

Основные данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов с естественным масляным охлаждением с алюминиевыми (№ 1—21) и медными (№ 22\*—24\*) обмотками

№ п/п	Общие данные				Обмотки								Магнитная система						Контрольные данные				
	Мощность $S_n$ , кВА	Схемы и группа соединений	Номинальные напряжения, В		Число витков		Сечение витков, мм <sup>2</sup>		Внутренний диаметр обмотки НН $D_1$ , см	Радиальные размеры, см		Канал между обмотками ВН и НН $a_{12}$ , см	Высота обмотки, $l_1=l_2$ , см	Диаметр стержня $d$ , см	Активное сечение, см <sup>2</sup>		Высота, см		Расстояние между осями $S$ , см	$P_x$ , Вт	$P_x$ , Вт	$u_x$ , %	$i_0$ , %
			ВН	НН	ВН	НН	ВН	НН		ВН $a_1$	НН $a_2$				стержень $\Pi_c$	ядро $\Pi_x$	стержень $h_c$	ядро $h_x$					
1	25	Y/Y-0	10000	400	3153	126	1.225	23.9	9.8	2.75	1.5	1.0	28.2	9.0	52.1	54.3	32	8.5	21.3	590	140	4.5	8
2	40	" "	" "	" "	2504	100	1.74	37.5	10.8	4.05	1.6	0.9	32.0	10.0	65.4	71.6	36	9.5	25	900	200	4.5	6.6
3	63	" "	" "	" "	2080	83	2.78	50.7	11.8	3.5	1.35	0.9	39.4	11.0	78.9	86.0	43.4	10.5	25.5	1320	270	4.5	5.5
4	100	" "	" "	" "	1745	70	3.46	95.7	12.8	3.25	2.35	0.9	48.0	12.0	95.1	99.3	52	11.5	27	2100	360	4.5	4.8
5	160	" "	" "	" "	1250	50	6.29	130.2	14.9	4.2	2.45	0.9	46.0	14.0	127.3	133.9	52	13.5	30.7	2740	580	4.5	4.7
6	250	" "	" "	" "	950	38	9.79	200.4	17.0	4.05	2.6	0.95	50.0	16.0	168.7	175.6	55.5	15.5	33	3820	800	4.5	4.1
7	400	" "	" "	" "	750	30	15.9	280.0	19.0	4.4	2.65	0.9	55.6	18.0	213.4	226.5	62	17	36	5650	1100	4.5	3.5
8	160	" "	35000	400	4375	50	2.22	138.2	15.4	5.2	1.6	3.0	56.0	14.0	125.6	130.7	71	13.5	37	2500	770	6.5	8.6
9	250	" "	" "	" "	3335	38	3.20	204.4	17.0	5.2	2.4	2.9	57.5	16.0	166.0	172.2	72.5	15.5	40	3540	840	6.5	5.1
10	400	" "	" "	" "	2631	30	5.43	259.8	19.0	5.7	2.2	3.1	65.0	18.0	210.8	217.1	80	17	43	5330	1050	6.5	4.2
11	630	" "	" "	" "	2105	24	8.45	593.0	24.1	5.7	2.65	3.1	79.0	20.0	263.7	276.8	94	19	49	6800	1750	6.5	3.8
12	1000	Y/Δ-11	10000	6300	425	464	34.9	27.9	27.2	4.1	3.4	2.0	68.0	24.0	371	371	78	23	48	11260	2840	5.5	2.8
13	1600	" "	" "	" "	375	409	58.6	54.6	29.0	4.25	4.0	2.0	96.5	26.0	428	433	107	25	52	16200	3780	5.5	2.6
14	2500	" "	" "	" "	268	292	78.9	78.9	33.5	4.4	4.1	2.0	89.5	30.0	588.3	597	100	29	56	23000	5280	5.5	2
15	4000	" "	" "	" "	214	234	134.6	125.8	37.5	5.45	5.15	2.1	97.0	34.0	736.3	744.3	108	33	65	33000	7360	6.5	1.8
16	6300	" "	" "	" "	170	186	219.0	174.9	41.5	6.1	5.4	2.45	115.0	38.0	927.8	945.8	126	37	71	46500	10350	6.5	1.6
17	1000	Y/Δ-11	35000	6300	1487	464	11.1	29.9	27.2	5.3	3.4	3.1	75.5	24.0	371	371	92	23	54	11000	3180	6.5	3
18	1600	" "	" "	" "	1312	409	16.3	57.9	29.0	4.45	3.85	3.1	101.5	26.0	428	433	118	25	55	16400	4200	6.5	2.8
19	2500	" "	" "	" "	937	292	23.8	74.1	33.7	4.9	3.5	3.25	95.5	30.0	588.3	588.3	113	29	60	23000	5900	6.5	2.2
20	4000	" "	" "	" "	750	234	37.6	117.0	37.5	5.9	5.1	2.75	96.5	34.0	736.3	744.3	113	33	68	34200	7700	7.5	2
21	6300	Y/Δ-11	35000	6300	596	186	62.9	174.9	41.5	6.15	5.25	2.85	113.5	38.0	927.8	944	131	37	73	46800	10800	7.5	1.8
22	1000	Y/Y-0	10000	6300	433	273	19.0	40.5	27.2	3.75	3.2	2.1	68.0	24.0	371	371	78	23	48	11260	2700	5.5	2.8
23	1000	Y/Δ-11	38500	6300	1636	464	5.73	25.7	27.4	4.2	3.15	3.55	76.0	24.0	371	371	92	23	54	9640	3220	6.5	3
24	6300	Y/Δ-11	33000	6600	563	195	51.4	150.5	41.5	5.3	5.3	3.4	113.5	38.0	927.8	944	131	37	73	34900	11000	7.5	1.8

Таблица 2

Основные данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов с естественным воздушным охлаждением  
с медными (№ 25\*...31\*) и алюминиевыми (№ 32...44) обмотками

№ п/п	Общие данные				Обмотки								Магнитная система						Контрольные данные				
	Мощность $S_n$ , кВА	Схемы и группа соединений	Номинальные напряжения, В		Число витков		Сечение витков, мм <sup>2</sup>		Внутренний диаметр обмотки НН $D_1$ , см	Радиальные размеры, см		Канал между обмотками ВН и НН $a_{12}$ , см	Высота обмотки, $l_1=l_2$ , см	Диаметр стержня $d$ , см	Активное сечение, см <sup>2</sup>		Высота, см		Расстояние между осями $S$ , см	$P_x$ , Вт	$P_x$ , Вт	$u_x$ , %	$i_0$ , %
			ВН	НН	ВН	НН	ВН	НН		ВН $a_1$	НН $a_2$				стержень $P_c$	ядро $P_x$	стержень $h_c$	ядро $h_x$					
25	10	Y/Y-0	380	230	142	86	6.29	13.9	10.5	1.1	2.15	1.35	17.1	9.5	55	64.5	22	9	22	300	75	4.8	12
26	16	" "	" "	" "	129	78	10.6	19.4	10.5	1.2	2.2	1	26.9	9.5	53.5	62.4	32	9	22	480	110	4.10	10
27	25	" "	" "	" "	99	60	20.5	35.2	13	1.5	2.45	1	27.6	11	73.2	87.6	32	10.5	27	620	150	4	5.5
28	40	" "	" "	" "	73	44	32.4	58.3	14	1.6	2.3	1	29	12	91.5	111.5	34	11.5	28	740	230	3.2	7
29	63	" "	" "	" "	66	40	30.1	112.5	15	1.85	2.85	1	41.5	13	109.5	120.5	48	12.5	31	1330	300	3.7	4.7
30	100	" "	" "	" "	43	26	51.4	162	20.5	2.4	3.35	1.5	40.5	17.5	167	184	48	16.5	39	1860	530	4.1	5.2
31	160	" "	" "	" "	33	20	94.0	244.2	22.5	2.5	3.25	2.5	51	19.5	212	241.5	60	18.5	41	2400	800	4.3	4.8
32	10	" "	" "	" "	142	86	10.3	18.9	10.5	1.7	2.4	1	16.9	9.5	55	64.5	22	9	22	335	75	4.8	12
33	16	" "	" "	" "	129	78	16.3	32.4	10.5	1.6	2.6	1	26.8	9.5	55	64.5	32	9	22	530	110	4.6	10
34	25	" "	" "	" "	99	60	32.3	59.8	13	2	3.05	1	27.5	11	73.2	87.6	32	10.5	27	670	150	5.1	5.5
35	40	" "	" "	" "	73	44	47.2	103.5	14	2	3.4	1	29	12	91.5	111.5	34	11.5	28	750	230	4.1	7
36	63	" "	" "	" "	66	40	30	112	15	1.85	2.85	1	41.5	13	109.5	120.5	48	12.5	31	1330	300	3.7	4.7
37	100	" "	" "	" "	43	26	86.2	271.6	20.5	2.85	4.25	1.5	40.5	17.5	167	184	48	16.5	39	1960	530	4.8	5.2
38	160	" "	" "	" "	33	20	135.8	440	22.5	2.9	4.25	1.5	51	19.5	212	241.5	60	18.5	41	2640	800	4	4.8
39	160	Y/Δ-11	30000	230	1807	24	3.46	348.8	19	2.7	3.1	3.6	57.5	16	172	175	78	15	42	2600	830	5.5	5.2
40	250	" "	" "	" "	1430	19	5.85	585	21	2.7	3.3	3.9	73.5	18	221	223	89	17	45	3500	1050	5.5	4.3
41	400	" "	" "	400	1212	28	9.39	553.2	24	2.5	3.85	3.9	96.5	21	264	266	112	20	49	3300	1600	5.5	3.4
42	630	" "	" "	" "	909	21	15	935	31	2.6	4.1	3.9	104.5	24	351	360	121	23	56	7200	2330	5.5	2.9
43	1000	" "	" "	" "	693	16	20.6	1488	35	3.6	4.7	3.55	118.8	28	451	460	137	27	63	11100	3460	5.5	3.1
44	600	" "	" "	" "	563	13	32.3	2690	38	3.3	5.4	3.6	145	31	563	573	164	30	67	15200	5000	5.5	2.5

Примечания:

1.  $f=50$  Гц.
2. Обмотки ВН имеют пять ступеней напряжения: 95; 97,5; 100; 102,5; 105% от  $U_{ном}$ . Напряжения и числа витков обмотки ВН даны для средней ступени.
3. Магнитные системы собраны в переплет, с прямыми стыками из холоднокатаной стали марки 3413 – 0,35 мм.
4. Обмотки НН трансформаторов № 1...11, 22 и 25...38 соединены по схеме звезда с нулевым выводом.

Таблица 3

Удельные потери и удельная намагничивающая мощность для холоднокатаной электро-технической стали марки 3413 толщиной 0,35 мм

Индукция $B$ , Тл	Удельные потери $p$ , Вт/кг	Удельная намагничивающая мощность	
		для стали $q$ , В·А/кг	для зазоров $q_z$ , В·А/см <sup>2</sup>
1,0	0,6	1,0	0,166
1,06	0,666	1,15	0,2
1,1	0,71	1,25	0,222
1,16	0,782	1,43	0,255
1,2	0,83	1,57	0,277
1,26	0,914	1,82	0,445
1,3	0,97	2,0	0,555
1,36	1,07	2,38	0,89
1,4	1,13	2,62	1,11
1,46	1,23	3,26	1,44
1,5	1,3	3,7	1,67
1,56	1,45	4,63	2,27
1,6	1,55	5,39	2,66
1,66	1,76	7,26	3,64
1,7	1,9	9,75	4,44
1,76	2,19	14,3	6,3
1,8	2,38	17,8	7,7

*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) это Y/Y-0 для других групп и схем соединения см. формулы учебник*

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

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

$U_{1\text{НОМ}}$  – Номинальное напряжение ВН (В)     $U_{2\text{НОМ}}$  – Номинальное напряжение НН (В)

*Номинальные значения и фазные значения токов*

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

$$I_{2\text{НОМ}} = I_{1\phi} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2}$$

$U_{12}$  – номинальные напряжения,  $S$  – мощность.

Коэффициент трансформации

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

$w_1$  – Число витков ВН

$w_2$ — Число витков НН

1. Магнитная система и чертеж

2. а) потери холостого хода  $P_x$ , реактивная мощность  $Q_x$ , ток холостого хода  $i_0$  и его активная  $i_{0a}$  и реактивная  $i_{0p}$  составляющие, а так же  $\cos\varphi_0$  – все величины для номинального значения фазного напряжения  $U_{1\text{фном}}$  при  $f = 50$  Гц; Потери холостого хода  $P_x$ :

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

Реальный ток холостого хода, А

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

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

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

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

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

$K_d$  – постоянный коэффициент он равен 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.

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

$h_c$  – Высота стержня см;

$C$  – Расстояние между осями см;

$d$  – Диаметр стержня см;

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

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

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

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

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

$w_1$  – Число витков в обмотке ВН;

$f$  – частота, Гц.

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

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

$Q_x$  – реактивная мощность ВАр.

$P_x$  – Потери холостого хода Вт;

$S$  – Мощность (кВА).



$I_0$ -реальный ток холостого хода, А

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

Параметры схемы замещения трансформатора:

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

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

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

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

$$P_x = P_{x50} \cdot \left(\frac{B}{B_{50}}\right)^2 \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5}$$

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

$$B_{c40} = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} = \frac{219 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 40 \cdot 142 \cdot 55} = 1,58 \text{ Тл};$$

$$B_{c60} = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} = \frac{219 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 60 \cdot 142 \cdot 55} = 1,05 \text{ Тл};$$

$$B = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} = \frac{219 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 142 \cdot 55} = 1,26 \text{ Тл};$$

потери холостого хода

$$P_{x40} = P_x \cdot \left(\frac{B_{c40}}{B}\right)^2 \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5} = 78,6 \cdot \left(\frac{1,58}{1,26}\right)^2 \left(\frac{40}{50}\right)^{1,5} = 162 \text{ Вт};$$

При частоте 40

$$P_{x60} = P_x \cdot \left(\frac{B_{c60}}{B}\right)^2 \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5} = 78,6 \cdot \left(\frac{1,05}{1,26}\right)^2 \left(\frac{60}{50}\right)^{1,5} = 72 \text{ Вт};$$

При частоте 60

Потери короткого замыкания  $P_k$ , напряжение короткого замыкания  $u_k\%$  и  $U_k(\text{В})$ , 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 2,4. // Если у вас алюминиевые обмотки тогда у вас 12,75 .

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

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

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

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)=28 у **алюминиевых** = 8,47

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

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

$$D_{\text{ср1}} = D_1 + 2a_1 =$$

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

$D_1$  – диаметр обмотки НН;

$S_{\text{пр1}}$  – сечение витков.

**Все табличные значения, смотреть по номеру варианта**

Потери короткого замыкания трансформатора

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

где  $k_{доб}$  может быть принят для трехфазных трансформаторов мощностью до 100 кВА – 1,03; 160 – 630 кВА – 1,06; 1000 – 6300 кВА – 1,12.

Напряжение короткого замыкания  $u_k\%$  и  $U_k(\text{В})$ , 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);

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

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

$S' = \frac{S}{C}$  мощность на один стержень

C- число стержней (3) как в методичке.

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

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

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

$$k_p = 0,95$$

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

$$U_{\kappa} = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot u_{k\%}}{100} =$$

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

Обратить внимание на формулы и посмотреть

ход решения в основной методичке, где то опечатка.

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

$$z_{\kappa} = \frac{U_{\kappa}}{I_1} =$$

$$r_{\kappa} = \frac{U_{\text{ка}}}{I_1} =$$

$$x_{\kappa} = \frac{U_{\text{кр}}}{I_1} =$$

$$\cos\varphi_{\kappa} = \frac{U_{\text{ка}}}{U_{\text{кр}}} =$$

б) 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  $\varphi_2 = \varphi_k$

Берется арккосинус от  $\cos\varphi_k =$  и получаем  $\varphi_k =$

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

$K_{нг}$	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 $\cos\varphi_2 = 0,7$							

$\Delta U_{2\phi}, \text{В}$							
при $\cos\varphi_2 = 0,7$							

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

$I_2$  по формуле  $K_{\text{нг}} \cdot n =$

Где  $n = \frac{I_2}{I_1}$

Проводим расчеты при различных  $K_{\text{нг}}$  и  $\cos\varphi_2$  Полученные данные заносим в таблицу.

При  $K_{\text{нг}} =$

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

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



Схема замещения трансформатора с числовыми данными. (Можно считать по другим формулам см учебник)

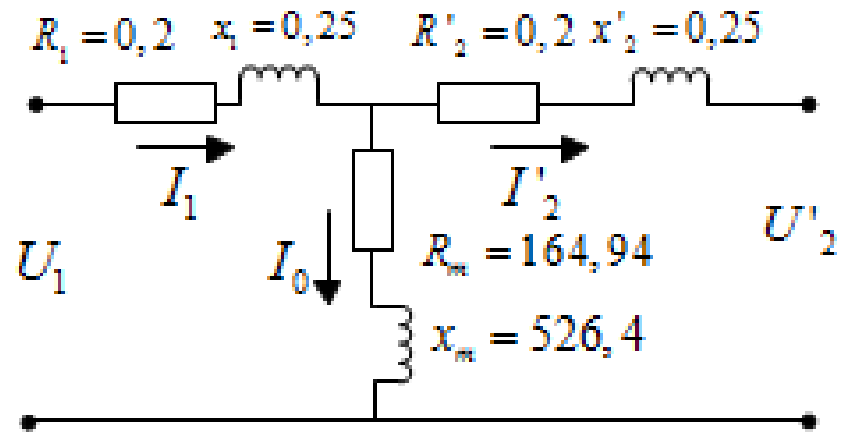


Рис. Схема замещения пример.

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  $I_1 = -I'_2$

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

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

$$I'_2 = I_1 =$$

$$\text{Пусть } I_1 = I'_2 =$$

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

$$\dot{E}'_2 = \dot{U}'_2 + jx'_2 I_2 + \dot{R}'_2 I_2;$$

$$\dot{R}'_2 I_2 = 0,2 \cdot 15,2 = 3,04 \text{ В}$$

$$jx'_2 I_2 = j0,25 \cdot 15,2 = j3,8$$

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

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

$$I_1 = -I'_2 = -15,2 \text{ А} \quad \dot{E}_1 = \dot{E}'_2$$

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + jx_1 I_1 + \dot{R}_1 I_1 = -212,59 - j129,656 + 0,2 \cdot (-15,2) + j0,25 \cdot (-15,2) = -215,63 - j133,451$$

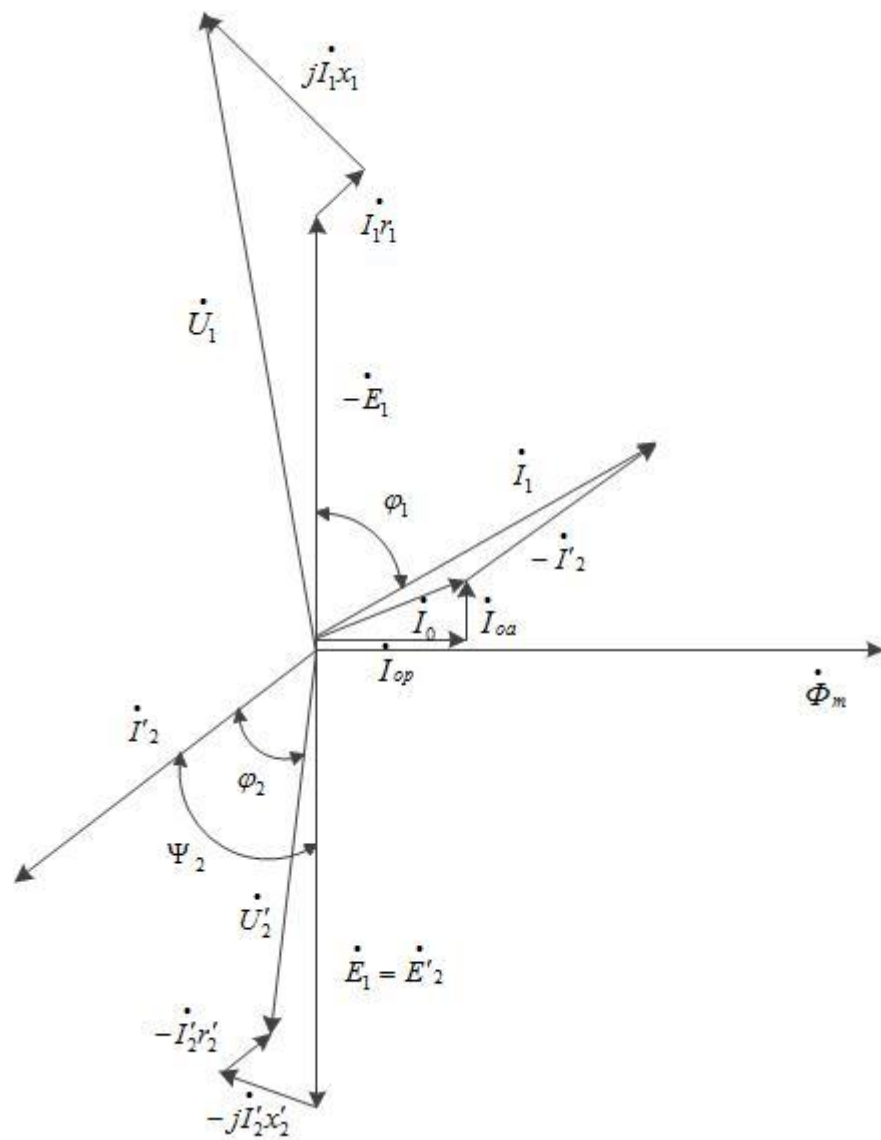


Рис (5.1) **Примерная** Векторная диаграмма приведённого трансформатора для случая активно-индуктивной нагрузки.

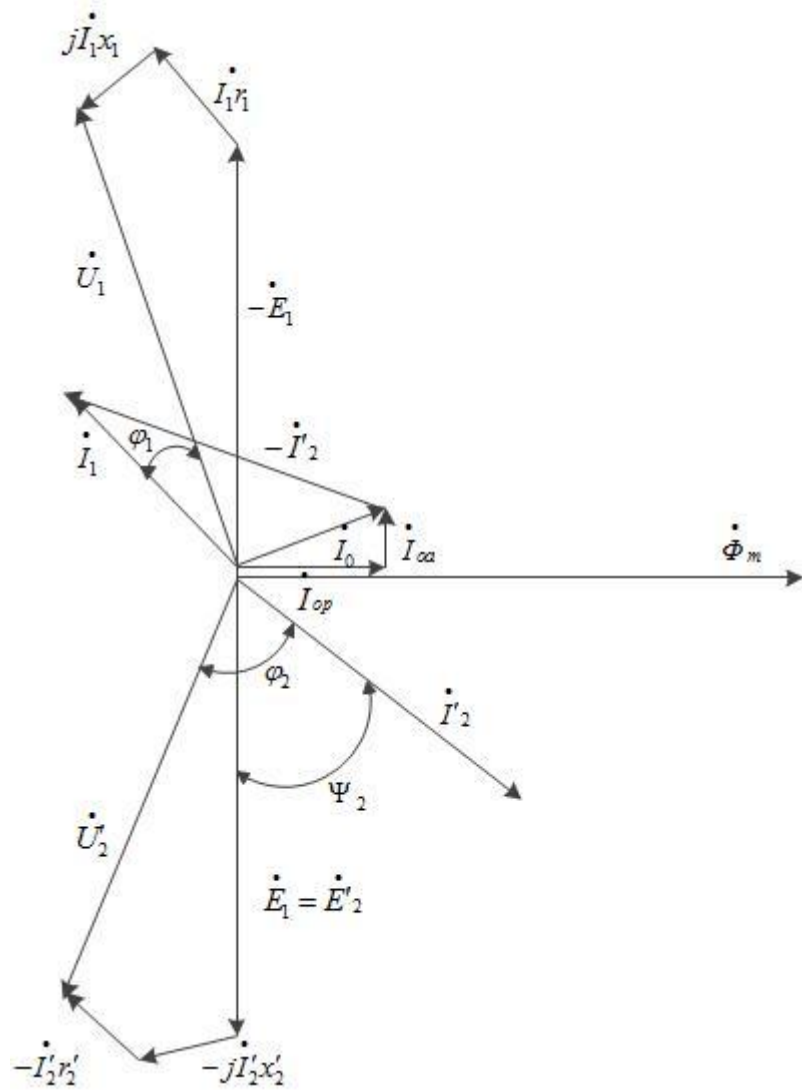


Рис (5.2) **Примерная** Векторная диаграмма приведённого трансформатора для случая активно-емкостной нагрузки.

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

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

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

$$P_2 = S \cdot K_{\text{НГ}} =$$

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

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

7. Ударный ток короткого замыкания

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

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

$$k_{\text{уд}} = \left(1 + e^{-\frac{\pi \cdot R_k}{\omega \cdot L_k}}\right) = \left(1 + e^{-\frac{\pi \cdot 0,4}{0,5}}\right) =$$