

**Минимально допустимые по условиям коронирования диаметры проводов воздушных линий электропередачи**

Напряжение сети, кВ	d, мин. мм.	Марка провода (примерный вариант)
110	11,3	АС-70/11
150	15,2	АС-120/19
220	21,6	АС-240/39
330	33,2 3×17,1	АС-600/72 3×АС-150/24
500	2×21,6	(2×АС-240/39)
500	3×25,2	3×АС-330/43
500	2×36,2	2×АС-700/86

И.П.Крючков  
Стр.13 Таблица 1-12  
1978 года

**Пропускная способность ВЛ 35-750 кВ**

Номинальное напряжение линии, кВ	Наибольшая передаваемая мощность на одну цепь, МВт	Наибольшая длина передачи, км
35	5-15	30-60
110	25-50	50-150
220	100-200	150-250
330	300-400	200-300
400	500-700	600-1000
500	700-900	800-1200
750	1800-2200	1200-2000

И.П. Крючков  
Стр. 15 Таблица 1-14  
1978 год

**Предельная передаваемая мощность и предельная длина линии в зависимости от сечения проводов при  $U=10\%$  и  $\cos\phi=0,85$**

Марка провода (примерный вариант)	Предельная передаваемая мощность и предельная длина линии при среднем эксплуатационном напряжении, кВ							
	36,7		115		158		230	
	P, МВт	L, км	P, МВт	L, км	P, МВт	L, км	P, МВт	L, км
АС-35/6,2	1,9	65	----	----	----	----	----	----
АС-50/8	2,7	56	8,45	175	----	----	----	----
АС-70/11	3,78	50	11,8	158	----	----	----	----
АС-95/16	5,15	45	16,1	142	22,1	195	----	----
АС-120/27	6,5	40	20,3	126	28,0	172	----	----
АС-150/19	8,12	36	25,4	113	35,6	153	----	----
АС-185/29	10,0	32	31,3	101	43,2	138	62,6	330
АС-240/32	13,0	27	40,6	86	56,0	118	84,4	250
АС-300/48	----	----	50,7	74	70,0	101	102	220
АС-400/51	----	----	----	----	93,7	81	136	170



**Средние значения длин пролетов и расстояний между фазами**

Размер, м	При номинальном напряжении линии, кВ						
	6-10	35	110	220	330	500	750
Длина пролета	50-100	150-200	170-250	250-350	300-400	350-450	450-550
Габарит до земли	6-7	6-7	6-7	7-8	7,5-8	8	10-12
Расстояние между фазами при расположении их на опоре: треугольником	0,8-1,5	3-3,5	4,5-5	5-8	6-12,8	----	----
Вертикально (бочкой)	----	3	3,2-3,6	6-7	6-7	----	----
горизонтально	----	3	4	7-7,8	8-9	10,5-10,9	17,5-19,5

**Рекомендуемые значения экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, для воздушных и кабельных линий напряжением до 500 кВ.**

Проводники	При использовании максимума нагрузки Т, ч		
	1000-3000	3000-5000	5000-8760
Голые провода и шины медные	2,5	2,1	1,8
То же алюминиевые: Европейская часть СССР, Закавказье, Забайкалье, и Дальний Восток	1,3	1,1	1,0
Центральная Сибирь, Казахстан и Средняя Азия	1,5	1,4	1,3
Кабели с бумажной и провода с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с медными жилами	3,0	2,5	2,0
То же с алюминиевыми жилами: Европейская часть СССР, Закавказье и Дальний Восток	1,6	1,4	1,2
Центральная Сибирь, Казахстан и Средняя Азия	1,8	1,6	1,5
Кабели с резиновой и с пластмассовой изоляцией с медными жилами	3,5	3,1	2,7
То же с алюминиевыми жилами: Европейская часть СССР, Закавказье, Забайкалье и Дальний Восток	1,9	1,7	1,6
Центральная Сибирь, Казахстан и Средняя Азия	2,2	2,0	1,9



**Емкостные проводимости воздушных линий, См/км  $10^{-6}$**

Среднее геометрическое расстояние между фазами, м	Диаметры проводов d, мм								
	10	12	14	16	18	20	24	28	32
3,0	2,73	2,82	2,90	2,95	3,01	3,06	----	----	----
3,5	2,66	2,73	2,82	2,87	2,93	2,98	----	----	----
4,0	2,61	2,68	2,75	2,82	2,87	2,92	3,01	3,08	3,16
4,5	2,56	2,62	2,70	2,76	2,82	2,86	2,94	3,02	3,10
5,0	2,53	2,60	2,66	2,71	2,76	2,82	2,89	2,97	3,03
5,5	2,49	2,56	2,62	2,67	2,72	2,77	2,86	2,93	2,99
6,0	2,46	2,53	2,59	2,64	2,68	2,73	2,82	2,90	2,95
6,5	----	----	----	----	----	2,70	2,77	2,85	2,91
7,0	----	----	----	----	----	2,66	2,73	2,82	2,87
7,5	----	----	----	----	----	2,64	2,71	2,78	2,84
8,0	----	----	----	----	----	2,61	2,68	2,75	2,82
8,5	----	----	----	----	----	2,59	2,66	2,73	2,78

**Длительно допустимые нагрузки на провода (по условиям нагрева)**

*Токовые нагрузки голых проводов (М), алюминиевых (А), сталеалюминевых (АС) и стальных (ПОС, ПС) проводов, А*

Медные		Алюминиевые		Сталеалюминевые		Стальные	
Марка провода	Допустимая нагрузка	Марка провода	Допустимая нагрузка	Марка провода	Допустимая нагрузка	Марка провода	Допустимая нагрузка
М-6	70	А-16	105	АС-35/62	175	ПСО-3	23
М-10	95	А-25	135	АС-50/8	210	ПСО,5	26
М-16	130	А-35	170	АС-70/11	265	ПСО-4	30
М-25	180	А-50	215	АС-95/16	330	ПСО-5	35
М-35	220	А-70	265	АС-120/19	380	ПС-25	60
М-50	270	А-95	320	АС-150/24	445	ПС-35	75
М-70	340	А-120	375	АС-185/24	510	ПС-50	90
М-95	415	А-150	440	АС-240/39	610	ПС-70	125
М-120	485	А-185	500	АС-300/48	690	ПС-95	140
М-150	570	А-240	590	АС-300/43	705	----	----
М-185	640	А-300	680	АС-400/51	710	----	----
М-240	760	А-400	815	АС-500/64	945	----	----
М-300	800	А-500	980	АС-600/72	1050	----	----



Индуктивные сопротивления воздушных линий, Ом/км

Среднее геометрическое расстояние между фазами, м	Диаметр проводов d, мм													
	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	24	28	32
0,6	0,359	0,347	0,337	0,329	0,322	0,316	0,305	0,245	----	----	----	----	----	----
0,8	0,376	0,364	0,356	0,347	0,340	0,333	0,322	0,312	----	----	----	----	----	----
1,0	0,391	0,379	0,370	0,361	0,354	0,347	0,336	0,326	----	----	----	----	----	----
1,25	0,404	0,393	0,383	0,376	0,368	0,362	0,350	0,340	----	----	----	----	----	----
1,5	0,416	0,404	0,394	0,386	0,379	0,372	0,362	0,351	----	----	----	----	----	----
1,75	0,426	0,415	0,404	0,396	0,389	0,383	0,371	0,363	----	----	----	----	----	----
2,0	0,433	0,422	0,413	0,404	0,396	0,391	0,379	0,370	0,361	0,354	0,347	----	----	----
2,5	----	----	0,426	0,419	0,411	0,404	0,393	0,383	0,376	0,368	0,362	----	----	----
3,0	----	----	0,437	0,429	0,422	0,416	0,404	0,394	0,386	0,379	0,372	----	----	----
3,5	----	----	0,488	0,439	0,432	0,426	0,415	0,404	0,396	0,389	0,383	----	----	----
4,0	----	----	0,456	0,448	0,441	0,433	0,422	0,413	0,404	0,396	0,391	0,379	0,370	0,361
4,5	----	----	----	----	0,448	0,441	0,432	0,419	0,412	0,404	0,398	0,386	0,378	0,369
5,0	----	----	----	----	0,455	0,448	0,436	0,429	0,419	0,411	0,404	0,393	0,383	0,376
5,5	----	----	----	----	0,461	0,454	0,442	0,432	0,425	0,418	0,410	0,399	0,389	0,381
6,0	----	----	----	----	0,466	0,460	0,448	0,436	0,429	0,422	0,416	0,404	0,394	0,386
6,5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,421	0,410	0,400	0,391
7,0	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,426	0,415	0,404	0,396
7,5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,430	0,419	0,409	0,400
8,0	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,433	0,422	0,413	0,404
8,5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,438	0,426	0,416	0,408



Продолжение таблицы П.1-2												
300/66	288	65,8	24,5	10,5	0,100	12191	12479	1313	37	95	88,46	18,38
300/204	298	204	29,2	18,6	0,097	27398	27845	2428	102	164	118,69	15,47
330/27	325	26,6	24,4	6,6	0,089	8437	9087	1106	12	112	73,36	20,74
330/43	332	43,1	25,2	8,4	0,087	10078	10575	1255	23	113	78,76	19,8
400/22	394	22,0	26,6	6,0	0,073	8910	9500	1261	12	133	70,21	21,36
400/51	394	51,1	27,5	9,2	0,073	11766	12160	1490	28	134	78,76	19,8
400/64	390	63,5	27,7	10,2	0,074	12783	13173	1572	35	115	82,19	19,28
400/93	406	93,2	29,1	12,5	0,071	16767	17173	1851	53	133	88,56	18,4
450/56	434	56,3	28,8	9,6	0,067	12962	13396	1640	30	145	78,76	19,8
500/27	481	26,6	29,4	6,6	0,060	10849	11570	1537	15	158	70,21	21,36
500/64	490	63,5	30,6	10,2	0,059	14628	15118	1852	33	163	78,72	19,8
500/336	490	336	37,5	23,9	0,059	45112	45602	4005	168	270	118,69	15,47
500/71	549	71,2	32,4	10,8	0,053	16395	16944	2076	38	184	78,76	19,8
600/72	580	72,2	33,2	11,0	0,050	17732	18312	2170	39	194	78,17	19,89



Конструктивные и расчетные данные сталеалюминевых проводов марок АС, АСКС, АСКП и АСК

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup> алюминий/сталь	Расчетное сечение, мм <sup>2</sup>		Диаметр, мм		Сопротивление постоянному току при 20°С, Ом/км	Разрывное усилие, кгс		Масса 1 км провода, кг			Модуль упругости E 10 <sup>3</sup> МПа	Температурный коэффициент удлинения α 10 <sup>-6</sup> , К <sup>-1</sup>
	Алюминия	Стали	Провода	Стального сердечника		Алюминиевая проволока марки АТ	Алюминиевая проволока марки АТП	Без смазки	АСКС	АСКП		
50/8,0	48,2	8,04	9,6	3,2	0,592	1632	1675	194	3,0	3,0	82,5	19,2
70/11	68,0	11,3	11,4	3,8	0,420	2298	2329	274	4,5	4,5	82,5	19,2
76/12	68,4	72,2	15,4	11,0	0,420	9325	9462	755	38	38	133,26	14,54
95/16	95,4	15,9	13,5	4,5	0,299	3185	3270	384	6,0	6,0	82,5	19,2
95/15	91,7	15,0	13,5	5,0	0,314	3202	3385	370	8,5	31	82,27	19,28
95/14	91,2	14,1	19,8	15,4	0,316	17480	17673	1357	69	69	146,03	14,1
120/19	118	18,8	15,2	5,6	0,245	4064	4182	471	11	35	81,82	19,3
120/27	116	26,6	15,5	6,6	0,249	4885	5117	528	14	37	88,56	18,4
150/19	148	18,8	16,8	5,5	0,195	4500	4722	554	12	42	78,45	19,84
150/24	149	24,2	17,1	6,3	0,194	5108	5331	600	14	44	82,13	19,27
150/34	147	34,3	17,5	7,5	0,196	6086	6306	675	18	48	88,9	18,34
185/24	187	24,2	18,9	6,3	0,154	5735	5922	705	14	51	78,68	19,81
185/29	181	29,0	18,8	6,9	0,159	6081	6353	728	16	52	81,92	19,27
185/43	185	43,1	19,6	8,4	0,156	7652	7930	846	23	61	88,9	18,34
185/128	187	128	23,1	14,7	0,155	17648	18023	1525	63	101	118,69	15,47
205/27	205	26,6	19,8	6,6	0,140	6295	6500	774	15	57	78,76	19,80
240/32	244	31,7	21,6	7,2	0,118	7409	7653	921	17	66	78,76	19,8
240/39	236	38,6	21,6	8,0	0,122	8013	8249	952	22	71	82,27	19,28
240/56	241	56,3	22,4	9,6	0,120	9778	10019	1106	30	78	88,90	18,34
300/39	301	38,6	24,0	8,0	0,096	8935	9236	1132	22	83	78,57	19,81
300/48	295	47,8	24,1	8,9	0,098	9969	10116	1186	27	87	82,13	19,27



Продолжение таблицы П.3-2

ТРДЦН-80	115	----	6,3/6,3; 10,5/10,5; 6,3/10,5	70	89	310	----	10,5	----	0,55
ТДЦН-80	115	----	38,5	70	89	310	----	10,5	----	0,55
ТДЦ-80*	121	----	3,15; 6,3; 10,5; 13,8	70	89	310	----	10,5	----	0,55
ТДЦ-125*	121	----	10,5; 13,8	100	120	400	----	10,5	----	0,55
ТРДЦН-125	115	----	10,5/10,5	100	120	400	----	10,5	----	0,55
ТДЦ-200*	121	----	13,8; 15,75; 18	140	170	550	----	10,5	----	0,50
ТДЦ-250*	121	----	15,75	160	200	640	----	10,5	----	0,50
ТДЦ-400*	121	----	20	260	320	900	----	10,5	----	0,45
Трансформаторы 110 кВ трехобмоточные										
ТМТН-6,3	115	38,5	6,6; 11	14	17	58	10,5	17	6	1,2
ТДТН-10	115	38,5	6,6; 11	19	23	76	10,5	17	6	1,1
ТДТН-15	115	38,5	6,6; 11	26	32	196	10,5(17)	17(10,5)	6(6)	1,05
ТДТН-25	115	11; 38,5	6,6; 11	36	45	140	10,5	17	6	0,9
ТДТН-40	115	11; 38,5	6,6; 11	50	63	200	10,5(17)	17(10,5)	6(6)	0,80
ТДТН-63	115	11; 38,5	6,6; 11	70	87	290	10,5(17)	17(10,5)	6(6)	0,70
ТДТН-80	115	11; 38,5	6,6; 11	82	102	390	10,5(17)	17(10,5)	6(6)	0,80

Значком \* отмечены повышающие трансформаторы



### Характеристики трансформаторов 110 кВ

Тип и номинальная мощность, МВ А	Сочетания напряжений, кВ			Потери, кВт			Напряжение К.З. в % номинального напряжения			Ток х.х. в % от номинального тока
	ВН	СН	НН	К.З.			ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
				А	Б	ВН-НН				
Трансформаторы 110 кВ двухобмоточные										
ТМН-2,5	110	----	6,6; 11	5,6	6,5	22	----	10,5	----	1,5
ТМН-6,3	115	----	6,6; 11	10	13	49	----	10,5	----	0,9
ТМН-10	115	----	6,6; 11	14	18	60	----	10,5	----	0,85
ТДН-16	115	----	6,6; 11	21	26	90	----	10,5	----	0,80
ТРДН-25	115	----	6,3/6,3; 10,5/10,5; 6,3/10,5	29	36	120	----	10,5	----	0,75
ТРДН-32	115	----	6,3/6,3; 10,5/10,5; 6,3/10,5	35	44	145	----	10,5	----	0,70
ТДН-40	115	----	38,5	42	52	175	----	10,5	----	0,65
ТРДН-40	115	----	6,3/6,3; 10,5/10,5; 6,3/10,5	42	52	175	----	10,5	----	0,65
ТД-40*	121	----	3,15; 6,3; 10,5	42	52	175	----	10,5	----	0,65
ТРДЦН-63	115	----	6,3/6,3; 10,5/10,5; 6,3/10,5	59	73	245	----	10,5	----	0,60



**Характеристики трехфазных трансформаторов напряжением 6-10 и 35 кВ**

Номинальная мощность, кВА	Верхний предел номинальных напряжений, кВ		Потери, кВт			Короткого замыкания (К.З.)	Напряжение: К.З. в % от Уном	Ток х.х. в % от Iном
	(вн)	(нн)	Холостого хода (х.х.)		Уровень Б			
			Уровень А	Уровень Б				
Трансформаторы типа ТМ и ТМН								
25	10; 6	0,4; 0,23	0,105	0,125	0,6	4,5	3,2	
40	10; 6	0,4; 0,23	0,15	0,88	0,88	4,5	3,0	
63	10; 6	0,4; 0,23	0,22	0,26	1,28	4,5	2,8	
100	35; 10; 6	0,4; 0,23	0,31	0,36	1,97	6,5-4,5	2,6	
160	35; 10; 6	0,69; 0,4; 0,23	0,46	0,54	2,65	6,5-4,5	2,4	
250	35; 10; 6	0,69; 0,4; 0,23	0,66	0,78	3,7	6,5-4,5	2,3	
400	35; 10; 6	0,69; 0,4; 0,23	0,92	1,08	5,5	6,5-4,5	2,1	
630	35; 10; 6	3,15; 0,69; 0,4; 0,23	1,42	1,68	7,6	6,5-4,5	2,0	
1000	35; 10; 6	10,5; 0,69	2,35-2,1	2,75-2,45	12,2-11,6	6,5-5,5	1,5-1,4	
1600	35; 10; 6	10,5; 0,69	3,1-2,8	3,65-3,3	18,0-16,5	6,5-5,5	1,4-1,3	
2500	35; 10; 6	10,5; 0,69	4,35-3,9	5,1-4,6	25-23,5	6,5-5,5	1,1-1,0	
4000	35; 10; 6	10,5; 6,3	5,7-5,45	6,7-6,4	33,5	7,5-6,5	1,0-0,9	
6300	35; 10; 6	10,5; 6,3	8-7,65	9,4-9,0	46,5	7,5-6,5	0,9-0,8	
Трансформаторы типа ТД и ТДН								
10000	38,5	10,5	12,3	14,5	65,0	7,5	0,8	
16000	38,5	10,5	17,8	21,0	90,0	8,0	0,6	
25000	36,75	10,5						
40000	38,5	10,5	31,0	36,0	165,0	8,5	0,4	
Трансформаторы типа ТДЦ								
80000	38,5	10,5	53,0	60	280,0	9,5	0,3	



## 2. Определение капитальных затрат на строительство подстанций.

В проектируемой электрической сети выбранных вариантов

ОРУ – 110 кВ – 3;

ОРУ – 35 кВ – 3;

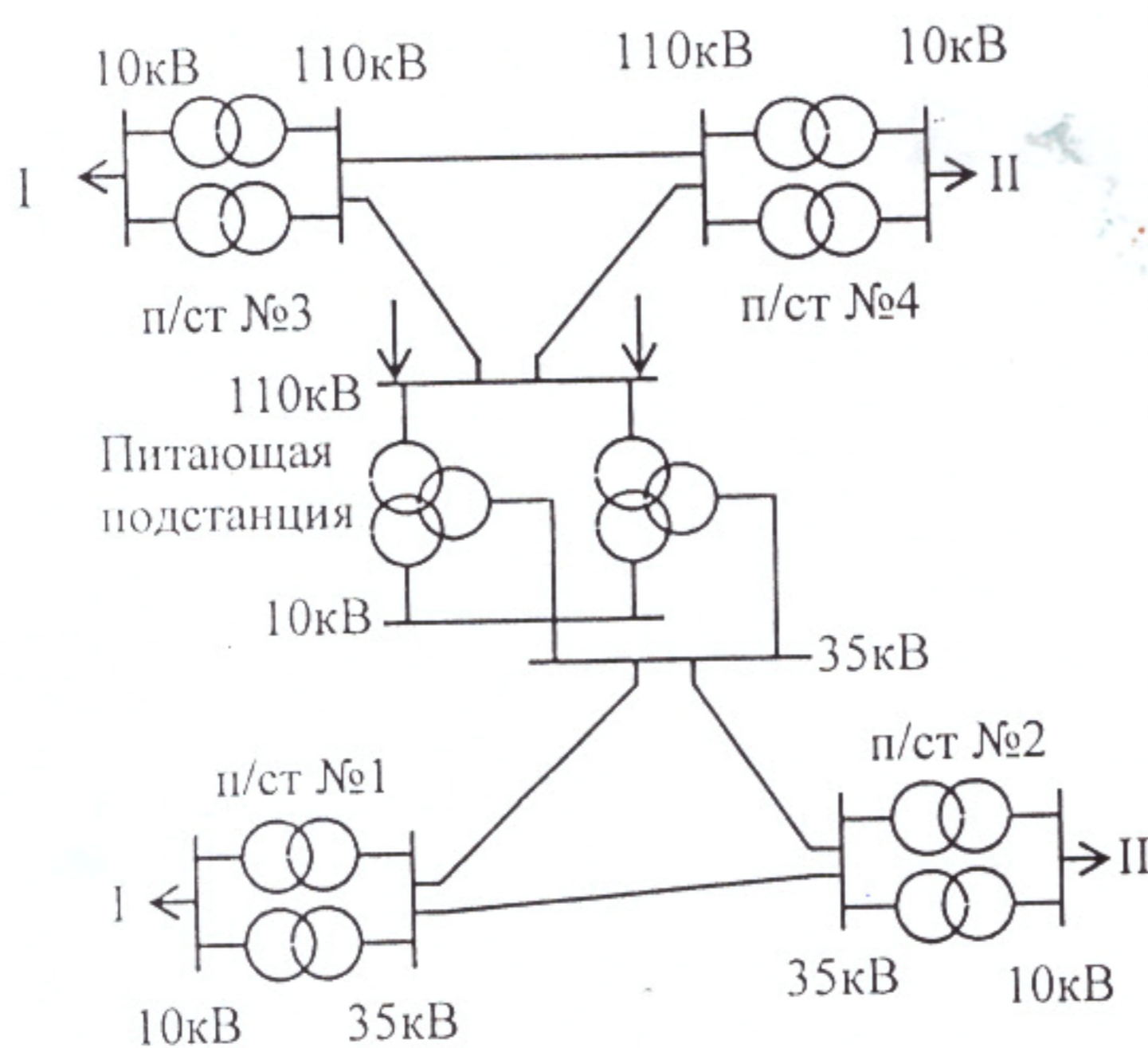
КРУН – 10 кВ – 5;

Подстанций 110/35/10 кВ – 1;

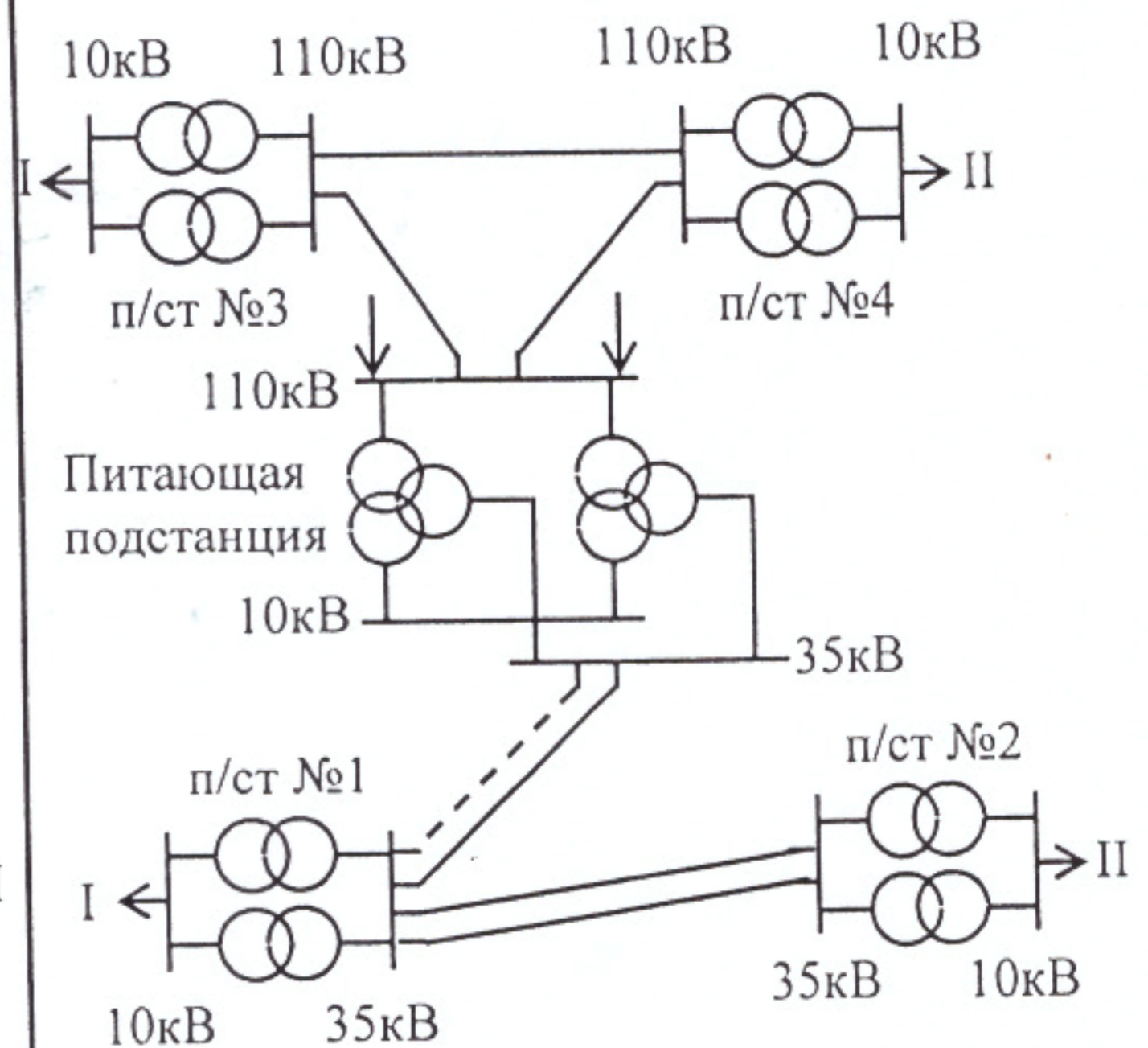
Подстанций 110/10 кВ – 2;

Подстанций 35/10 кВ – 2.

### Вариант №1



### Вариант №3



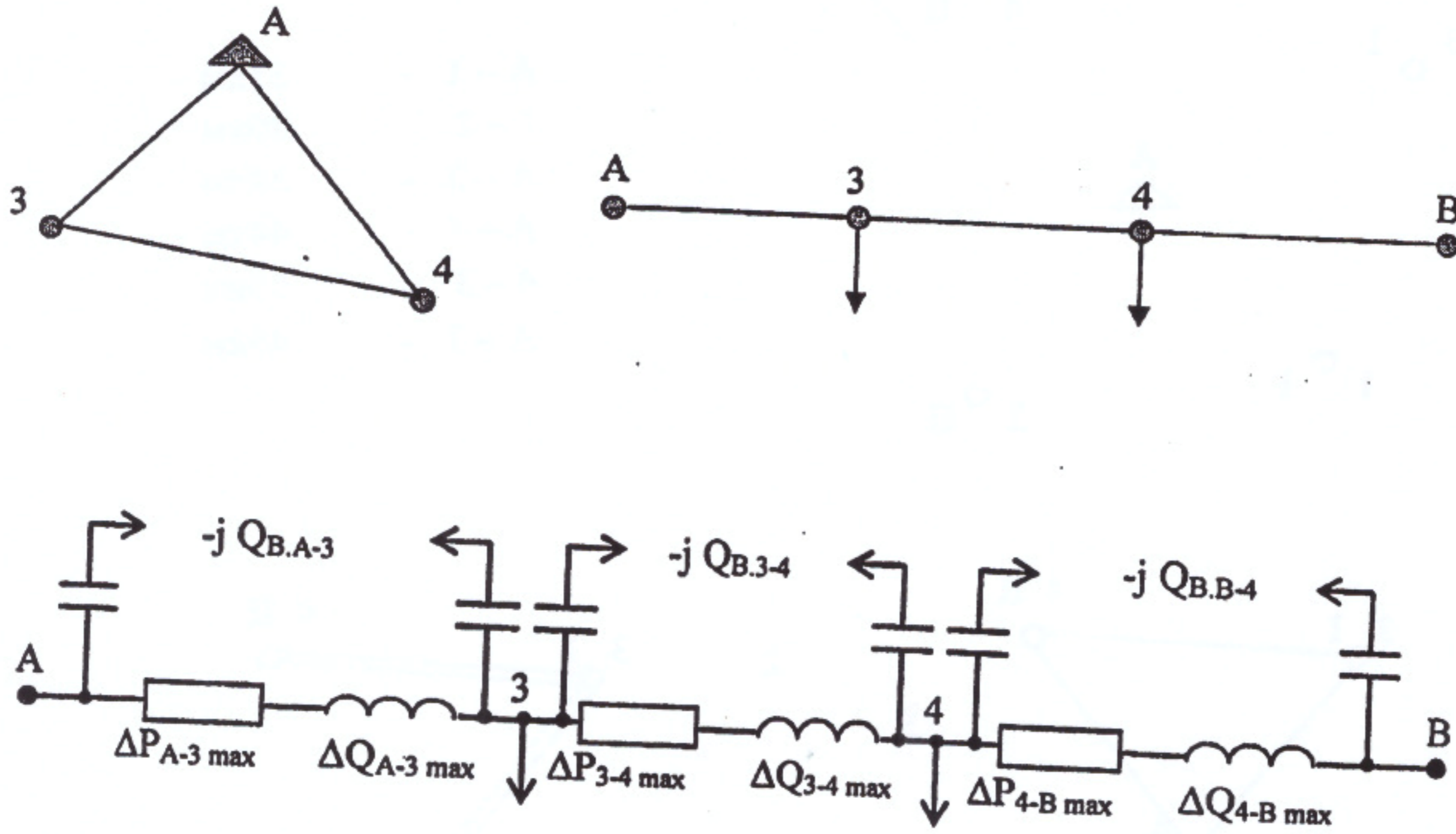
## 3. Составление схем электрических соединений подстанций.

[Рокотян. 1982 г. с. 55-59; 62-64]

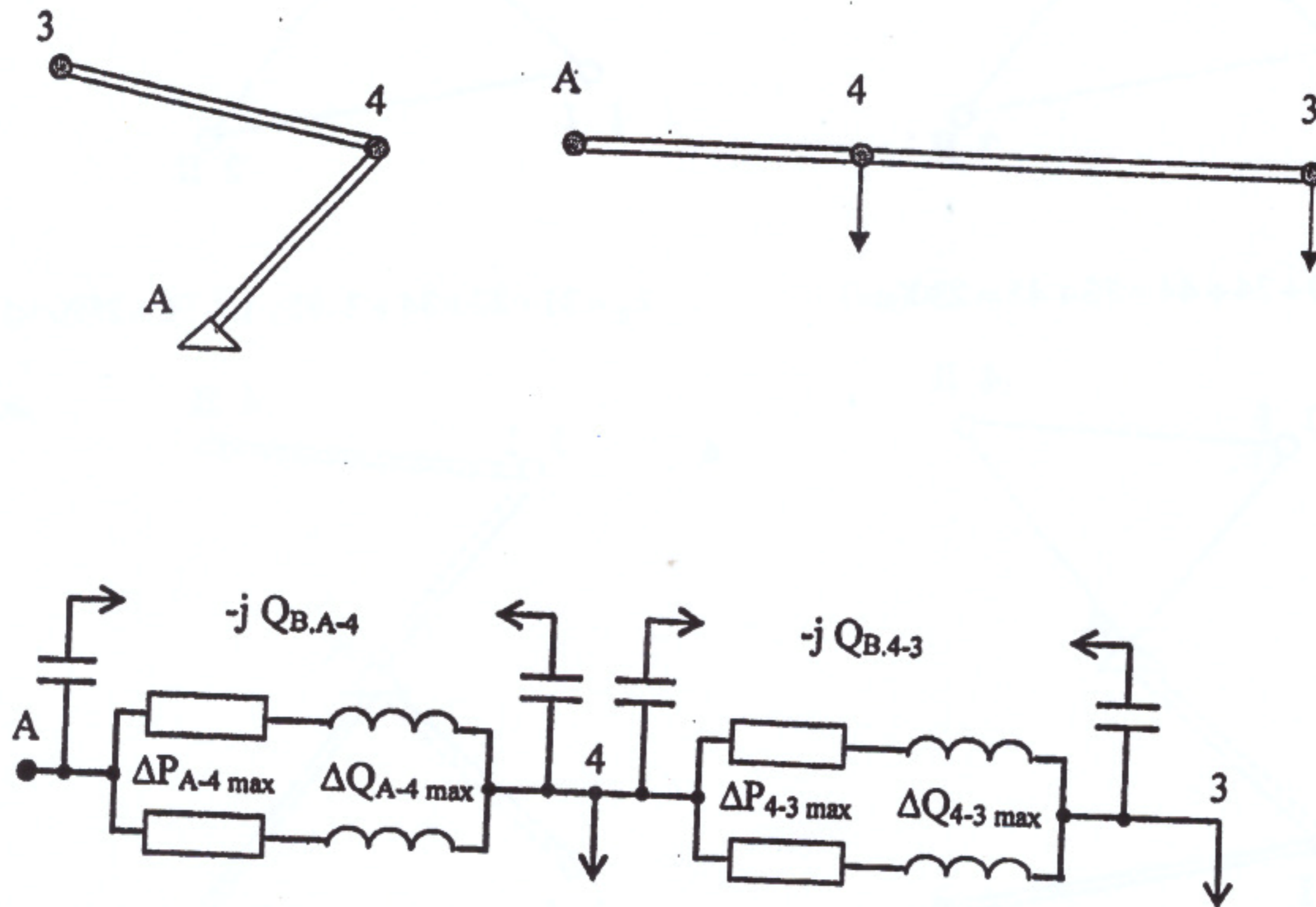


# Составление схем замещения воздушных линий.

## 1. Замкнутая электрическая сеть.



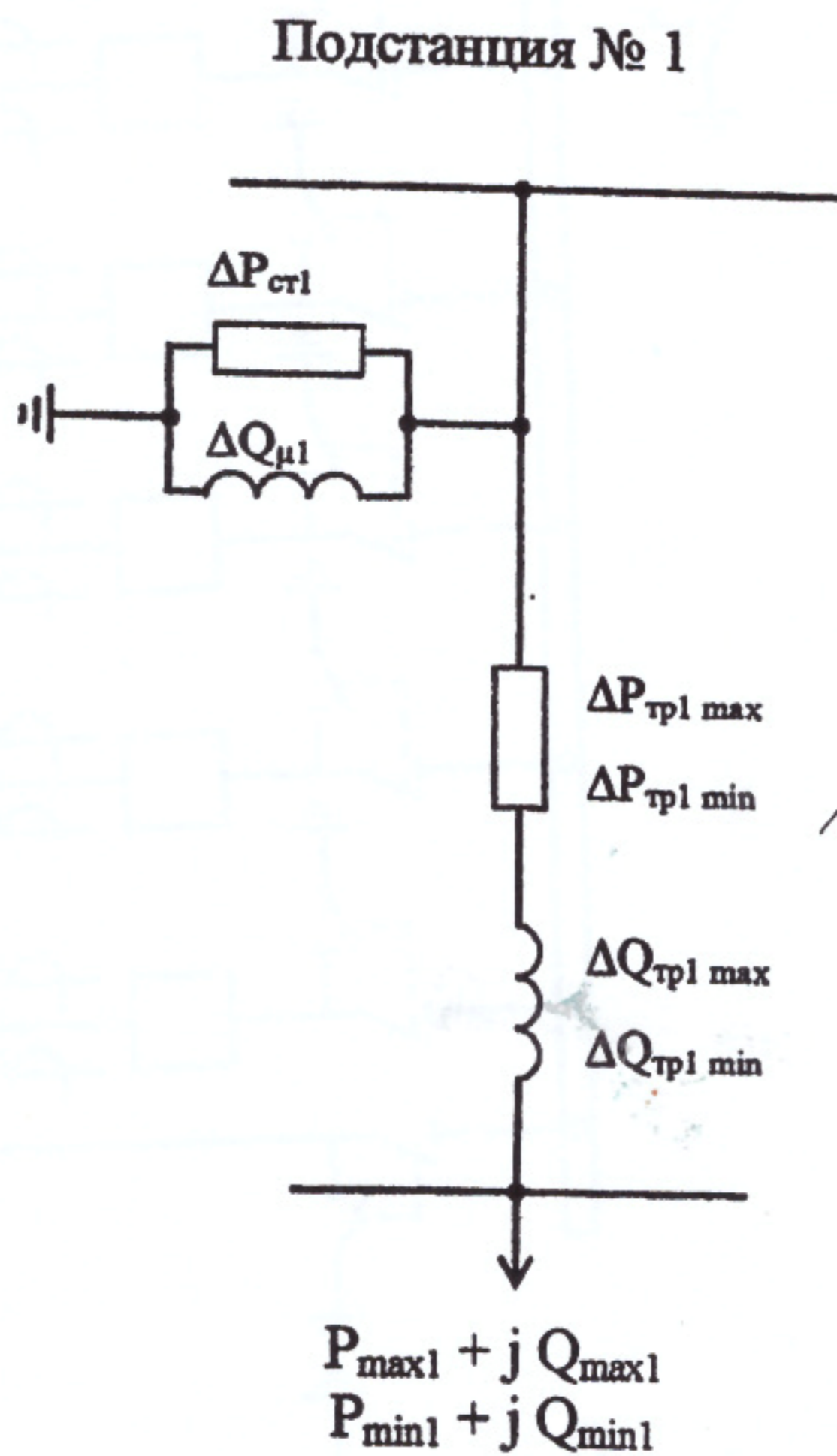
## 2. Разомкнутая сеть, выполненная двухцепными линиями.





## Составление схем замещения трансформаторов.

Для каждой подстанции составляется схема замещения.



Нагрузка потребителей указана в кВА, потери мощности указаны в кВт, кВар