

Частота сети – 50 Гц;  
 Напряжение первичной обмотки – 230 В;  
 Максимальная индукция в стержне – 1,5 Тл;  
 Плотность тока – 2,5 А/мм<sup>2</sup>;  
 Коэффициент заполнения стали – 0,9;  
 Коэффициент заполнения окна – 0,25;  
 Материал сердечника – Э320;  
 Зазор в сердечнике – 0,05 мм;  
 Тип трансформатора – броневой;  
 Обмотки концентрические.]

### Задание 1

По исходным данным определить:

- магнитные напряжения в зазоре, стержнях и в ярме магнитопровода;
- ток намагничивания (холостого хода) трансформатора при условии, что он не превышает 40% от номинального тока обмотки.

### Задание 2

Используя расчётные данные задания 1, определить:

- мощность трансформатора;
- числа витков первичной и вторичной обмоток;
- номинальные токи первичной и вторичной обмоток;
- сопротивления первичной и вторичной обмоток.

### Задание 3

Используя расчётные данные заданий 1 и 2, определить:

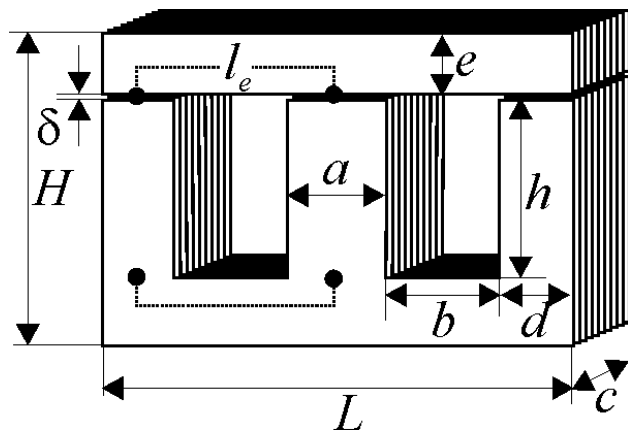
- потери в обмотках трансформатора при номинальных токах;
- потери в сердечнике трансформатора;
- коэффициент мощности трансформатора в режиме холостого хода;
- оптимальный коэффициент нагрузки;
- номинальный и максимальный КПД.

### Исходные данные для расчёта

Размеры сердечника

№	$H$ [мм]	$L$ [мм]	$a$ [мм]	$b$ [мм]	$c$ [мм]	$h$ [мм]	$U_2$ [В]
1	31	36	10	6,5	10	18	24
2	38	44	12	8	12	22	10
3	43	50	14	9	14	25	25
4	48	56	16	10	16	28	5
5	57,5	67	19	12	19	33,5	60
6	78	67	22	14	22	39	48
7	78	67	22	14	44	39	15
8	81	94	26	17	26	47	85
9	91	106	30	19	30	53	10
10	91	106	30	19	45	53	15
11	91	106	30	19	60	53	75
12	105,5	123	35	22	35	61,5	40
13	105,5	123	35	22	52	61,5	50
14	105,5	123	35	22	70	61,5	12
15	124	144	40	26	40	72	24
16	124	144	40	26	60	72	36
17	124	144	40	26	80	72	80

# Расчёт тока намагничивания



$$B_0 = B$$

$$\Phi_0 \approx \Phi_k = \text{const} = B_0 S_0 \Rightarrow B_k = \Phi_k / S_k = B_0 S_0 / S_k$$

$$H_{\delta k} = \frac{B_k}{\sqrt{2} \cdot 4\pi 10^{-7}}; H_{\mu k} = F(B_k)$$

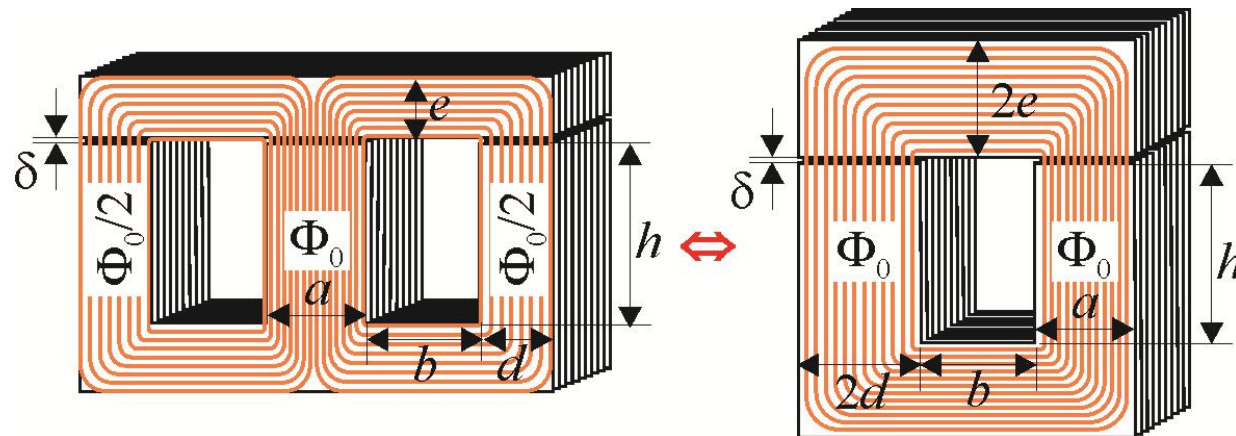
$$U_{\mu k} = H_k l_k$$

$$U_{\mu} = \sum_{k=0}^q U_{\mu k} = I_{\mu}; I_p = \frac{S_{wd} k_{wd}}{2} \iota$$

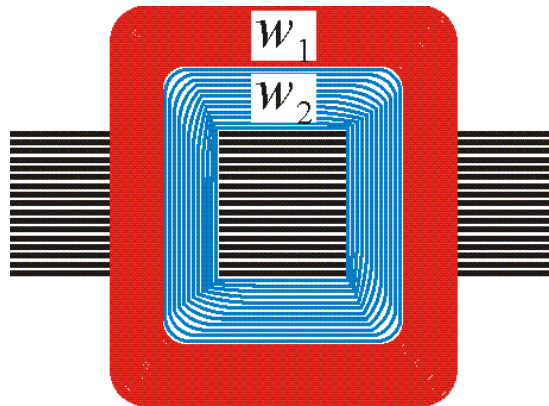
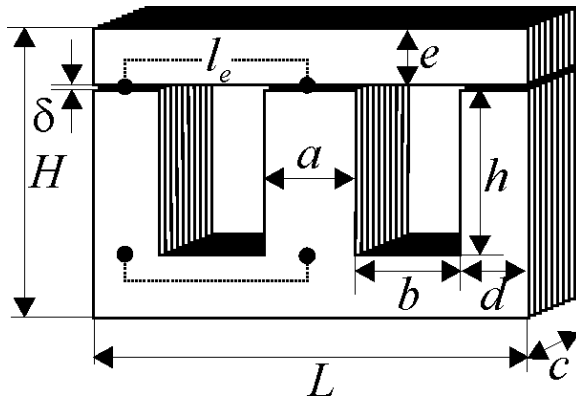
$$I_{\mu} / I_p \leq 0,4$$

$$> 0,4$$

$$B = B - \Delta$$



## Расчёт обмоток трансформатора



$$S = U_{2N} I_{2N}; \quad U_{2N} = E_2$$

$$E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_{0m} = 4,44 f w_2 B_m S_{Fe} k_{Fe}; \quad E_1 = 4,44 f w_1 B_m S_{Fe} k_{Fe} \approx U_1$$

$$w_2 = 1;$$

⇓

$$E_2 = 4,44 f B_m S_{Fe} k_{Fe}; \quad I_{2N} = I_p = \frac{S_{wd} k_{wd}}{2} \mathfrak{t}$$

⇓

$$S = 2,22 f B_m S_{Fe} k_{Fe} S_{wd} k_{wd} \mathfrak{t}$$

$$w_1 = \text{round} \left( \frac{U_1}{4,44 f B_m S_{Fe} k_{Fe}} \right); \quad w_2 = \text{round}(w_1 / k);$$

$$k' = w_1 / w_2 \rightarrow (k' - k) / k < 0,03$$

$$I_{1N} = I_p / w_1; \quad I_{2N} = I_p / w_2$$

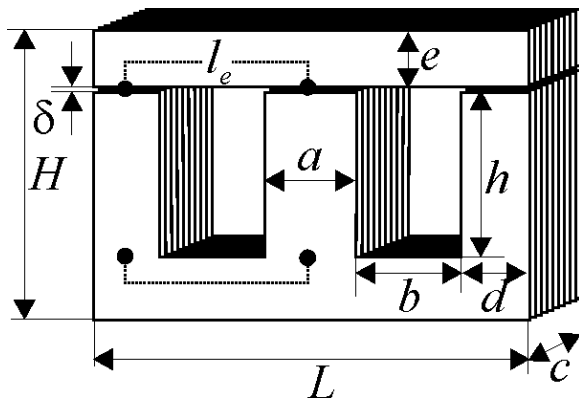
$$U_\mu = I_0 w_1 \Rightarrow I_0 = \frac{U_\mu}{w_1}; \quad I_0 / I_{1N} \leq 0,4$$

$$s'_1 = I_{1N} / \mathfrak{t} \rightarrow s_1 \rightarrow \rho_1; \quad s'_2 = I_{2N} / \mathfrak{t} \rightarrow s_2 \rightarrow \rho_2$$

$$L_{w_1} = 2(a + c + 3b); \quad L_{w_2} = 2(a + c + b)$$

$$R_1 = w_1 L_{w_1} \rho_1; \quad R_2 = w_2 L_{w_2} \rho_2$$

## Расчёт потерь и КПД трансформатора



$$\gamma_{\text{Fe}} = 7,8 \text{ кг} / \text{дм}^3; G_k = \gamma_{\text{Fe}} V_k$$

$$\Delta P_{\text{Cu}} = R_1 I_{1N}^2 + R_2 I_{2N}^2$$

$$\Delta P_{\text{Fe}} = G_a \cdot p(B_a) + 2G_d \cdot p(B_d) + 2G_e \cdot p(B_e)$$

$$Q_{\text{Fe}} = G_a \cdot q(B_a) + 2G_d \cdot q(B_d) + 2G_e \cdot q(B_e)$$

$$P_0 = \Delta P_{\text{Cu}0} + \Delta P_{\text{Fe}} = R_1 I_0^2 + \Delta P_{\text{Fe}}$$

$$\cos \varphi_0 \approx \frac{1}{\sqrt{1 + (Q_{\text{Fe}} / P_0)^2}}$$

$$\beta_{\text{max}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{Fe}}}{\Delta P_{\text{Cu}}}}$$

$$\eta_N = \frac{U_1 I_{1N}}{U_1 I_{1N} + \Delta P_{\text{Fe}} + \Delta P_{\text{Cu}}}$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{\beta_{\text{max}} U_1 I_{1N}}{\beta_{\text{max}} U_1 I_{1N} + \Delta P_{\text{Fe}} + \beta_{\text{max}}^2 \Delta P_{\text{Cu}}}$$

Сталь электротехническая Э320; 0,35;  $f=50\text{Гц}$

$B_m$ [Тл]	0,5	1,0	1,25	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$H$ [А/см]	0,3	0,6	1,6	4,8	7,2	8,6	14,2	24,0	40,0
$p$ [Вт/кГ]	0,1	0,5	0,9	1,4	1,7	2,0	2,45	3,0	4,0
$q$ [Вар/кГ]	0,43	1,7	5,7	20,5	32,5	41,5	73,0	110	180

$B_m$  – максимальная индукция;  $H$  – напряжённость;  $p$  – удельная мощность потерь в стали;  $q$  – удельная реактивная мощность (намагничивания).

Данные обмоточных проводов

Сечение [мм <sup>2</sup> ]	Сопрот. [Ом/м]	Сечение [мм <sup>2</sup> ]	Сопрот. [Ом/м]	Сечение [мм <sup>2</sup> ]	Сопрот. [Ом/м]
0,00502	3,63	0,09621	0,182	0,58088	0,0302
0,00636	2,86	0,11341	0,155	0,63617	0,0275
0,00785	2,24	0,13202	0,133	0,67929	0,0258
0,00850	1,85	0,15205	0,115	0,72382	0,0242
0,01131	1,55	0,17349	0,101	0,78540	0,0224
0,01327	1,32	0,18848	0,0931	0,84950	0,0206
0,01539	1,14	0,20428	0,0859	0,91610	0,0192
0,01767	0,994	0,22051	0,0793	0,98520	0,0177
0,02011	0,873	0,23578	0,0739	1,0568	0,0166
0,02270	0,773	0,25565	0,0687	1,1310	0,0155
0,02545	0,688	0,27340	0,0643	1,2272	0,0143
0,02835	0,618	0,30191	0,0579	1,3273	0,0132
0,03142	0,558	0,32170	0,0546	1,4314	0,0122
0,03464	0,507	0,35256	0,0497	1,5394	0,0114
0,04155	0,423	0,37393	0,0469	1,6513	0,0106
0,04909	0,357	0,40715	0,0430	1,7670	0,00989
0,05726	0,306	0,43008	0,0408	1,9113	0,00918
0,06605	0,266	0,46556	0,0376	2,0612	0,00850
0,07548	0,233	0,50265	0,0349	2,2167	0,00792
0,08553	0,205	0,54060	0,0324	2,3780	0,00736

## Удельный вес и КПД трансформаторов

