

УДК 621.316

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ВЛ 6-10 КВ С УЧЕТОМ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Г.Ф. КУЦЕНКО, А.А. ПАРФЁНОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Как известно, уровень рабочего напряжения в сети существенно влияет на технико-экономические характеристики электроприемников, поэтому ГОСТ 13109-97 [1] нормирует допустимые отклонения напряжения на их выводах. Как и для многих других показателей качества электроэнергии, для отклонения напряжения установлены два вида нормированных значений: нормально допустимые ($\pm 5\%$) и предельно допустимые ($\pm 10\%$). В течение 95 % каждых суток (22 ч 48 мин) электроэнергия должна отпущаться с отклонениями не более нормально допустимых, а в течение остальных 5 % (1 ч 12 мин) отклонения могут выходить за пределы $\pm 5\%$, но не должны превышать $\pm 10\%$.

В данной статье исследуется возможность взаимного резервирования воздушных линий электропередачи 6-10 кВ при аварийном отключении питания какой-либо линии и анализируется величина отклонения напряжения при этом. Исследования проводились на примере моделей ВЛ 6-10 кВ.

Модель – это физический или абстрактный образ моделируемого объекта, удобный для проведения исследований и позволяющий адекватно отображать интересующие исследователя физические свойства и характеристики объекта [2].

В результате исследований 200 линий электропередачи было построено 7 моделей воздушных линий электропередачи 6-10 кВ. Критерием для отбора линии и отнесения ее к той или иной модели был такой параметр, как общая протяженность воздушной линии. В результате анализа совпадений этого параметра и было построено 7 моделей. Модель представляет собой схему линии определенной конфигурации со своей структурой и параметрами. Для каждой модели определены марка, сечение провода, протяженность каждого участка, показаны коммутационные аппараты. Более подробно характеристики моделей описаны в ранее опубликованных работах [3, 4]. На рис. 1 показаны модели 1, 3, 5, 7 и пример резервирования модели 1 с моделью 2.

Анализ отклонения напряжения был проведен для различных значений коэффициентов загрузки всех трансформаторов линии от 0,35 до 1,0. В таблице 1 приведены значения отклонения напряжения лишь при двух коэффициентах загрузки трансформаторов 1,0 и 0,35 и для двух случаев резервирования: модели 1 с другими моделями и модели 7 с другими моделями. Эти значения коэффициентов нагрузки соответствуют, согласно суточному графику нагрузки, часам максимальной и минимальной нагрузки. Резервирование линий проводилось по следующей формуле:

$$m_i + m_j, \tag{1}$$

где m_i – номер модели линии, остающейся в работе, m_j – номер модели линии отключенной.

В таблице 1 номера узлов модели m_j обозначены со штрихом (см. рис. 1), а серым цветом показаны наибольшие отклонения напряжения.

Анализ результатов расчета показывает, что при коэффициенте нагрузки равным 1,0 отклонения напряжения в узлах модели удовлетворяют нормально допустимым нормам при резервировании по следующим формулам: 1+1, 1+2, 1+3, 2+1, 2+2, 2+3, 3+2. При коэффициенте нагрузки равным 0,35 – 1+1, 1+2, 1+3, 1+4, 1+5, 1+6, 2+1, 2+2, 2+3, 2+4, 2+5, 2+6, 3+1, 3+2, 3+3, 3+4, 4+1, 4+2, 4+3.

Следовательно, при максимальной нагрузке линии возможно резервирование первых трех моделей друг с другом, при минимальной нагрузке возможно резервирование моделей 1-4 с другими моделями, а резервирование моделей 5-7 с другими невозможно ни в одном случае.

Проанализируем возможность резервирования не всей линии, а части линии. При этом возобновляется питание не всех потребителей, присоединенных к линии, а лишь их части. Так, при максимальной нагрузке линии с соблюдением нормально допустимых норм качества возможно резервирование по следующим формулам: 1+4 до узла 3', 1+5 до узла 6', 1+6 до узла 4', 1+7 до узла 11', 2+4 до узла 5', 2+5 до узла 9'. Резервирование 4, 5, 6, 7 с другими моделями невозможно даже частично.

При минимальной нагрузке линии с соблюдением нормально допустимых норм качества возможно резервирование по следующим формулам: 1+7 до узла 3', 2+7 до узла 4', 3+5 до узла 3', 3+6 до узла 2', 3+7 до узла 9'. Резервирование 5-7 моделей частично при минимальной нагрузке также невозможно.

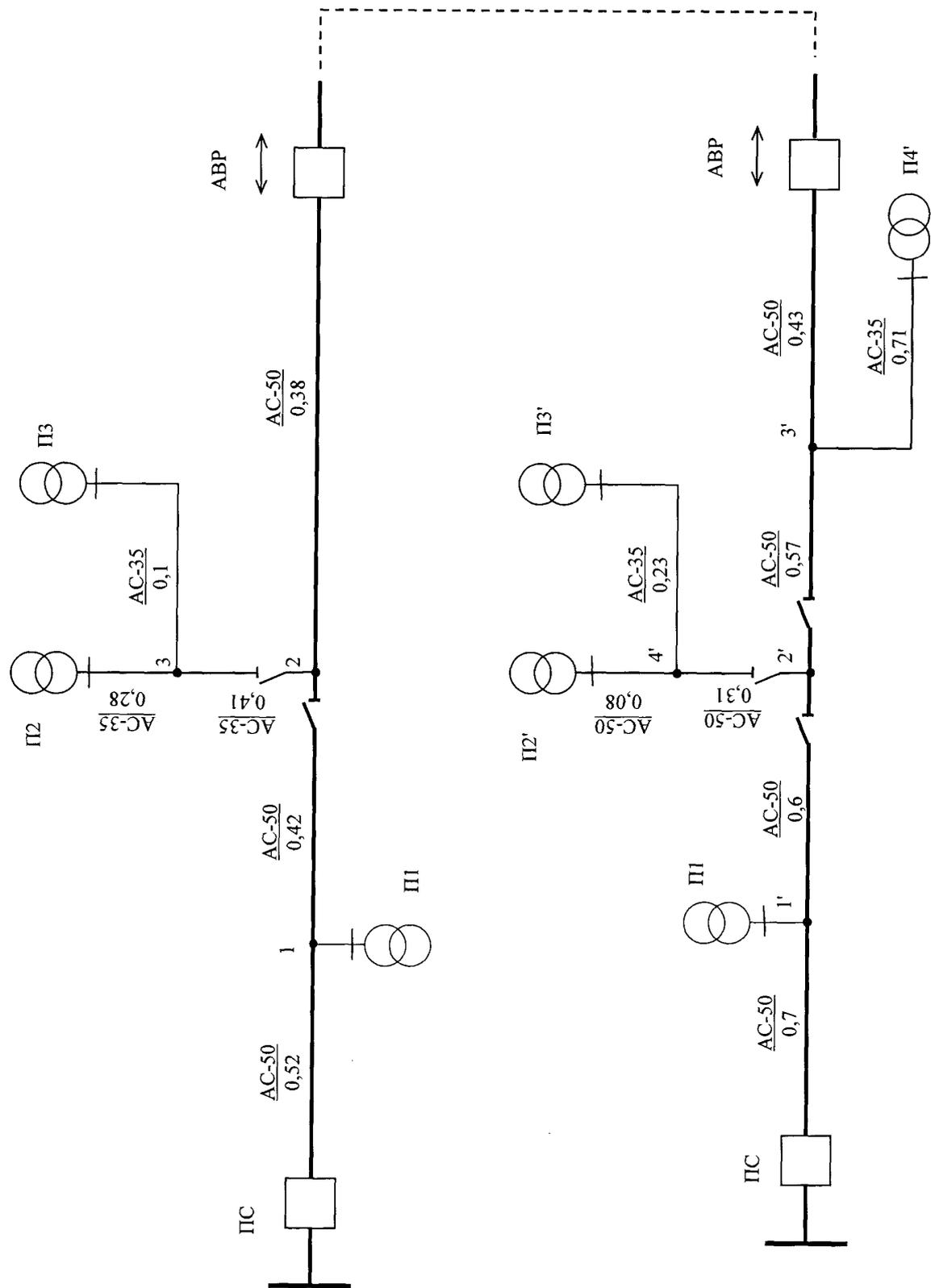
Таблица 1

Значения отклонения напряжения в узлах модели при резервировании

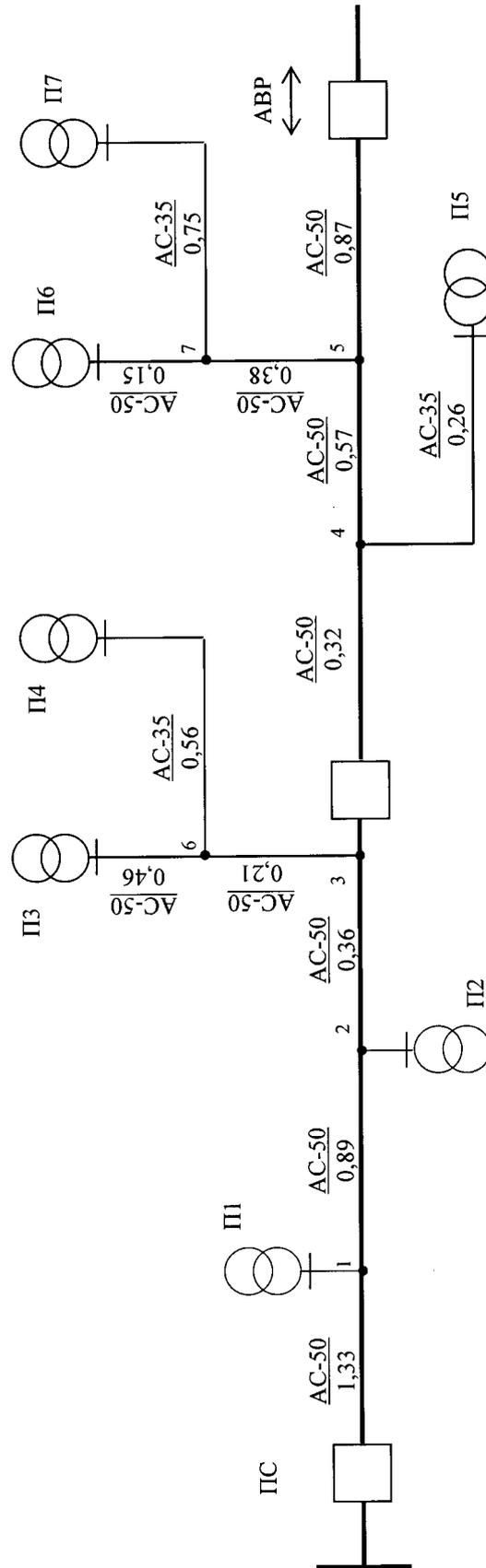
		1+1																			
Номер узла		2	2'	1'	3'	3-П2'	3-П3'														
k _н	1,0	1,11	1,60	1,77	1,81	1,88	1,83														
	0,35	0,39	0,56	0,62	0,63	0,66	0,64														
		1+2																			
Номер узла		2	3'	2'	1'	3-П3'	4'	4-П2'	4-П3'												
k _н	1,0	0,88	1,20	1,28	1,45	1,32	1,32	1,33	1,35												
	0,35	0,31	0,42	0,45	0,51	0,46	0,46	0,46	0,47												
		1+3																			
Номер узла		2	5'	4'	3'	2'	1'	7'	7-П6'	7-П7'	6'	6-П3'	6-П4'	4-П5'							
k _н	1,0	1,37	2,52	2,71	2,86	3,10	3,79	2,65	2,66	2,87	2,90	2,94	2,98	2,75							
	0,35	0,48	0,88	0,95	1,00	1,08	1,33	0,93	0,93	1,01	1,02	1,03	1,04	0,96							
		1+4																			
Номер узла		2	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	6-П7'	5-П6'	8'	8-П4'	8-П5'							
k _н	1,0	1,61	3,23	3,44	3,61	4,08	4,59	5,19	6,98	3,50	3,73	4,21	4,26	4,25							
	0,35	0,56	1,13	1,20	1,26	1,43	1,61	1,82	2,44	1,23	1,31	1,47	1,49	1,49							
		1+5																			
Номер узла		2	9'	8'	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	8-П11'	6-П9'	10'	10-П4'	10-П5'	11'	11-П6'	12'	12-П7'	
k _н	1,0	1,7	3,7	3,9	4,2	4,6	5,1	5,5	7,1	8,9	10,3	4,1	4,6	5,6	5,6	5,7	5,3	5,36	5,4	5,5	
	0,35	0,6	1,3	1,4	1,4	1,6	1,8	1,9	2,5	3,1	3,6	1,4	1,6	1,9	1,9	2,0	1,8	1,8	1,9	1,9	
		1+6																			
Номер узла		2	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	7-П11'	5-П9'	8'	8-П3'	9'	9-П4'	9-П5'	10'	10-П6'	11'	11-П7'	11-П8'
k _н	1,0	1,7	3,9	4,1	4,3	4,9	5,7	7,3	10,1	4,0	4,3	6,0	6,1	6,2	6,3	6,3	5,1	5,1	5,26	5,3	5,3
	0,35	0,6	1,4	1,4	1,5	1,7	2,0	2,6	3,5	1,4	1,5	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	1,8	1,8	1,8	1,85	1,9

Окончание табл. 1

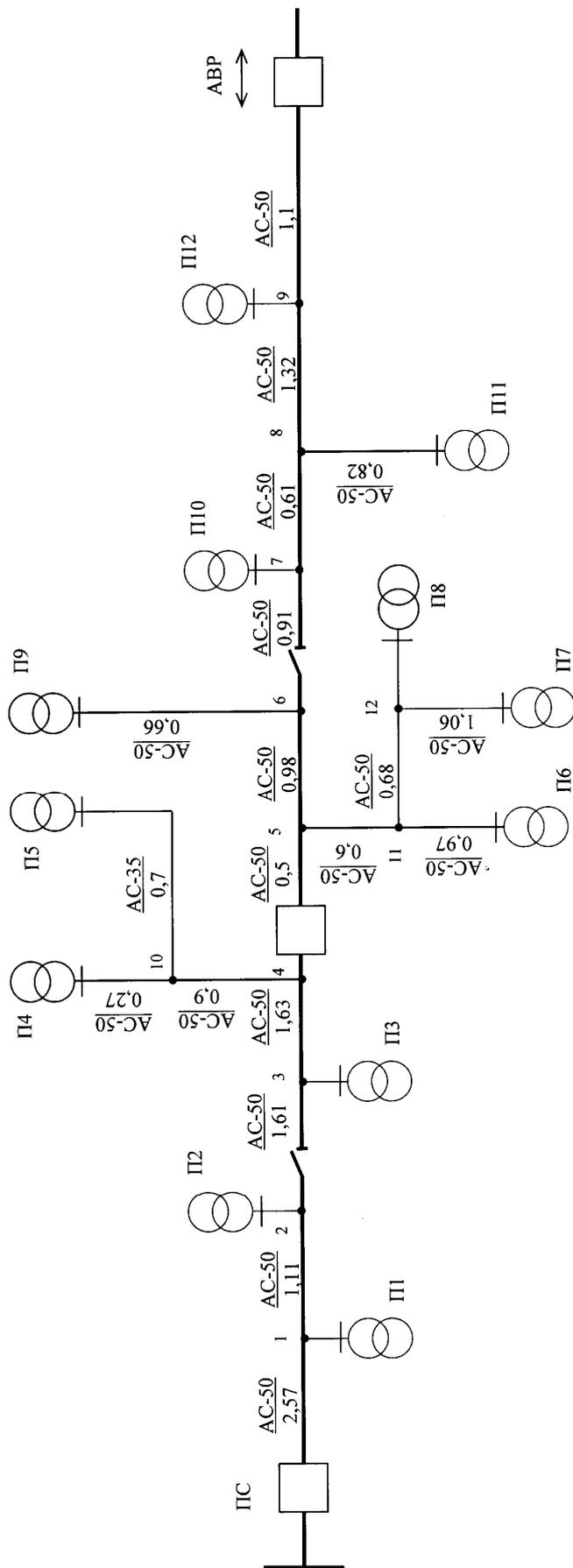
1+7																					
Номер узла		2	13'	12'	11'	10'	9'	8'	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	13-П19'	8-П12'				
k_n	1,0	2,41	4,55	4,59	4,64	5,59	6,22	6,75	7,75	8,63	9,64	11,7	13,2	15,2	18,6	4,60	6,80				
	0,35	0,84	1,59	1,61	1,62	1,96	2,18	2,36	2,71	3,02	3,37	4,09	4,62	5,32	6,53	1,61	2,38				
Номер узла		14'	14-П16'	15'	15-П17'	15-П18'	16'	16-П19'	17'	17-П10'	17-П11'	18'	18-П14'	18-П15'	19'	19-П16'	19-П17'				
k_n	1,0	9,19	9,34	9,29	9,41	9,33	7,88	7,92	7,96	7,99	7,98	5,71	5,77	5,77	4,85	4,89	4,94				
	0,35	3,22	3,27	3,25	3,29	3,27	2,76	2,77	2,79	2,80	2,79	2,00	2,02	2,02	1,70	1,71	1,73				
7+1																					
Номер узла		13	2'	1'	3'	3-П2'		3-П3'													
k_n	1,0	23,4	24,10	24,27	24,30	24,37		24,33													
	0,35	8,2	8,43	8,49	8,51	8,53		8,52													
7+2																					
Номер узла		13	3'	2'	1'	3-П3'	4'	4-П2'	4-П3'												
k_n	1,0	20,9	21,70	21,78	21,95	21,82	21,82	21,83	21,85												
	0,35	7,31	7,59	7,62	7,68	7,64	7,64	7,64	7,65												
7+3																					
Номер узла		13	5'	4'	3'	2'	1'	7'	7-П6'	7-П7'	6'	6-П3'	6-П4'	4-П5'							
k_n	1,0	26,16	27,58	27,78	27,92	28,16	28,85	27,71	27,73	27,94	27,96	28,00	28,05	27,81							
	0,35	9,15	9,65	9,72	9,77	9,86	10,10	9,70	9,70	9,78	9,79	9,80	9,82	9,73							
7+4																					
Номер узла		13	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	6-П17'	5-П16'	8'	8-П4'	8-П5'							
k_n	1,0	28,7	30,73	30,93	31,10	31,58	32,08	32,68	34,47	30,99	31,22	31,70	31,76	31,74							
	0,35	10,1	10,75	10,83	10,89	11,05	11,23	11,44	12,07	10,85	10,93	11,09	11,11	11,11							
7+5																					
Номер узла		13	9'	8'	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	8-П11'	6-П9'	10'	10-П4'	10-П5'	11'	11-П6'	12'	12-П7'	
k_n	1,0	30,1	32,4	32,7	32,9	33,3	33,8	34,2	35,8	37,6	39,0	32,8	33,4	34,4	34,4	34,5	34,0	34,1	34,1	34,3	
	0,35	10,5	11,3	11,4	11,5	11,6	11,8	11,9	12,5	13,1	13,6	11,5	11,6	12,0	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	
7+6																					
Номер узла		13	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	7-П11'	5-П9'	8'	8-П3'	9'	9-П4'	9-П5'	10'	10-П6'	11'	11-П7'	11-П8'
k_n	1,0	29,8	32,4	32,6	32,7	33,5	34,2	35,8	38,6	32,5	32,8	34,5	34,6	34,7	34,8	34,8	33,6	33,6	33,7	33,8	33,8
	0,35	10,4	11,3	11,4	11,5	11,7	11,9	12,5	13,5	11,4	11,5	12,1	12,1	12,1	12,2	12,2	11,7	11,8	11,8	11,8	11,8
7+7																					
Номер узла		13	13'	12'	11'	10'	9'	8'	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	13-П19'	8-П12'				
k_n	1,0	37,2	40,0	40,0	40,1	41,0	41,6	42,2	43,2	44,1	45,1	47,1	48,6	50,6	54,1	40,0	42,2				
	0,35	13,0	14,0	14,0	14,0	14,3	14,5	14,7	15,1	15,4	15,7	16,5	17,0	17,7	18,9	14,0	14,7				
Номер узла		14'	14-П16'	15'	15-П17'	15-П18'	16'	16-П19'	17'	17-П10'	17-П11'	18'	18-П14'	18-П15'	19'	19-П16'	19-П17'				
k_n	1,0	44,6	44,8	44,7	44,8	44,8	43,3	43,3	43,4	43,4	43,4	41,1	41,2	41,2	40,3	40,3	40,4				
	0,35	15,6	15,6	15,6	15,7	15,6	15,1	15,1	15,2	15,2	15,2	14,4	14,4	14,4	14,1	14,1	14,1				



a)



б)



в)

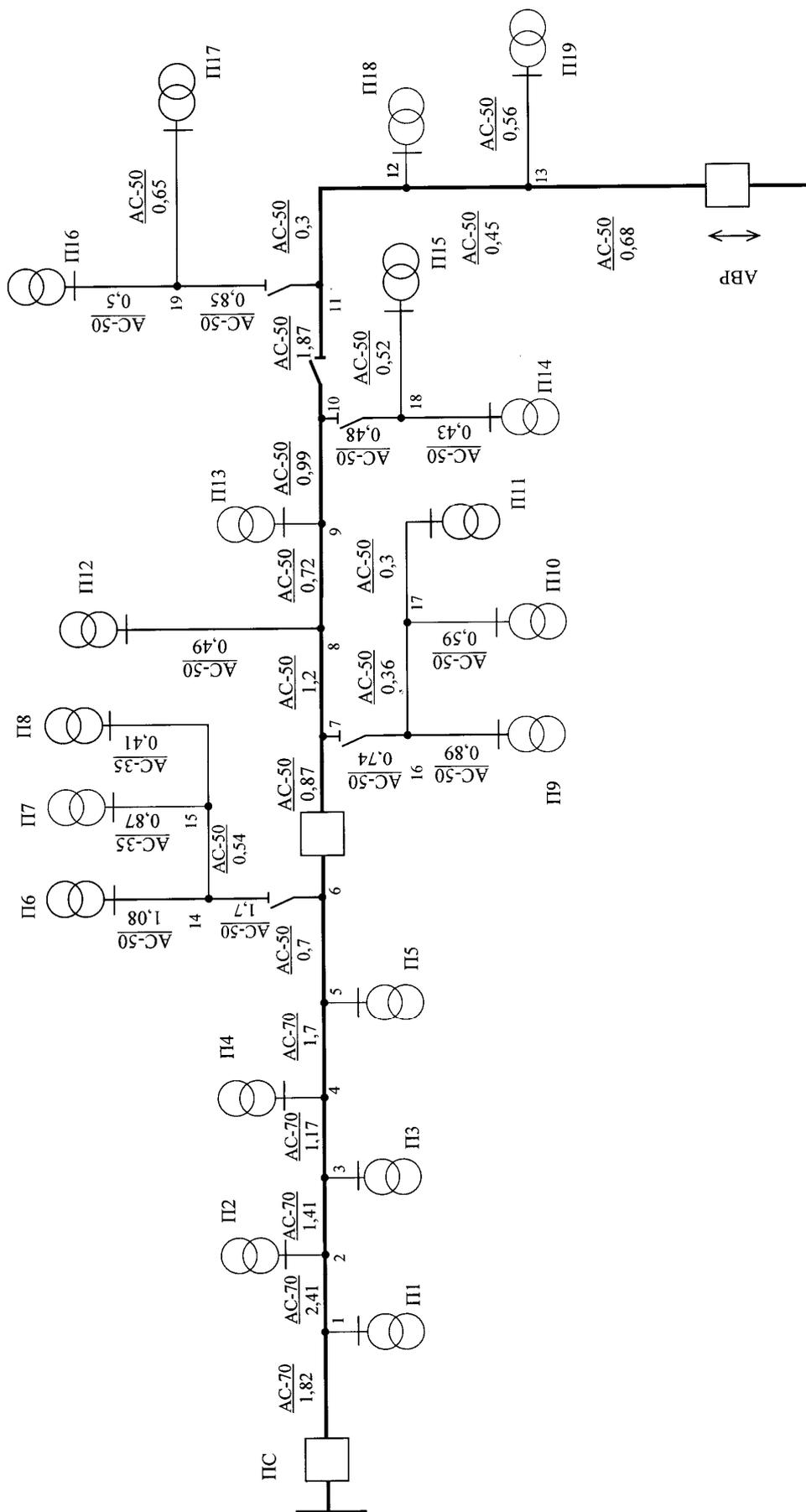


Рис. 1. Модели ВЛ 6-10 кВ сельскохозяйственного назначения г)

Таким образом, можно сделать вывод, что при существующей реальной нагрузке ВЛ 6-10 кВ уровень напряжения будет соответствовать требованиям ГОСТ. Но при возможном дальнейшем росте нагрузки отклонение напряжения будет возрастать и выйдет за пределы требуемых норм качества электроэнергии. Рассматривая возможность резервирования ВЛ 6-10 кВ с соблюдением качества электроэнергии по параметру «установившееся отклонение напряжения» на примере моделей, можно сделать вывод, что невозможно резервирование какой-либо линии с любой другой. Прежде чем произвести подключение одной линии к другой, необходимо провести анализ качества электроэнергии, а затем – резервирование.

Список литературы

1. ГОСТ 13109-97. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» /Меж. гос. Совет по стандарт., метр. и серт. – Минск, 1999.
2. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. – Мн.: ДизайнПРО, 1997. – С. 5-20.
3. Куценко Г.Ф., Парфенов А.А. Моделирование распределительных сетей напряжением 6-10 кВ //Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация: Материалы международной научно-технической конференции (22-23 ноября 2001 г). – Гомель. – Учреждение образования «ГГТУ им. П.О. Сухого», 2001. – С. 84-86.
4. Куценко Г.Ф., Парфёнов А.А. Исследование основных характеристик ВЛ 6-10 кВ сельскохозяйственного назначения //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2001. – № 2. – С. 28-32.

Получено 29.05.2002 г.