

Практическая работа № 2

Потери мощности и электроэнергии в двухобмоточных трансформаторах

Цель работы – исследование потерь мощности и электроэнергии в двухобмоточных трансформаторах.

Задание

Исходные данные приведены в табл. 2.1. В соответствии с вариантом задан тип двух трансформаторов и максимальная нагрузка подстанции.

1. Расшифровать тип трансформатора, с помощью справочной литературы определить его паспортные данные.

2. Составить схему замещения двухтрансформаторной подстанции.

3. Определить в среде MathCad параметры схемы замещения.

4. Для максимальной нагрузки подстанции определить потери мощности в трансформаторах при работе двумя и одним трансформатором.

Определить потери электроэнергии в трансформаторах при работе двумя трансформаторами по графику нагрузки и с помощью времени максимальных потерь τ_M .

5. Для минимальной нагрузки подстанции $S_{MIN} = 0,5 \cdot S_{MAX}$ определить потери мощности в трансформаторах при работе двумя и одним трансформатором.

6. Построить характеристики потерь мощности ($\Delta P_{n=2} = f(S_{нагрузки}), \Delta P_{n=1} = f(S_{нагрузки})$) в одной системе координат. Диапазон изменения нагрузки принять $S_{нагрузки} = (0,2; 0,4; \dots 1,2; 1,4) \cdot S_{MAX}$. На характеристиках показать значение потерь мощности рассчитанных в 4 и 5 пунктах.

7. Выполнить анализ результатов, полученных в п. 4, 5 и 6 данной практической работы.

В выводах по работе выполнить анализ результатов, полученных в п. 4, 5 и 6 практической работы.

Технология выполнения заданий

1. Аббревиатура трансформаторов

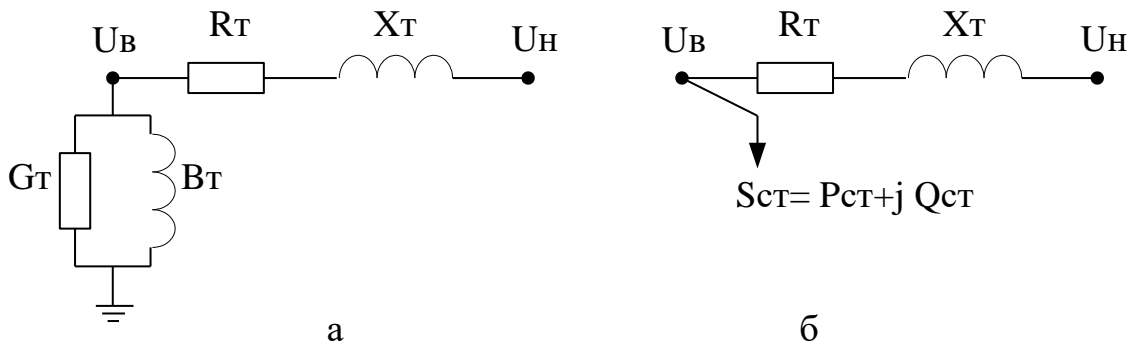
В аббревиатуре трансформатора последовательно (слева направо) приводится следующая информация:

- вид устройства (**А** – автотрансформатор, без обозначения – трансформатор);
- количество фаз (**О** – однофазный, **Т** – трехфазный);
- наличие расщепленной обмотки низшего напряжения – **Р**;

- система охлаждения (**М** – естественная циркуляция масла и воздуха, **Д** – принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла, **МЦ** – естественная циркуляция воздуха и принудительная циркуляция масла, **ДЦ** – принудительная циркуляция воздуха и масла и др);
- количество обмоток (без обозначения – двухобмоточный, **Т** – трехобмоточный);
- наличие устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН);
- исполнение (**З** – защитное, **Г** – грозоупорное, **У** – усовершенствованное, **Л** – с литой изоляцией);
- специфическая область применения (**С** – для систем собственных нужд электростанций, **Ж** – для электрификации железных дорог);
- номинальная мощность в $\text{kВ}\cdot\text{А}$,
- класс напряжения обмоток (напряжения сети, к которой подключается трансформатор) в kВ .

2. Схемы замещения трансформаторов

С учетом двух параллельно работающих трансформаторов на подстанции величины сопротивлений схем замещения (рис.2.1-2.2) уменьшаются в два раза, величины проводимостей увеличиваются в два раза.



а – с проводимостями; б – с мощностями в ветке намагничивания.

Рисунок 2.1 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора

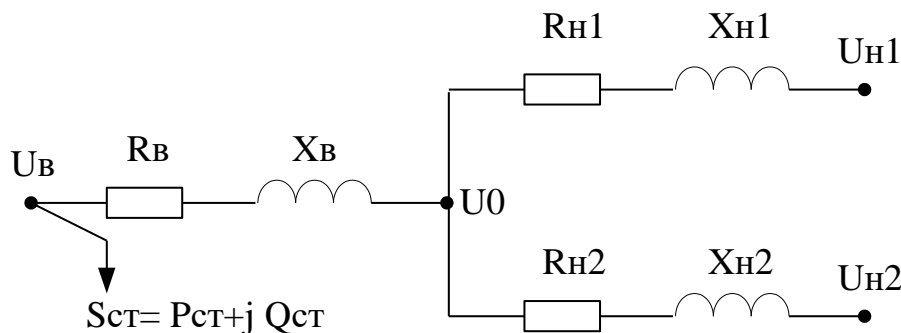


Рисунок 2.2 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения

3. Расчет параметров схемы замещения.

Активное сопротивление трансформаторов:

$$R_T = \frac{\Delta P_K \cdot U_{B.HOM}^2}{S_{HOM}^2}, \text{ Ом},$$

Индуктивное сопротивление:

$$X_T = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_{B.HOM}^2}{S_{HOM}}, \text{ Ом}.$$

Мощности ветви намагничивания:

$$\Delta S_{CT} = \Delta P_{CT} + j\Delta Q_{CT} = \Delta P_X + j\frac{I_X}{100} \cdot S_{HOM}, \text{ МВА}.$$

Проводимости ветви намагничивания:

$$G_T = \frac{\Delta P_X}{U_{B.HOM}^2}, \text{ См},$$

$$B_T = \frac{\Delta Q_X}{U_{B.HOM}^2}, \text{ См}.$$

Таблица 2.1 – Исходные данные

№ вар	Тип трансформатора	Нагрузка ПС $P_{MAX} + jQ_{MAX}$, МВА	График нагрузки						
			Рис. 2.3	P_1	t_1	P_2	t_2	P_3	t_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ТМН-1600/35	$2,7 + j1$	б)	2,7	2500	1,8	6000	1,0	8760
2	ТМН-4000/35	$2,5 + j1,2$	а)	2,5	4000	1,8	8760	—	—
3	ТДНС-16000/35	$9 + j6$	б)	9	1500	6	5000	3	8760
4	ТРДНС-25000/35	$35 + j10$	а)	35	3000	17,5	8760	—	—
5	ТРДНС-25000/35	$20 + j8$	б)	20	4000	10	6500	6	8760
6	ТРДНС-40000/35	$50 + j16$	а)	50	3500	20	8760	—	—
7	ТМН-6300/110	$4 + j2$	б)	4	2500	3	4200	2	8760
8	ТМН-6300/35	$5 + j3,7$	б)	5	2000	4	4000	2	8760
9	ТМН-2500/110	$3,5 + j2$	а)	3,5	3000	1,75	8760	—	—

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	ТРДН-25000/110	$15 + j7$	б)	15	2000	12	4500	10	8760
11	ТРДН-40000/110	$52 + j12$	б)	52	2500	40	4500	25	8760
12	ТДН-10000/110	$18 + j7$	а)	18	3500	7	8760	—	—
13	ТДЦ-200000/110	$160 + j40$	б)	160	3000	120	5000	80	8760
14	ТДН-10000/110	$10 + j6,2$	б)	10	3500	8	5000	4	8760
15	ТРДН-25000/110	$21 + j12$	б)	21	3500	17	6000	12	8760
16	ТДЦ-125000/150	$60 + j30$	б)	60	1800	50	5200	40	8760
17	ТМН-4000/150	$3 + j1,5$	б)	3	2800	2,5	3700	1,5	8760
18	ТМН-6300/110	$11 + j4$	б)	11	2400	8	3200	5,5	8760
19	ТДЦ-80000/220	$56 + j18$	б)	56	2200	47	4500	35	8760
20	ТРДН-40000/220	$40 + j25$	б)	40	1800	35	5600	30	8760
21	ТРДНС-40000/220	$62 + j18$	а)	62	4800	31	8760	—	—
22	ТДЦ-125000/330	$70 + j46$	б)	70	3100	60	4500	50	8760
23	ТРДН-40000/330	$50 + j16$	б)	50	1700	30	3500	20	8760
24	ТРДЦН-63000/330	$75 + j34$	б)	75	1600	50	3800	45	8760
25	ТДЦ-250000/500	$160 + j70$	б)	160	2300	120	4500	100	8760
26	ТМН-6300/35	$9 + j4,5$	б)	9	2100	6	3700	3,6	8760
27	ТМН-6300/110	$10 + j5$	б)	10	3000	7	4800	5	8760
28	ТМН-6300/35	$5 + j3,8$	б)	5	2000	4	4000	2	8760
29	ТМН-1600/35	$2,5 + j1,5$	а)	2,5	3500	1,5	8760	—	—
30	ТДНС-16000/35	$12 + j5$	а)	12	4000	6	8760	—	—

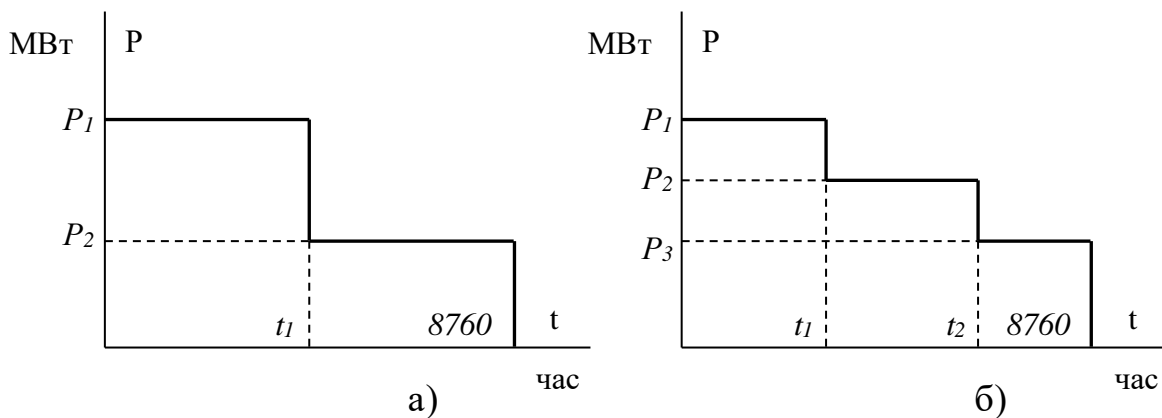


Рисунок 2.3 - Графики активной нагрузки P.

Требования к отчету по работе

Отчет по работе должен содержать наименование работы, цель, задание согласно варианту, схемы замещения, математические формулы и соотношения для расчета, результаты расчетов, результаты анализа в виде графических зависимостей и таблиц, выводы.

Вопросы, выносимые на защиту работы, относятся к теме работы и касаются проделанного анализа, выводов с целью уточнения или расширения.

Пример выполнения практической работы в программе MathCad

ORIGIN = 0

Потери мощности и электроэнергии в двухобмоточных трансформаторах

Цель работы – исследование потерь мощности и электроэнергии в двухобмоточных трансформаторах.

Выполнение работы

Исходные данные

Тип трансформатора: ТМН-1600/35

Количество параллельно работающих трансформаторов $N_T := 2$

Номинальная мощность $S_{НОМ} := 1.6$ МВА

Номинальное напряжение

со стороны ВН $U_{В.НОМ} := 35$ кВ

со стороны НН $U_{Н.НОМ} := 6.3$ кВ

Потери активной мощности из опыта КЗ

$dP_{КЗ} := 16.5$ кВт

Потери активной мощности из опыта ХХ

$dP_{ХХ} := 2.9$ кВт

Напряжение короткого замыкания

$U_{КЗ} := 6.5$ %

Ток холостого хода

$I_{ХХ} := 1.3$ %

Нагрузка подстанции

$P_{МАХ} := 2.7$ МВт $Q_{МАХ} := 1$ Мвар

График нагрузки

$P_1 := 2.7$ $t_1 := 2500$ $P_2 := 1.8$ $t_2 := 6000$
 $P_3 := 1.0$ $t_3 := 8760$

Расчет

3) Определение параметров схемы замещения трансформатора

Активное сопротивление

$$R_T := dP_{KZ} \cdot 10^3 \cdot \frac{U_{B.HOM}^2 \cdot 10^6}{S_{HOM}^2 \cdot 10^{12}} \quad R_T = 7.896 \quad \text{Ом}$$

Индуктивное сопротивление

$$X_T := \frac{U_{KZ}}{100} \cdot \frac{U_{B.HOM}^2 \cdot 10^6}{S_{HOM} \cdot 10^6} \quad X_T = 49.766 \quad \text{Ом}$$

С учетом двух параллельно работающих трансформаторов

$$X_{T.EKV} := \frac{X_T}{N_T} \quad X_{T.EKV} = 24.883 \quad \text{Ом}$$

Потери реактивной мощности из опыта ХХ

$$dQ_{XX} := \frac{I_{XX}}{100} \cdot S_{HOM} \quad dQ_{XX} = 0.021 \quad \text{МВАр}$$

Потери мощности в стали с учетом двух параллельно работающих трансформаторов

$$dS_{CT} := N_T \left(\frac{dP_{XX}}{10^3} + i dQ_{XX} \right) \quad dS_{CT} = 5.8 \times 10^{-3} + 0.042i \quad \text{МВА}$$

4) Определение потерь мощности и электроэнергии в двухобмоточных трансформаторах при максимальной нагрузке.

4.1) Потери мощности

В работе находятся $N_T = 2$ трансформатора

- потери мощности по справочным данным

$$dP_T := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{P_{MAX}^2 + Q_{MAX}^2}{S_{HOM}^2} =$$

$$dP_T = 0.033 \quad \text{МВт}$$

$$dQ_T := N_T \cdot dQ_{XX} + \frac{U_{KZ}}{N_T \cdot 100} \cdot \frac{P_{MAX}^2 + Q_{MAX}^2}{S_{HOM}} =$$

$$dQ_T = 0.21 \quad \text{МВАр}$$

- потери мощности по схеме замещения

$$dP_{T_} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + R_{T.EKV} \cdot \frac{P_{MAX}^2 + Q_{MAX}^2}{U_{B.HOM}^2} =$$

$$dP_{T_} = 0.033 \quad \text{МВт}$$

$$dQ_{T_} := N_T \cdot dQ_{XX} + X_{T.EKV} \cdot \frac{P_{MAX}^2 + Q_{MAX}^2}{U_{B.HOM}^2} =$$

$$dQ_{T_} = 0.21 \quad \text{МВАр}$$

Выводы: результаты расчетов потерь мощности по справочным данным и по схеме замещения дают одинаковый результат.

При отключении одного трансформатора

в работе находятся $N_T := 1$ трансформатор

- потери мощности по справочным данным

$$dP_{T1} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{P_{MAX}^2 + Q_{MAX}^2}{S_{НОМ}^2} =$$

$$dP_{T1} = 0.056 \text{ МВт}$$

$$dQ_{T1} := N_T \cdot dQ_{XX} + \frac{U_{KZ}}{N_T \cdot 100} \cdot \frac{P_{MAX}^2 + Q_{MAX}^2}{S_{НОМ}} =$$

$$dQ_{T1} = 0.358 \text{ МВар}$$

$$dP_T = 0.033 \text{ МВт}$$

$$dQ_T = 0.21 \text{ МВар}$$

- потери мощности по схеме замещения

$$dP_{T1_} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + R_T \cdot \frac{P_{MAX}^2 + Q_{MAX}^2}{U_{В.НОМ}^2} =$$

$$dP_{T1_} = 0.056 \text{ МВт}$$

$$dQ_{T1_} := N_T \cdot dQ_{XX} + X_T \cdot \frac{P_{MAX}^2 + Q_{MAX}^2}{U_{В.НОМ}^2} =$$

$$dQ_{T1_} = 0.358 \text{ МВар}$$

$$dP_{T1} = 0.056 \text{ МВт}$$

$$dQ_{T1} = 0.358 \text{ МВар}$$

Выводы: при максимальной нагрузке потери мощности при работе двумя трансформаторами меньше, чем при работе одним трансформатором.

4.2) Потери электроэнергии.

При максимальной нагрузке и при работе двух трансформаторов

$$P_1 = 2.7 \quad t_1 = 2.5 \times 10^3 \quad P_2 = 1.8 \quad t_2 = 6 \times 10^3 \quad P_3 = 1 \quad t_3 = 8.76 \times 10^3$$

$$Q_1 := Q_{MAX} \quad N_T := 2$$

4.2.1) Определяем потери электроэнергии по графику нагрузки

Потери мощности при 100% нагрузке:

$$P_1 = 2.7 \quad Q_1 = 1 \quad dP_{T.100} = dP_T \quad dP_{T.100} = 0.033 \text{ МВт}$$

Потери мощности при нагрузке

$$P_2 = 1.8 \quad Q_2 := Q_1 \cdot \frac{P_2}{P_1}$$

$$\frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = 67$$

$$Q_2 = 0.667$$

$$dP_{T.67} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{P_2^2 + Q_2^2}{S_{НОМ}^2}$$

$$dP_{T.67} = 0.018 \text{ МВт}$$

Потери мощности при нагрузке

$$P_3 = 1 \quad Q_3 := Q_1 \cdot \frac{P_3}{P_1}$$

$$Q_3 = 0.37 \quad \frac{P_3}{P_1} \cdot 100 = 37$$

$$dP_{T,37} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{P_3^2 + Q_3^2}{S_{НОМ}^2}$$

$$dP_{T,37} = 9.465 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

Потери электроэнергии

$$dW_{\text{График}} := dP_{T,100}t_1 + dP_{T,67}(t_2 - t_1) + dP_{T,37}(8760 - t_2)$$

$$dW_{\text{График}} = 169.3 \text{ МВтчас}$$

4.2.2) Определяем потери электроэнергии с помощью времени максимальных потерь

$$T_M := \frac{P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot (t_2 - t_1) + P_3 \cdot (8760 - t_2)}{P_1} \quad T_M = 5.856 \times 10^3 \text{ час}$$

$$\tau_M := \left(0.124 + \frac{T_M}{10^4} \right)^2 \cdot 8760 \quad \tau_M = 4.41 \times 10^3 \text{ час}$$

$$dW_{\tau_M} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} \cdot 8760 + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{P_1^2 + Q_1^2}{S_{НОМ}^2} \cdot \tau_M$$

$$dW_{\tau_M} = 168.6 \text{ МВтчас}$$

5) Определение потерь мощности и электроэнергии в двухобмоточных трансформаторах при минимальной нагрузке

5.1) Потери мощности

$$P_{\text{MAX}} = 2.7 \quad Q_{\text{MAX}} = 1$$

$$P_{\text{MIN}} := 0.5 \cdot P_{\text{MAX}} \quad Q_{\text{MIN}} := 0.5 \cdot Q_{\text{MAX}}$$

$$P_{\text{MIN}} = 1.35 \quad Q_{\text{MIN}} = 0.5$$

В работе находятся $N_T = 2$ трансформатора

- потери мощности по справочным данным

$$dP_{T.min} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{P_{MIN}^2 + Q_{MIN}^2}{S_{HOM}^2} =$$

$$dP_{T.min} = 0.012 \text{ МВт}$$

$$dQ_{T.min} := N_T \cdot dQ_{XX} + \frac{U_{KZ}}{N_T \cdot 100} \cdot \frac{P_{MIN}^2 + Q_{MIN}^2}{S_{HOM}} =$$

$$dQ_{T.min} = 0.084 \text{ МВар}$$

- потери мощности по схеме замещения

$$dP_{T.min_} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + R_{T.EKV} \cdot \frac{P_{MIN}^2 + Q_{MIN}^2}{U_{B.HOM}^2} =$$

$$dP_{T.min_} = 0.012 \text{ МВт}$$

$$dQ_{T.min_} := N_T \cdot dQ_{XX} + X_{T.EKV} \cdot \frac{P_{MIN}^2 + Q_{MIN}^2}{U_{B.HOM}^2} =$$

$$dQ_{T.min_} = 0.084 \text{ МВар}$$

При отключении одного трансформатора

в работе находятся $N_T := 1$ трансформатор

- потери мощности по справочным данным

$$dP_{T1.min} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{P_{MIN}^2 + Q_{MIN}^2}{S_{HOM}^2} =$$

$$dP_{T1.min} = 0.016 \text{ МВт}$$

$$dQ_{T1.min} := N_T \cdot dQ_{XX} + \frac{U_{KZ}}{N_T \cdot 100} \cdot \frac{P_{MIN}^2 + Q_{MIN}^2}{S_{HOM}} =$$

$$dQ_{T1.min} = 0.105 \text{ МВар}$$

- потери мощности по схеме замещения

$$dP_{T1.min_} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + R_T \cdot \frac{P_{MIN}^2 + Q_{MIN}^2}{U_{B.HOM}^2} =$$

$$dP_{T1.min_} = 0.016 \text{ МВт}$$

$$dQ_{T1.min_} := N_T \cdot dQ_{XX} + X_T \cdot \frac{P_{MIN}^2 + Q_{MIN}^2}{U_{B.HOM}^2} =$$

$$dQ_{T1.min_} = 0.105 \text{ МВар}$$

$$dP_{T.min} = 0.012 \text{ МВт} < dP_{T1.min} = 0.016 \text{ МВт}$$

$$dQ_{T1.min} = 0.105 \text{ МВар} < dQ_{T1.min} = 0.105 \text{ МВар}$$

Выводы: при минимальной нагрузке потери активной и реактивной мощности при работе двумя трансформаторами меньше, чем при работе одним трансформатором.

б) Определение зависимостей потери активной мощности от нагрузки подстанции.

В работе находятся $N_T = 2$ трансформатора

$$k := 1, 2..7$$

$$P_{NAV_k} := 0.2 \cdot k \cdot P_{MAX}$$

$$Q_{NAV_k} := 0.2 \cdot k \cdot Q_{MAX}$$

$$P_{NAV_k} =$$

$$Q_{NAV_k} =$$

0.54
1.08
1.62
2.16
2.7
3.24
3.78

0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4

- потери мощности по справочным данным

- потери мощности по схеме замещения

$$dP_{T_k} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{(P_{NAV_k})^2 + (Q_{NAV_k})^2}{S_{HOM}^2}$$

$$dP_{T-k} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + R_{T.EKV} \cdot \frac{(P_{NAV_k})^2 + (Q_{NAV_k})^2}{U_{B.HOM}^2}$$

$$dP_{T_k} = \text{МВт}$$

$$dP_{T-k} = \text{МВт}$$

6.869 · 10 ⁻³
0.01
0.015
0.023
0.033
0.044
0.058

6.869 · 10 ⁻³
0.01
0.015
0.023
0.033
0.044
0.058

При отключении одного трансформатора

в работе находятся $N_T := 1$ трансформатор

- потери мощности по справочным данным

- потери мощности по схеме замещения

$$dP_{T1_k} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + \frac{dP_{KZ}}{N_T \cdot 10^3} \cdot \frac{(P_{NAV_k})^2 + (Q_{NAV_k})^2}{S_{HOM}^2}$$

$$dP_{T1-k} := N_T \cdot \frac{dP_{XX}}{10^3} + R_T \cdot \frac{(P_{NAV_k})^2 + (Q_{NAV_k})^2}{U_{B.HOM}^2}$$

$$dP_{T1_k} = \text{МВт}$$

$$dP_{T1-k} = \text{МВт}$$

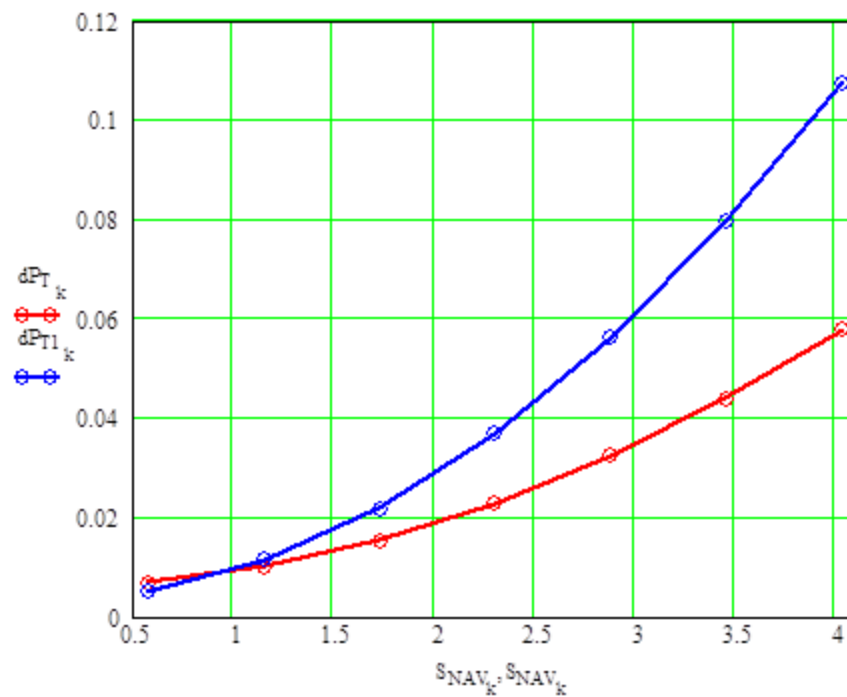
5.037 · 10 ⁻³
0.011
0.022
0.037
0.056
0.08
0.108

5.037 · 10 ⁻³
0.011
0.022
0.037
0.056
0.08
0.108

$$S_{NAV_k} := \sqrt{(P_{NAV_k})^2 + (Q_{NAV_k})^2}$$

$$S_{NAV_k} =$$

0.576
1.152
1.728
2.303
2.879
3.455
4.031



Выводы: при нагрузке менее 0,9 МВА на подстанции целесообразна работа одного трансформатора, при нагрузке более 0,9 МВА – двух трансформаторов.