



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. РАЗЗАКОВА

Кафедра «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»
им. Дж. АПЫШЕВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ
«ПЕРЕХОДНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВСЕХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ НАПРАВЛЕНИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»

Бишкек 2011



РАССМОТРЕНО

На заседании

Кафедры «электроэнергетика»

Протокол № 1 от 07.09.2011



ОДОБРЕНО

Учебно-методической комиссией

Энергетического факультета

Протокол № 1 от 03.10.2011

Составитель: **ПОПОВА Т.И.**

Переходные электромеханические процессы в электрических системах: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов всех форм обучения направления «Электроэнергетика» специальностей: «Электрические станции», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», «Электроэнергетические системы и сети».

Излагаются краткие теоретические сведения, варианты заданий, методические указания по выполнению курсовой работы, приведены примеры расчетов.

Табл.: 3; рис.: 22; библиогр.: 8.

Рецензент доц.каф. «ЭЭ» И.Н.Василенко



ВВЕДЕНИЕ

Цель курсовой работы - развить у студента навыки самостоятельного приложения знаний, полученных при изучении теоретической части курса, к решению комплексной задачи проектного характера.

При исследовании переходных процессов в современных энергетических системах приходится рассматривать весьма сложный комплекс вопросов, связанных не только с учетом электрических переходных процессов в самой системе и в отдельных ее элементах (генераторах, трансформаторах, линиях электропередач, а также в регуляторах возбуждения синхронных машин), но и принимать во внимание механические процессы в элементах системы (в первичных двигателях) и в различных регулирующих и управляющих устройствах.

Сложность изучения переходных процессов в энергосистемах, а порой и невозможность полного учета всех факторов, влияющих на ее работу, приводит к необходимости идеализации этих процессов и рассмотрению их при учете целого ряда допущений.

Не учитываются, например, в расчетной части курсовой работы активные сопротивления линий, трансформаторов и зарядные мощности линий. Нагрузки представляются в виде постоянных сопротивлений, независимых от изменения режима электрической системы. Регуляторы возбуждения учитываются приближенно - постоянством ЭДС, приложенной за тем или иным сопротивлением, заменяющим генератор. Кроме того, принимается, что механическая мощность турбины остается неизменной при нарушении режима. Расчеты динамической устойчивости ведут, исходя из постоянства ЭДС E' , приложенной за сопротивлением $x'd$ генераторов.

Методические указания должны помочь студенту выбрать целесообразное решение по каждому разрабатываемому вопросу и дать возможность представить необходимый объем работы и последовательность ее выполнения.

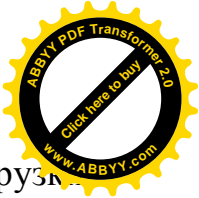
Последовательность изложения материала в основном соответствует последовательности разработки студентом курсовой работы. Если последовательность разработки определенных частей работы должна быть **строго** выдержана, то об этом говорится в тексте настоящих методических указаний.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Произвести расчеты статической и динамической устойчивости для схемы по исходным данным, соответствующим выданному преподавателем варианту. Для этого необходимо выполнить следующие расчеты:

1. Определить предел передаваемой мощности и коэффициент запаса статической устойчивости системы в следующих случаях:

- а) при отсутствии автоматического регулирования возбуждения (АРВ) на генераторах;
- б) при наличии АРВ пропорционального типа;
- в) при наличии АРВ сильного действия.



При выполнении этого задания принять изменение нагрузки генераторов до номинального значения при постоянных $\cos \varphi$ и напряжений U_c на шинах системы.

2. Определить предельное время отключения короткого замыкания и коэффициент запаса динамической устойчивости системы при коротком замыкании в точке K для случаев:

а) при однофазном (нечетный вариант) или двухфазном замыкании на землю (четный вариант);

б) при трехфазном коротком замыкании.

При выполнении этого задания принять следующие условия:

- генераторы имеют систему АРВ пропорционального действия, обеспечивающие постоянные $E'q$ в течение переходного процесса;
- напряжение на шинах системы U_c постоянное;
- механическая мощность турбины остается неизменной при нарушении режима.

3. Определить влияние трехфазного автоматического повторного включения (АПВ) и пофазного АПВ линией электропередач на динамическую устойчивость.

При выполнении этого задания принять следующие условия:

- время отключения к.з. составляет (0,1–0,3) сек.;
- время АПВ по условию деионизации воздушного промежутка в месте к.з. для линии напряжением (110 -150) кВ – 0,3 с; 220 кВ - 0,4 с; 320 кВ - 0,5 с; 500 кВ – 0,6 с;

- генераторы имеют систему АРВ пропорционального действия, обеспечивающую постоянные $E'q$ в течение переходного процесса;

- напряжение на шинах системы U_c постоянное.

Кроме того, в проекте принимается:

- удельное сопротивление линии электропередачи $x_{уд} = 0,4$ Ом/км, сопротивление нулевой последовательности линии электропередачи $x_0 \approx 3x_1$, коэффициент мощности для системы $\cos \varphi_c - 0,95$;

- расчеты статической и динамической устойчивости произвести без учета активных сопротивлений элементов системы и без учета зарядной мощности линии электропередачи.

Генераторы станций электрической системы, схема которой представлена на рис.1, передают активную мощность P_c при $\cos \varphi_c$ на шины системы бесконечной мощности по двухцепной линии электропередач. Напряжение системы поддерживается неизменным во всех эксплуатационных режимах. Нейтрали повышающих и понижающих трансформаторов глухозаземлены.

Вариант курсовой работы задается преподавателем.

Параметры генераторов электростанции и их количество указаны в таблице 1, трансформаторов, ЛЭП и мощность, выдаваемая в систему и нагрузка - в таблице 2.

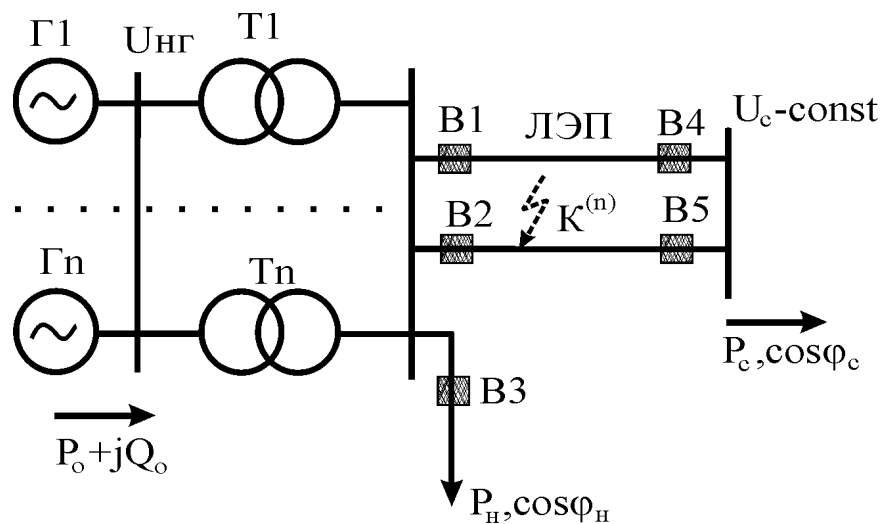


Рис.1. Схема электропередачи

ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа включает расчетно-пояснительную записку и графический материал в виде рисунков и схем электрических соединений, выполненные на листах писчей бумаги формата А4.

Расчетно-пояснительная записка пишется на одной стороне листа, снабжается титульным листом и брошюруется. Все страницы записи, рисунки, графики и таблицы подписываются, нумеруются.

В начале расчетно-пояснительной записки приводятся задание на курсовую работу и исходные данные, соответствующие выданному преподавателем варианту. В расчетах сначала идут расчетные формулы, а затем в них подставляют числовые значения. Пояснительный текст, необходимый при расчетах, должен быть кратким.

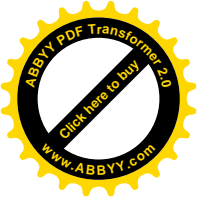
Каждый выполненный пункт заканчивается выводами и соответствующими рекомендациями по существу полученных результатов.

Все рисунки и графики, выполненные в соответствии с требованиями ЕСКД, включаются в пояснительную записку. Буквенные обозначения электрических величин должны соответствовать ГОСТ 2.702-75 и 2.316-68.

В конце расчетно-пояснительной записки помещается список использованной литературы, **указывается дата и ставится подпись студента.**

Выполненный проект сдается на проверку и после допуска защищается автором на кафедре.

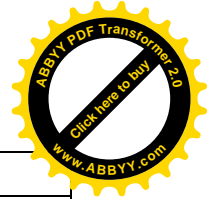
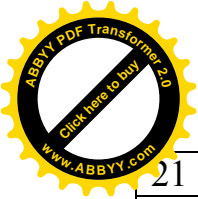
При защите студент должен объяснить ход решения и принципы расчета и ответить на вопросы членов комиссии.



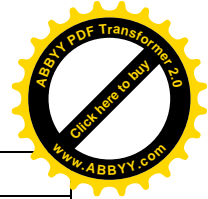
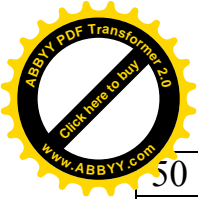
Параметры генераторов станции

Таблица 1

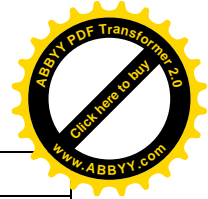
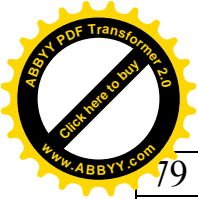
№ варианта	Кол-во и активная мощность генератора станции; $n_x P_{г}$, МВт	Общая активная мощность станции, $P_{\Sigma г}$, МВт	Номин. напряжение, $U_{нг}$, кВ	$\cos \varphi_{г}$	Сопротивление генераторов, отн. ед.					Постоянная времени T_y , сек	Тип генератора
					$x''d$	$x'd$	x_d	x_2	x_0		
1	2 x 63	126	10,5	0,8	0,136	0,202	1,51	0,166	0,067	6,15	ТВФ
2	2 x 100	200	10,5	0,8	0,192	0,278	1,907	0,234	0,097	6,5	ТВФ
3	2 x 110	220	10,5	0,8	0,189	0,271	2,04	0,23	0,106	6,7	ТВФ
4	2 x 160	320	18	0,85	0,213	0,304	1,713	0,25	0,1	5,42	ТВВ
5	2 x 220	440	15,75	0,85	0,191	0,275	1,88	0,232	0,086	6,4	ТВВ
6	2 x 200	400	15,75	0,85	0,19	0,295	1,84	0,232	0,084	6,85	ТГВ
7	2 x 210	420	15,75	0,85	0,225	0,34	2,0	0,274	0,096	6,45	ТГВ
8	2 x 320	640	20	0,85	0,173	0,258	1,698	0,211	0,0876	5,87	ТВВ
9	2 x 300	600	20	0,85	0,195	0,3	2,195	0,238	0,0963	7	ТГВ
10	2 x 500	1000	20	0,85	0,242	0,355	2,56	0,295	0,141	9,2	ТВВ
11	2 x 800	1600	24	0,85	0,272	0,4	2,482	0,332	0,151	6,7	ТВМ
12	2 x 1000	2000	24	0,9	0,324	0,458	2,41	0,395	0,149	9,1	ТВВ
13	2 x 1200	2400	24	0,9	0,248	0,358	2,418	0,302	0,152	8,51	ТВВ
14	2 x 80	160	13,8	0,89	0,2	0,3	1,15	-	-	4,13	ВГС
15	2 x 250	500	15,75	0,85	0,19	0,33	1,47	-	-	7,8	ВГСФ
16	2 x 240	480	15,75	0,85	0,26	0,38	1,21	-	-	8,0	ВГС
17	2 x 117	234	13,8	0,85	0,2	0,32	1,16	-	-	7,5	ГСВ
18	2 x 150	300	15,75	0,85	0,25	0,35	1,03	-	-	5,7	ВГС
19	2 x 60	120	10,5	0,85	0,2	0,34	1,3	0,2	0,1	6,6	ВГС
20	2 x 57,2	114,4	13,8	0,85	0,14	0,23	0,88	-	-	6,7	СВК



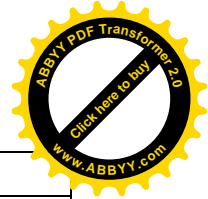
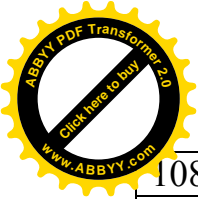
21	2 x 80	160	13,8	0,8	0,22	0,34	1,1	-	-	5,3	CB
22	2 x 120	240	11	0,895	0,18	0,29	0,97	-	-	6,8	CB
23	2 x 175	350	15,75	0,85	0,22	0,33	1,02	-	-	8,3	CB
24	2 x 225	450	15,75	0,85	0,24	0,35	1,07	-	-	8,1	CB
25	2 x 640	1280	15,75	0,9	0,295	0,43	1,58	0,315	0,97	9,12	CBΦ
26	2 x 500	1000	15,75	0,85	0,3	0,41	1,57	-	-	8,4	CBΦ
27	2 x 260	520	15,75	0,9	0,279	0,424	1,653	0,284	0,098	8,65	CB
28	2 x 200	400	15,75	0,85	0,205	0,345	0,915	0,2	0,11	8	CB
29	2 x 115	230	13,8	0,85	0,15	0,2	0,52	0,147	0,054	5,3	CB
30	2 x 55	110	13,8	0,8	0,18	0,32	0,77	0,3	0,093	5,65	CB
31	3 x 32	96	6,6	0,8	0,143	0,238	2,548	0,174	0,068	10,4	TBC
32	3 x 63	189	10,5	0,8	0,136	0,202	1,51	0,166	0,067	6,15	TBΦ
33	3 x 100	300	10,5	0,8	0,192	0,278	1,907	0,234	0,097	6,5	TBΦ
34	3 x 110	330	10,5	0,8	0,189	0,271	2,04	0,23	0,106	6,7	TBΦ
35	3 x 160	480	1,8	0,85	0,213	0,304	1,713	0,25	0,1	5,42	TBB
36	3x220	660	15,75	0,85	0,191	0,275	1,88	0,232	0,086	6,4	TBB
37	3x200	600	15,75	0,8	0,19	0,295	1,84	0,232	0,084	6,85	TГB
38	3x210	630	15,75	0,85	0,225	0,34	2,0	0,274	0,096	6,45	TГB
39	3x320	960	20	0,85	0,173	0,258	1,698	0,211	0,0876	5,87	TBB
40	3x300	900	20	0,85	0,195	0,3	2,195	0,238	0,0963	7	TГB
41	3x500	1500	24	0,85	0,242	0,355	2,56	0,295	0,141	9,2	TBB
42	3x800	2400	24	0,9	0,272	0,4	2,482	0,332	0,151	6,7	TBM
43	3x1000	3000	24	0,9	0,324	0,458	2,41	0,395	0,149	9,1	TBB
44	3x1200	3600	13,8	0,89	0,248	0,358	2,418	0,302	0,152	8,51	TBB
45	3x80	240	15,75	0,85	0,2	0,3	1,15	-	-	4,13	BГC
46	3x250	750	15,75	0,8	0,19	0,33	1,47	-	-	7,8	BГCΦ
47	3x240	720	13,8	0,85	0,26	0,38	1,21	-	-	8,0	BГC
48	3x117	351	15,75	0,85	0,2	0,32	1,16	-	-	7,5	ГCB
49	3x150	450	10,5	0,85	0,25	0,35	1,03	-	-	5,7	BГC



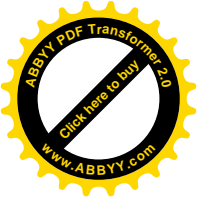
50	3x60	180	13,8	0,85	0,2	0,34	1,3	0,2	0,1	6,6	ВГС
51	3x57,2	171,6	13,8	0,8	0,14	0,23	0,88	-	-	6,7	СВК
52	3x80	240	11	0,895	0,22	0,34	1,1	-	-	5,3	СВ
53	3x120	360	15,75	0,85	0,18	0,29	0,97	-	-	6,8	СВ
54	3x175	525	15,75	0,85	0,22	0,33	1,02	-	-	8,3	СВ
55	3x225	675	15,75	0,9	0,24	0,35	1,07	-	-	8,1	СВ
56	3x640	1920	15,75	0,85	0,295	0,43	1,58	0,315	0,97	9,12	СВФ
57	3x500	1500	15,75	0,9	0,3	0,41	1,57	-	-	8,4	СВФ
58	3x260	780	15,75	0,85	0,279	0,424	1,653	0,284	0,098	8,65	СВ
59	3x200	600	13,8	0,85	0,205	0,345	0,915	0,2	0,11	8	СВ
60	3x115	345	13,8	0,8	0,15	0,2	0,52	0,147	0,054	5,3	СВ
61	3x55	165	6,6	0,8	0,18	0,32	0,77	0,3	0,093	5,65	СВ
62	4x25,5	102	10,5	0,85	0,2	0,27	1,07	0,206	-	4,66	СВ
63	4x24	96	10,5	0,8	0,3	0,3	0,95	0,43	0,148	4,13	СВ
64	4x32,5	130	10,5	0,8	0,17	0,28	1,0	-	-	7,83	СВ
65	4x63	132	10,5	0,8	0,136	0,202	1,51	0,166	0,067	6,15	ТВФ
66	4x100	400	10,5	0,8	0,192	0,278	1,907	0,234	0,097	6,5	ТВФ
67	4x110	440	10,5	0,8	0,189	0,271	2,04	0,23	0,106	6,7	ТВФ
68	4x160	640	18	0,85	0,213	0,304	1,713	0,25	0,1	5,42	ТВВ
69	4x220	880	15,75	0,85	0,191	0,275	1,88	0,232	0,086	6,4	ТВВ
70	4x200	800	15,75	0,85	0,19	0,295	1,84	0,232	0,084	6,85	ТГВ
71	4x210	840	15,75	0,85	0,225	0,34	2,0	0,274	0,096	6,45	ТГВ
72	4x320	1280	20	0,85	0,173	0,258	1,698	0,211	0,0876	5,87	ТВВ
73	4x300	1200	20	0,85	0,195	0,3	2,195	0,238	0,0963	7	ТГВ
74	4x500	2000	20	0,85	0,242	0,355	2,56	0,295	0,141	9,2	ТВВ
75	4x800	3200	24	0,9	0,272	0,4	2,482	0,332	0,151	6,7	ТВМ
76	4x1000	4000	24	0,9	0,324	0,458	2,41	0,395	0,149	9,1	ТВВ
77	4x1200	4800	24	0,89	0,248	0,358	2,418	0,302	0,152	8,51	ТВВ
78	4x80	320	15,75	0,85	0,2	0,3	1,15	-	-	4,13	ВГС



79	4x250	1000	15,75	0,85	0,19	0,33	1,47	-	-	7,8	ВГСФ
80	4x240	960	15,75	0,85	0,26	0,38	1,21	-	-	8,0	ВГС
81	4x117	468	13,8	0,85	0,2	0,32	1,16	-	-	7,5	ГСВ
82	4x150	600	15,75	0,85	0,25	0,35	1,03	-	-	5,7	ВГС
83	4x60	240	10,5	0,85	0,2	0,34	1,3	0,2	0,1	6,6	ВГС
84	4x57,2	228,8	13,8	0,85	0,14	0,23	0,88	-	-	6,7	СВК
85	4x80	320	13,8	0,8	0,22	0,34	1,1	-	-	5,3	СВ
86	4x120	480	11	0,895	0,18	0,29	0,97	-	-	6,8	СВ
87	4x175	700	15,75	0,85	0,22	0,33	1,02	-	-	8,3	СВ
88	4x225	900	15,75	0,85	0,24	0,35	1,07	-	-	8,1	СВ
89	4x640	2560	15,75	0,9	0,295	0,43	1,58	0,315	0,97	9,12	СВФ
90	4x500	2000	15,75	0,85	0,3	0,41	1,57	-	-	8,4	СВФ
91	4x260	1040	15,75	0,9	0,279	0,424	1,653	0,284	0,098	8,65	СВ
92	4x200	800	15,75	0,85	0,205	0,345	0,915	0,2	0,11	8	СВ
93	4x115	460	13,8	0,85	0,15	0,2	0,52	0,147	0,054	5,3	СВ
94	4x55	220	13,8	0,8	0,18	0,32	0,77	0,3	0,093	5,65	СВ
95	6x25,5	153	6,6	0,8	0,2	0,27	1,07	0,206	-	4,66	СВ
96	6x24	144	10,5	0,8	0,3	0,3	0,95	0,43	0,148	4,13	СВ
97	6x32,5	195	10,5	0,8	0,17	0,28	1,0	-	-	7,83	СВ
98	6x63	378	10,5	0,8	0,136	0,202	1,51	0,166	0,067	6,15	ТВФ
99	6x100	600	10,5	0,8	0,192	0,278	1,907	0,234	0,097	6,5	ТВФ
100	6x110	660	10,5	0,8	0,189	0,271	2,04	0,23	0,106	6,7	ТВФ
101	6x160	960	18	0,85	0,213	0,304	1,713	0,25	0,1	5,42	ТВВ
102	6x220	1320	15,75	0,85	0,191	0,275	1,88	0,232	0,086	6,4	ТВВ
103	6x200	1200	15,75	0,85	0,19	0,295	1,84	0,232	0,084	6,85	ТГВ
104	6x210	1260	15,75	0,85	0,225	0,34	2,0	0,274	0,096	6,45	ТГВ
105	6x320	1920	20	0,85	0,173	0,258	1,698	0,211	0,0876	5,87	ТВВ
106	6x300	1800	20	0,85	0,195	0,3	2,195	0,238	0,0963	7	ТГВ
107	6x500	3000	20	0,85	0,242	0,355	2,56	0,295	0,141	9,2	ТВВ



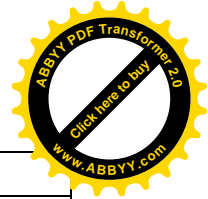
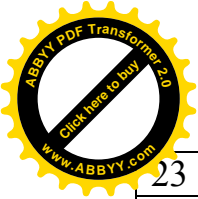
108	6x800	6400	24	0,9	0,272	0,4	2,482	0,332	0,151	6,7	TBM
109	6x1000	6000	24	0,9	0,324	0,458	2,41	0,395	0,149	9,1	TBB
110	6x1200	7200	13,8	0,89	0,248	0,358	2,418	0,302	0,152	8,51	TBB
111	6x80	480	15,75	0,85	0,2	0,3	1,15	-	-	4,13	BГC
112	6x250	1500	15,75	0,85	0,19	0,33	1,47	-	-	7,8	BГCΦ
113	6x240	1440	15,75	0,85	0,26	0,38	1,21	-	-	8,0	BГC
114	6x117	702	13,8	0,85	0,2	0,32	1,16	-	-	7,5	ГCB
115	6x150	900	15,75	0,85	0,25	0,35	1,03	-	-	5,7	BГC
116	6x60	360	10,5	0,85	0,2	0,34	1,3	0,2	0,1	6,6	BГC
117	6x57,2	343,2	13,8	0,85	0,14	0,23	0,88	-	-	6,7	CBK
118	6x80	480	13,8	0,8	0,22	0,34	1,1	-	-	5,3	CB
119	6x120	720	11	0,895	0,18	0,29	0,97	-	-	6,8	CB
120	6x175	910	15,75	0,85	0,22	0,33	1,02	-	-	8,3	CB
121	6x225	1350	15,75	0,85	0,24	0,35	1,07	-	-	8,1	CB
122	6x640	3840	15,75	0,9	0,295	0,43	1,58	0,315	0,97	9,12	CBΦ
123	6x500	3000	15,75	0,85	0,3	0,41	1,57	-	-	8,4	CBΦ
124	6x260	1560	15,75	0,9	0,279	0,424	1,653	0,284	0,098	8,65	CB
125	6x200	1200	15,75	0,85	0,205	0,345	0,915	0,2	0,11	8	CB
126	6x115	690	13,8	0,85	0,15	0,2	0,52	0,147	0,054	5,3	CB
127	6x55	330	13,8	0,8	0,18	0,32	0,77	0,3	0,093	5,65	CB



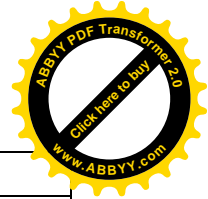
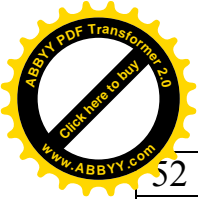
Параметры трансформаторов, ЛЭП, системы и нагрузки

Таблица 2

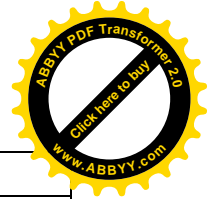
№ варианта	Трансформаторы Т				Длина ЛЭП, км	Напряжение на шинах системы U_c , кВ	Нагрузка	
	Полная мощность S_H , МВА	Напряжение		Напряжение к.з., U_k %			Мощность P_H	$\cos \varphi_H$
		Высокое U_B , кВ	Низкое U_H , кВ					
1	2x80	121	10,5	11	112	115	82	0,78
2	2x125	121	10,5	10,5	180	115	91	0,78
3	2x200	121	10,5	10,5	160	115	103	0,78
4	2x200	121	18	10,5	140	121	109	0,8
5	2x250	121	15,75	10,5	109	121	240	0,8
6	2x250	121	15,75	10,5	150	115	250	0,8
7	2x250	121	15,75	10,5	189	115	280	0,8
8	2x400	121	20	10,5	200	121	300	0,8
9	2x400	121	20	10,5	185	121	320	0,8
10	2x630	242	20	12,5	269	230	400	0,8
11	2x1000	242	24	11,5	280	230	600	0,8
12	2x1250	330	24	14,5	320	337	650	0,85
13	2x(3x417)	525	24	13,5	480	515	800	0,85
14	2x125	121	13,8	10,5	115	121	34	0,85
15	2x400	121	15,75	10,5	166	115	180	0,8
16	2x400	121	15,75	10,5	170	121	160	0,8
17	2x125	121	13,8	10,5	182	115	94	0,8
18	2x250	165	15,75	11	204	158	108	0,8
19	2x80	121	10,5	11	100	115	45	0,8
20	2x80	242	13,8	11	240	230	39	0,8
21	2x125	121	10,5	10,5	124	121	64	0,77
22	2x160	242	10,5	11	261	242	90	0,85



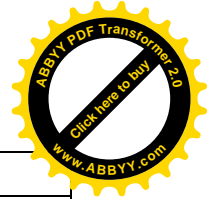
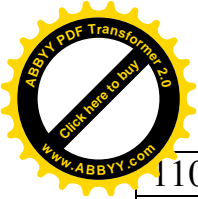
23	2x250	121	15,75	10,5	90	121	125	0,8
24	2x400	237	15,75	11	190	242	170	0,8
25	2x1000	347	24	11,5	350	340	420	0,85
26	2x630	242	15,75	12,5	250	230	410	0,8
27	2x400	347	15,75	11,5	280	340	200	0,85
28	2x250	347	15,75	11,0	260	330	170	0,8
29	2x160	242	13,8	11,0	175	240	100	0,8
30	2x80	242	13,8	11,0	156	220	44	0,75
31	3x40	121	6,3	11,0	94	115	28	0,75
32	3x80	121	10,5	11,1	85	121	70	0,78
33	3x125	121	10,5	10,5	96	121	110	0,78
34	3x200	121	18	10,5	98	115	160	0,8
35	3x250	121	15,75	10,5	105	115	190	0,8
36	3x250	121	15,75	10,5	130	121	210	0,8
37	3x250	121	15,75	10,5	160	121	260	0,8
38	3x400	121	20	10,5	104	115	195	0,8
39	3x400	121	20	10,5	126	115	320	0,8
40	3x630	242	20	12,5	198	242	290	0,8
41	3x1000	242	24	11,5	250	242	620	0,8
42	3x1250	330	24	14,5	350	340	1000	0,85
43	3x(3x417)	525	24	13,5	420	515	1200	0,85
44	3x(3x417)	525	24	19,5	424	515	1350	0,8
45	3x125	121	10,5	10,5	122	115	96	0,77
46	3x400	525	15,75	13	500	515	310	0,8
47	3x400	347	15,75	11,5	300	330	290	0,8
48	3x160	242	13,8	11,0	118	234	120	0,8
49	3x200	121	15,75	10,5	69	115	196	0,8
50	3x80	242	10,5	11,0	237	230	65	0,8
51	3x80	121	13,8	11	140	121	70	0,8



52	3x125	242	13,8	11	176	242	156	0,75
53	3x160	242	15,75	11	190	230	142	0,8
54	3x250	165	15,75	11	150	158	214	0,8
55	3x400	525	15,75	13	620	515	280	0,85
56	3x1000	525	15,75	14,5	590	525	750	0,8
57	3x630	347	15,75	11,5	400	340	620	0,85
58	3x400	347	15,75	11,5	380	330	310	0,8
59	3x400	242	13,8	11	235	230	240	0,8
60	3x200	242	13,8	11	200	242	170	0,77
61	3x80	121	6,3	11	137	115	64	0,75
62	4x40	115	10,5	11	125	121	46	0,8
63	4x32	158	10,5	10,5	180	158	38	0,75
64	4x63	158	10,5	10,5	190	158	54	0,75
65	4x80	115	10,5	10,5	135	121	50	0,75
66	4x125	165	10,5	11	170	158	190	0,75
67	4x200	242	10,5	11	187	230	140	0,75
68	4x250	347	18	11	250	340	200	0,8
69	4x400	525	15,75	13	650	515	380	0,8
70	4x400	347	15,75	11,5	300	340	290	0,8
71	4x400	165	15,75	11	200	158	400	0,8
72	4x400	242	15,75	11	194	240	280	0,8
73	4x400	525	20	13	550	520	265	0,8
74	4x630	525	20	14	500	515	800	0,8
75	4x1000	347	24	11,5	405	340	1200	0,85
76	4x1250	347	24	14,5	350	340	1100	0,85
77	4x(3x533)	525	24	13,5	700	515	1600	0,85
78	4x125	525	15,75	11	200	525	100	0,8
79	4x400	347	15,75	11,5	294	330	200	0,8
80	4x400	525	15,75	13	470	515	360	0,8



81	4x200	242	13,8	11	265	230	145	0,8
82	4x250	230	15,75	11	200	242	250	0,8
83	4x80	115	10,5	10,5	130	121	100	0,8
84	4x80	121	13,8	11	140	115	90	0,8
85	4x125	165	13,8	11	169	158	120	0,75
86	4x200	121	10,5	10,5	108	115	150	0,85
87	4x250	165	15,75	11	175	158	200	0,8
88	4x250	347	15,75	11	300	340	230	0,75
89	4x(3x330)	525	15,75	14,5	500	515	890	0,85
90	4x630	347	15,75	11	290	340	900	0,8
91	4x400	242	15,75	11	210	230	340	0,85
92	4x400	165	15,75	11	160	160	200	0,8
93	4x200	347	13,8	11	300	330	120	0,8
94	4x63	115	13,8	10,5	94	121	80	0,75
95	6x32	158	6,3	10,5	150	165	54	0,75
96	6x40	115	10,5	10,5	100	121	44	0,75
97	6x40	115	11	10,5	110	115	55	0,75
98	6x80	121	10,5	11	96	121	88	0,75
99	6x125	242	10,5	11	205	230	160	0,75
100	6x160	242	10,5	11	250	230	240	0,75
101	6x250	347	18	11	320	340	260	0,8
102	6x400	525	15,75	11,5	560	515	420	0,8
103	6x250	347	15,75	11	290	340	300	0,8
104	6x250	242	15,75	11	185	240	460	0,8
105	6x400	525	20	13	400	515	600	0,8
106	6x400	347	20	11,5	320	340	500	0,8
107	6x630	347	20	11,5	400	330	1000	0,8
108	6x1000	525	24	14,5	690	515	2100	0,85
109	6x1250	347	24	13,5	330	340	1000	0,85



110	6x(3x417)	525	20	13,5	650	515	1000	0,8
111	6x125	347	15,75	11	285	340	184	0,8
112	6x400	165	15,75	11	190	158	500	0,8
113	6x400	347	15,75	11,5	366	330	440	0,8
114	6x200	347	13,8	11	299	340	159	0,8
115	6x200	121	15,75	10,5	130	115	210	0,8
116	6x80	115	10,5	10,5	120	121	160	0,8
117	6x80	121	13,8	11	129	115	140	0,8
118	6x125	242	10,5	11	244	230	160	0,75
119	6x200	242	10,5	11	200	242	240	0,85
120	6x250	230	15,75	11	220	242	310	0,8
121	6x400	347	15,75	11,5	310	340	600	0,8
122	6x1000	347	15,75	11,5	350	347	1800	0,85
123	6x630	525	15,75	14	624	515	1300	0,8
124	6x400	242	15,75	11	195	230	720	0,85
125	6x250	230	15,75	11	240	240	400	0,8
126	6x200	242	13,8	11	210	230	290	0,8
127	6x80	115	10,5	10,5	140	121	130	0,75



Методические указания к выполнению курсовой работы

1. Расчет угловых характеристик и коэффициента запаса статической устойчивости системы

1.1. Составление схемы замещения системы нормального режима

В курсовой работе для составления схем замещения системы рекомендуется воспользоваться методом точного приведения (Л-6)

Порядок составления по этому методу следующий (Л-6, Глава III):

а) схема заданной системы делится на ступени трансформации;

б) выбирается произвольно базисная ступень, и для этой ступени принимаются, тоже произвольно, базисные условия - мощность $S_{\bar{b}}$ и напряжение $U_{\bar{b}}$. Рекомендуется принимать: $S_{\bar{b}} = 100 \text{ МВ}$; 1000 МВА и т.д., $U_{\bar{b}} = U_{cp}$, где U_{cp} - среднее номинальное напряжение выбранной ступени (см. шкалу средних номинальных напряжений) (Л-6, с. 40);

в) устанавливаются базисные напряжения на других ступенях трансформации по формуле $\dot{U}_{\bar{b}} = U_{\bar{b}} / (K_1 \cdot K_2 \dots K_n)$, где K_1, K_2, \dots, K_n - коэффициенты трансформации трансформатором, определяемые в направлении от ступени, где выбрана $S_{\bar{b}}$ и $U_{\bar{b}}$, к ступени, для которой устанавливается $U_{\bar{b}}$;

г) определяются сопротивления всех элементов заданной системы в относительных единицах при базисных условиях:

для генераторов:

$$x_{*d} = \frac{x_d \% \cdot S_{\bar{b}}}{100 \cdot S_n} \left(\frac{U_n}{\dot{U}_{\bar{b}}} \right)^2; \quad x'_{*d} = \frac{x'_d \% \cdot S_{\bar{b}}}{100 \cdot S_n} \left(\frac{U_n}{\dot{U}_{\bar{b}}} \right)^2$$

$$x_{*2} = \frac{x_2 \% \cdot S_{\bar{b}}}{100 \cdot S_n} \left(\frac{U_n}{\dot{U}_{\bar{b}}} \right)^2;$$

где U_n, S_n - номинальное напряжение и номинальная мощность генератора; $\dot{U}_{\bar{b}}$ - базисное напряжение той ступени, на которой находится данный генератор;

для трансформаторов (двухобмоточных):

$$x_{*mp} = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{S_n} \left(\frac{U_n}{\dot{U}_{\bar{b}}} \right)^2,$$

здесь для определения сопротивления трансформатора можно брать любую обмотку, тогда U_n - номинальное напряжение выбранной обмотки; $\dot{U}_{\bar{b}}$ - базисное напряжение той ступени, на которой находится эта обмотка; S_n - номинальная мощность трансформатора;

для ЛЭП:

$$x_{*л} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{\dot{U}_{\bar{b}}^2},$$

где $x_{уд}$ - удельное индуктивное сопротивление линии, $\dot{U}_{\bar{b}}$ - базисное напряжение той ступени, на которой находится данная линия;

д) составляется схема замещения системы нормального режима.



1.2. Расчет нормального режима

Приводятся параметры режима и элементов системы к базисным условиям (Л-6): $U_{*c} = U_c / \dot{U}_\delta$, где \dot{U}_δ - базисное напряжение той ступени, на которой находятся шины U_c . Передаваемая мощность на шины U_c будет $P_{*c} = P_c / S_\delta$. Мощность, потребляемая нагрузкой, $P_{*н} = P_n / S_\delta$. Постоянная

инерции одного генератора (Л-1) $T_y = \frac{2,74 \cdot GD^2 \cdot n^2}{S_\delta \cdot 10^6}$, где G, D^2 - маховый

момент; n - скорость вращения (можно брать для ТГ $n = 3000$ об/мин для других по справочнику (Л-7)), определяется $Q_{*c} = P_{*c} \cdot \operatorname{tg} \varphi_c$; $Q_{*н} = P_{*н} \cdot \operatorname{tg} \varphi_n$;

$T_{*y\Sigma} = \sum_{i=1}^n T_{yi}$ где i - число генераторов передающей станции.

В дальнейших расчетах используются параметры режима и элементов системы, приведенные к базисным условиям. Звездочки у символов для краткости опускаются. Для определения ЭДС и напряжения в промежуточных точках электропередачи полученная схема замещения нормального режима путем преобразования приводится к следующей T -образной схеме, в которой, с одной стороны, будет приложена эквивалентная ЭДС генераторов системы, с другой - напряжение шины U_c , а между ними - параллельно подключенная ветвь.

Определяется напряжение $\dot{U}_a = U_a \angle \delta_a$, т.е. модуль и аргумент этого вектора (рис.2). На основании рис.2 и /3/:

$$U_a = \sqrt{(U_c + Q_c \cdot x_c / U_c)^2 + (P_c \cdot x_a / U_c)^2}$$

$$\delta_a = \operatorname{arctg} \left(\frac{P_c \cdot x_a}{U_c} \right) / \left(U_c + \frac{Q_c \cdot x_a}{U_c} \right)$$

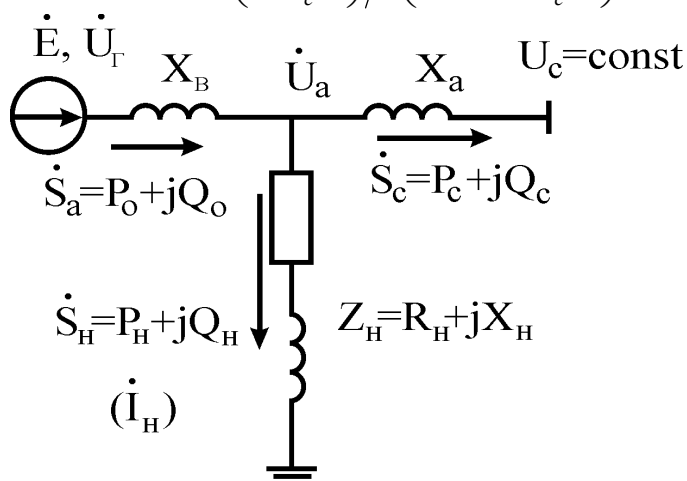


Рис.2. T -образная схема замещения нормального режима.

Определяется сопротивление нагрузки

$$Z_n = \frac{U_a^2}{S_n^2} (P_n - jQ_n) = \frac{U_a^2}{P_n^2 + Q_n^2} (P_n - jQ_n),$$

где U_a - напряжение на шинах нагрузки; S_n - мощность, потребляемая нагрузкой.



Потери реактивной мощности в сопротивлении x_a : $\Delta Q = \frac{P_c^2 + Q_c^2}{U_c^2} \cdot x_a$.

Мощность, отдаваемая генераторной станцией, $\dot{S}_o = P_o + jQ_o = P_c + jQ_c + P_n + jQ_n + j\Delta Q_a$ здесь значение P_o принимается за мощность турбин.

Определяется переходная ЭДС эквивалентного генератора (см. рис.2), замещая все генераторы сопротивления $x'd$; синхронная ЭДС $\dot{E}_q = \dot{E}_q \angle \bar{\delta}_o$, замещая сопротивления x_d ; напряжение на шинах эквивалентного генератора $\dot{U}_r = U_r \angle \bar{\delta}$, исключая из схемы сопротивления генераторов:

$$E = \sqrt{\left(U_a + \frac{Q_o \cdot x_e}{U_a} \right)^2 + \left(\frac{P_o \cdot x_e}{U_a} \right)^2},$$

$$\bar{\delta}_o = \bar{\delta}_a + \text{actg}' \frac{\frac{P_o \cdot x_e}{U_a}}{U_a + \frac{Q_o \cdot x_e}{U_a}},$$

$$U_r = \sqrt{\left(U_a + \frac{Q_o \cdot x}{U_a} \right)^2 + \left(\frac{P_o \cdot x_e}{U_a} \right)^2}$$

$$\bar{\delta}_r = \bar{\delta}_a + \text{arctg}' \frac{\frac{P_o \cdot x_e}{U_a}}{U_a + \frac{Q_o \cdot x_e}{U_a}}$$

1.2.1. Векторная диаграмма электропередачи

Определяется ток системы (см.рис.2) $\dot{I}_c = \dot{I}_c \angle \varphi_c = \frac{\hat{S}_c}{U_c}$, где $\hat{S}_c = P_c - jQ_c$.

Ток нагрузки $\dot{I}_n = \hat{S}_n / U_n$, где $\hat{S}_n = P_n - jQ_n$. Ток генератора $\dot{I}_c = \dot{I}_n + \dot{I}_g$.

Для построения векторной диаграммы системы с неявнополюсными генераторами на основании рис.2 имеем следующие формулы:

$$\dot{E} = U_a + j\dot{I}_o x_e = \dot{U}_c + j\dot{I}_c x_a + j\dot{I}_o x_e,$$

$$\dot{U}_r = \dot{U}_a + j\dot{I}_o x_e = \dot{U}_c + j\dot{I}_c x_a + j\dot{I}_o x_e.$$

Векторная диаграмма системы с неявнополюсными генераторами показана на рис.3.

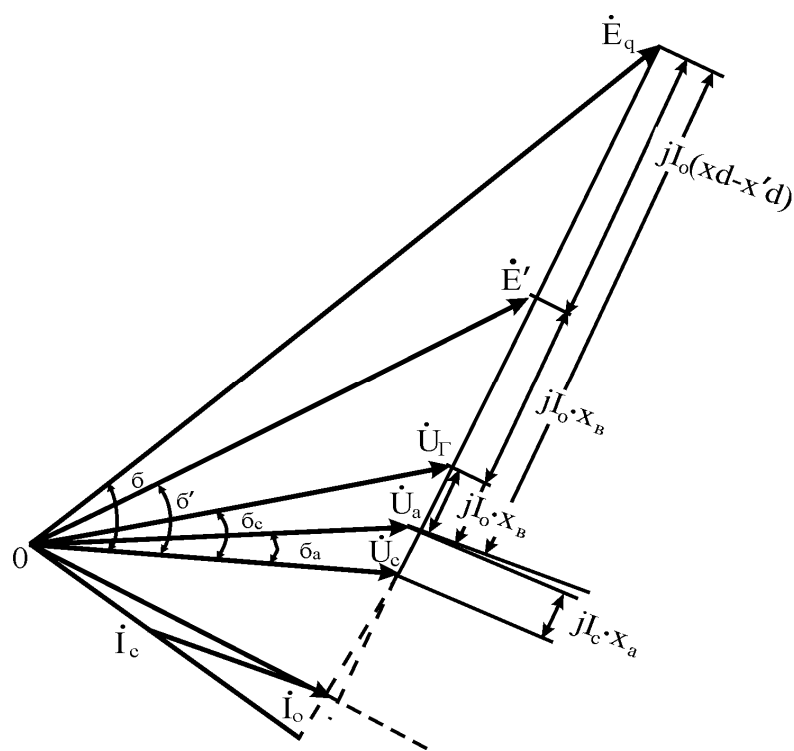


Рис.3. Векторная диаграмма напряжений и токов электропередачи

1.3. Определение собственных и взаимных проводимостей схемы различных режимов

Собственные и взаимные проводимости схемы нормального режима определяется для следующих случаев:

- при отсутствии АРВ на генераторах;
- при наличии АРВ пропорционального типа;
- при наличии АРВ сильного действия.

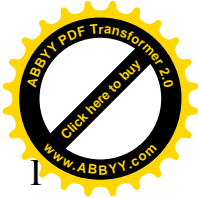
При отсутствии АРВ на генераторах собственные и взаимные проводимости определяются, замещая все генераторы сопротивлениями xd , при установке на генераторах АРВ пропорционального типа - сопротивлениями $x'd$.

Автоматические регуляторы возбуждения сильного действия в зависимости от их настройки обеспечивают постоянство напряжения либо на выводах генераторов (как бы исключаются из схемы сопротивления генераторов), либо в начале линии (как бы исключают из схемы и сопротивления повышающих трансформаторов). Собственные и взаимные проводимости определяются, принимая $U_G = const$, т.е. исключая из схемы сопротивления генераторов.

Для определения собственных и взаимных проводимостей схемы нормального режима для всех случаев рассматривается эквивалентная схема (см. рис.2) и рекомендуется использовать метод преобразования схем замещения.

Собственное сопротивление генераторной ветви

$$Z_{11}^I = jx_e + \frac{jx_a(R_n + jx_n)}{jx_a + R_n + jx_n}$$



Примечание: условимся здесь и в дальнейшем обозначать: I - параметры режима и элементов системы нормального режима; II - то же, послеаварийного режима; III - то же, аварийного режима.

Собственная проводимость генераторной ветви

$$y_{11}^I = \frac{1}{Z_{11}^I \angle \varphi_{11}^I} = y_{11}^I \angle -\varphi_{11}^I.$$

Взаимное сопротивление схемы

$$Z_{12}^I = jx_e + jx_a + \frac{jx_e \cdot jx_a}{R_n + jx_n} = Z_{12}^I \angle \varphi_{12}^I$$

Дополнительный угол $\alpha_{12}^I = 1/(Z_{12}^I \angle \varphi_{12}^I) = y_{12}^I \angle -\varphi_{12}^I$.

Взаимная проводимость $y_{12}^I = \frac{1}{Z_{12}^I \angle \varphi_{12}^I} = \varphi_{12}^I \angle -\varphi_{12}^I$

Составляется схема замещения аварийного режима, где все генераторы замещены сопротивлениями $x'd$. Она отличается от схемы нормального режима включением в точку к.з. аварийного шунта к.з.

Величина шунта к.з. для различных видов к.з. определяется по следующим формулам:

- для однофазного к.з. $Z_w^{(1)} = Z_{\varrho 2} + Z_{\varrho 0}$, где $Z_{\varrho 2}, Z_{\varrho 0}$ соответственно результирующее сопротивление схемы (свернутая относительно точки к.з.) обратной и нулевой последовательности;

- для двухфазного к.з. $Z_w^{(2)} = Z_{\varrho 2}$;

- для двухфазного к.з. на землю $Z_w^{(1,1)} = (Z_{\varrho 2} \cdot Z_{\varrho 0}) / (Z_{\varrho 2} + Z_{\varrho 0})$;

для трехфазного к.з. $Z_w^{(3)} = 0$

Последние формулы показывают, что для определения величины шунта к.з. необходимо составить схемы замещения для токов обратной и нулевой (только при замыканиях на землю) последовательностей.

Схема замещения обратной последовательности составляется из тех же элементов, что и схема прямой последовательности (схема нормального режима).

Отличие:

1) потенциал источников ЭДС генератора и напряжения принимается равным нулю (точки приложения ЭДС и напряжения заземляются);

2) генераторы и нагрузка замещаются со своими сопротивлениями для токов обратной последовательности (для генераторов x_2 задаются в условиях задания, а для нагрузки можно принять $Z_{H2} = 0,35 Z_{H1}$ где Z_{H1} - сопротивление нагрузки в схеме нормального режима).

Преобразуя полученную схему обратной последовательности (относительно точки к.з.), определяют результирующее сопротивление этой схемы $Z_{\varrho 2}$. Конечная эквивалентная схема показана на рис.4.

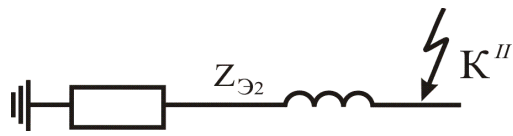
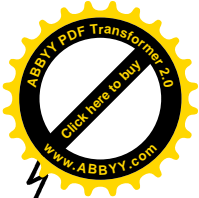


Рис.4. Упрощенная схема замещения обратной последовательности

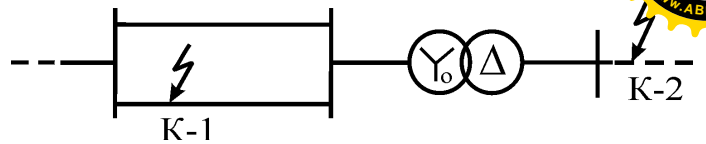


Рис.5. Схема аварийного режима при замыканиях на землю

Составление схемы замещения для токов нулевой последовательности следует всегда начинать от точки к.з. Вид этой схемы зависит от количества трансформаторов и автотрансформаторов и схемы соединения их обмоток. Например, рассмотрим трансформатор, имеющий группу соединений обмоток Y_0/Δ . Пусть этот трансформатор на участке сети включен как на рис.5. Для того, чтобы двухобмоточный трансформатор вошел в схему замещения нулевой последовательности, надо, чтобы обе обмотки этого трансформатора обтекались током нулевой последовательности. Например, если точка к.з. K-1 находится со стороны обмотки в Y_0 , то образуется циркуляция тока нулевой последовательности - через точку к.з. попадает в землю, затем в нейтраль обмотки Y_0 трансформатора, далее по трем фазам обмотки Y_0 линии и обратно к точке к.з. Кроме того, во вторичной обмотке трансформатора наводится ЭДС нулевой последовательности, и т.к. фазы этой обмотки соединены в Δ , то в них возникает ток нулевой последовательности, не выходящий за пределы треугольника.

Таким образом, в случае K-1 обе обмотки рассматриваемого трансформатора обтекаются током нулевой последовательности, значит, в схему замещения нулевой последовательности войдет и сам трансформатор и все элементы от точки к.з. до этого трансформатора, т.е. в схему должны войти все элементы, по которым пройдет ток нулевой последовательности.

Если точка к.з. K-2 находится со стороны обмотки в Δ , то и сам трансформатор и все элементы от точки к.з. до этого трансформатора в схему нулевой последовательности не войдут, т.к. обмотка Δ тока нулевой последовательности не примет.

Рассмотрим трансформатор с группой соединений обмоток Y_0/Y_0 (рис.6).

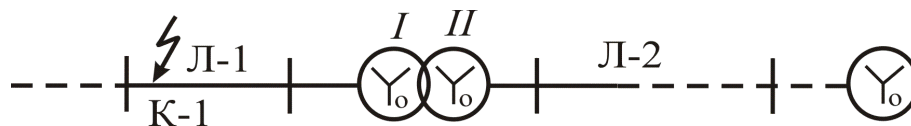
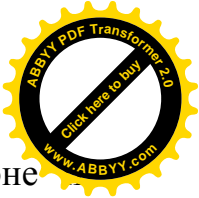


Рис.6. Схема с трансформатором Y_0/Y_0 .

Первичная обмотка I, как показано выше обтекается током нулевой последовательности. Для того, чтобы этот трансформатор вошел в схему, надо, чтобы и вторичная обмотка II обтекалась током нулевой последовательности. Последний случай будет иметь место, если в цепи этой обмотки имеется по меньшей мере еще одна заземленная нейтраль элемента, следовательно, обеспечен путь (контур) для тока нулевой



последовательности. Для пояснения начертим контур тока на стороне обмотки в трехфазном исполнении (рис.7).

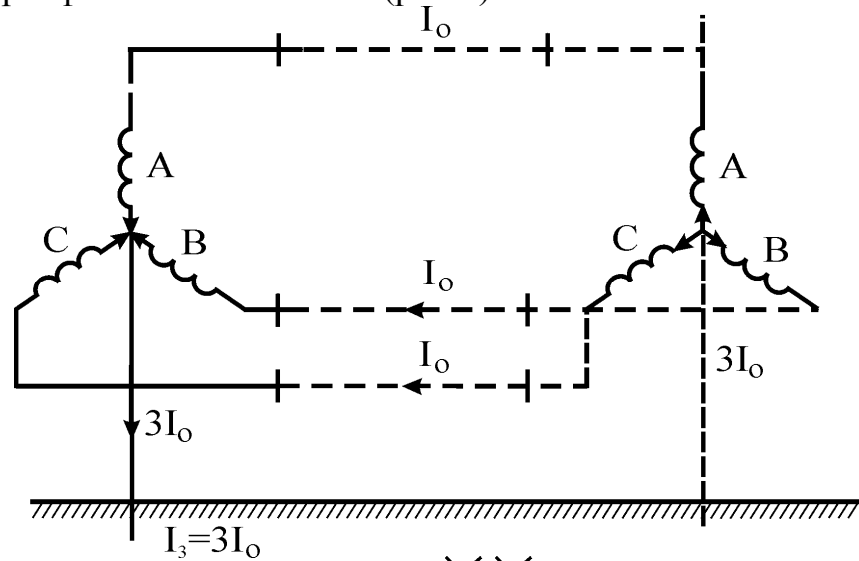


Рис.7. Схема с трансформатором Y_0/Y_0 в трехфазном исполнении.

Из рис.7 видно, что в цепи обмотки II образовался контур для тока нулевой последовательности. Поэтому для случая К-1 в рассматриваемой схеме в схему нулевой последовательности войдут линия Л-1, сам трансформатор Y_0/Y_0 и линия Л-2.

Рассмотрим трансформатор с соединениями обмоток Y_0/Y (рис.8).

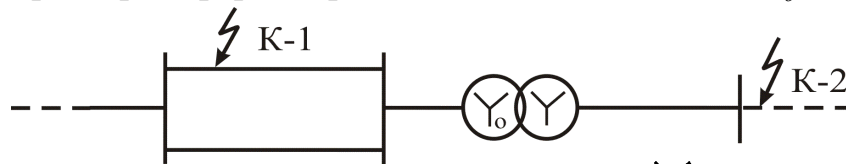


Рис.8. Схема с трансформатором Y_0/Y .

В такой схеме для случая К-1 токи в обмотку 2 не трансформируются, поэтому сопротивления нулевой последовательности такого трансформатора содержит только сопротивление рассеяния обмотки 1 и сопротивление $x_{\mu 0}$, учитывая, что $x_{\mu 0} \gg x_1$ сопротивление нулевой последовательности будет бесконечно большим.

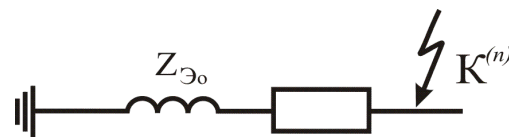


Рис.9. Упрощенная схема замещения нулевой последовательности.

Составив, таким образом, схему нулевой последовательности и замещая линии, входящие в эту схему сопротивлением $x_0 \approx 3x_1$ определяем методом преобразования результирующее сопротивление схемы $Z_{Э0}$. Конечная эквивалентная схема показана на рис.9. Определяются собственные и взаимные проводимости схемы аварийного режима, используя метод единичных токов. Для иллюстрации этого метода рассматривается схема системы (рис.10).

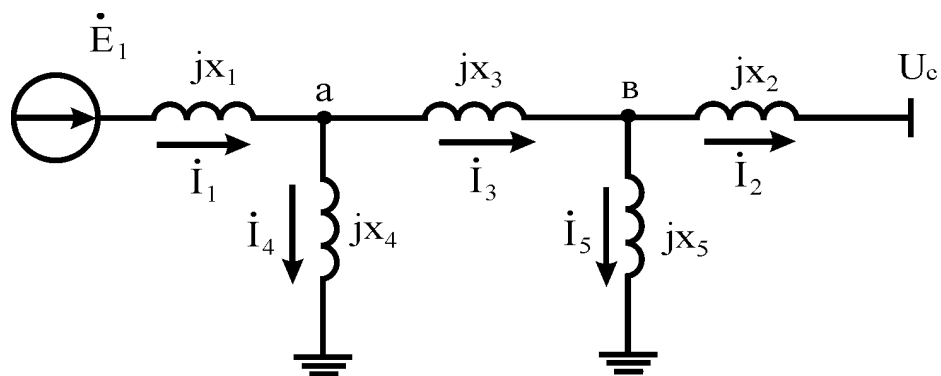


Рис.10. Схема замещения (разветвленная) аварийного режима.

Для определения собственной и взаимной проводимостей генераторной ветви принимается потенциал источника $U_c = 0$ и ток в ветви этого источника $I_2 = 1,0 \angle 0$. Напряжение в точке "В" $\dot{U}_6 = I_2 \cdot jx_2$. Ток, протекающий по сопротивлению x_5 , $\dot{I}_5 = \dot{U}_6 / jx_5$.

Ток, протекающий по сопротивлению x_3 , $\dot{I}_3 = \dot{I}_5 + \dot{I}_2$. Напряжение в точке "а" $\dot{U}_a = \dot{U}_6 + \dot{I}_3 \cdot jx_3$. Ток, протекающий по сопротивлению x_4 , $\dot{I}_4 = \frac{\dot{U}_a}{jx_4}$. Ток в ветви источника ЭДС $\dot{I}_1 = \dot{I}_3 + \dot{I}_4$. Величина ЭДС, которая вызывает в ветви источника U_c принятый ток $I_2 = 1,0 \angle 0$, $\dot{E} = \dot{U}_a + \dot{I}_1 \cdot jx_1$.

Собственное сопротивление генераторной ветви $Z_{11}^{III} = \frac{\dot{E}}{I_1} = Z_{11}^{III} \angle \varphi_{11}^{III}$.

Дополнительный угол $\alpha_{11}^{III} = 90^\circ - \varphi_{11}^{III}$.

Собственная проводимость генераторной ветви

$$y_{11}^{III} = \frac{1}{Z_{11}^{III} \angle \varphi_{11}^{III}} = y_{11}^{III} \angle -\varphi_{11}^{III}$$

Взаимное сопротивление схемы $Z_{12}^{III} = \frac{\dot{E}}{I_2} = Z_{12}^{III} \angle \varphi_{12}^{III}$.

Дополнительный угол $\alpha_{12} = 90^\circ - \varphi_{12}^{III}$.

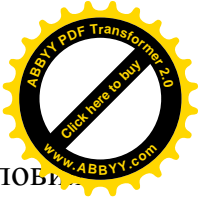
Взаимная проводимость схемы $y_{12}^{III} = \frac{1}{Z_{11}^{III} \angle \varphi_{12}^{III}} = y_{12}^{III} \angle -\varphi_{12}^{III}$.

Составляется схема замещения послеаварийного режима. Здесь все генераторы замещены сопротивлениями $x'd$. В этой схеме аварийный шунт отключен и отключен аварийный участок, на котором произошло короткое замыкание.

Собственный и взаимные проводимости этой схемы и дополнительные углы определяются точно так же, как и на схеме нормального режима (используя метод преобразования схем замещения).

1.4. Угловая характеристика мощности передающей станции для различных режимов

Угловая характеристика мощности генераторов нормального режима в



случае отсутствия АРВ на генераторах определяется, исходя из условия постоянства синхронной ЭДС $E_q = const$ (Л-1).

$$P_{E_q} = E_q^2 \cdot y_{11} \cdot \sin \alpha_{11} + E_q \cdot U_c \cdot \sin(\delta - \alpha_{11}) \cdot y_{12}.$$

Максимум угловой характеристики $P_m = E_q^2 \cdot y_{11} \cdot \sin \alpha_{11} + E_q \cdot U_c \cdot y_{12}$.

При установке на генераторах АРВ пропорционального типа угловую характеристику можно приближенно определить, исходя из постоянства ЭДС за переходным сопротивлением $E' = const$

$$P_{E'} = (E')^2 \cdot y_{11} \cdot \sin \alpha_{11} + E' \cdot U_c \cdot y_{12} \cdot \sin(\delta - \alpha_{11}),$$

максимум этой характеристики $P_m = (E')^2 \cdot y_{11} \cdot \sin \alpha_{11} + E' \cdot U_c \cdot y_{12}$.

В случае АРВ сильного действия угловую характеристику определяем, принимая $U_\Gamma = const$

$$P_{U_\Gamma} = U_\Gamma^2 \cdot y_{11} \cdot \sin \alpha_{12} + U_\Gamma \cdot U_c \cdot y_{12} \cdot \sin(\delta - \alpha_{12})$$

максимум этой характеристики $P_m = U_\Gamma^2 \cdot y_{11} \cdot \sin \alpha_{12} + U_\Gamma \cdot U_c \cdot y_{12}$.

Угловые характеристики мощности для аварийного и послеаварийного режима определяются по формуле

$P^{III} = P_{ав} = (E')^2 \cdot y_{11ав} \cdot \sin \alpha_{11ав} + E' \cdot U_c \cdot y_{12ав} \cdot \sin(\delta - \alpha_{12ав})$. Максимум угловых характеристик $P^{II} = P_{м.п.ав} = (E')^2 \cdot y_{11п.ав} \cdot \sin \alpha_{11п.ав} + E' \cdot U_c \cdot y_{12п.ав}$.

Задаваясь здесь для δ' значениями от 0 до 180°, вычисляются значения $P_{E'}$, P^{III} , P^{II} . Результаты заносится в ниже приведенную таблицу. Затем по данным этой таблицы строятся на миллиметровой бумаге угловые характеристики - $P_{E'}$, P^{III} , P^{II} , в зависимости от угла δ' .

Таблица 3

Мощность	Значение угла	0	15	30	45	60	85	90	105	120	135	150	165	180
	$P_{E'}$													
	P^{III}													
	P^{II}													

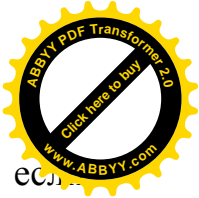
1.5. Коэффициент запаса статической устойчивости системы

Запас статической устойчивости нормального режима для рассматриваемых выше случаев и режима, после отключения аварийного участка, определяется по формуле

$$K_{зст} = \frac{P_m - P_o}{P_o} \cdot 100\%,$$

где P_m - максимум (предел) передаваемой мощности; P_o - мощность исходного режима (мощность турбины).

Таким образом, запас устойчивости характеризует допустимое по условиям устойчивости увеличение передаваемой мощности. Для системы "станция - шины" запас устойчивости можно считать достаточным, если он в



нормальном режиме не менее 15 %, а в послеаварийном - 5 % Обычно, если обеспечен указанный запас устойчивости в послеаварийном режиме, а также динамическая система (см. ниже), то запас статической устойчивости в нормальном режиме получается значительно большим 15 %.

2. РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ

2.1 Предельный угол отключения короткого замыкания

Предельный (по условию сохранения устойчивости) угол отключения короткого замыкания $\delta_{откр}$ определяется из условия равенства площадок ускорения и возможного торможения (Л-1), т.е. $A_{уск} = A_{торм}$.

Если в заданной схеме системы линия двухцепная и произошло несимметричное к.з. на одной из цепей этой системы (рис.11), то угловые характеристики мощности и построенные на них площадки ускорения и возможного торможения имеют вид, как показано на рис.13.

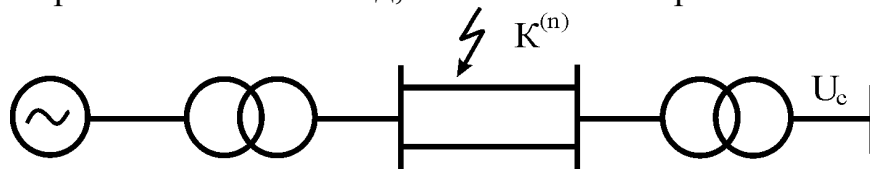


Рис.11. Схема системы с двухцепной ЛЭП.

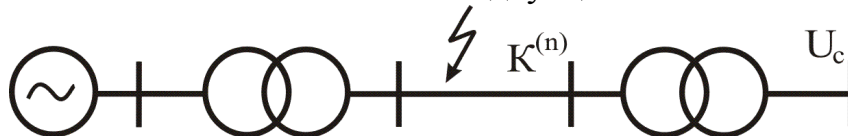


Рис.12. Схема системы с одноцепной ЛЭП.

Если линия одноцепная, к.з. несимметричное и отсутствует нагрузка в схеме (рис.12), то площадки ускорения и возможного торможения имеют вид, как показано на рис.14.

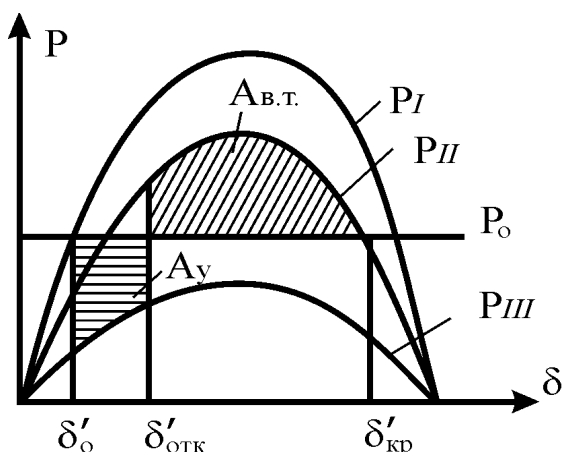


Рис.13. Угловые характеристики мощности и площадки ускорения торможения при несимметричном к.з.

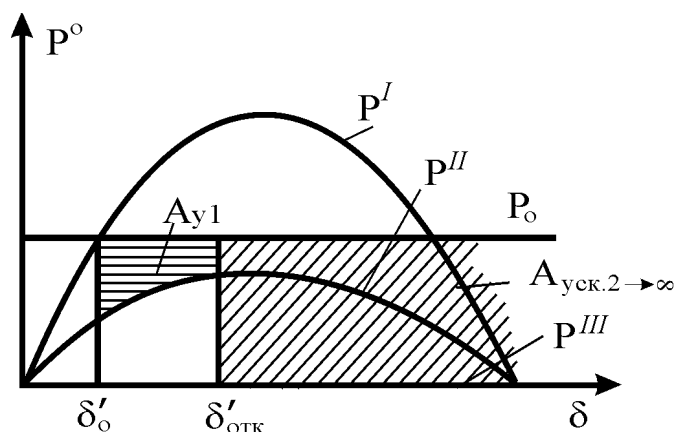
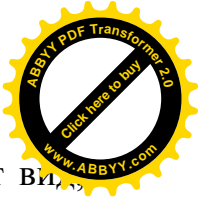


Рис.14. Угловые характеристики мощности и площадки ускорения торможения при трехфазном к.з.



Если линия двухцепная, а к.з. - трехфазное, то площадки имеют вид, как показано на рис.15.

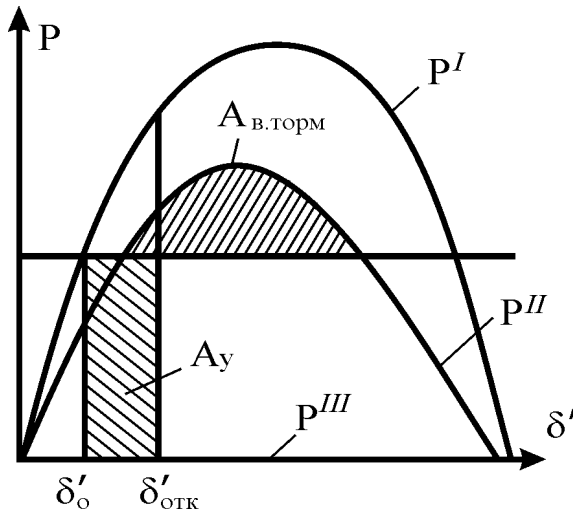


Рис.15. Угловые характеристики мощности и площадки ускорения и торможения при трехфазном к.з. в системе с двухцепной ЛЭП.

Для случая несимметричных к.з. формула предельного угла отключения к.з. имеет вид :

$$\delta'_{отк.кр} = \arccos \frac{P_o \left(\frac{\delta'_{кр} - \delta'_o}{57,3^\circ} \right)}{P_m^{II} - P_m^{III}} + P_m^{II} \cos \delta'_{кр} - P_m^{III} \cos \delta'_o,$$

где все углы δ выражены в градусах, а $\delta'_{кр} = 180^\circ - \arcsin \frac{P_o}{P_m^{II}}$.

Для случая трехфазного к.з.

$$\delta'_{отк.кр} = \arccos \frac{P_o \left(\frac{\delta'_{кр} - \delta'_o}{57,3^\circ} \right) + P_m^{II} \cos \delta'_{кр}}{P_m^{II}}.$$

Следует сказать, что для случая, показанного на рис.14, угол $\delta_{отк.кр}$ определить не может, т.к. площадка торможения отсутствует.

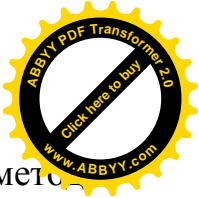
2.2. Предельное время отключения к.з.

Для определения продольного времени отключения к.з. $t_{отк.кр}$ необходимо построить зависимость $\delta' = f(t)$. Последняя может быть определена из уравнения относительного движения ротора

$$T_{J\Sigma} \frac{d^2 \delta'}{dt^2} = \Delta P = P_o - P,$$

где $T_{J\Sigma}$ - эквивалентная постоянная инерции генераторов станции;

P_o - механическая мощность турбины (ее принимают равной электрической мощности генераторной станции в нормальном режиме); P - электрическая мощность генераторной станции, принимает разные значения для различных режимов.



Для решения уравнения относительного движения используется метод последовательных интервалов /И/.

Сущность этого метода следующая.

Весь переходный процесс разбивается на ряд небольших интервалов времени Δt , и для каждого из этих интервалов последовательно вычисляется приращение мощности ΔP и приращение угла $\Delta \delta$. В течение каждого интервала избыток мощности ΔP принимается неизменным. В практических расчетах принимают $\Delta t = 0,05$ с.

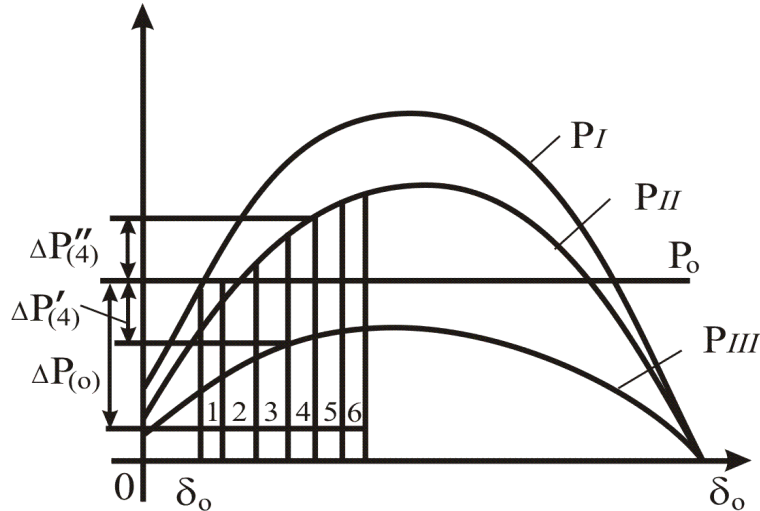


Рис.16. Разбиение на n – интервалов.

Первый интервал (0 – 0,05) с. Электрическая мощность, отдаваемая генераторами в первый момент после возникновения к.з. определяется по характеристике аварийного режима

$$P_{(o)} = (E')^2 \cdot y_{11}^{III} \cdot \sin \alpha_{11}^{III} + E' \cdot U_c \cdot y_{12}^{III} \cdot \sin(\delta'_o - \alpha_{12}^{III}) = A + B \cdot \sin(\delta'_o - \alpha_{12}^{III}),$$

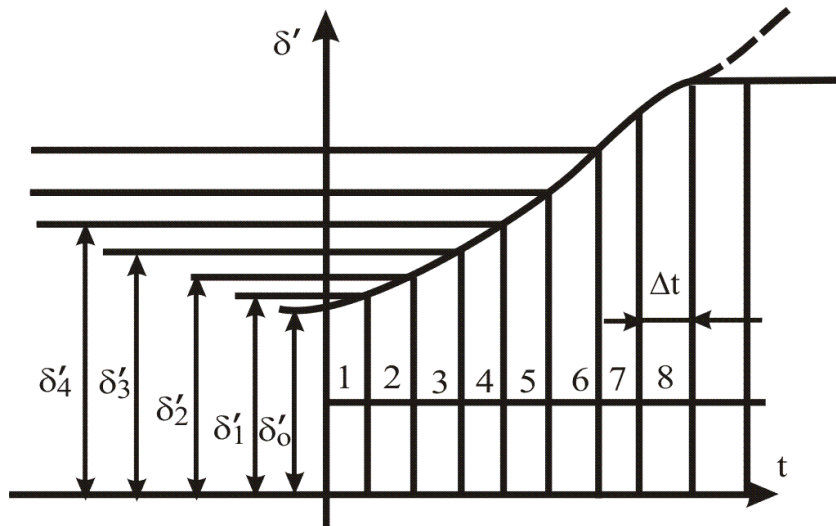


Рис.17. Изменение углов δ во времени.

где $A = (E')^2 \cdot y_{11}^{III} \cdot \sin \alpha_{11}^{III}$, $B = E' \cdot U_c \cdot y_{12}^{III}$; δ'_o - начальный угол (угол сдвига ЭДС E' относительно U_c в нормальном режиме).

Избыток мощности в начале этого интервала $\Delta P_o = P_o - P_{(o)}$. Прибавление угла за этот интервал $\Delta \delta'_{(1)} = K(\Delta P_o)$, где $K = 360 \cdot f_o \cdot \Delta t^2 / T_{J\Sigma}$, где f_o - частота сети (50 Гц).



Угол к концу первого или началу второго интервала

$$\delta'_{(1)} = \delta_o + \Delta\delta'_{(1)}.$$

Второй интервал (0,05-0,1) с. Электрическая мощность, отдаваемая генераторами в начале этого интервала $P_{(1)} = A + B \cdot \sin(\delta'_{(1)} - \alpha_{12}^{III})$. Избыток мощности в начале этого интервала $\Delta P_{(1)} = P_o - P_{(1)}$. Приращение угла за этот интервал $\delta'_{(2)} = \Delta\delta'_{(1)} + K\Delta P_{(1)}$. Угол к концу второго или началу третьего интервала $\delta'_2 = \delta'_{(1)} + \Delta\delta_{(1)}$.

Если заданное по условию курсовой работы время отключения к.з. $t_{отк} > 0,1$ с, то переходим к расчету следующего интервала времени.

Третий интервал (0,1-0,15) с $P_{(2)} = A + B \cdot \sin(\delta'_{(2)} - \alpha_{12}^{III})$; $\Delta P_{(2)} = P_o - P_{(2)}$; $\delta'_{(3)} = \Delta\delta'_{(2)} + K\Delta P_{(2)}$; $\delta'_{(3)} = \delta'_{(2)} + \Delta\delta'_{(3)}$.

Далее переходим к расчету четвертого (если $t_{отк} > 0,15$ с) и последующих (если $t_{отк} > 0,2$ с) интервалов до интервала времени, в начале которого произойдет отключение участка к.з.

Предположим, что такое отключение произойдет в начале некоторого n – по интервала времени. Здесь избыток мощности внезапно изменяется от некоторой $\Delta P_{(n-1)}^I$ до некоторой $\Delta P_{(n-1)}^{II}$, как показано на рис.18.

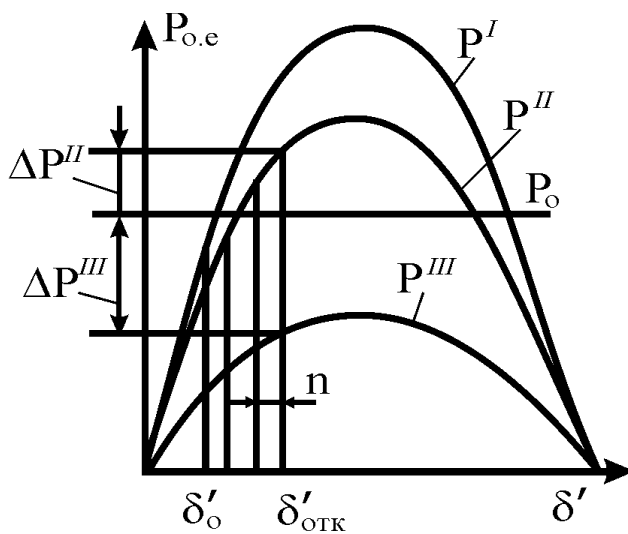


Рис.18. Определение избытка мощности при переходе с аварийного режима на послеаварийный

Для такого интервала $P_{(n-1)}^{III} = A + B \cdot \sin(\delta'_{(n-1)} - \alpha_{12}^{III})$; $\Delta P_{(n-1)}^{III} = P_o - P_{(n-1)}^{III}$.

Электрическая мощность, отдаваемая генераторами в послеаварийном режиме, в начале этого интервала

$$P_{(n-1)}^{II} = C + D \cdot \sin(\delta'_{(n-1)} - \alpha_{12}^{III}), \text{ где } C = (E')^2 \cdot y_{11}^{III} \cdot \sin \alpha_{11}^{III}; D = E' \cdot U_c \cdot y_{12}^{III};$$

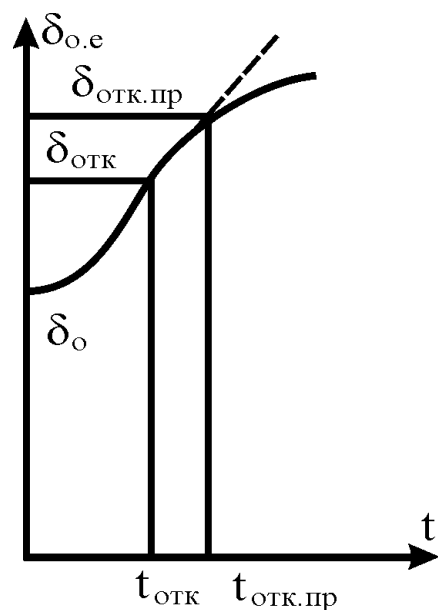


Рис.19. Изменение угла во времени



$$\Delta P_{(n-1)} = P_o - P_{(n-1)}^{II}; \Delta \delta'_{(n)} = \Delta \delta'_{(n-1)} + K \cdot \frac{\Delta P_{(n-1)}^I + \Delta P_{(n-1)}^{II}}{2}; \delta'_{(n)} = \delta'_{(n-1)} + \Delta \delta'_{(n)}.$$

Например, пусть отключение участка к.з. происходит в начале третьего интервала времени ($t_{отк} = 0,1$ с), тогда:

$$P_2^I = A + B \cdot \sin(\delta'_{(2)} - \alpha_{12}^{III}), \Delta P_{(2)}^I = P_o - P_{(2)}^I; P_{(2)}^{II} = C + D \cdot \sin(\delta'_{(2)} - \alpha_{12}^{III});$$

$$\Delta P_{(2)}^{II} = P_o - P_{(2)}^{II}; \Delta \delta'_{(3)} = \Delta \delta'_{(2)} + K \cdot \frac{\Delta P_{(2)}^I + \Delta P_{(2)}^{II}}{2}; \delta'_{(3)} = \delta'_{(2)} + \Delta \delta'_{(3)}.$$

Четвертый интервал (0,15-0,2 с). Электрическая мощность, отдаваемая генераторами после отключения участка к.з., определяется по характеристике послеаварийного режима:

$$P_3 = C + D \cdot \sin(\delta'_{(3)} - \alpha_{12}^{III}), \Delta P_{(3)} = P_o - P_{(3)};$$

$$\Delta \delta'_{(4)} = \Delta \delta'_{(3)} + K \cdot \Delta P_{(3)}; \delta'_{(4)} = \delta'_{(3)} + \Delta \delta'_{(4)}.$$

Далее переходим к расчету пятого и последующих интервалов. Расчет методом последовательных интервалов ведется до тех пор, пока угол $\Delta \delta'$ не начнет уменьшаться или пока не будет ясно, что он беспредельно возрастает (рис.19)

Результаты расчетов следует свести в нижеприведенную форму и затем по данным этой таблицы построить на миллиметровой бумаге кривую зависимости:

$t, \text{ с}$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$\delta'_o \text{ град}$						

По ранее вычисленному $\delta'_{отк.нр}$ из кривой (см.рис. 19) определяется значение предельного времени отключения к.з. $t_{отк.нр}$, как показано на рис.19.

2.3. Коэффициент запаса динамической устойчивости системы

Для вычисления величины площадок ускорения и возможного торможения, а следовательно, коэффициента запаса динамической устойчивости, необходимо найти угол отключения к.з. $\delta'_{отк}$, соответствующих заданному времени отключения к.з. $t_{отк}$.

Определение $\delta'_{отк}$ можно выполнить двумя способами:

1. Если $t_{отк} = 0,1$ с, или 0,15 с, или 0,2 с, или 0,25 с и т.д. и длительность расчетного интервала принимается $\Delta t = 0,05$ с, то искомые углы $\delta'_{отк}$ есть углы в конце второго, третьего или четвертого и т.д. интервала времени.

2. Если $t_{отк}$ отключен от 0,1 с, 0,15 с, 0,2 с и т.д., то следует использовать кривую $\delta' = f(t)$, как это показано на рис. 19

Вычисляются величины площадок ускорения и возможного торможения по следующим формулам:

Для случая, показанного на рис.12:



$$A_{\text{уск}} = P_o \left(\frac{\delta'_{\text{отк}} - \delta'_o}{57,3} \right) + P_m^{\text{III}} (\cos \delta'_{\text{отк}} - \cos \delta'_o);$$

$$A_{\text{Вторм}} = P_o \left(\frac{\delta'_{\text{кр}} - \delta'_{\text{отк}}}{57,3} \right) + P_m^{\text{III}} (\cos \delta'_{\text{кр}} - \cos \delta'_{\text{отк}}),$$

где углы в град. $\delta'_{\text{кр}} = 180^0 - \text{arcsin } P_o / P_m^{\text{II}}$.

Для случая, показанного на рис.14:

$$A_{\text{уск.1}} = P_o \left(\frac{\delta'_{\text{отк}} - \delta'_o}{57,3} \right) + P_m^{\text{III}} (\cos \delta'_{\text{отк}} - \cos \delta'_o);$$

$$A_{\text{уск.2}} \rightarrow \infty; \quad A_{\text{Вторм}} = 0.$$

Для случая, показанного на рис.15:

$$A_{\text{уск}} = P_o \left(\frac{\delta'_{\text{кр}} - \delta'_{\text{отк}}}{57,3} \right);$$

$$A_{\text{Вторм}} = P_o \left(\frac{\delta'_{\text{кр}} - \delta'_{\text{отк}}}{57,3} \right) + P_m^{\text{II}} (\cos \delta'_{\text{кр}} - \cos \delta'_{\text{отк}}).$$

Определяется коэффициент запаса динамической устойчивости

$$K_3 = |A_{\text{Вторм}}| / A_{\text{уск}}.$$

Если $K_3 > 1$, то режим рассматриваемой электропередачи при данном виде аварии динамически устойчив, если $K_3 < 1$ - не устойчив, если $K_3 = 1$ - предельный (критический) режим.

3. Влияние трехфазного автоматического повторного включения (АПВ) линий электропередачи на динамическую устойчивость системы

В работе влияние АПВ на динамическую устойчивость оценивается сравнением рассчитываемых коэффициентов запаса для случаев с АПВ и без АПВ.

Рассмотрим влияние на динамическую устойчивость успешного АПВ. Если в заданной системе линия двухцепная, а к.з. несимметричное, то площадки ускорения и торможения имеют вид, как показано на рис. 20, если линия одноцепная и к.з. несимметричное, отсутствует нагрузка в схеме, то площадки ускорения и торможения имеют вид, как показано на рис.21.

Если линия двухцепная, к.з. трехфазное, то площадки ускорения и торможения имеют вид, как показано на рис.22.

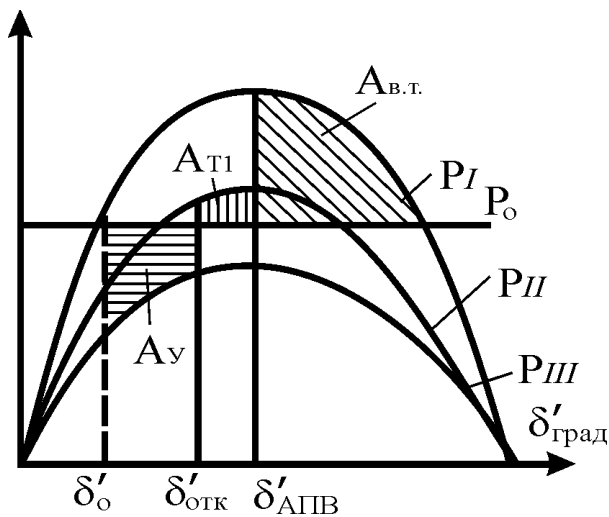


Рис.20. Площадки ускорения и торможения при успешном АПВ и двухцепной ЛЭП.

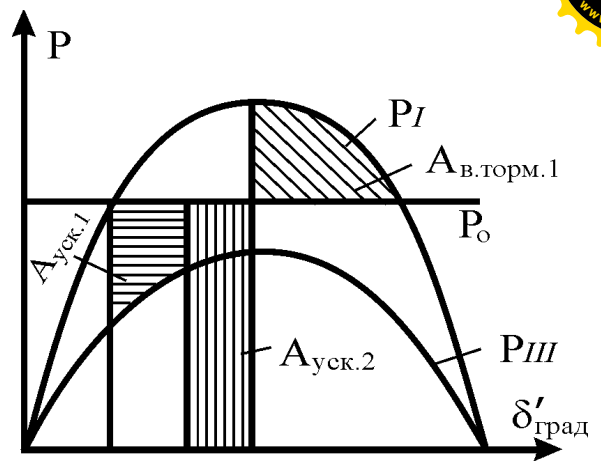


Рис.21. Площадки ускорения и торможения при успешном АПВ и одноцепной ЛЭП.

. Для вычисления площадок ускорения и торможения, а следовательно, коэффициента запаса динамической устойчивости, необходимо найти угол повторного включения аварийного участка $\delta'_{АПВ}$, соответствующий заданному времени включения $t_{АПВ}$. Определение $\delta'_{АПВ}$ выполняется теми же способами, что и определение $\delta'_{отк}$.

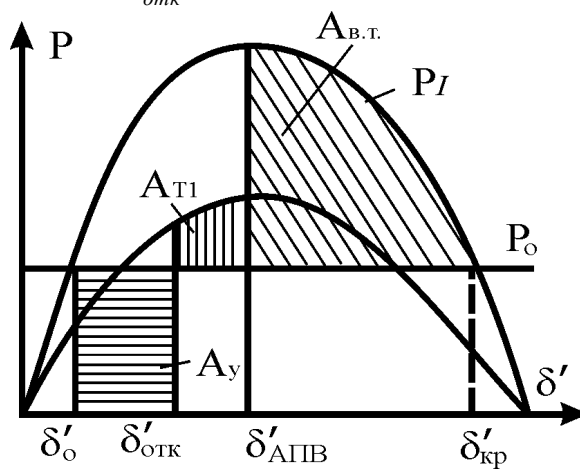


Рис. 22. Площадки ускорения и торможения при трехфазном к.з. и успешном АПВ.

Вычисляются величины площадок ускорения и торможения по следующим формулам:

$$\text{Для рис.20: } A_{уск} = P_o \left(\frac{\delta'_{отк} - \delta'_o}{57,3} \right);$$

$$A_{торм.1} = P_o \left(\frac{\delta'_{АПВ} - \delta'_{отк}}{57,3} \right) + P_m^{III} (\cos \delta'_{АПВ} - \cos \delta'_{отк});$$

$$A_{торм.2} = P_o \left(\frac{\delta'_{кр} - \delta'_{АПВ}}{57,3} \right) + P_m^I (\cos \delta'_{кр} - \cos \delta'_{АПВ})$$



где углы в град. $\delta'_{кр} = 180^0 - azc \sin P_o / P_m^I$.

$$\text{Для рис.21: } A_{уск.1} = P_o \left(\frac{\delta'_{омк} - \delta'_o}{57,3} \right) + P_m^{III} (\cos \delta'_{омк} - \cos \delta'_o);$$

$$A_{уск.2} = P_o \left(\frac{\delta'_{АПВ} - \delta'_{омк}}{57,3} \right);$$

$$A_{торм.} = P_o \left(\frac{\delta'_{кр} - \delta'_{АПВ}}{57,3} \right) + P_m^I (\cos \delta'_{кр} - \cos \delta'_{АПВ}).$$

$$\text{Для рис.22: } A_{уск} = P_o \left(\frac{\delta'_{омк} - \delta'_o}{57,3} \right);$$

$$A_{торм.1} = P_o \left(\frac{\delta'_{АПВ} - \delta'_{омк}}{57,3} \right) + P_m^{II} (\cos \delta'_{АПВ} - \cos \delta'_{омк});$$

$$A_{торм.2} = P_o \left(\frac{\delta'_{кр} - \delta'_{АПВ}}{57,3} \right) + P_m^I (\cos \delta'_{кр} - \cos \delta'_{АПВ})$$

Определяется коэффициент запаса динамической устойчивости

$$K_3 = \frac{|\Sigma A_{тор}|}{\Sigma A_{уск}}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высшая школа, 1970.
2. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. - М.: Энергия, 1970.
3. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях. - М.: Энергия, 1967.
4. Ульянов С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах. - М.: Энергия, 1968.
5. И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.П. Пираторов. Переходные процессы в электроэнергетических системах. - М.: Издательский дом. МЭЦ, 2008.
6. И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, М.П. Пираторов. Короткие замыкания и несимметричные режимы электроустановок. - М.: Издательский дом. МЭЦ, 2008.
7. Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1989 г.
8. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях. Учебное пособие для вузов (В.В.Ежков, Н.И.Зеленохат, И.В.Литкенс и др.; под.ред. В.А.Строева). - М.: Знак, 1996.



ВЫПИСКА

из протокола № от 2011г заседания кафедры «ЭЭ»

Слушали: информацию о методических указаниях по выполнению курсовой работы «Переходные электромеханические процессы в электрических системах» для студентов всех специальностей направления «Электроэнергетика», составленные Т.И.Поповой. и подготовленные к изданию через типографию «ТЕКНИК»

Постановили: рекомендовать к изданию вышеназванные методические указания как соответствующие требованиям УМС университета и включенные в план издания на 2011 г.

Зав. каф.

Т.А.Джунуев

Секретарь

Т.Н. Бочко



ВЫПИСКА

из протокола № 1 от 03.10. 2011г заседания УМК ЭФ

Слушали: информацию о методических указаниях по выполнению курсовой работы «Переходные электромеханические процессы в электрических системах» для студентов всех специальностей направления «Электроэнергетика», составленные Т.И.Поповой. и подготовленные к изданию через типографию «ТЕКНИК»

Постановили: рекомендовать к изданию вышеназванные методические указания как соответствующие требованиям УМС университета и включенные в план издания на 2011 г., объемом 2 учебно-издательских листа , тиражом 50 экземпляров.

Председатель УМК ЭФ

Т.И.Попова



СОГЛАСОВАНО :

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор по
учебной работе,
председатель УМС КГТУ
Б.Т.Торобеков

Проректор КГТУ им. И. Раззакова
по Э и ФХ части
Ж.Т. Галбаев

« ____ » « _____ » 2011г.

« ____ » « _____ » 2011г.

РАПОРТ

Прошу дать разрешение на издание методических указаний по выполнению курсовой работы «Переходные электромеханические процессы в электрических системах» для студентов всех специальностей направления «Электроэнергетика», разработанные доц. каф. «ЭЭ» Т.И.Поповой. и подготовленные к изданию через типографию «ТЕКНИК» объемом 2 учебно- издательских листа , тиражом 50 экземпляров за счет средств университета по плану за 2011 год.

Зав. каф. «ЭЭ»

Т.А.Джунуев



Рецензия
на методические указания по выполнению
курсовой работы по дисциплине
«Переходные электромеханические процессы в
электрических системах», разработанные Т.И.Поповой

Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Переходные электромеханические процессы в электрических системах», разработаны Т.И.Поповой в соответствии с требованиями, предъявляемыми к учебно-методической документации, написаны четким ясным языком, в достаточном объеме представлены теоретический материал по электромеханическим переходным процессам, даны методические указания по расчету статической и динамической устойчивости, приведены 127 вариантов заданий на курсовую работу, порядок расчетов и перечень необходимой учебной литературы.

Автор использует свой богатый опыт преподавания данной дисциплины и все, имеющиеся в настоящее время новые методические разработки

Данные методические указания необходимы студентам всех специальностей направления «Электроэнергетика», поэтому **рекомендую его к изданию.**

Доцент каф. «ЭЭ»

И.Н.Василенко