$G_c$  и  $G_{\text{я}}$  – Массы стали стержней и ярм кг;

$w_1$  – Число витков в обмотке ВН;

$f$  – частота, Гц.

Ток холостого хода:

активная составляющая



$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$P_x$  – Потери холостого хода Вт;

$S$  – Мощность (кВА).

реактивная составляющая

$$i_{0p} = \frac{Q_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %;

$Q_x$  – реактивная мощность ВАр.

полный ток холостого хода

$$i_0 = \sqrt{i_{0a}^2 + i_{0p}^2} =$$

$i_0$  – полный ток холостого хода;

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %.

реальный ток холостого хода, А

$$I_{0a} = \frac{i_{0a} \cdot I_{1\text{фНОМ}}}{100} =$$

$$I_{0p} = \frac{i_{0p} \cdot I_{1\text{фНОМ}}}{100} =$$

$$I_0 = \frac{i_0 \cdot I_{1\text{фНОМ}}}{100} =.$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{0a}}{I_0} =$$

$$\sin\varphi_0 = \frac{I_{0p}}{I_0} =$$

$I_{1\text{фном}}$  – Номинальные значения и фазные значения токов.

Полученные данные заносим в таблицу.

При  $n=0,7$

$$U_{1\text{фном}} = 219 \cdot 0,7 =$$

$$P_x = K_d \cdot (p_c G_c + p_y G_y) =$$

$K_d$  – постоянный коэффициент;

$p_c$  и  $p_y$  – удельные потери стали стержней и ярм, определенные по таблице 3.

для соответствующих индукций в стержне  $B_c$  и ярме  $B_y$ , Вт/кг;

$G_c$  и  $G_y$  – Массы стали и стержни ярм, кг.

Удельные потери в стали стержней и ярм, определенные по табл.3

$$p_c = p_y =$$

Индукции в стержнях и ярмах

$$B_c = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B_y = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_y} =$$

Массы сталей стержней и ярм:

$$G_c = 3h_c \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \Pi_c =$$

$$G_y = 2 \cdot l_y \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \Pi_y =$$

$$l_y = 2 \cdot C + d =$$

Плотность холоднокатаной стали  $\rho_{\text{ст}} = 7650 \text{ кг/м}^3$

$h_c$  – Высота стержня см;

$C$  – Расстояние между осями см;

$d$  – Диаметр стержня см;

Намагничивающая мощность магнитной системы (реактивная мощность х.х.)

$$Q_x = q_c G_c + q_{\text{я}} G_{\text{я}} + q_{\text{зс}} n_{\text{зс}} \Pi_c + q_{\text{зя}} n_{\text{зя}} \Pi_{\text{я}} =$$

$$q_c = \quad q_{\text{зс}} =$$

$$q_{\text{я}} = \quad q_{\text{зя}} =$$

$$n_{\text{зс}} =, n_{\text{зя}} =$$

$q_{\text{зс}}$  и  $q_{\text{зя}}$  – Удельные намагничивающие мощности для зазоров в стержнях и ярмах В · А/см<sup>2</sup>;

$q_c$  и  $q_{\text{я}}$  – Удельная намагничивающая мощность для стали в стержнях и ярмах В · А/кг;

$n_{\text{зс}}$  и  $n_{\text{зя}}$  – Число воздушных зазоров;

$\Pi_c$  и  $\Pi_{\text{я}}$  – Активное сечение стержней и ярм см<sup>2</sup>;

$G_c$  и  $G_{\text{я}}$  – Массы стали стержней и ярм кг;

$w_1$  – Число витков в обмотке ВН;

$f$  – частота, Гц.

Ток холостого хода:

активная составляющая

$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$P_x$  – Потери холостого хода Вт;

$S$  – Мощность (кВА).

реактивная составляющая

$$i_{0p} = \frac{Q_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %;

$Q_x$  – реактивная мощность ВАр.

полный ток холостого хода

$$i_0 = \sqrt{i_{0a}^2 + i_{0p}^2} =$$

$i_0$  – полный ток холостого хода;

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %.

реальный ток холостого хода, А

$$I_{0a} = \frac{i_{0a} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_{0p} = \frac{i_{0p} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_0 = \frac{i_0 \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{0a}}{I_0} =$$

$$\sin\varphi_0 = \frac{I_{0p}}{I_0} =$$

$I_{1\text{фном}}$  – Номинальные значения и фазные значения токов.

Полученные данные заносим в таблицу.

При  $n=0,8$

$$U_{1\text{фном}} = 219 \cdot 0,8 =$$

$$P_x = K_d \cdot (p_c G_c + p_y G_y) =$$

$K_d$  – постоянный коэффициент;

$p_c$  и  $p_y$  – удельные потери стали стержней и ярм, определенные по таблице 3. для соответствующих индукций в стержне  $B_c$  и ярме  $B_y$ , Вт/кг;

$G_c$  и  $G_y$  – Массы стали и стержни ярм, кг.

Удельные потери в стали стержней и ярм, определенные по табл.3

$$p_c = p_y =$$

Индукции в стержнях и ярмах

$$B_c = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B_y = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_y} =$$

Массы сталей стержней и ярм:

$$G_c = 3h_c \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \Pi_c =$$

$$G_y = 2 \cdot l_y \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \Pi_y =$$

$$l_y = 2 \cdot C + d =$$

Плотность холоднокатаной стали  $\rho_{\text{ст}} = 7650 \text{ кг/м}^3$

$h_c$  – Высота стержня см;

$C$  – Расстояние между осями см;

$d$  – Диаметр стержня см;

Намагничивающая мощность магнитной системы (реактивная мощность х.х.)

$$Q_x = q_c G_c + q_y G_y + q_{зс} n_{зс} \Pi_c + q_{зя} n_{зя} \Pi_y =$$

$$q_c = \quad q_{зс} =$$

$$q_{\text{я}} = \quad q_{\text{зя}} =$$

$$n_{\text{зс}} = , n_{\text{зя}} =$$

$q_{\text{зс}}$  и  $q_{\text{зя}}$  – Удельные намагничивающие мощности для зазоров в стержнях и ярмах  $B \cdot A/\text{см}^2$ ;

$q_{\text{с}}$  и  $q_{\text{я}}$  – Удельная намагничивающая мощность для стали в стержнях и ярмах  $B \cdot A/\text{кг}$ ;

$n_{\text{зс}}$  и  $n_{\text{зя}}$  – Число воздушных зазоров;

$\Pi_{\text{с}}$  и  $\Pi_{\text{я}}$  – Активное сечение стержней и ярм  $\text{см}^2$ ;

$G_{\text{с}}$  и  $G_{\text{я}}$  – Массы стали стержней и ярм кг;

$w_1$  – Число витков в обмотке ВН;

$f$  – частота, Гц.

Ток холостого хода:

активная составляющая

$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$P_x$  – Потери холостого хода Вт;

$S$  – Мощность (кВА).

реактивная составляющая

$$i_{0p} = \frac{Q_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %;

$Q_x$  – реактивная мощность ВАр.

ПОЛНЫЙ ТОК ХОЛОСТОГО ХОДА

$$i_0 = \sqrt{i_{0a}^2 + i_{0p}^2} =$$

$i_0$  – полный ток холостого хода;

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %.

реальный ток холостого хода, А

$$I_{0a} = \frac{i_{0a} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_{0p} = \frac{i_{0p} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_0 = \frac{i_0 \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{0a}}{I_0} =$$

$$\sin\varphi_0 = \frac{I_{0p}}{I_0} =$$

$I_{1\text{фном}}$  – Номинальные значения и фазные значения токов.

Полученные данные заносим в таблицу.

При  $n=0,9$

$$U_{1\text{фном}} = 219 \cdot 0,9 =$$

$$P_x = K_d \cdot (p_c G_c + p_y G_y) =$$

$K_d$  – постоянный коэффициент;

$p_c$  и  $p_{я}$  – удельные потери стали стержней и ярм, определенные по таблице 3.

для соответствующих индукций в стержне  $B_c$  и ярме  $B_{я}$ , Вт/кг;

$G_c$  и  $G_{я}$  – Массы стали и стержни ярм, кг.

Удельные потери в стали стержней и ярм, определенные по табл.3

$$p_c = p_{я} =$$

Индукции в стержнях и ярмах

$$B_c = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B_{я} = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_{я}} =$$

Массы сталей стержней и ярм:

$$G_c = 3h_c \cdot \rho_{ст} \cdot \Pi_c =$$

$$G_{я} = 2 \cdot l_{я} \cdot \rho_{ст} \cdot \Pi_{я} =$$

$$l_{я} = 2 \cdot C + d =$$

Плотность холоднокатаной стали  $\rho_{ст} = 7650 \text{ кг/м}^3$

$h_c$  – Высота стержня см;

$C$  – Расстояние между осями см;

$d$  – Диаметр стержня см;

Намагничивающая мощность магнитной системы (реактивная мощность х.х.)

$$Q_x = q_c G_c + q_{я} G_{я} + q_{зс} n_{зс} \Pi_c + q_{зя} n_{зя} \Pi_{я} =$$

$$q_c = \quad q_{зс} =$$

$$q_{я} = \quad q_{зя} =$$

$$n_{зс} = , n_{зя} =$$



$q_{зс}$  и  $q_{зя}$  – Удельные намагничивающие мощности для зазоров в стержнях и ярмах В · А/см<sup>2</sup>;

$q_c$  и  $q_я$  – Удельная намагничивающая мощность для стали в стержнях и ярмах В · А/кг;

$n_{зс}$  и  $n_{зя}$  – Число воздушных зазоров;

$П_c$  и  $П_я$  – Активное сечение стержней и ярм см<sup>2</sup>;

$G_c$  и  $G_я$  – Массы стали стержней и ярм кг;

$w_1$  – Число витков в обмотке ВН;

$f$  – частота, Гц.

Ток холостого хода:

активная составляющая

$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$P_x$  – Потери холостого хода Вт;

$S$  – Мощность (кВА).

реактивная составляющая

$$i_{0p} = \frac{Q_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %;

$Q_x$  – реактивная мощность ВАр.

полный ток холостого хода

$$i_0 = \sqrt{i_{0a}^2 + i_{0p}^2} =$$

$i_0$  – полный ток холостого хода;

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %.

реальный ток холостого хода, А

$$I_{0a} = \frac{i_{0a} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_{0p} = \frac{i_{0p} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_0 = \frac{i_0 \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{0a}}{I_0} =$$

$$\sin\varphi_0 = \frac{I_{0p}}{I_0} =$$

$I_{1\text{фном}}$  – Номинальные значения и фазные значения токов.

Полученные данные заносим в таблицу.

При  $n=1,1$

$$U_{1\text{фном}} = 219 \cdot 1,1 =$$

$$P_x = K_d \cdot (p_c G_c + p_y G_y) =$$

$K_d$  – постоянный коэффициент;

$p_c$  и  $p_{я}$  – удельные потери стали стержней и ярм, определенные по таблице 3.

для соответствующих индукций в стержне  $B_c$  и ярме  $B_{я}$ , Вт/кг;

$G_c$  и  $G_{я}$  – Массы стали и стержни ярм, кг.

Удельные потери в стали стержней и ярм, определенные по табл.3

$$p_c = p_{я} =$$

Индукции в стержнях и ярмах

$$B_c = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B_{я} = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_{я}} =$$

Массы сталей стержней и ярм:

$$G_c = 3h_c \cdot \rho_{ст} \cdot \Pi_c =$$

$$G_{я} = 2 \cdot l_{я} \cdot \rho_{ст} \cdot \Pi_{я} =$$

$$l_{я} = 2 \cdot C + d =$$

Плотность холоднокатаной стали  $\rho_{ст} = 7650 \text{ кг/м}^3$

$h_c$  – Высота стержня см;

$C$  – Расстояние между осями см;

$d$  – Диаметр стержня см;

Намагничивающая мощность магнитной системы (реактивная мощность х.х.)

$$Q_x = q_c G_c + q_{я} G_{я} + q_{зс} n_{зс} \Pi_c + q_{зя} n_{зя} \Pi_{я} =$$

$$q_c = \quad q_{зс} =$$

$$q_{я} = \quad q_{зя} =$$

$$n_{зс} = 3, n_{зя} = 4$$

$q_{зс}$  и  $q_{зя}$  – Удельные намагничивающие мощности для зазоров в стержнях и ярмах В · А/см<sup>2</sup>;

$q_c$  и  $q_я$  – Удельная намагничивающая мощность для стали в стержнях и ярмах В · А/кг;

$n_{зс}$  и  $n_{зя}$  – Число воздушных зазоров;

$П_c$  и  $П_я$  – Активное сечение стержней и ярм см<sup>2</sup>;

$G_c$  и  $G_я$  – Массы стали стержней и ярм кг;

$w_1$  – Число витков в обмотке ВН;

$f$  – частота, Гц.

Ток холостого хода:

активная составляющая

$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$P_x$  – Потери холостого хода Вт;

$S$  – Мощность (кВА).

реактивная составляющая

$$i_{0p} = \frac{Q_x}{10 \cdot S} =$$

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %;

$Q_x$  – реактивная мощность ВАр.

полный ток холостого хода

$$i_0 = \sqrt{i_{0a}^2 + i_{0p}^2} =$$

$i_0$  – полный ток холостого хода;

$i_{0a}$  – активная составляющая тока %;

$i_{0p}$  – реактивная составляющая тока %.

реальный ток холостого хода, А

$$I_{0a} = \frac{i_{0a} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_{0p} = \frac{i_{0p} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_0 = \frac{i_0 \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

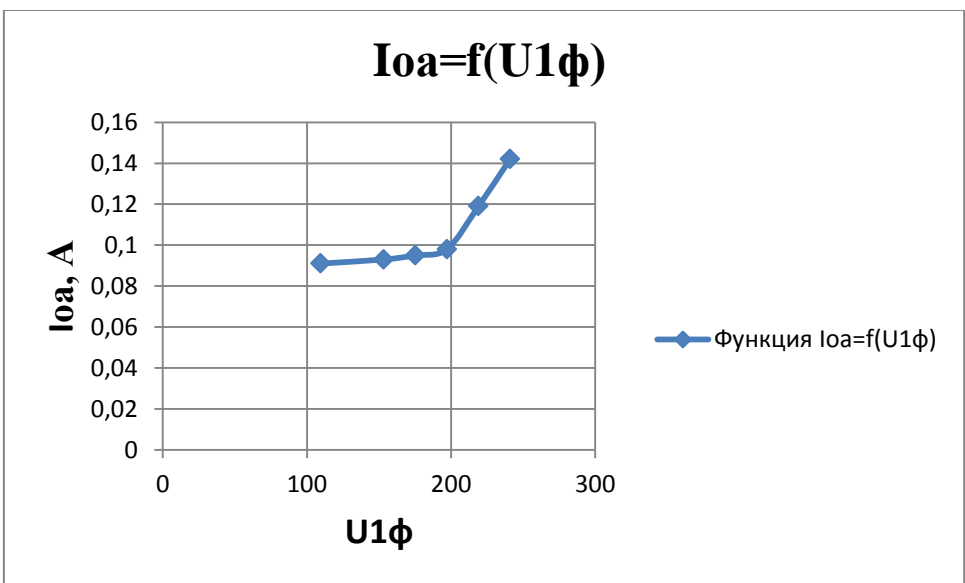
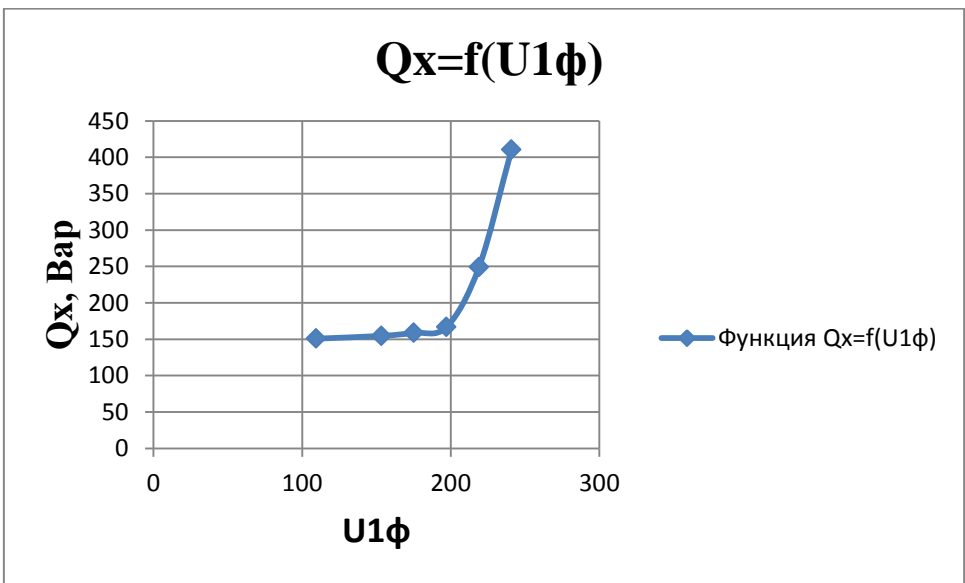
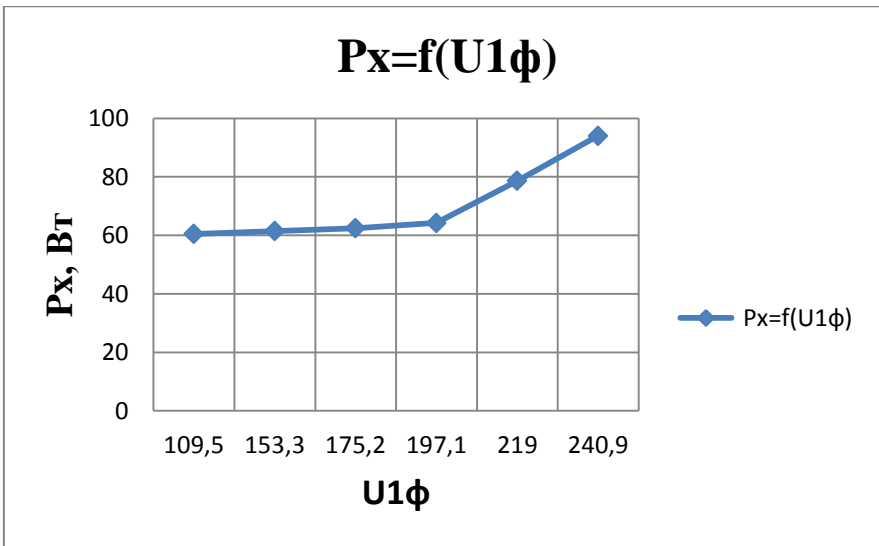
$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{0a}}{I_0} =$$

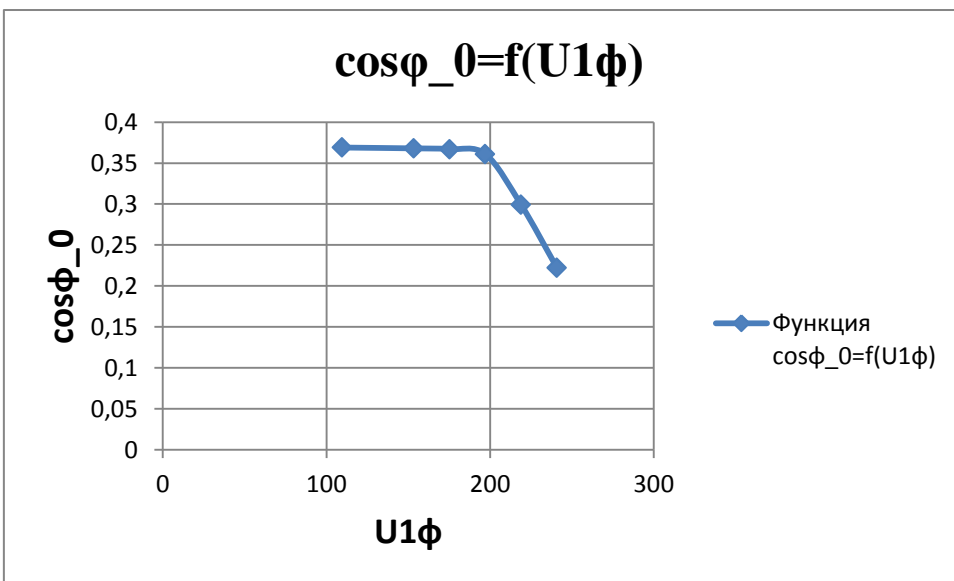
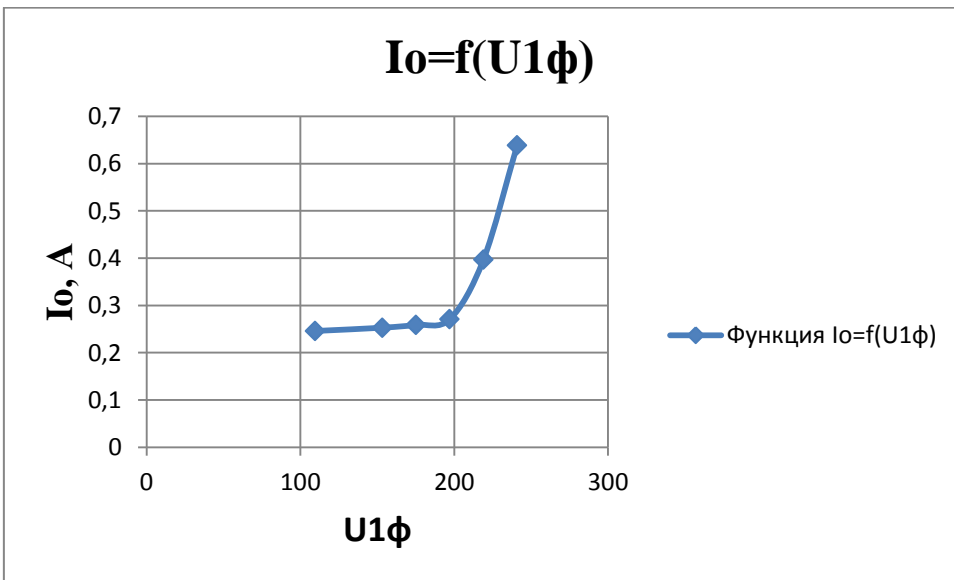
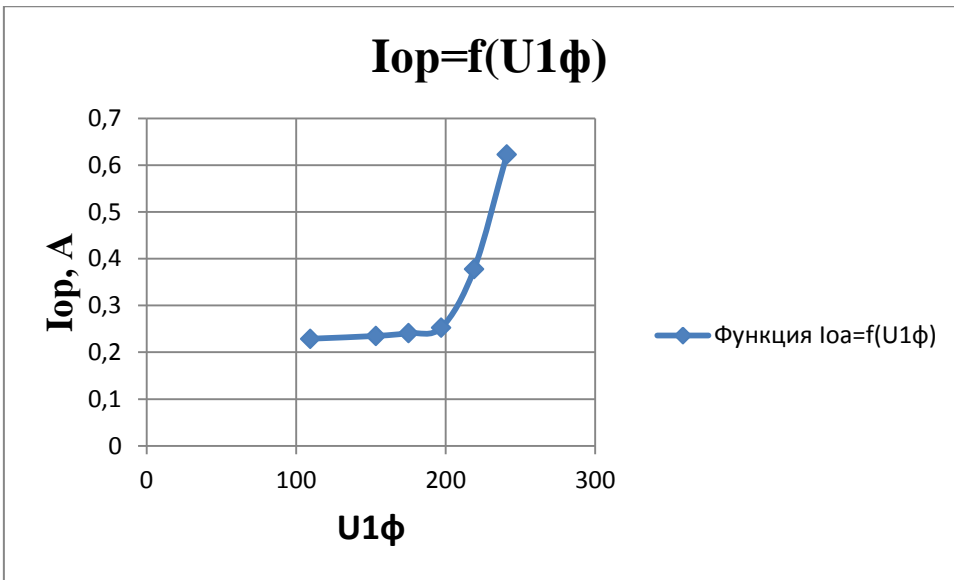
$$\sin\varphi_0 = \frac{I_{0p}}{I_0} =$$

$I_{1\text{фном}}$  – Номинальные значения и фазные значения токов.

Полученные данные заносим в таблицу.

По данным таблицы строим характеристики холостого хода.





2.5. Потери холостого хода при номинальном фазном напряжении первичной обмотки (обмотки ВН) с учетом изменения индукции при изменении частоты.

При этом

$$P_x = P_{x50} \cdot \left(\frac{B}{B_{50}}\right)^{1,5} \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5}$$

Где  $P_{x50}, B_{x50}, f_{x50}$  – данные при частоте 50 Гц.

$$B_{c40} = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B_{c60} = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B = \frac{U_{1\text{фНОМ}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

потери холостого хода

$$P_{x40} = P_x \cdot \left(\frac{B_{c40}}{B}\right)^2 \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5} =$$

$$P_{x60} = P_x \cdot \left(\frac{B_{c60}}{B}\right)^2 \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5} =$$

2.6. Потери короткого замыкания  $P_k$ , напряжение короткого замыкания  $u_k\%$  и  $U_k(B)$ , а также составляющее – активная  $u_{ка}$ , реактивная  $u_{кр}$  и  $\cos\varphi_k$ , сопротивление короткого замыкания  $z_k$  и его составляющие  $r_k, x_k$ , (Ом); Потери короткого замыкания рассчитываются для каждой обмотки и затем суммируются:



Основные потери при +75°C в медных обмотках.

$$P_{\text{осн}} = P_{\text{осн1}} + P_{\text{осн2}} =$$

$$P_{\text{осн1}} = 2,4J_1^2 \cdot G_{01} =$$

$$P_{\text{осн2}} = 2,4J_2^2 \cdot G_{02} =$$

Плотность тока в обмотках

$$J_1 = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{S_{\text{пр1}}} =$$

$$J_2 = \frac{I_{2\text{НОМ}}}{S_{\text{пр2}}} =$$

Масса обмоток (обмотки медные)

$$G_{01} = 28 \cdot C \cdot D_{\text{ср1}} \cdot w_1 \cdot S_{\text{пр1}} \cdot 10^{-5} =$$

$$G_{02} = 28 \cdot C \cdot D_{\text{ср2}} \cdot w_2 \cdot S_{\text{пр2}} \cdot 10^{-5} =$$

$$D_{\text{ср1}} = D_1 + 2a_1 =$$

$$D_{\text{ср2}} = D_1 + 2a_1 + 2a_{12} + \frac{a_2}{2} =$$

$D_1$  – диаметр обмотки НН;

$S_{\text{пр1}}$  – сечение витков.

Потери короткого замыкания трансформатора

$$P_{\text{к}} = P_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доб}} =$$

Где  $k_{\text{доб}}=1,03$  так как у нас трансформатор мощностью до 100кВА

Напряжение короткого замыкания  $u_{\text{к}}\%$  и  $U_{\text{к}}(\text{В})$ , а также составляющее – активная  $u_{\text{ка}}\%$ , реактивная  $u_{\text{кр}}\%$  и  $\cos\varphi_{\text{к}}$ , сопротивление короткого замыкания  $z_{\text{к}}$  и его составляющие  $r_{\text{к}}, x_{\text{к}}$ , (Ом);

$$u_{a\%} = \frac{P_K}{10 \cdot S} =$$

$$u_{p\%} = \frac{7,92 \cdot f \cdot S' \cdot \beta \cdot a_p \cdot k_p \cdot 10^{-3}}{U_B'^2} =$$

Где  $U_B'$  -напряжение в одном витке  $U_B' = \frac{U_{1\phi}}{w_1} =$

$S' = \frac{S}{c} =$  кВА; мощность на один стержень

$$\beta = \frac{\pi \cdot d_{12}}{l} =$$

$$d_{12} = D_1 + 2a_1 + a_{12} =$$

$$a_p = a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} =$$

$$k_p = 0,95$$

$$u_{k\%} = \sqrt{u_{a\%}^2 + u_{p\%}^2} =$$

$$U_K = \frac{U_{1\phi\text{НОМ}} \cdot u_{k\%}}{100} =$$

$$U_{ка} = \frac{U_{1\phi\text{НОМ}} \cdot u_{ка\%}}{100} =$$

$$U_{кр} = \frac{U_{1\phi\text{НОМ}} \cdot u_{кр\%}}{100} =$$

$$Z_K = \frac{U_K}{I_1} =$$

$$r_K = \frac{U_{ка}}{I_1} =$$

$$x_K = \frac{U_{кр}}{I_1} =$$

$$\cos\varphi_k = \frac{U_{ка}}{U_{кр}} =$$

Контрольные данные	Результаты вычислений
$P_k =$	$P_k =$
$u_{к\%} =$	$u_{к\%} =$

2.7. Изменение вторичного напряжения  $\Delta U = f(\varphi_2)$  при номинальном токе ( $K_{нг} = 1$ )

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos\varphi_2 + U_{кр} \cdot \sin\varphi_2 =$$

Результаты расчетов сводим в таблицу

$\varphi_2$	-90	-60	-45	-30	0	30	45	60	90
$\Delta U, В$									

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(-90) + U_{кр} \cdot \sin(-90) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(-60) + U_{кр} \cdot \sin(-60) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(-45) + U_{кр} \cdot \sin(-45) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(-30) + U_{кр} \cdot \sin(-30) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(-0) + U_{кр} \cdot \sin(-0) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(30) + U_{кр} \cdot \sin(30) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(45) + U_{кр} \cdot \sin(45) =$$

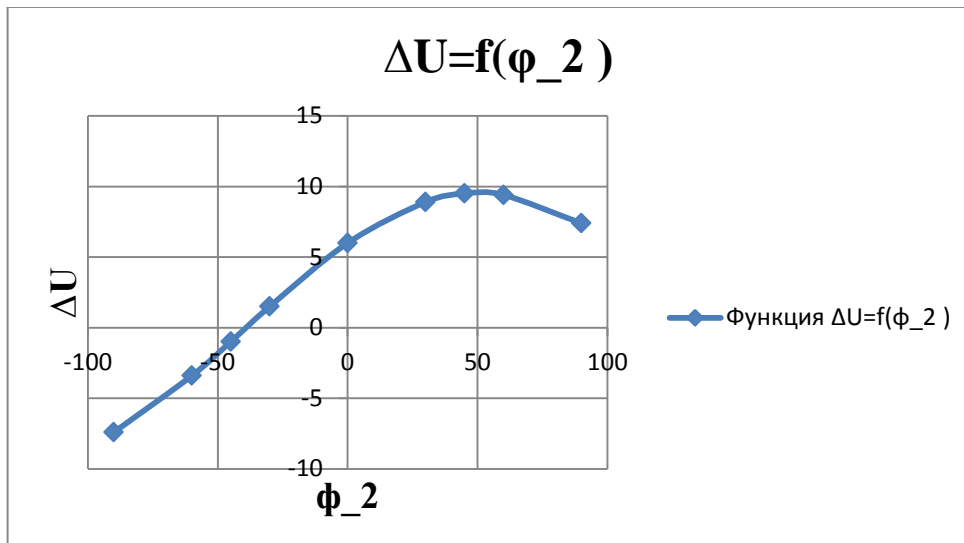
$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(60) + U_{кр} \cdot \sin(60) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos(90) + U_{кр} \cdot \sin(90) =$$

Максимальное изменение напряжения при  $\varphi_2 = \varphi_k$

$$\varphi_k = \quad ; \Delta U_{max} =$$

По данным таблицы смотрим зависимость  $\Delta U = f(\varphi_2)$



$K_{нг}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
$I_2, A$							
$\Delta U, B$ при $\cos\varphi_2 = 1$							
$\Delta U_{2\phi}, B$ при $\cos\varphi_2 = 1$							
$\Delta U, B$ при $\cos\varphi_2 = 0,7$							
$\Delta U_{2\phi}, B$ при $\cos\varphi_2 = 0,7$							

При  $\cos\varphi_2 = 1$  . если  $\cos=1$  то  $\sin =0$  если  $\cos =0,7$   $\sin =0,71$

$I_2$  по формуле  $K_{нг} \cdot n =$

$$\text{Где } n = \frac{I_2}{I_1} =$$

При  $K_{нг} = 0,2$

$$I_2 = K_{нг} \cdot n =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 0,4$

$$I_2 = K_{\text{НГ}} \cdot n =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 0,6$

$$I_2 = K_{\text{НГ}} \cdot n =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 0,8$

$$I_2 = K_{\text{НГ}} \cdot n =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 1$

$$I_2 = K_{\text{НГ}} \cdot n =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 1,2$

$$I_2 = K_{\text{НГ}} \cdot n =$$

$K_{\text{НГ}} = 0$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{НГ}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$K_{\text{НГ}} = 0,2$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{НГ}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$K_{\text{НГ}} = 0,4$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{НГ}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 0,6$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 0,8$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 1$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 1,2$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$\text{При } \cos\varphi_2 = 0,7$$

$$K_{\text{HT}} = 0$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 0,2$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 0,4$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 0,6$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 0,8$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 1$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

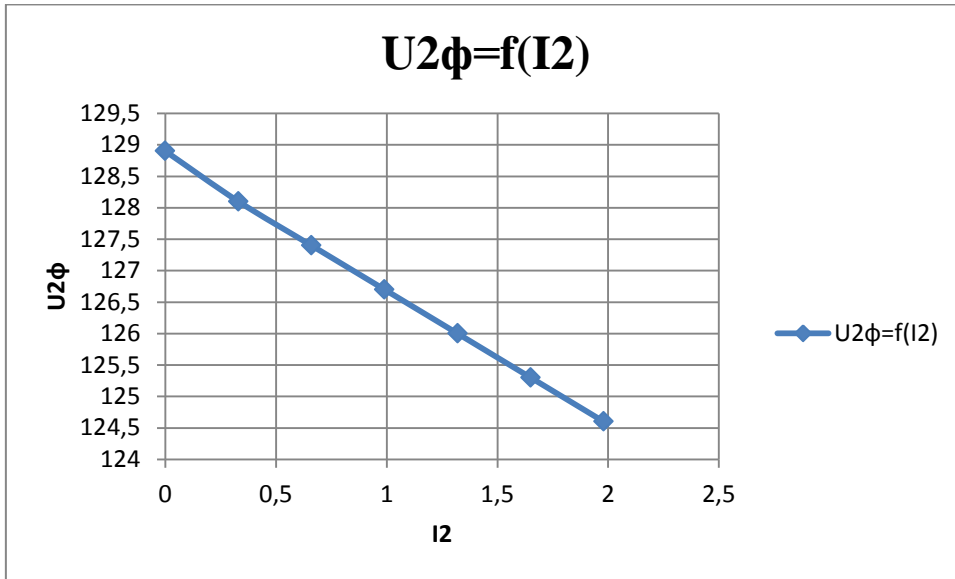
$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

$$K_{\text{HT}} = 1,2$$

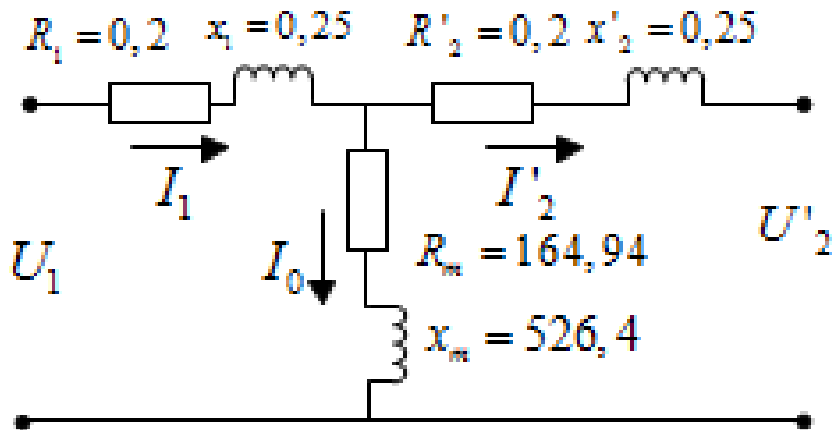
$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\phi_{\text{НОМ}}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

По данным таблицы строим зависимость  $U_2 = f(I_2)$



2.8. Схема замещения трансформатора с числовыми данными.



При этом  $R_1 = R'_2 = \frac{R_k}{2} =$

$$x_1 = x'_2 = \frac{x_k}{2} =$$

$$R_m \approx R_0 =$$

$$x_m \approx x_0 =$$

Будем считать  $I_0 = 0$ . Тогда  $I_1 = -I'_2$



$$U'_{2\phi} = U_{1\phi_{\text{ном}}} - \Delta U =$$

$$\Delta U = K_{\text{HT}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \cdot \sin\varphi_2) =$$

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_1 =$$

Пусть  $\dot{I}_1 = \dot{I}'_2 =$

$$\begin{aligned} \text{Тогда } U'_2 &= 209,76 \cdot e^{36,9^\circ} = 209,76 \cdot \cos 36,9^\circ + j \cdot 209,76 \cdot \sin 36,9^\circ = \\ &= 209,55 + j125,856 \end{aligned}$$

$$\dot{E}'_2 = \dot{U}'_2 + jx'_2 \dot{I}_2 + \dot{R}'_2 \dot{I}_2;$$

$$\dot{R}'_2 \dot{I}_2 = 0,2 \cdot 15,2 = 3,04 \text{ В}$$

$$jx'_2 \dot{I}_2 = j0,25 \cdot 15,2 = j3,8$$

$$\dot{E}'_2 = 209,55 + j125,856 + 3,04 + j3,8 = 212,59 + j129,656$$

Под углом  $\frac{\pi}{2}$  откладываем  $\Phi_m$

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2 = -15,2 \text{ А} \quad \dot{E}_1 = \dot{E}'_2$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + jx_1 \dot{I}_1 + \dot{R}_1 \dot{I}_1 \\ &= -212,59 - j129,656 + 0,2 \cdot (-15,2) + j0,25 \cdot (-15,2) \\ &= -215,63 - j133,451 \end{aligned}$$

По результатам расчетов строим векторную диаграмму начиная с вектора  $\dot{I}'_2$

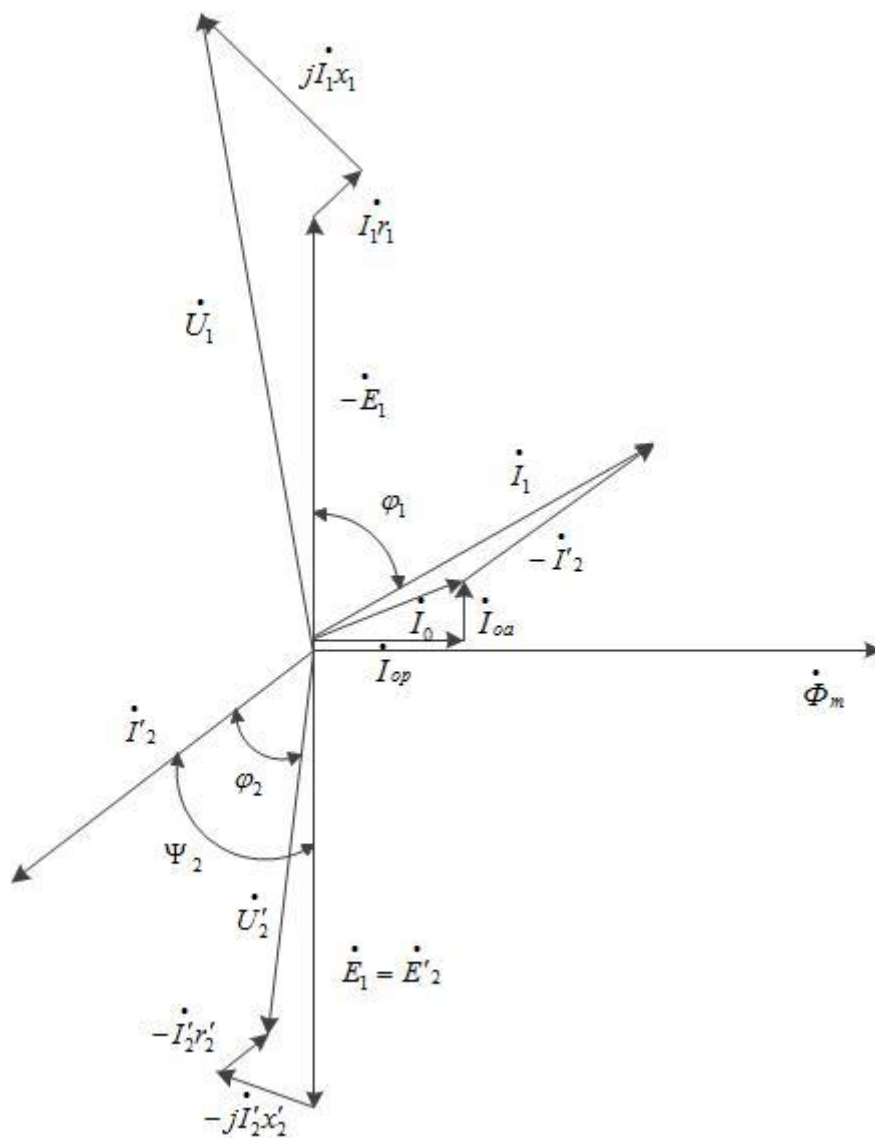


Рис (5.1) Векторная диаграмма приведённого трансформатора для случая активно-индуктивной нагрузки. **Примерный вариант.**

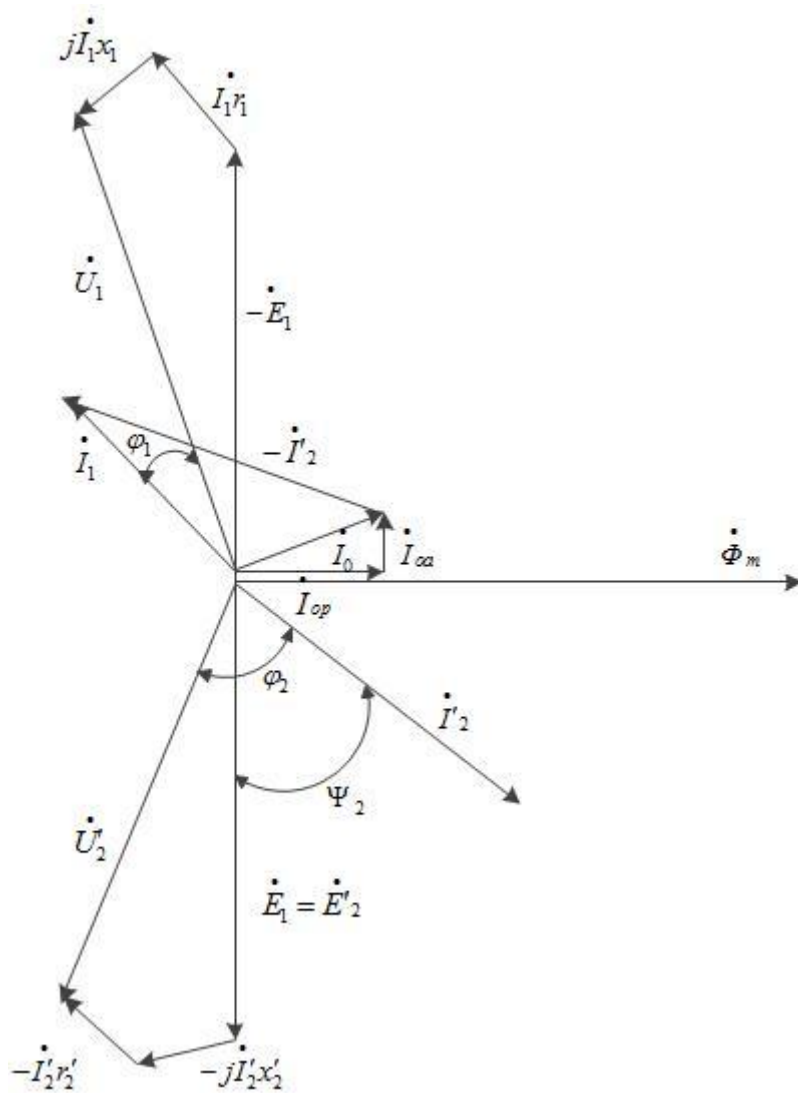


Рис (5.2) Векторная диаграмма приведённого трансформатора для случая активно-емкостной нагрузки. **Примерный вариант.**

2.9. Зависимость КПД от нагрузки  $\eta = f(P_2)$

для  $\cos\varphi_2 = 1$  и  $\cos\varphi_2 = 0,7$

$$\eta = 1 - \frac{P + K_{\text{НГ}}^2 \cdot P_k}{K_{\text{НГ}} \cdot S_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_2 + P + K_{\text{НГ}}^2 \cdot P_k}$$

$K_{\text{НГ}}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
$P_2, \text{кВт}$							
$\eta$ при $\cos\varphi_2 = 1$							
$\eta$ при $\cos\varphi_2 = 0,7$							

При  $K_{\text{НГ}} = 0,2$

$$P_2 = S \cdot K_{\text{НГ}} =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 0,4$

$$P_2 = S \cdot K_{\text{НГ}} =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 0,6$

$$P_2 = S \cdot K_{\text{НГ}} =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 0,8$

$$P_2 = S \cdot K_{\text{НГ}} =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 1$

$$P_2 = S \cdot K_{\text{НГ}} =$$

При  $K_{\text{НГ}} = 1,2$

$$P_2 = S \cdot K_{\text{НГ}} =$$

При  $\cos\varphi_2 = 1, K_{\text{HT}} = 0,2$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 1, K_{\text{HT}} = 0,4$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 1, K_{\text{HT}} = 0,6$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 1, K_{\text{HT}} = 0,8$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 1, K_{\text{HT}} = 1$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 1, K_{\text{HT}} = 1,2$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 0,7, K_{\text{HT}} = 0,2$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 0,7, K_{\text{HT}} = 0,4$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 0,7, K_{\text{HT}} = 0,6$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 0,7, K_{\text{нГ}} = 0,8$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 0,7, K_{\text{нГ}} = 1$

$$\eta = 1 - \dots =$$

При  $\cos\varphi_2 = 1, K_{\text{нГ}} = 1,2$

$$\eta = 1 - \dots =$$

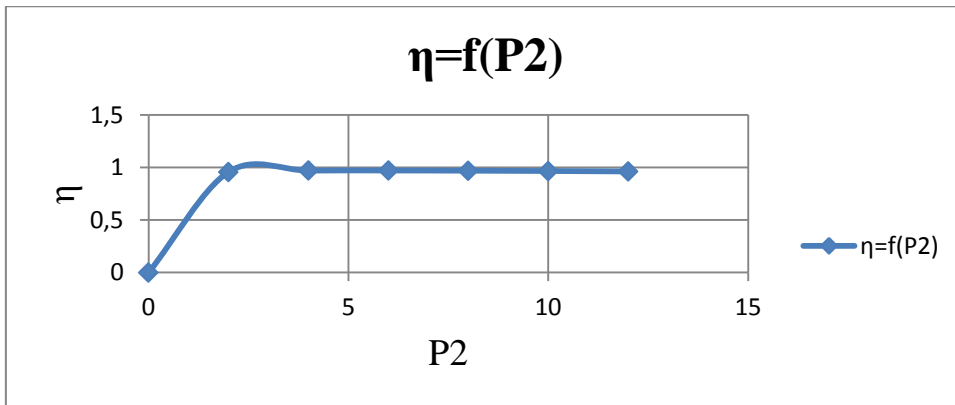
Максимальное значение КПД при  $\cos\varphi_2 = 1$

$$\text{При } K_{\text{нГ}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} =$$

$$\eta = 1 - \dots =$$

$$\eta_{\text{max}} =$$

По данным таблицы строим зависимость  $\eta = f(P_2)$



2.10. Ударный ток короткого замыкания

$$i_{\text{км}} = k_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot k_{\text{к уст}} =$$

$$\text{где } k_{\text{к уст}} = I_{1\text{ном}} \cdot \frac{100}{u_k} =$$

$$k_{\text{уд}} = \left( 1 + e^{-\frac{\pi \cdot R_k}{\omega \cdot L_k}} \right) =$$