

## 1 Трансформаторы

### Задача № 1. Расчёт параметров однофазного трансформатора

Однофазный трансформатор малой мощности характеризуется следующими номинальными величинами: мощность  $S_n$ , первичное напряжение  $U_{1n}$ , вторичное напряжение  $U_{2n}$ , процентное значение тока холостого хода  $i_0$  %, мощность потерь в сердечнике трансформатора  $P_\sigma$ , процентное значение напряжения короткого замыкания  $u_k$  %, мощность потерь короткого замыкания  $P_{кн}$ . Числовые значения заданных величин исходных данных для каждого из вариантов указаны в таблице 2.1.

Определить:

1. Коэффициент трансформации трансформатора  $k$ , номинальные токи первичной  $I_{1n}$  и вторичной  $I_{2n}$  обмоток.
2. Начертить схему замещения трансформатора и определить параметры Т-образной схемы замещения.
3. КПД при коэффициенте нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . На основании расчетов построить зависимость  $\eta = f(\beta)$ .
4. Процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta u$  % и вторичное напряжение  $U_2$  при  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . На основании расчетов построить зависимость  $U_2 = f(\beta)$ .
5. Характер нагрузки, при котором вторичное напряжение не зависит от коэффициента  $\beta$ .

Таблица 2.1 – Исходные данные к задаче 1

Вариант	Тип трансформатора	$S_{\text{н}}$ , ВА	$U_{1\text{н}}$ , В	$U_{2\text{н}}$ , В	$i_0$ , %	$P_0$ , Вт	$u_{\text{к}}$ , %	$P_{\text{кн}}$ , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ОМ-О,3/6	300	6300	230	30	23	8	20
2	ОМ-0,66/6	660	6000	230	20	25	8	46
3	ОМ-1,2/6	1200	5150	230	20	32	7	66
4	ОМ-0,66/10	660	10500	230	30	25	8	46
5	ОМ-1,2/10	1200	10000	230	20	32	7	66
6	ОМ-1,2/6	1200	5700	115	20	32	7	66
7	ОМ-1,2/6	1200	5400	115	20	32	7	66
8	ОМ-1,2/10	1200	9500	115	20	32	7	66
9	ОМ-1,2/10	1200	9000	115	20	32	7	66
10	ОМ-1,2/10	1200	8590	115	20	32	7	66
11	ОМ-0,63/6	630	6000	230	34	18	6,8	42
12	ОМ-0,63/10	630	10000	230	34	18	6,8	42
13	ОМ-1,25/6	1250	6000	230	23	23	6	60
14	ОМ-1,25/10	1250	10000	230	23	23	6	60
15	ОМ-0,3/6	630	6000	115	34	18	6,8	42
16	ОМ-0,63/10	630	10000	115	34	18	6,8	42
17	ОМ-1,25/6	1250	600	115	23	23	6	60
18	ОМ-1,25/10	1250	1000	115	23	23	6	60
19	ПОБС-2АУЗ	300	220	17,6	14	20	12	20
20	ПОБС-3АУЗ	300	220	247,5	14	20	10	25
21	ПОБС-5АУЗ	300	220	44	14	18	11	20
22	ПРТ-АУЗ	65	220	12	4,4	3	15	5
23	ПТ-25АУЗ	65	220	60	4,4	3	14	4
24	ПТИУЗ	80	220	11,2	27	4,5	13	4
25	СОБСЗА	50	110	82,6	8	3	12	3
26	СТ-3	13	110	13	53	1	25	2
27	СТ-2	25	165	13	27	2	18	2
28	СТ-3	13	220	13	42	1,5	17	1,5
29	СКТ-1	12	220	165	50	3	17	1
30	СТ-2	25	165	13	29	1	15	2

Продолжение таблицы 2.1

Вариант	Тип трансформатора	$S_n$ , ВА	$U_{1н}$ , В	$U_{2н}$ , В	$i_o$ , %	$P_o$ , Вт	$\mu_k$ , %	$P_{кн}$ , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
31	ТБС	63	220	24	24	12,75	12	6,15
32	ТБС	100	220	24	24	20,23	9	6,6
33	ТБС	160	220	24	23	21,7	7	7,9
34	ТБС	250	220	24	22	31,25	5,5	9
35	ТБС	400	220	24	20	42,3	4,5	10,75
36	ТБС	630	220	24	19	59,2	3,5	12,1
37	ТБС	1000	220	24	18	83,7	2,5	12,5
38	ТБС	63	380	36	24	11,81	12	5,75
39	ТБС	100	380	36	24	17,85	9	6,2
40	ТБС	160	380	36	23	19,6	7	6,9
41	ТБС	250	380	36	22	38,3	5,5	7,75
42	ТБС	400	380	36	20	38,3	4,5	9,1
43	ТБС	630	380	36	19	50,3	3,5	10,7
44	ТБС	1000	380	36	18	66,7	2,5	11,46
45		63	660	42	24	10,86	12	5,35
46		100	660	42	24	15,47	9	5,8
47		160	660	42	23	17,5	7	5,8
48		250	660	42	22	25	5,5	6,45
49		400	660	42	20	34,4	4,5	7,44
50		630	660	42	19	41,4	3,5	9,1
51		1000	660	42	18	50,2	2,5	10,4
52	ТБС	63	220	36	24	9,92	12	4,92
53	ТБС	100	220	42	24	13,1	9	5,4
54	ТБС	160	380	24	23	15,4	7	4,8
55	ТБС	250	380	42	22	21,9	5,5	5,16
56	ТБС	400	380	24	20	35,7	4,5	8,7
57	ТБС	630	380	42	19	49,7	3,5	11,2
58		1000	660	36	18	71,4	2,5	12,3
59		63	660	36	24	11,3	12	5,75
60		100	660	24	24	16,7	9	6,1

## Пример решения задачи 1

Однофазный трансформатор малой мощности характеризуется следующими номинальными величинами: мощность  $S_n = 250$  ВА, первичное напряжение  $U_{1н} = 220$  В, вторичное напряжение  $U_{2н} = 24$  В, процентное значение тока холостого хода  $i_0 = 20$  %, мощность потерь в сердечнике трансформатора  $P_o = 10$  Вт, процентное значение напряжения короткого замыкания  $u_k$  составляет 7%, мощность потерь короткого замыкания  $P_{кз} = 15$  Вт

Определить:

1. Коэффициент трансформации трансформатора  $k$ , номинальные токи первичной  $I_{1н}$  и вторичной  $I_{2н}$  обмоток.
2. Начертить схему замещения трансформатора и определить параметры Т-образной схемы замещения.
3. КПД при коэффициенте нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . На основании расчетов построить зависимость  $\eta = f(\beta)$ .
4. Процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta u\%$  и вторичное напряжение  $U_2$  при  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . На основании расчетов построить зависимость  $U_2 = f(\beta)$ .
5. Характер нагрузки, при котором вторичное напряжение не зависит от коэффициента  $\beta$ .

*Решение.* 1. Коэффициент трансформации однофазного трансформатора  $k = U_{1н} / U_{2н} = 220 / 24 = 9,17$ .

Номинальный ток первичной обмотки

$$I_{1н} = S_n / U_{1н} = 250 / 220 = 1,14 \text{ А.}$$

Номинальный ток вторичной обмотки

$$I_{2н} = S_n / U_{2н} = 250 / 24 = 10,42 \text{ А.}$$

2. Т-образная схема замещения однофазного трансформатора приведена на рисунке 2.1.

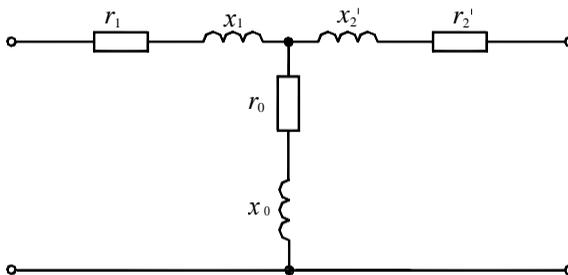


Рисунок 2.1 – Т-образная схема замещения однофазного трансформатора

Определение параметров схемы замещения начинаем с расчёта тока холостого хода

$$I_o = \frac{i_o \cdot I_{1H}}{100} = \frac{20}{100} \cdot 1,14 = 0,23 \text{ А,}$$

тогда полное сопротивление намагничивающей ветви:

$$z_o = U_{1H} / I_o = 220 / 0,23 = 956,5 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление намагничивающей ветви

$$r = \frac{P_o}{I_o^2} = \frac{10}{0,23^2} = 189,04 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивающей ветви

$$x_o = \sqrt{z_o^2 - r^2} = \sqrt{956,5^2 - 189,04^2} = 937,63 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление короткого замыкания

$$z_k = \frac{u_k U_{1H}^2}{100 S_H} = \frac{7 \cdot 220^2}{100 \cdot 250} = 13,55 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление короткого замыкания

$$r_k = P_k / I_{1H}^2 = 15 / 1,14^2 = 11,62 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{13,55^2 - 11,62^2} = 6,98 \text{ Ом.}$$

Активные сопротивления обмоток приведенного трансформатора

$$r_1 = r_2' = r_k / 2 = 11,62 / 2 = 5,81 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмоток трансформатора

$$x_1 = x_2' = x_k / 2 = 6,98 / 2 = 3,49 \text{ Ом.}$$

Сопротивления вторичной обмотки реального трансформатора

$$r_2 = r_2' / k^2, \quad x_2 = x_2' / k^2.$$

3. КПД при коэффициенте нагрузки  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  и коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2 = 0,8$  можно определить из выражения:

$$\eta = 1 - \frac{P_o + \beta^2 P_{KH}}{\beta S_H \cos \varphi_2 + P_o + \beta^2 P_{KH}}.$$

Результаты расчета КПД представлены в таблице 6.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета КПД

$\beta$	0	0,25	0,5	0,75	1
$\eta$	0	0,82	0,88	0,89	0,89

На основании результатов расчета, представленных в таблице 2.2, построим зависимость  $\eta = f(\beta)$ , представленную на рисунке 2.2.

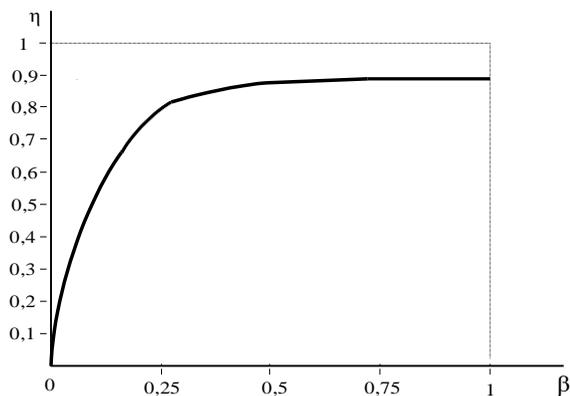


Рисунок 2.2 – Зависимость  $\eta = f(\beta)$

4. Процентное изменение вторичного напряжения  $\Delta u\%$  и вторичное напряжение  $U_2$  при  $\beta = (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0)$  для активно-индуктивной нагрузки  $\cos\varphi_2 = 0,8$  определяем, используя выражение:

$$\Delta u\% = \beta \left( \frac{I_{\text{н к}} r_2 + I_{\text{к}} x_2 \sin\varphi}{U_{1\text{н}}} \right) \cdot 100\%, \quad U_2 = \left( 1 - \frac{\Delta u\%}{100\%} \right) U_{2\text{н}}$$

Результаты расчета  $\Delta u\%$  и  $U_2$  представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчета КПД

$\beta$	0	0,25	0,5	0,75	1
$\Delta u\%$	0	1,74	3,48	5,22	6,96
$U_2, \text{В}$	24	23,58	23,16	22,75	22,33

На основании результатов расчета, представленных в таблице 2.3, построим зависимость  $U_2 = f(\beta)$ , представленную на рисунке 2.3.

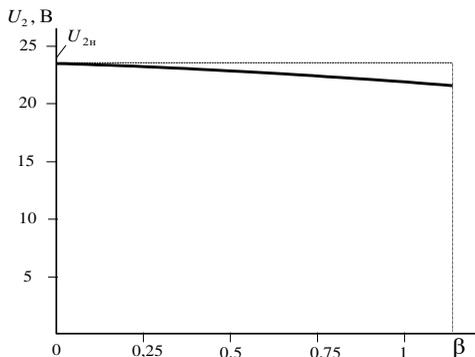


Рисунок 2.3 – Внешняя характеристика однофазного трансформатора

4. Напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки не будет зависеть от коэффициента нагрузки  $\beta$  при выполнении условия

$$I_{1н} r_k \cos \varphi_2 + I_{1н} x_k \sin \varphi_2 = 0,$$

значит

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = -r_k/x_k.$$

Отрицательный знак в правой части уравнения указывает на активно-емкостной характер нагрузки, а величина угла

$$\varphi_2 = -\operatorname{arctg} (r_k/x_k) = -\operatorname{arctg} (11,62/6,98) = -59^\circ.$$