



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

ПРАКТИКА № 4

Преподаватель: Никитин Дмитрий Сергеевич
к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ
248 ауд. 8 корп., вн. тел. 1978

Томск – 2023



Курсовой проект

Текущий контроль			80
	Посещение практических занятий	16*0,25	4
	Лабораторные работы (выполнение и защита)	4	40
	Контрольные работы	2*15	30
	Проверочные работы (мини-задачи)	6*1	6

Оценочные мероприятия		Кол-во	баллы
ДПП	Баллы лектора	1	10
		ИТОГО	10



Курсовой проект

Разработка топологической структуры схемы электрической сети:

- Выбор трансформаторов (автотрансформаторов) на подстанциях
- Определение сопротивлений и проводимостей трансформаторов (автотрансформаторов)



Выбор трансформаторов (автотрансформаторов) на подстанциях производится с использованием формулы

$$S_{\text{т.ном}} \geq \frac{P_{\text{max}}}{k_{\text{пер}}(n - 1)},$$

где $S_{\text{т.ном}}$ – номинальная мощность выбираемого трансформатора (автотрансформатора), МВ·А;

P_{max} – активная максимальная мощность ПС, МВт;

$k_{\text{пер}}$ – коэффициент допустимой перегрузки трансформатора (автотрансформатора): согласно ПТЭ ЭС и С при длительности перегрузки в 120 минут, коэффициент допустимой перегрузки $k_{\text{пер}}$ будет равняться 1,3;

n – количество трансформаторов на ПС: для ЭП I и II категорий необходимо произвести установку как минимум двух трансформаторов.

Выбрать автотрансформатор в случае УП для радиальной схемы с разными напряжениями.



Необходимо провести проверку допустимости работы режима автотрансформатора.

Необходимо рассчитать коэффициент выгоды автотрансформатора, типовую мощность автотрансформатора, допустимые токи общей и последовательной обмоток, мощности, на которые загружены обмотки СН и ВН, реальные токи общей и последовательной обмоток трансформатора.

$$\alpha = 1 - \frac{U_{\text{ном СН}}}{U_{\text{ном ВН}}},$$

где α – коэффициент выгоды автотрансформатора;

$U_{\text{ном СН}}$ – номинальное напряжение обмотки СН, кВ;

$U_{\text{ном ВН}}$ – номинальное напряжение обмотки ВН, кВ.

$$S_{\text{тип}} = \alpha S_{\text{ном}},$$

где $S_{\text{тип}}$ – типовая мощность автотрансформатора, МВ·А;

α – коэффициент выгоды автотрансформатора;

$S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность автотрансформатора, МВ·А.



Определение сопротивлений и проводимостей линий электропередачи

$$I_{\text{общ, доп}} = \frac{S_{\text{тип}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном СН}}},$$

где $I_{\text{общ, доп}}$ – допустимый ток общей обмотки, А;

$S_{\text{тип}}$ – типовая мощность автотрансформатора, В·А;

$U_{\text{ном СН}}$ – номинальное напряжение обмотки СН, В.

$$I_{\text{посл, доп}} = \frac{S_{\text{тип}}}{\sqrt{3} \cdot (U_{\text{ном ВН}} - U_{\text{ном СН}})},$$

где $I_{\text{посл, доп}}$ – допустимый ток последовательной обмотки, А;

$S_{\text{тип}}$ – типовая мощность автотрансформатора, В·А;

$U_{\text{ном ВН}}$ – номинальное напряжение обмотки ВН, В;

$U_{\text{ном СН}}$ – номинальное напряжение обмотки СН, В.

$$S_{\text{СН}} = S_{\text{max3}} + S_{\text{max4}},$$

где $S_{\text{СН}}$ – мощность, на которую загружена обмотка СН, МВ·А;

S_{max3} – модуль полной мощности ПС №3, МВ·А;

S_{max4} – модуль полной мощности ПС №4, МВ·А.

$$S_{\text{ВН}} = S_{\text{СН}} + S_{\text{max2}},$$

где $S_{\text{ВН}}$ – мощность, на которую загружена обмотка ВН, МВ·А;

$S_{\text{СН}}$ – мощность, на которую загружена обмотка СН, МВ·А;

S_{max2} – модуль полной мощности ПС №2.



Определение сопротивлений и проводимостей линий электропередачи

$$I_{\text{общ.реальн}} = \frac{S_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном ВН}}} - \frac{S_{\text{СН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном СН}}},$$

где $I_{\text{общ.реальн}}$ – реальный ток общей обмотки, А;

$S_{\text{ВН}}$ – мощность, на которую загружена обмотка ВН, В·А;

$S_{\text{СН}}$ – мощность, на которую загружена обмотка СН, В·А;

$U_{\text{ном ВН}}$ – номинальное напряжение обмотки ВН, В;

$U_{\text{ном СН}}$ – номинальное напряжение обмотки СН, В.

$$I_{\text{посл.реальн}} = \frac{S_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном ВН}}},$$

где $I_{\text{посл.реальн}}$ – реальный ток последовательной обмотки, А;

$S_{\text{ВН}}$ – мощность, на которую загружена обмотка ВН, В·А;

$U_{\text{ном ВН}}$ – номинальное напряжение обмотки ВН, В.



Режим работы автотрансформатора является допустимым, если выполняются условия

$$\begin{aligned} |I_{\text{общ.реальн}}| &< |I_{\text{общ.доп}}|, \\ |I_{\text{посл.реальн}}| &< |I_{\text{посл.доп}}|. \end{aligned}$$

Также мощность, передаваемая в обмотку НН не должна превышать типовую мощность автотрансформатора.



Определение сопротивлений и проводимостей линий электропередачи

Таблица – Выбранные трансформаторы на подстанциях

Вариант схемы	Номер ПС	Расчетная мощность трансформатора $S_{\text{тр,расч}}$, МВ·А	Номинальная мощность трансформатора $S_{\text{тр,ном}}$, МВ·А	Тип трансформатора
Радialная	1	96,15	100	ТРДЦН – 100000/220
	2	51,48	125	АТДЦТН – 125000/220/110
	3	20,64	25	ТРДН – 25000/110
	4	9,86	10	ТДН – 10000/110
Кольцевая	1	96,15	100	ТРДЦН – 100000/220
	2	20,98	32	ТРДН – 32000/220
	3	20,64	32	ТРДН – 32000/220
	4	9,86	32	ТРДН – 32000/220

Определение сопротивлений и проводимостей линий электропередачи

Характеристики выбранных трансформаторов на подстанциях

№ ПС		Радиальный вариант схемы электрической сети			Кольцевой вариант схемы электрической сети			
		1	3	4	1	2	3	4
Тип трансформатора		ТРДЦН – 100000/220	ТРДН – 25000/110	ТДН – 10000/110	ТРДЦН – 100000/220	ТРДН – 32000/220	ТРДН – 32000/220	ТРДН – 32000/220
$S_{ном}, МВ\cdot А$		100	25	10	100	32	32	32
Регулирование напряжения		РПН в <u>нейтрали</u> ВН ±12 %, ±12 ступеней	РПН в <u>нейтрали</u> ВН, ±9×1,78 %	РПН в <u>нейтрали</u> ВН, ±9×1,78 %	РПН в <u>нейтрали</u> ВН ±12 %, ±12 ступеней	РПН в <u>нейтрали</u> ВН ±12 %, ±12 ступеней	РПН в <u>нейтрали</u> ВН ±12 %, ±12 ступеней	РПН в <u>нейтрали</u> ВН ±12 %, ±12 ступеней
$U_{ном}$ обмоток, кВ	ВН	230	115	115	230	230	230	230
	НН	11– 11	10,5 – 10,5	11	11– 11	11– 11	11– 11	11– 11
$u_k, \%$	ВН – НН	12,5	10,5	10,5	12,5	11,5	11,5	11,5
	ВН – НН1	23	20	–	23	21	21	21
$\Delta P_x, кВт$		340	120	60	340	150	150	150
$\Delta P_x, кВт$		70	27	14	70	45	45	45
$I_x, \%$		0,5	0,7	0,7	0,5	0,65	0,65	0,65
$\Delta Q_x, квар$		500	175	70	500	208	208	208
k_T		–	–	0,096	–	–	–	–
$k_{T\ В-Н1} = k_{T\ В-Н2}$		0,048	0,091	–	0,048	0,048	0,048	0,048



Определение сопротивлений и проводимостей линий электропередачи

Характеристики автотрансформатора АТДЦТН – 125000/220/110, установленного на узловой ПС №2
радиального варианта схемы электрической сети

Тип трансформатора		АТДЦТН – 125000/220/110
$S_{\text{ном}}$, МВ·А		125
Регулирование напряжения		РПН в линии СН $\pm 12\%$, ± 6 ступеней
$U_{\text{ном}}$ обмоток, кВ	ВН	230
	СН	121
	НН	11
$u_{\text{к}}$, %	ВН – СН	11
	СН – НН	28
	ВН – НН	45
$\Delta P_{\text{к}}$, кВт (ВН – СН)		305
$\Delta P_{\text{х}}$, кВт		65
$I_{\text{к}}$, %		0,5
$\Delta Q_{\text{х}}$, квар		625
$k_{\text{ат в-н}}$		0,048
$k_{\text{ат в-с}}$		0,526



Определение сопротивлений и проводимостей трансформаторов (автотрансформаторов)

Производится выбор/расчет сопротивлений и проводимостей трансформаторов и автотрансформаторов

Сопротивления и проводимости трансформаторов

№ ПС	Радиальный вариант схемы электрической сети			Кольцевой вариант схемы электрической сети			
	1	3	4	1	2	3	4
Тип трансформатора	ТРДЦН – 100000/220	ТРДН – 25000/110	ТДН – 10000/110	ТРДЦН – 100000/220	ТРДН – 32000/220	ТРДН – 32000/220	ТРДН – 32000/220
$R_T, \text{ Ом}$	–	–	7,95	–	–	–	–
$X_T, \text{ Ом}$	–	–	139	–	–	–	–
K_p	3,36	3,62	–	3,36	3,304	3,304	3,304
$R_{T\bar{B}}, \text{ Ом}$	0,90	1,27	–	0,90	3,875	3,875	3,875
$R_{T\bar{H}1} = R_{T\bar{H}2}, \text{ Ом}$	1,8	2,54	–	1,8	7,75	7,75	7,75
$X_{T\bar{B}}, \text{ Ом}$	10,58	5,28	–	10,58	28,326	28,326	28,326
$X_{T\bar{H}1} = X_{T\bar{H}2}, \text{ Ом}$	111,09	100,54	–	111,09	314,061	314,061	314,061
$G_T, \text{ мкСм}$	1,323	2,042	1,059	1,323	0,851	0,851	0,851
$B_T, \text{ мкСм}$	9,452	13,233	5,293	9,452	3,932	3,932	3,932

Определение сопротивлений и проводимостей трансформаторов

	P_{\max} , МВт	$U_{\text{вн}}$, кВ	$U_{\text{нн}}$, кВ	$K_{\text{к}}$, %
Барулин Виктор Владимирович	0,1	6,3	0,4	100
Бернякович Елена Андреевна	0,2	10	0,4	80
Бибиков Виктор Дмитриевич	0,4	35	10	90
Васильев Игорь Дмитриевич	0,8	35	6,3	0
Водяникова Юлия Владимировна	10	110	11	20
Гайдук Константин Александрович	20	110	6,3	50
Горяев Аркадий Олегович	60	220	11	60
Григорьев Максим Александрович	0,3	6,3	0,4	70
Грицаев Евгений Иванович	0,4	10	0,4	100
Данилов Александр Андреевич	1,0	35	10	0
Десятов Алексей Владимирович	3,0	35	6,3	90
Карагулов Ильяс Рустамович	40	110	11	0
Кашкаров Максим Евгеньевич	60	110	6,3	20
Киргизалиев Темурбек Абдусаломович	0,6	6,3	0,4	50
Кокорин Даниил Александрович	0,5	10	0,4	60
Миронов Руслан Андреевич	5,0	35	10	70
Прилипко Елена Владимировна	10	35	6,3	100
Самсонов Данила Петрович	80	220	11	80
Сарнаков Денис Дмитриевич	0,7	6,3	0,4	90
Сорока Дмитрий Борисович	0,6	10	0,4	0
Старостин Михаил Иванович	15	35	10	20
Хромов Михаил Викторович	20	35	6,3	50
Шароян Араик Борисович	70	110	11	60
Шкарпетин Александр Сергеевич	80	110	6,3	70

П.2. Технические данные трансформаторов и автотрансформаторов

Таблица П.2.1. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 6 и 10 кВ

Тип трансформатора	$S_{\text{н}}$, кВ·А	Каталожные данные					
		$U_{\text{н}}$ обмоток, кВ		$U_{\text{к}}$, %	$\Delta P_{\text{к}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %
		ВН	НН				
ТМ-25/6	25	6,3	0,4	4,5	0,6	0,13	3,2
ТМ-25/10	25	10	0,4	4,7	0,69	0,13	3,2
ТМ-40/6	40	6,3	0,4	4,5	0,88	0,19	3,0
ТМ-40/10	40	10	0,4	4,7	1,00	0,19	3,0
ТМ-63/6	63	6,3	0,4	4,5	1,28	0,26	2,8
ТМ-63/10	63	10	0,4	4,7	1,47	0,26	2,8
ТМ-100/6	100	6,3	0,4	4,5	1,97	0,36	2,6
ТМ-100/10	100	10	0,4	4,7	2,27	0,36	2,6
ТМ-160/6	160	6,3	0,4	4,5	2,65	0,56	2,4
ТМ-160/10	160	10	0,4	4,5	2,65	0,56	2,4
ТМ-250/10	250	10	0,4	4,5	3,7	1,05	2,3
ТМ-400/10	400	10	0,4	4,5	5,5	0,92	2,1
ТМ-630/10	630	10	0,4	5,5	7,6	1,42	2,0
ТМ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	12,2	2,1	2,8

Таблица П.2.2. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 35 кВ

Тип трансформатора	S_H , МВ·А	Каталожные данные					
		U_H обмоток, кВ		U_K , %	ΔP_K , кВт	ΔP_X , кВт	I_X , %
		ВН	НН				
ТМ-100/35	0,1	35	0,4	6,5	1,9	0,5	2,6
ТМ-160/35	0,16	35	0,4	6,5	2,6; 3,1	0,7	2,4
ТМ-250/35	0,25	35	0,4; 0,69	6,5	3,7; 4,2	1,0	2,3
ТМН(ТМ)-400/35	0,4	35	0,4; 0,69	6,5	5,5; 5,9	1,3	2,1
ТМН(ТМ)-630/35	0,63	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	7,6; 8,5	1,9	2,0
ТМН(ТМ)-1000/35	1,0	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	12,2; 11,6	2,7	1,5
ТМН(ТМ)-1600/35	1,6	35	0,69; 6,3; 11	6,5	18,0; 16,5	3,6	1,4
ТМН(ТМ)-2500/35	2,5	35	0,69; 6,3; 11	6,5	25,0; 23,5	5,1	1,1
ТМН(ТМ)-4000/35	4,0	35	6,3; 11	7,5	33,5	6,7	1,0
ТМН(ТМ)-6300/35	6,3	35	6,3; 11	7,9	46,5	9,4	0,9
ТДН-10000/35	10	36,75	6,3; 10,5	8,0	65	14,5	0,8
ТДН-16000/35	16	36,75	6,3; 10,5	8,0	90	21	0,75
ТДН-25000/35	25	36,75	6,3; 10,5	8,0	125	29	0,7
ТРДНС-25000/35	25	36,75	6,3/6,3; 10,5/10,5	9,5	115	25	0,5
ТРДНС-32000/35	32	36,75	6,3/6,3; 10,5/10,5	11,5	145	30	0,45
ТРДНС-40000/35	40	36,75	6,3/6,3; 10,5/10,5	11,5	170	36	0,4

Примечания: 1. Регулирование напряжения осуществляется на стороне ВН путем РПН или ПБВ.

2. Пределы регулирования трансформаторов ТМ — $\pm 2 \times 2,5\%$, ТМН — $\pm 6 \times 1,5\%$, ТДН и ТРДНС — $\pm 8 \times 1,5\%$

Таблица П.2.3. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип трансформатора	$S_{нн}$, МВ·А	Каталожные данные					
		$U_{нн}$ обмоток, кВ		$U_{к1}$, %	$\Delta P_{к1}$, кВт	$\Delta P_{х1}$, кВт	$I_{х1}$, %
		ВН	НН				
ТМН-2500/110	2,5	110	6,6; 11	10,5	22	5,5	1,5
ТМН-6300/110	6,3	115	6,6; 11	10,5	44	11,5	0,8
ТДН-10000/110	10	115	6,6; 11	10,5	60	14	0,7
ТДН-16000/110	16	115	6,6; 11	10,5	85	19	0,7
ТРДН-25000/110	25	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	120	27	0,7
ТРДН-40000/110	40	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	172	36	0,65
ТРДН-63000/110	63	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	260	59	0,6
ТРДН-80000/110	80	115	6,3/6,3; 6,3/10,5; 10,5/10,5	10,5	310	70	0,6
ТРДН-125000/110	125	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55

- Примечания: 1. Регулирование напряжения осуществляется за счет РПН в нейтрали обмотки ВН, за исключением трансформаторов 2500 кВ·А с РПН на стороне НН.
2. Пределы регулирования трансформаторов $\pm 9 \times 1,78\%$, за исключением трансформатора 2500 кВ·А с пределами $\pm 10 \times 1,5\%$ и $— \pm 8 \times 1,5\%$.
3. Трансформаторы типа ТРДН могут изготавливаться также с нерасщепленной обмоткой НН 38,5 кВ.

Таблица П.2.4. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 220 кВ

Тип трансформатора	S_{H} , МВ·А	Каталожные данные					
		U_{H} обмоток, кВ		U_{K} , %	ΔP_{K} , кВт	ΔP_{X} , кВт	I_{X} , %
		ВН	НН				
ТРДН-40000/220	40	230	11/11; 6,6/6,6	12	170	50	0,9
ТРДЦН-63000/220	63	230	11/11; 6,6/6,6	12	300	82	0,8
ТРДЦН-100000/220	100	230	11/11; 38,5	12	360	115	0,7
ТРДЦН-160000/220	160	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6

Примечания: 1. Регулирование напряжения осуществляется в нейтрали ВН;
пределы регулирования — $\pm 8 \times 1,5\%$.

Таблица П.2.5. Трехфазные трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ

Тип трансформатора	S_{H} , МВ·А	Каталожные данные								
		U_{H} обмоток, кВ			U_{K} , %			ΔP_{K} , кВт	ΔP_{X} , кВт	I_{X} , %
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н			
ТДТН-25000/220	25	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5	135	50	1,2
ТДТН-40000/220	40	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5	220	55	1,1
АТДЦТН-63000/220/110	63	230	121	6,6; 11; 38,5	11	35,7	21,9	215	45	0,5
АТДЦТН-125000/220/110	125	230	121	6,6; 11; 38,5	11	45	28	305	65	0,5
АТДЦТН-200000/220/110	200	230	121	6,6; 11; 38,5	11	32	20	430	125	0,5
АТДЦТН-250000/220/110	250	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8	520	145	0,5

Таблица П.2.6. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 330 кВ

Тип трансформатора	$S_{нв}$, МВ·А	Каталожные данные					
		U_n обмоток, кВ		$U_{нв}$, %	ΔP_k , кВт	ΔP_x , кВт	I_x , %
		ВН	НН				
ТРДЦН-40000/330	40	330	6,3/6,3	11	180	80	1,4
ТРДЦН-63000/330	63	330	6,3/10,5 10,5/10,5	11	265	120	0,7

Примечания: пределы регулирования напряжения $\pm 8 \times 1,5\%$.

Таблица П.2.7. Трехфазные и однофазные автотрансформаторы 330 кВ

Тип трансформатора	$S_{нв}$, МВ·А	Каталожные данные										
		U_n обмоток, кВ			$U_{кв}$, %			ΔP_k , кВт			ΔP_x , кВт	I_x , %
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н	В-С	В-Н	С-Н		
АТДЦТН-125000/330/110	125	330	115	6,3;10,5;38,5	10	35	24	370	-	-	115	0,5
АТДЦТН-200000/330/110	200	330	115	6,6;10,5;38,5	10	34	2,5	600	-	-	180	0,5
АТДЦТН-240000/330/220	240	330	242	11; 38,5	7,3	70	60	430	260	250	130	0,5
АТДЦТН-133000/330/220	133	330	330	10,5; 38,5	9	60,4	48,5	280	125	105	55	0,15
		$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$									

Примечания: 1. Регулирование напряжения осуществляется на стороне СН за счет РПН с пределами регулирования $\pm 6 \times 2\%$. Автотрансформатор 240 МВ·А устройств регулирования не имеет.
2. Мощность обмоток НН составляет 50% от номинальной для 125 МВ·А; 40% для 200 МВ·А и 25% для 240 и 133 МВ·А.