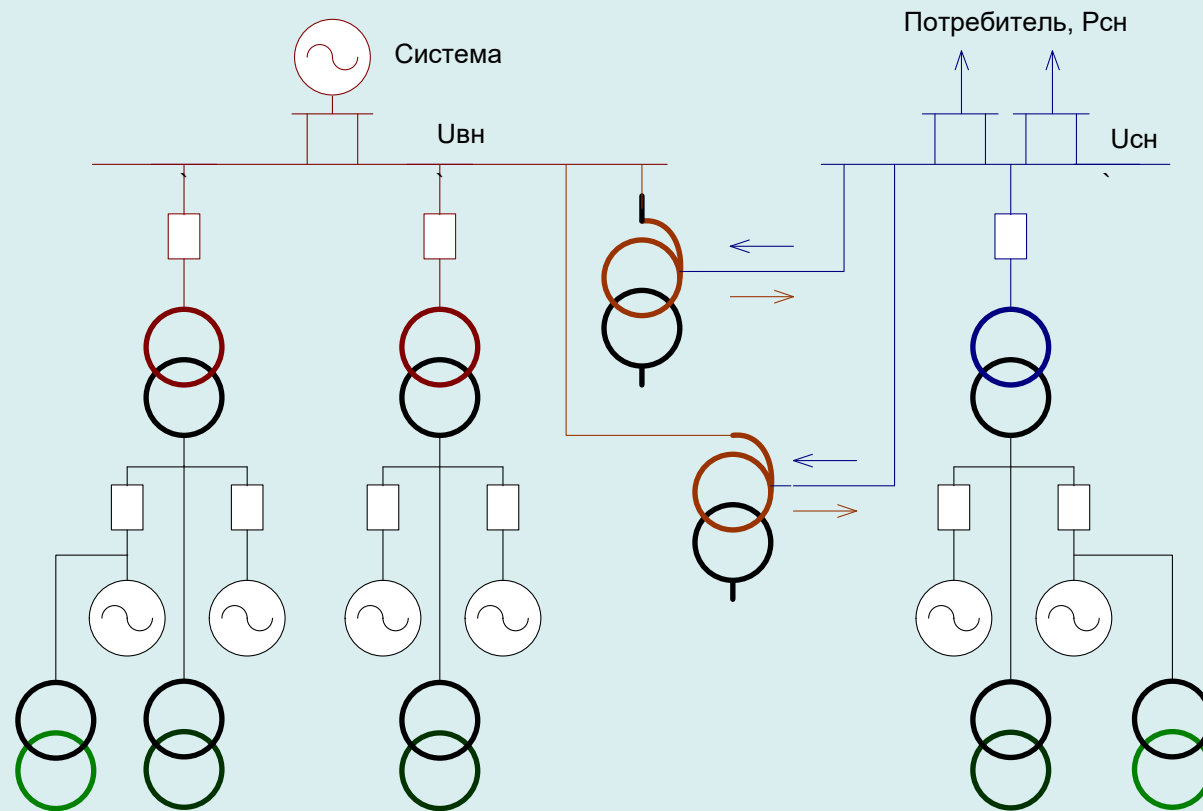


Электрическая часть ГЭУ
кафедра «Электрические станции», МЭИ

Лекция 2
Силовые трансформаторы ГЭС

Трансформаторы ГЭС



- трансформаторы блочные;
- трансформаторы связи;
- трансформаторы собственных нужд;
- трансформаторы нагрузки на низшем напряжении

Трансформатор блока

Режимы работы:

- передача электроэнергии от генератора в СВМ (повышение напряжения);
- питание нагрузки на НН от ЭЭС или остальных генераторов (понижение напряжения).

У_{нн} выбирается по номинальному напряжению генератора (6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20 кВ);

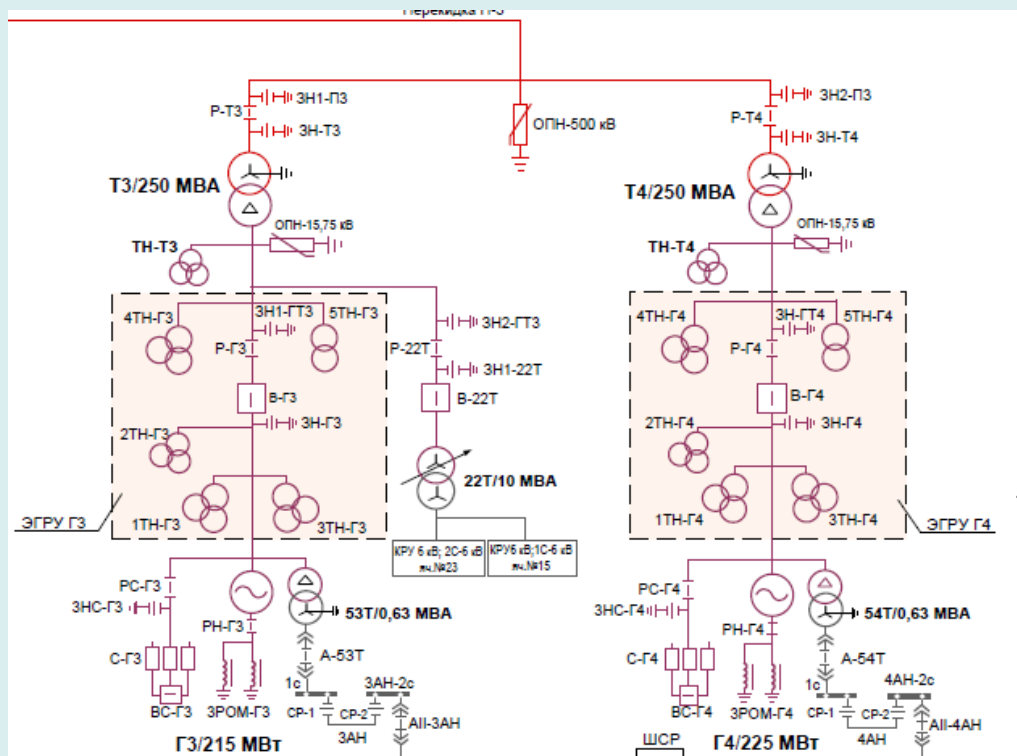
У_{вн} выбирается по классу напряжения РУ ЭС (35; 110; 220; 330; 500; 750 кВ).

РПН на блочных трансформаторах не применяется!

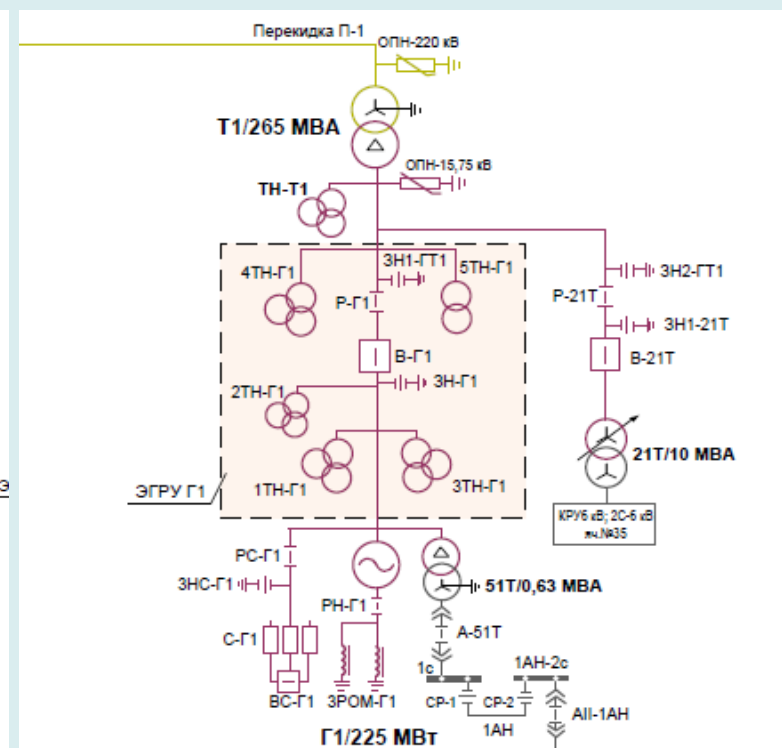
Схемы соединения: со стороны генератора – Δ , со стороны ВН (СН) - определяется напряжением, режимом заземления нейтрали сети.

Зейская ГЭС

Объединенный блок



Единичный блок



Общий вид трансформатора блока



ТДЦ-20000/220, ТДЦ-27, г.Москва

Трансформаторы блока с расщепленной обмоткой НН

Применяется в укрупненных блоках для ограничения токов КЗ на генераторном напряжении

Пример расчета тока КЗ от генератора

Генератор СВ1340/150-96

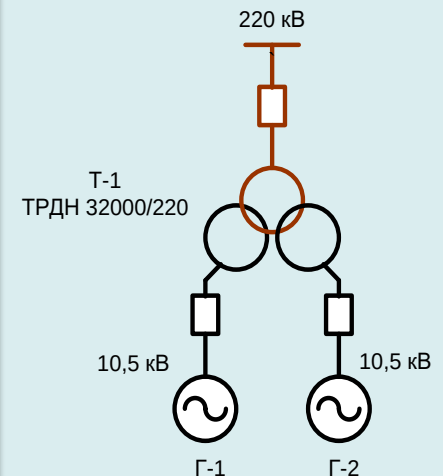
$U_{ном} = 13,8 \text{ кВ}$; $P_{ном} = 65 \text{ МВт}$;

$\cos\varphi = 0,8$; $X_{d''}(\text{ном}) = 0,22 \text{ о.е.}$

$E_{q''}(\text{ном}) = (1 + 1 \cdot 0,6 \cdot 0,22) = 1,13 \text{ о.е.}$

$I_{ном} = 65 / (0,8 \cdot 1,73 \cdot 13,8) = 3,4 \text{ кА}$

$I_{по} = (1,13 / 0,22) \cdot 3,4 = \mathbf{17,5 \text{ кА} - \text{ток КЗ на выводах генератора}}$



Трансформаторы блока с расщепленной обмоткой НН

Сопротивления каждой из частей обмотки НН определяются $U_{k.н-н}$ или коэфф. расщепления трансформатора k_p ($\sim 3,5-4$);
 $k_p = U_{k.н-н}/U_{k.в-н}$

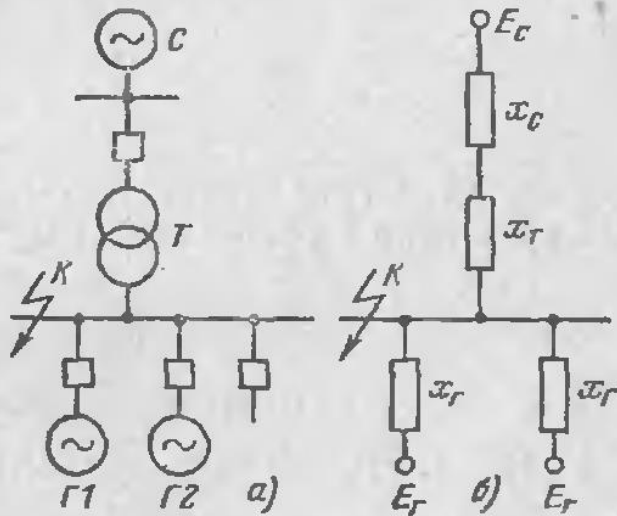


Рис. 5.6. Укрупненный блок (а) и его схема замещения (б).

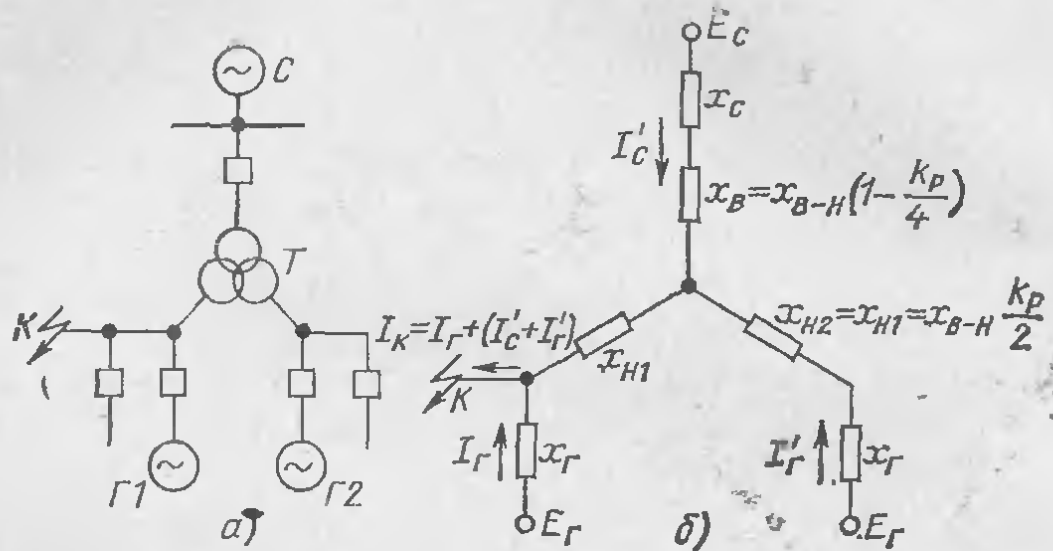


Рис. 5.7. Ограничение токов короткого замыкания посредством трансформатора с расщепленными обмотками.

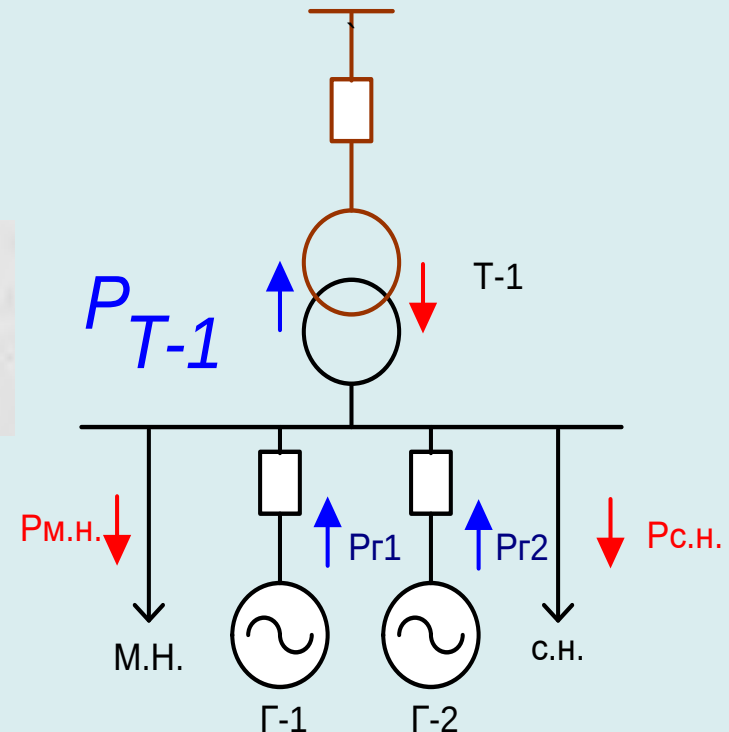
Расчет мощности трансформатора блока (1)

Есть ответвление на собственные нужды

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{(P_{\text{ном. Г}} - P_{\text{с. н}})^2 + (Q_{\text{ном. Г}} - Q_{\text{с. н}})^2} \approx \frac{P_{\text{ном. Г}} - P_{\text{с. н}}}{\cos \varphi_{\text{Г}}};$$

Есть ответвление на собственные нужды и местную нагрузку

$$S_{\text{расч}} = \sqrt{(P_{\text{ном. Г}} - P_{\text{с. н}} - P_{\text{м. н}})^2 + (Q_{\text{ном. Г}} - Q_{\text{с. н}} - Q_{\text{м. н}})^2};$$



Перегрузочную способность блочных трансформаторов ГЭС не учитывают, т.к. в период паводка ГЭС работает в базовой части графика и нагрузка трансформатора не изменяется

Расчет мощности трансформатора блока (2)

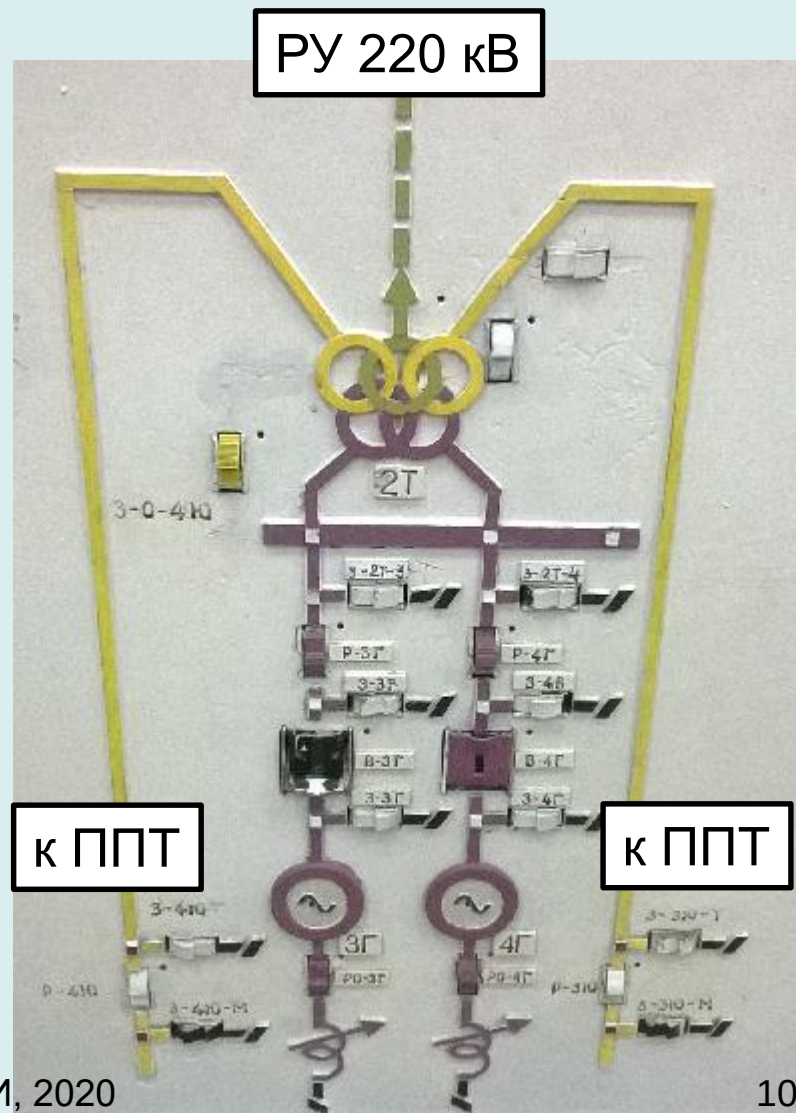
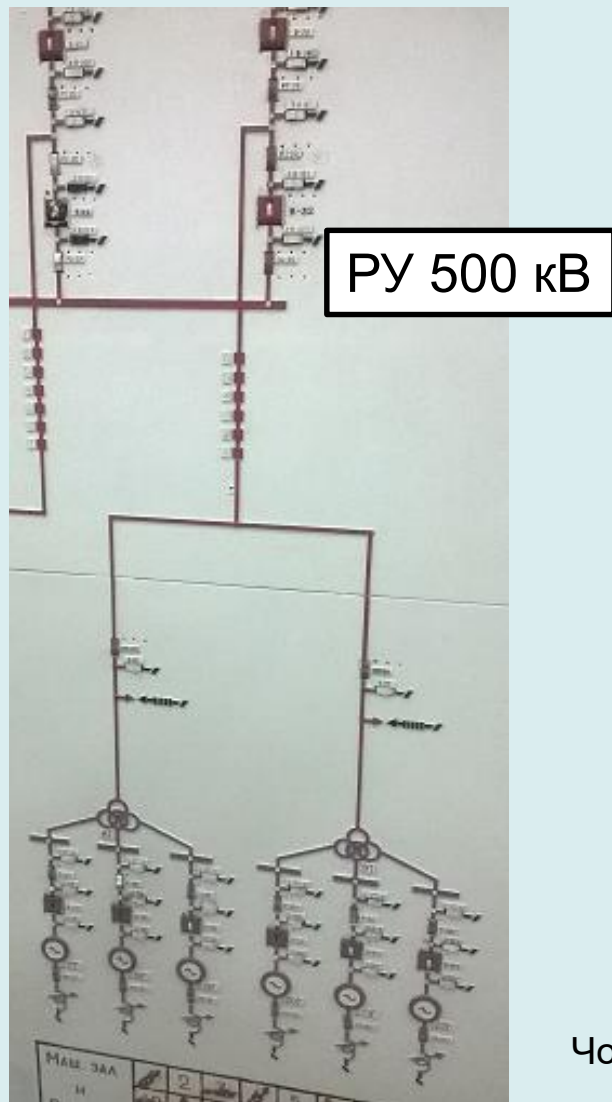
Подключение генератора к обмотке НН АТ связи

$$S_{\text{расч}} \approx \frac{P_{\text{ном г}} - P_{\text{с, п}}}{\cos \varphi_{\text{г}} k_{\text{тип}}},$$

$$k_{\text{тип}} = \frac{U_{\text{ВН}} - U_{\text{СН}}}{U_{\text{ВН}}} = \frac{S_{\text{тип}}}{S_{\text{ном}}}$$

Коэффициент типовой мощности автотрансформатора

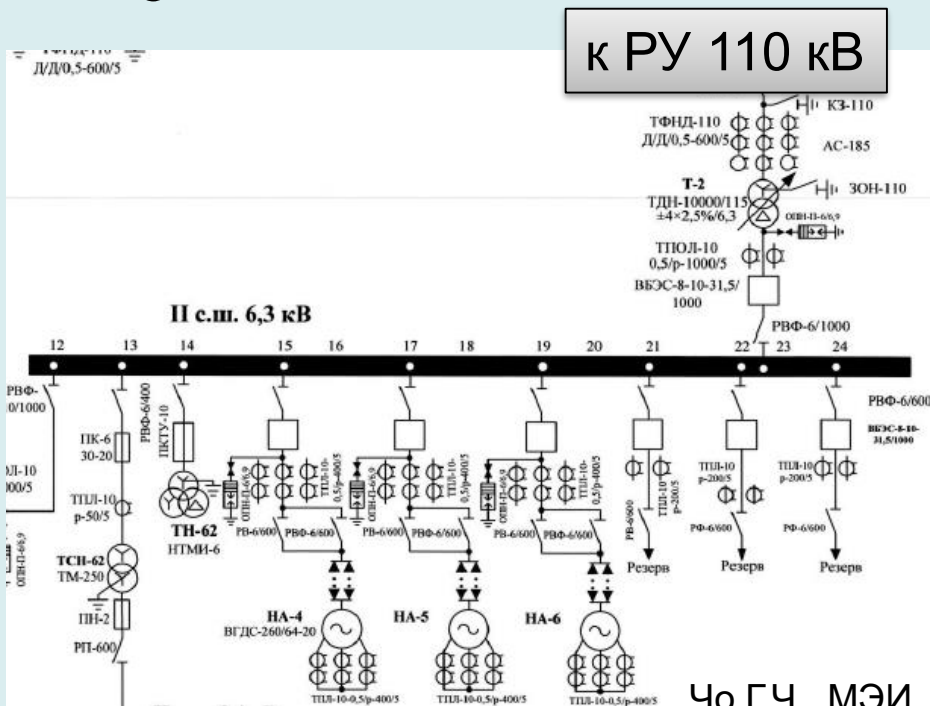
Пример: Волжская ГЭС



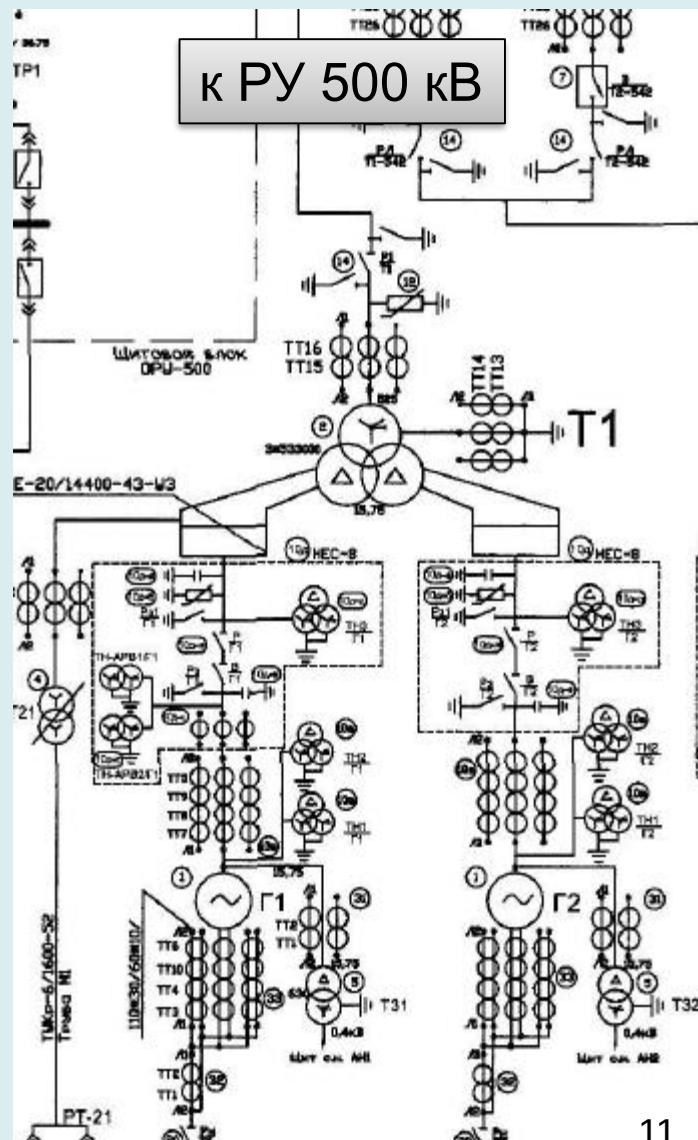
Пример:

СШГЭС

Каскад Кубанских ГЭС



Чо Г.Ч., МЭИ, 2020



11

Трансформаторы связи

Режимы работы:

- передача электроэнергии из сети ВН в сеть СН;
- передача ЭЭ из сети СН в сеть ВН;
- (передача ЭЭ от генератора в сеть ВН или СН)

$U_{ВН}$, $U_{НН}$ выбираются по классу напряжения РУ (35; 110; 220; 330; 500; 750 кВ).

Наличие РПН обязательно.

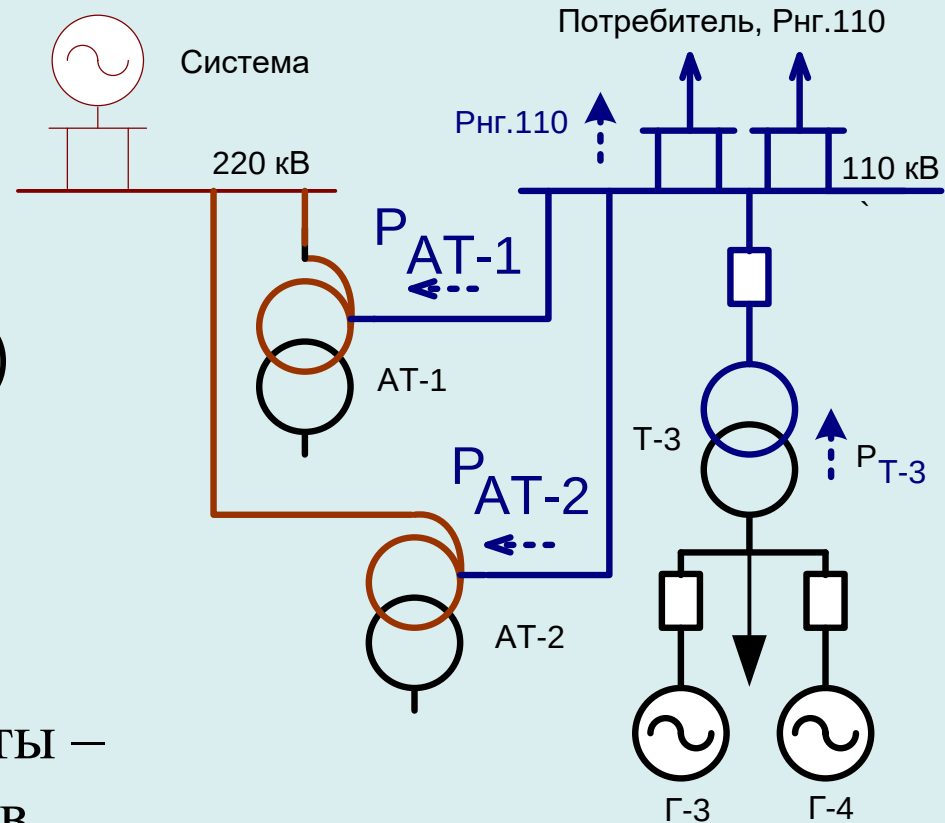
Схемы соединения обмоток определяются ном. напряжением, режимом заземления нейтрали сетей.

Расчет мощности трансформатора связи (1)

Нормальный режим работы

$$\left\{ \begin{aligned} P_{расч.}(t) &= \frac{1}{n_{AT}} (P_{T-3}(t) - P_{НГ.110}(t)) \\ Q_{расч.}(t) &= \frac{1}{n_{AT}} (Q_{T-3}(t) - Q_{НГ.110}(t)) \\ S_{расч.}(t) &= \sqrt{P_{AT-1}(t)^2 + Q_{AT-1}(t)^2} \end{aligned} \right.$$

Послеаварийный режим работы –
один из трансформаторов
связи отключен



Расчет мощности трансформатора связи (2)

Если график нагрузки имеет понижение мощности в течение суток, то

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{S_{\text{расч}}}{k_{\text{п, сист}}},$$

k_{п, сист} - допустимый коэффициент систематических перегрузок, определяемый по графикам нагрузочной способности трансформатора

Расчет параметров перегрузки

$$K_1 = \frac{1}{S_{T.HOM}} * \sqrt{\frac{S_1^2 * \Delta t_1 + S_2^2 * \Delta t_2 + ... + S_m^2 * \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + ... + \Delta t_m}}$$

$$K_2' = \frac{1}{S_{T.HOM}} * \sqrt{\frac{(S_1')^2 * \Delta h_1 + (S_2')^2 * \Delta h_2 + ... + (S_p')^2 * \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + ... + \Delta h_p}}$$

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{T.HOM}}$$

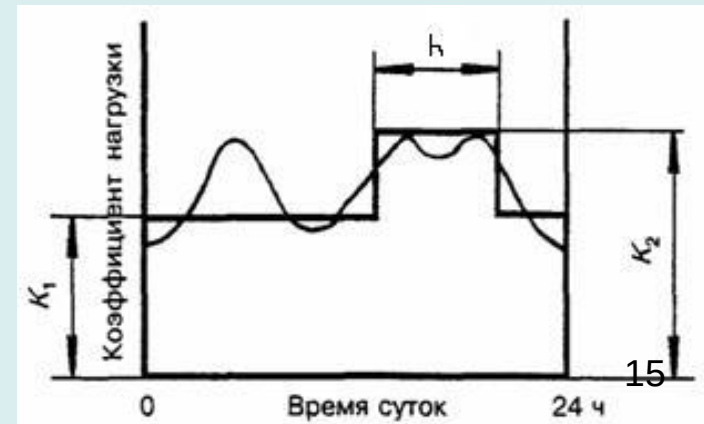
$$h' = \Delta h_1 + \Delta h_2 + ... + \Delta h_p$$

k_1 - коэффициент предварительной нагрузки;

k_2 – коэффициент перегрузки;

h – продолжительность перегрузки

$K_2' < 0,9 * K_{max}$	$K_2' \geq 0,9 * K_{max}$
$K_2 = 0,9 * K_{max}$	$K_2 = K_{max}$
$h = \frac{(K_2')^2 * h'}{(0,9 * K_{max})^2}$	$h = h'$



Нормы допустимых систематических перегрузок

Таблица 1.36. Нормы максимально допустимых систематических и аварийных перегрузок трансформаторов

А, ч	М и Д								ДЦ*							
	K_2 при значениях $K_1=0,25 \div 1$								K_2 при значениях $K_1=0,25 \div 1$							
	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Систематических $\theta_{\text{охла}} = -20^\circ\text{C}$																
0,5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,85	1,82	1,78	1,74
1	+	+	+	+	+	+	+	+	1,79	1,77	1,76	1,74	1,72	1,69	1,66	1,63
2	+	+	1,99	1,96	1,93	1,89	1,85	1,79	1,61	1,61	1,60	1,59	1,57	1,56	1,54	1,52
4	1,7	1,89	1,67	1,66	1,64	1,62	1,60	1,57	1,47	1,46	1,46	1,45	1,45	1,44	1,43	1,42
6	1,56	1,55	1,54	1,64	1,53	1,51	1,50	1,48	1,4	1,4	1,4	1,39	1,39	1,39	1,38	1,37
8	1,48	1,48	1,47	1,47	1,46	1,45	1,45	1,43	1,37	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,35	1,35
12	1,41	1,4	1,4	1,4	1,4	1,39	1,39	1,38	1,33	1,33	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
24	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
$\theta_{\text{охла}} = -10^\circ\text{C}$																
0,5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,80	1,77	1,74	1,70	1,65
1	+	+	+	+	+	+	+	1,95	1,72	1,7	1,69	1,67	1,65	1,62	1,59	1,55
2	1,95	1,92	1,9	1,87	1,83	1,79	1,75	1,69	1,55	1,54	1,53	1,52	1,51	1,49	1,47	1,44
4	1,62	1,61	1,6	1,58	1,56	1,54	1,52	1,48	1,41	1,4	1,4	1,39	1,38	1,38	1,37	1,35
6	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,42	1,40	1,34	1,34	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31
8	1,41	1,41	1,4	1,4	1,39	1,38	1,37	1,36	1,31	1,3	1,3	1,3	1,3	1,29	1,29	1,28
12	1,34	1,34	1,33	1,33	1,33	1,32	1,31	1,31	1,27	1,27	1,26	1,26	1,26	1,25	1,26	1,25
24	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Чо Г.Н., МЭИ, 2020

Нормы допустимых систематических перегрузок

Л. ч	М и Д								ЛЦ*							
	K_2 при значениях $K_1=0,25 \div 1$								K_2 при значениях $K_1=0,25 \div 1$							
	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

Систематических

$\theta_{\text{охла}}=0^\circ\text{C}$

0,5	+	+	+	+	+	+	+	+	1,79	1,77	1,75	1,72	1,69	1,68	1,61	1,56
1	+	+	+	+	+	1,99	1,91	1,80	1,65	1,63	1,61	1,59	1,57	1,54	1,51	1,46
2	1,86	1,83	1,80	1,77	1,74	1,69	1,64	1,56	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,42	1,4	1,36
4	1,54	1,53	1,51	1,50	1,48	1,46	1,43	1,38	1,34	1,34	1,33	1,33	1,32	1,31	1,3	1,23
6	1,41	1,4	1,39	1,38	1,37	1,36	1,34	1,31	1,28	1,28	1,27	1,27	1,27	1,26	1,25	1,24
8	1,34	1,33	1,33	1,32	1,31	1,3	1,29	1,27	1,24	1,24	1,24	1,24	1,23	1,23	1,23	1,21
12	1,27	1,26	1,26	1,26	1,25	1,25	1,24	1,22	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,19	1,19
24	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14

$\theta_{\text{охла}}=10^\circ\text{C}$

0,5	+	+	+	+	+	+	+	1,84	1,71	1,69	1,67	1,64	1,61	1,57	1,52	1,44
1	+	+	+	2	1,94	1,86	1,76	1,6	1,57	1,55	1,51	1,52	1,49	1,46	1,42	1,35
2	1,76	1,73	1,7	1,67	1,63	1,58	1,51	1,4	1,41	1,4	1,39	1,38	1,36	1,34	1,31	1,26
4	1,46	1,44	1,43	1,41	1,39	1,36	1,32	1,25	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,24	1,22	1,19
6	1,33	1,32	1,31	1,3	1,29	1,27	1,24	1,2	1,21	1,21	1,21	1,21	1,2	1,19	1,18	1,15
8	1,26	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,2	1,17	1,18	1,18	1,17	1,17	1,17	1,16	1,15	1,13
12	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,16	1,15	1,13	1,14	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,12	1,11
24	1,08	1,08	1,08	1,08	1,06	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07

$\theta_{\text{охла}}=20^\circ\text{C}$

0,5	+	+	+	+	+	1,98	1,81	1,0	1,63	1,6	1,58	1,55	1,52	1,47	1,41	1
1	+	1,97	1,92	1,87	1,8	1,71	1,57	1,0	1,49	1,47	1,45	1,43	1,4	1,37	1,31	1
2	1,66	1,63	1,6	1,56	1,51	1,45	1,35	1,0	1,34	1,33	1,32	1,3	1,28	1,26	1,22	1
4	1,37	1,35	1,34	1,32	1,29	1,25	1,19	1,0	1,21	1,2	1,19	1,19	1,18	1,16	1,13	1
6	1,25	1,24	1,23	1,21	1,2	1,17	1,13	1,0	1,15	1,14	1,14	1,13	1,13	1,12	1,1	1
8	1,18	1,17	1,17	1,16	1,15	1,13	1,09	1,0	1,11	1,11	1,1	1,1	1,1	1,09	1,07	1
12	1,11	1,1	1,1	1,09	1,09	1,08	1,06	1,0	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,04	1
24	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07

Виды перегрузки

Систематическая перегрузка:

- нормальный и ремонтный режим;
- износ изоляции - номинальный;
- максимальная нагрузка не превышает $1,5 \cdot St.ном$;
- $T_{масла} \leq 95$ град.С ($T_{обмотки} \leq 140$ град.С)

Аварийная перегрузка:

- послеаварийный режим
- износ изоляции — выше номинального;
- максимальная нагрузка не превышает $2,0 \cdot St.ном$;
- $T_{масла} \leq 115$ град.С ($T_{обмотки} \leq 160$ град.С, 140 град.С для 220кВ и выше).

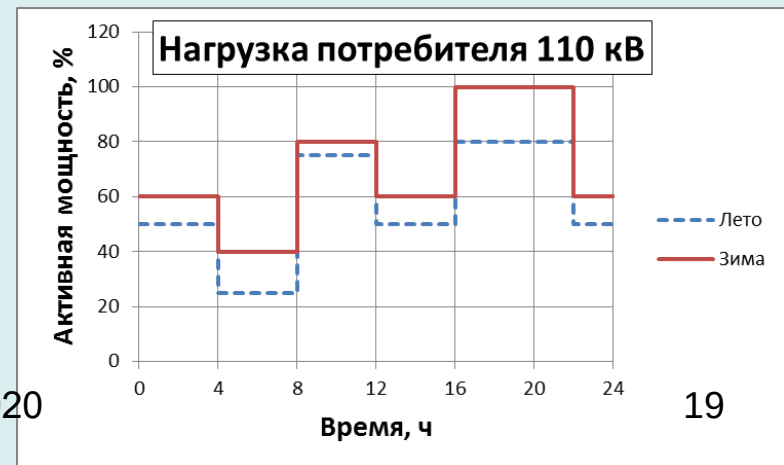
Пример

- напряжение РУ ВН – 220 кВ;
- к РУ 110 кВ подключены:
 - 1) 2 моноблока, мощность генератора - 65 МВт; $\cos\varphi = 0,8$;
 - 2) Промышленный потребитель 75 МВт; $\cos\varphi = 0,8$, график нагрузки – ниже;

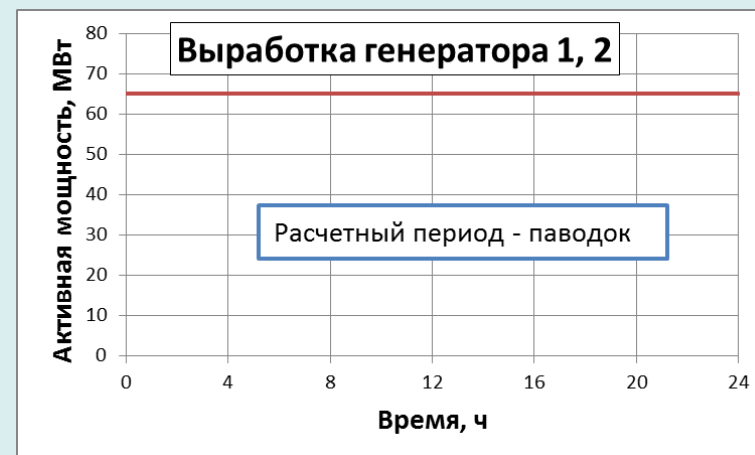
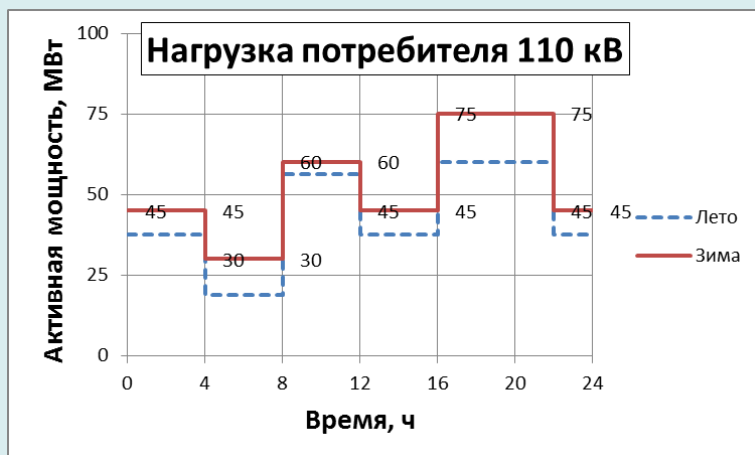
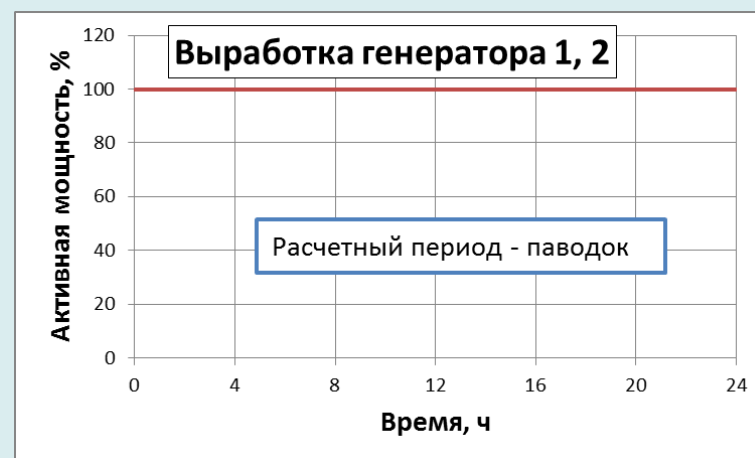
Выбрать трансформаторы связи

АТДЦТН-63000/220/110

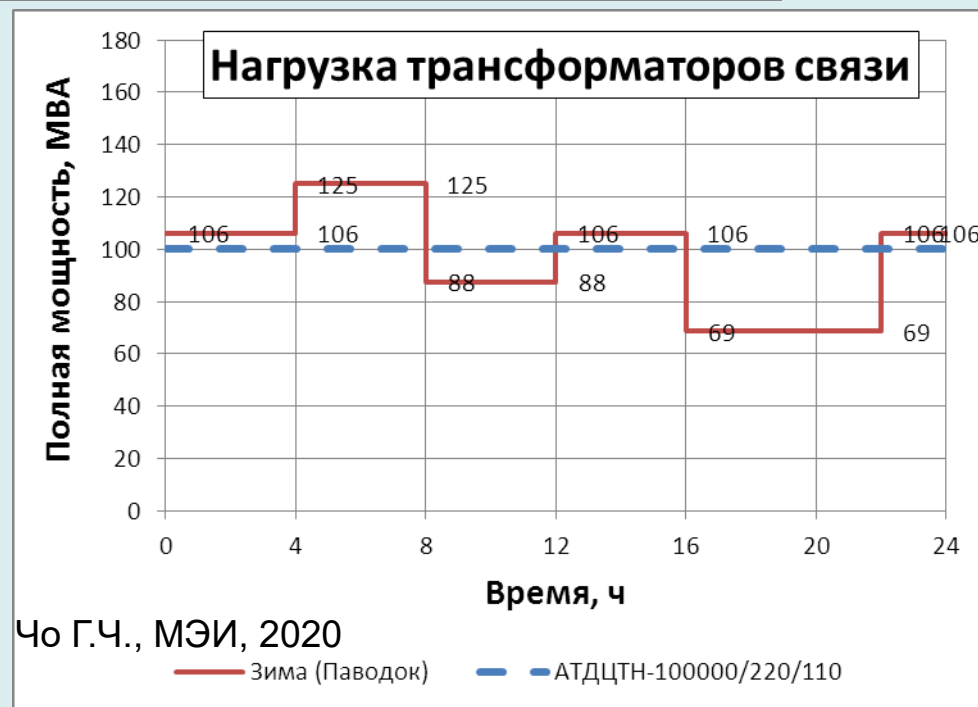
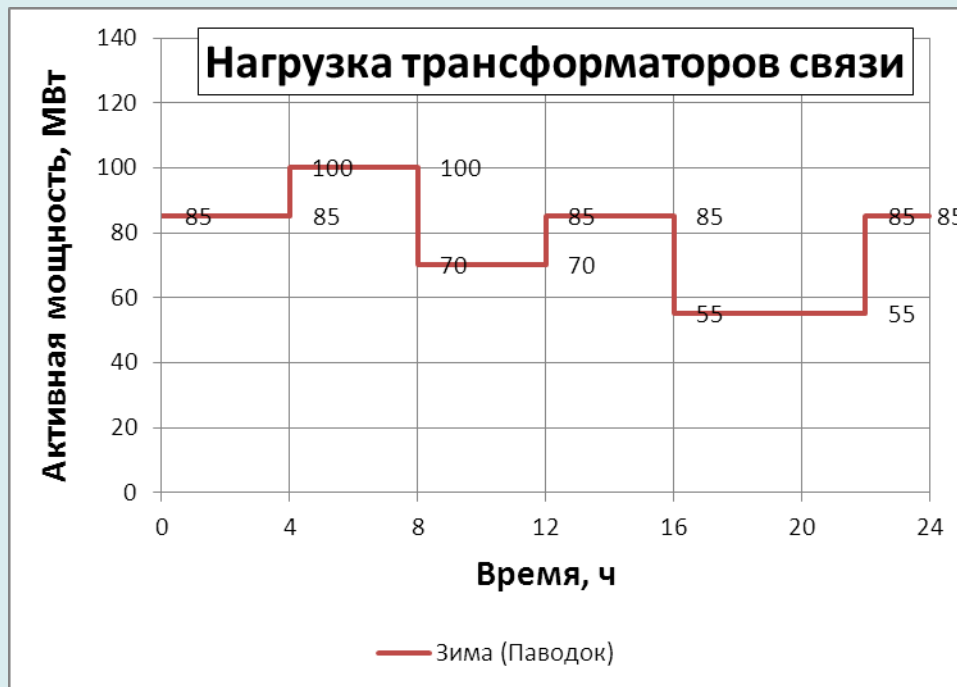
Чо Г.Ч., МЭИ, 2020



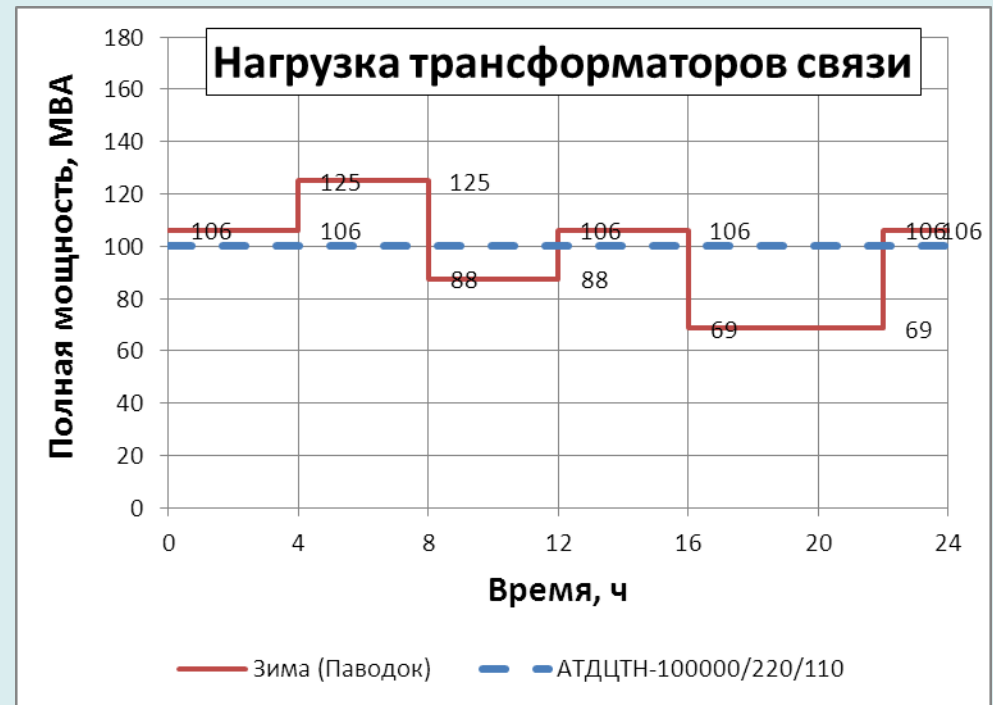
Пример



Пример



Пример



$$K_1 = \frac{1}{S_{T.HOM}} * \sqrt{\frac{S_1^2 * \Delta t_1 + S_2^2 * \Delta t_2 + ... + S_m^2 * \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + ... + \Delta t_m}}$$

$$K_2' = \frac{1}{S_{T.HOM}} * \sqrt{\frac{(S_1')^2 * \Delta h_1 + (S_2')^2 * \Delta h_2 + ... + (S_p')^2 * \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + ... + \Delta h_p}}$$

$$K_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{S_{T.HOM}}$$

$$h' = \Delta h_1 + \Delta h_2 + ... + \Delta h_p$$

Чо Г.Ч., МЭИ, 2020

$K_2' < 0,9 * K_{max}$	$K_2' \geq 0,9 * K_{max}$
$K_2 = 0,9 * K_{max}$	$K_2 = K_{max}$
$h = \frac{(K_2')^2 * h'}{(0,9 * K_{max})^2}$	$h = h'$

Ограничения при выборе трансформатора связи

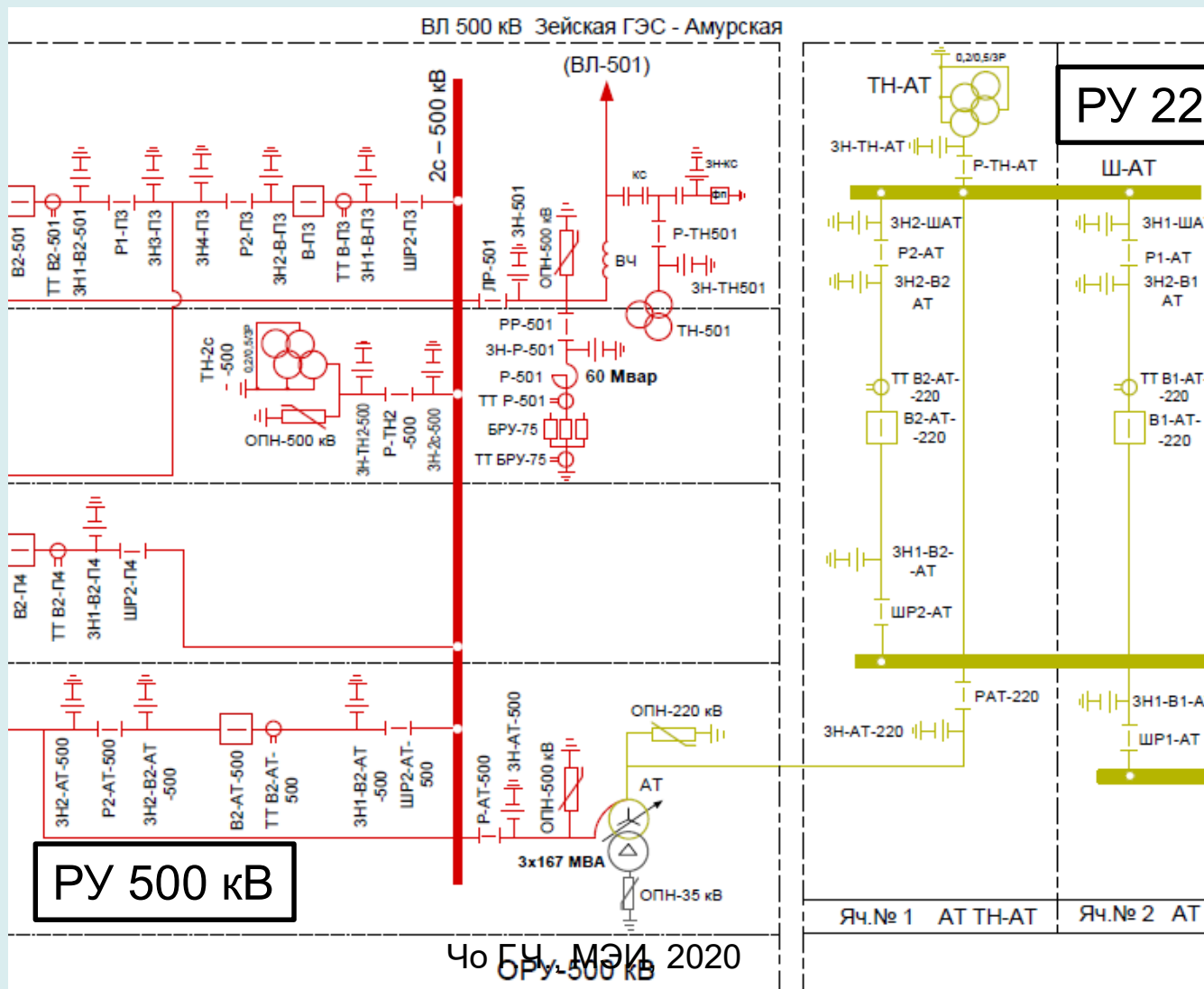
5.4.3. Связь РУ на электростанции должна осуществляться с применением двух и более трансформаторов (автотрансформаторов) номинальной мощностью не менее номинальной мощности наиболее крупного генератора (энергоблока) станции, подключенного к РУ более низкого напряжения из двух рассматриваемых РУ.

4.1.2. Достаточности предварительной пропускной способности РУ электростанции - сумма номинальных мощностей генерирующего оборудования электростанции, подключенного к данному РУ, не должна превышать предварительную пропускную способность РУ электростанции:

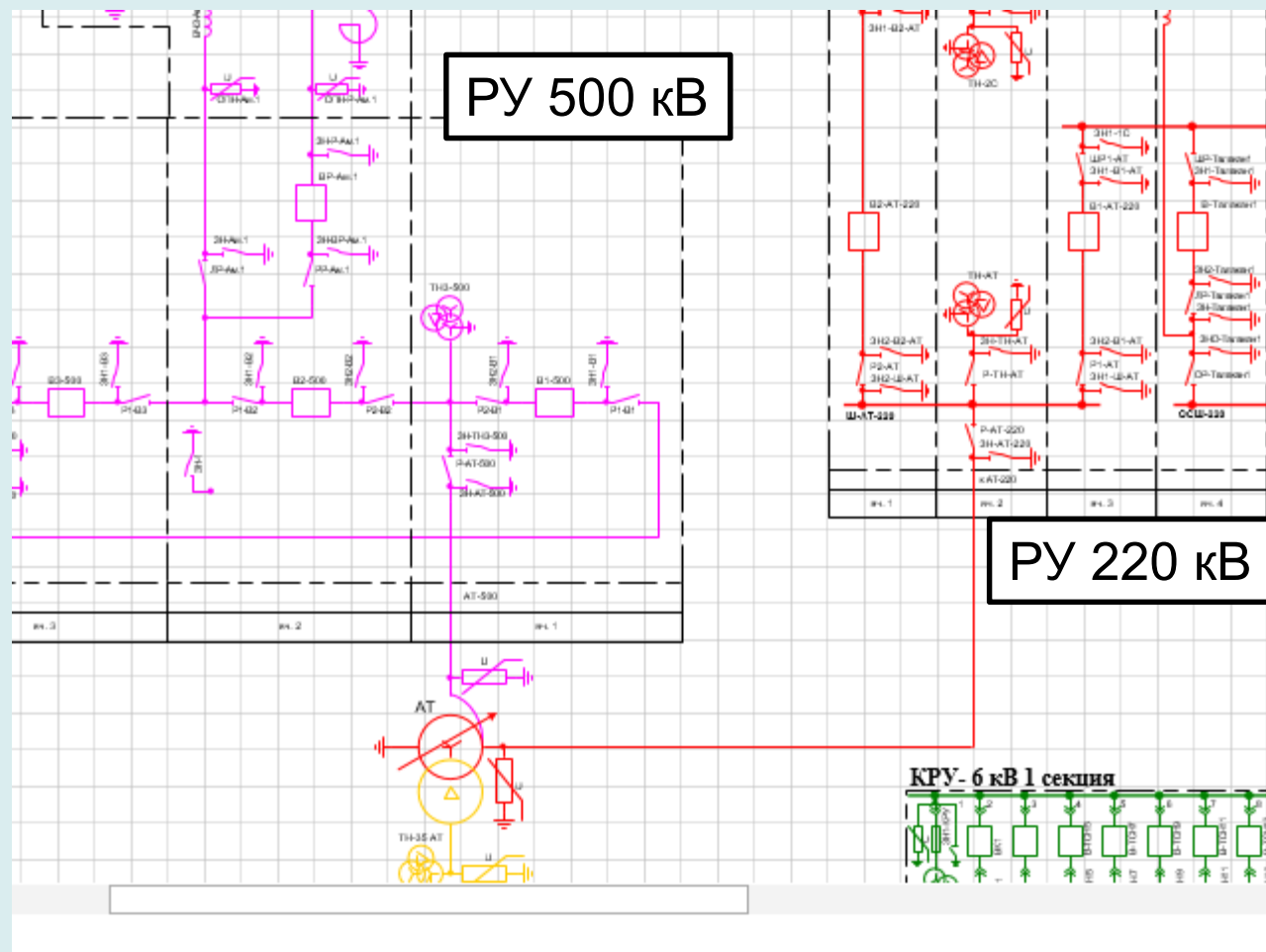
(повторно)

$$\sum P_{ГномРУ} \leq P_{РУпредв}$$

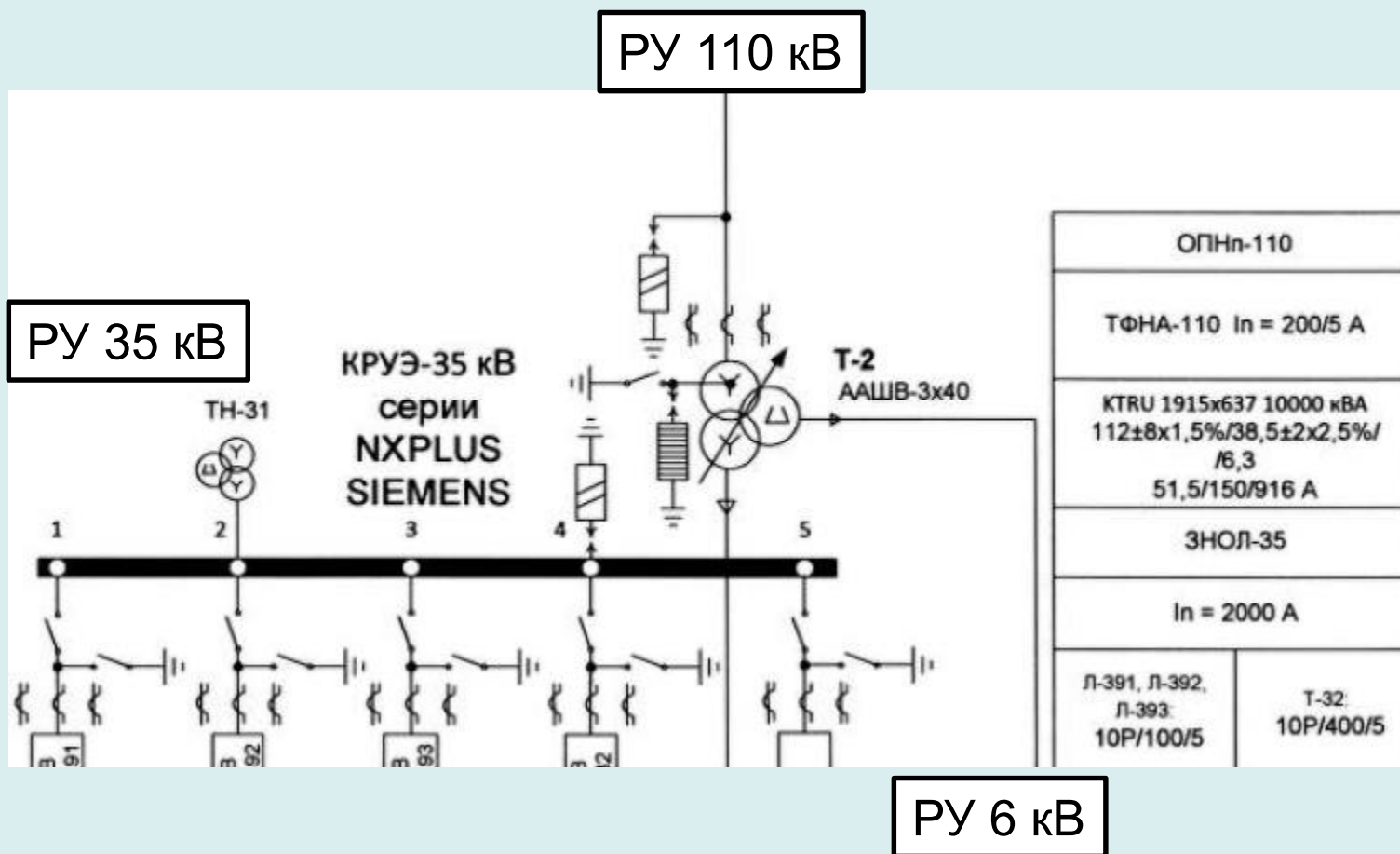
Пример. 3ГЭС



Пример. Бурейская ГЭС

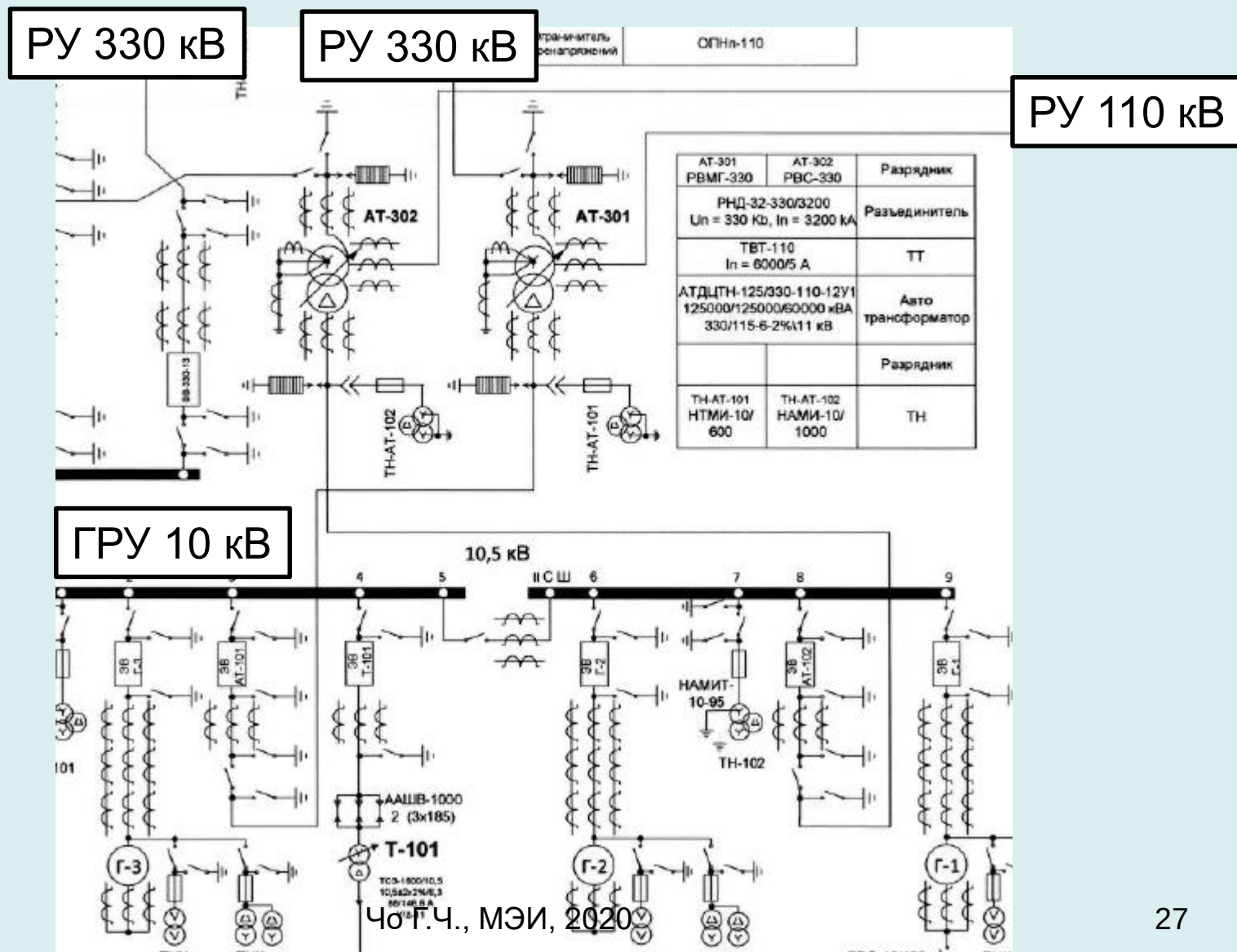


Пример: ГЭС-4 Каскад кубанских ГЭС (1)



Чо Г.Ч., МЭИ, 2020

Пример: ГЭС-4 Каскад кубанских ГЭС (2)



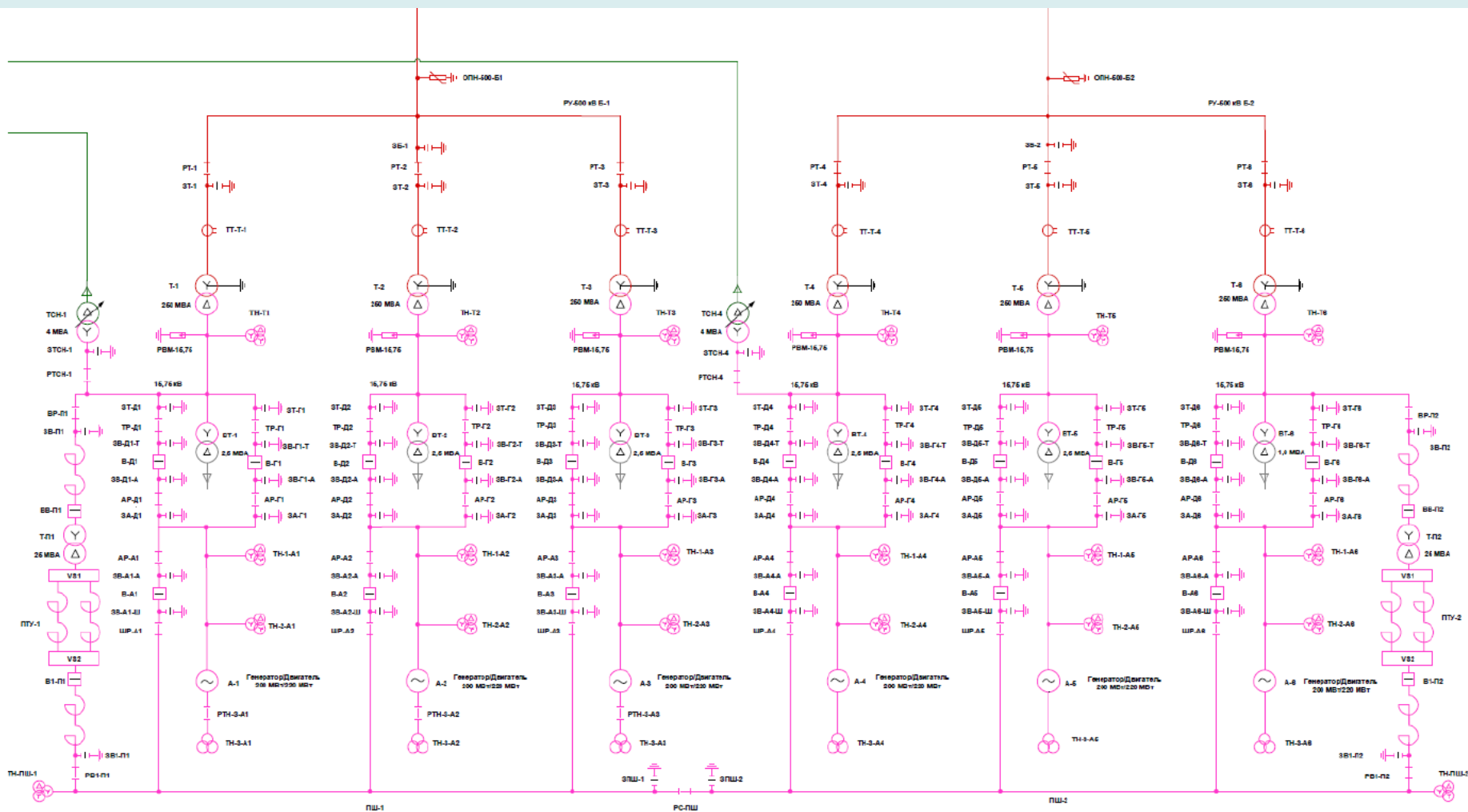
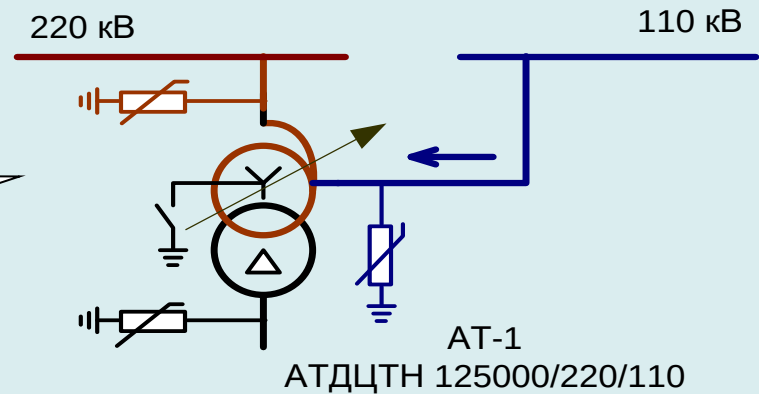


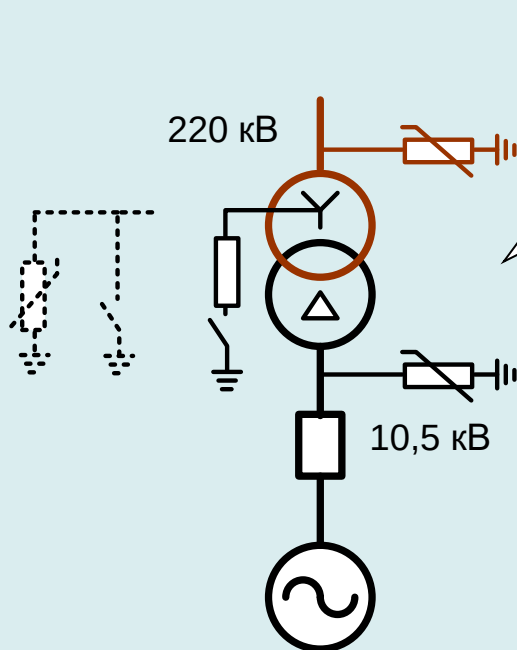
Рис. П1. Схема электрических соединений 15,75 кВ «Загорской ГАЭС»

Режимы заземления нейтралей трансформаторов

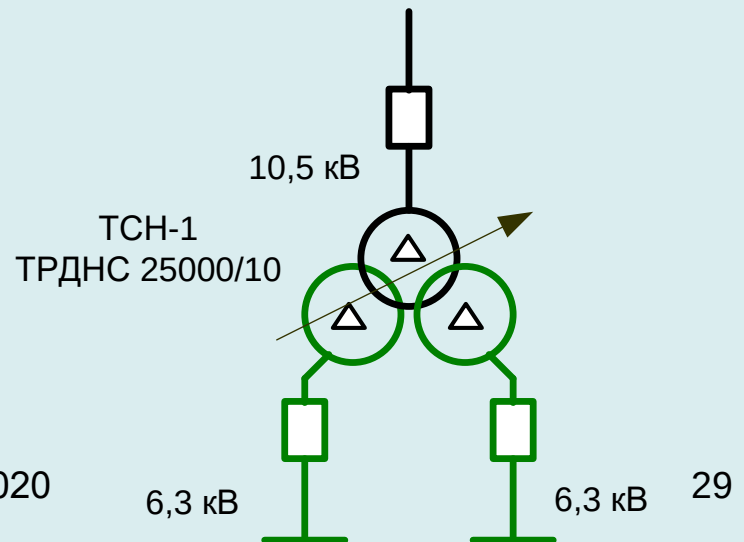
Глухозаземленная н.



Эффективнозаземленная н.



Изолированная



Номенклатура трансформаторов 220 кВ

Таблица 3.8. Трансформаторы и автотрансформаторы с высшим напряжением 220—500 кВ

Тип	$S_{\text{ном}}$ МВ · А	Напряжение обмотки, кВ			Потери, кВт			
		ВН	СН	НН	P_x	P_k		
						ВН—СН	ВН—НН	СН—НН
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высшее напряжение 220 кВ								
ТД-80000/220	80	242	—	6,3; 10,5; 13,8	79	—	315	—
ТДЦ-125000/220	125	242	—	10,5; 13,8	120	—	380	—
ТЦ-160000/220	160	242	—	13,8; 15,75	...	—	...	—
ТДЦ (ТЦ) -200000/220	200	242	—	13,8; 15,75; 18	130	—	660	—
ТДЦ (ТЦ) -250000/220	250	242	—	13,8; 15,75	207	—	600	—
ТДЦ (ТЦ) -300000/220-73 (71)У1	400	242	—	13,8; 15,75; 20	320	—	880	—
ТДЦ-400000/220-78Т1	400	237	—	21	315	—	850	—
ТЦ-630000/220-74У1	630	242	—	15,75; 20	380	—	1200	—
ТНЦ-630000/220	630	242	—	15,75; 20; 24	460	—	1200	—
ТНЦ-1000000/220	1000	242	—	24	490	—	2200	—
ТРДН-32000/220	32	230	—	6,3—6,3	45	—	150	—
				6,6—6,6; 11—				
				11; 11—6,6				
ТРДНС-32000/220	32	230	—	6,3—6,3	...	—	...	—
ТРДНС-40000/220	40	250	—	6,3—6,3; 6,6—	60	—	170	—
				6,6; 11—11;				
				11—6,6				
ТРДНС-40000/220-80Т1	40	230	—	6,3—6,3	45/50	—	170	—
ТРДН-63000/220	58	230	—	6,3—6,3; 6,6—	70	—	265	—
(ТРДЦН)				6,6; 11—11;				
				11—6,6				
ТРДНС-63000/220	63	230	—	6,3—6,3	...	—	...	—
ТРДЦН-100000/220	100	230	—	11—11	102	—	340	—
ТРДЦН-160000/220	160	230	—	11—11	155	—	500	—
ТРДЦН-200000/220	200	230	—	11—11	...	—	...	—
ТДТН-25000/220	25	230	38,5	6,6; 11	45	130	...	...
ТДТН-40000/220	40	230	58,5	6,6; 11	54	220	...	...
ТДТН-40000/220-81У1	40	230	38,5	6,6; 11	49/55	220	...	...
ТДТН-63000/220	63	230	38,5	6,6; 11	...	...	...	...
ТДЦТН-63000/220-74Т1	63	230	38,3	6,6	74	320	...	...
АТЦТН-63000/220/110	63	230	121	6,6; 11; 38,5	37	200	...	...
АТЦТН-125000/220/110	125	230	121	6,3; 6,6; 10,5;	65	315	...	...
				11; 13,8; 20				

Чо Г.Ч., МЭИ, 2020

Номенклатура трансформаторов 500 кВ

Высшее напряжение 500 кВ								
ТДЦ-250000/500	250	525	—	13,8; 15,75; 20	205	—	590	—
ТЦ-250000/500	250	525	—	13,8; 15,75	205	—	380	—
ТДЦ-400000/500	400	525	—	13,8; 15,75; 20	315	—	790	—
ТЦ-400000/500	400	525	—	20; 15,75	315	—	790	—
ТЦ-630000/500	630	525	—	15,75; 20; 24; 36,75	420	—	1210	—
ТНЦ-1000000/500	1000	525	—	24	570	—	1800	—
ОРЦ-333000/500	333	$525/\sqrt{3}$	—	15,75—15,75; 20—20	...	—	...	—

Тип	$S_{\text{ном}}$ МВ · А	Напряжение обмотки, кВ			Потери, кВт			
		ВН	СН	НН	P_{Σ}	P_K		
						ВН—СН	ВН—НН	СН—НН
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ОРЦ-417000/500	417	$525/\sqrt{3}$	—	15,75—15,75	...	—	...	—
ОРНЦ-533000/500	533	$525/\sqrt{3}$	—	15,75—15,75; 24—24	230	—	1260	—
ОРНЦ-533000/500	533	$525/\sqrt{3}$	—	24—24/ $\sqrt{3}$	230	—	1260	—
АОРЦТ-135000/500/220-78У1*	135	$525/\sqrt{3}$	$242/\sqrt{3}$	13,8—13,8 18—18	120 120	320 320	—	—
АОРДЦТ-135000/500/220-78У1*	135	$525/\sqrt{3}$	$242/\sqrt{3}$	13,8—13,8 18—18	150 150	360 360	—	—
АТДЦТН-250000/500/110	230	500	121	10,5; 38,5	230	690	—	—
АТДЦН-500000/500/220	500	500	—	230	220	1050	—	—
АОДЦТН-167000/500/330-78У1	167	$500/\sqrt{3}$	$330/\sqrt{3}$	10,5; 38,5	61	300	—	—
АОДЦТН-167000/500/220	167	$500/\sqrt{3}$	$230/\sqrt{3}$	10,5; 11; 38,5 13,8 15,75; 20	90 90 90	315 315 315	—	—
АОДЦТН-267000/500/220	267	$500/\sqrt{3}$	$230/\sqrt{3}$	10,5; 13,8; 38,5 15,75 24	125 125 125	470 470 470	—	—

Чд Г.Ч., МЭИ, 2030

Основные параметры силовых трансформаторов

- номинальное напряжение обмоток ВН, СН, НН;
- номинальная мощность;
- напряжение короткого замыкания U_k , %;
- типоразмер

А – автотрансформатор;

О/Т – однофазный/трехфазный;

Р – расщепленная обмотка НН;

ХХХ – система охлаждения;

Т – трехобмоточный;

Н – наличие системы регулирования напряжения;

З/Г/У/Л – защитное/грозоупорное/усовершенш./литая изоляция;

С/Ж – собственные нужды/железные дороги

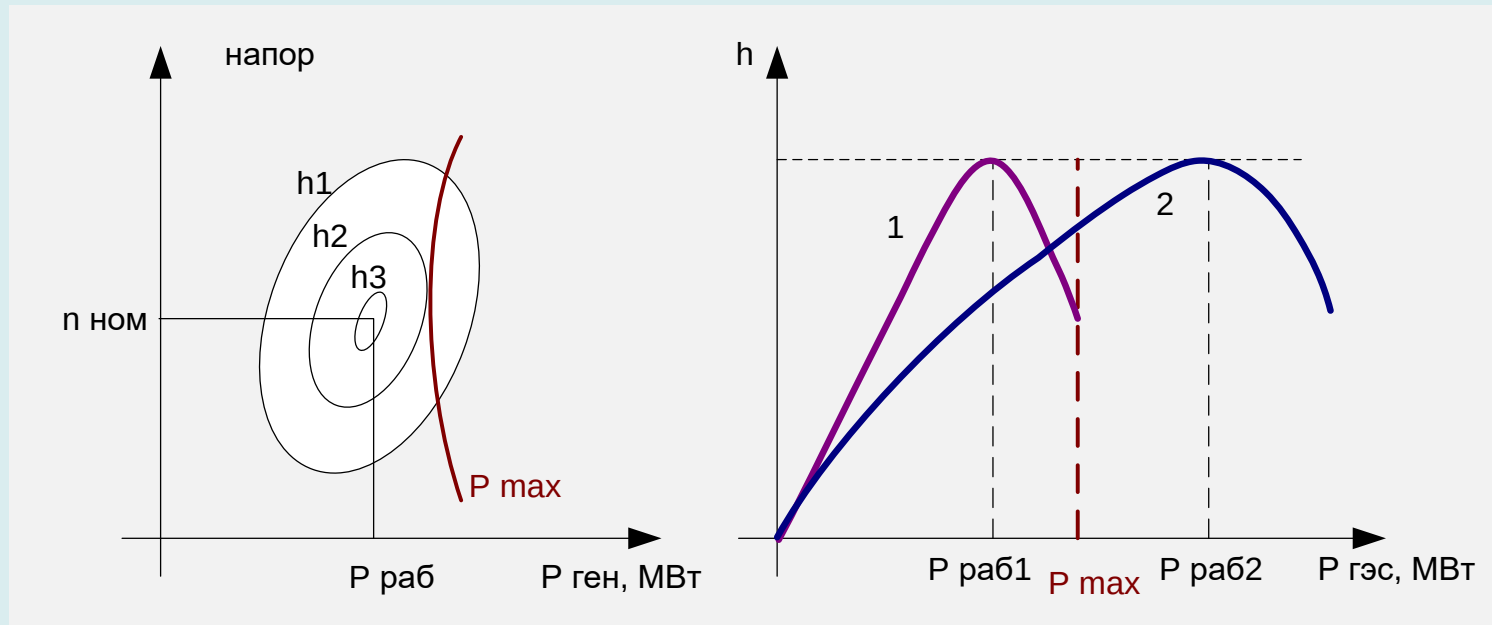
Ряды номинальных мощностей и номинальных напряжений трансформаторов

Ряд номинальных мощностей трансформаторов (трехфазное исполнение), МВА:
2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 32; 40; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 400; 630; 1000; 1250

Номинальные напряжения обмоток, кВ:

- 0,4; 0,23; 0,69;
- 3,15;
- 6; 6,3; 6,6;
- 10; 10,5; 11;
- 13,8; 15,75; 16,5; 18; 20; 21; 22; 24; 27;
- 34,5; 38,5; 35; 36,75; 38,5;
- 115; 121;
- 158; 165;
- 230; 242;
- 330; $330/\sqrt{3}$; 347;
- 500; $500/\sqrt{3}$; 525; $525/\sqrt{3}$;
- $750/\sqrt{3}$; $787/\sqrt{3}$;
- $1150/\sqrt{3}$;

Покрывтие графика выработки генераторами ГЭС



Поочередная загрузка генераторов повышает КПД ГЭС