

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Институт механики и энергетики

Кафедра Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования

Методические указания

по выполнению и защите курсовой работы по дисциплине «Режимы работы
электрооборудования систем электроснабжения» для студентов очной и
заочной форм обучения направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,
профиль - системы электроснабжения городов, промышленных предприятий,
сельского хозяйства, и их объектов

Ставрополь 2026

Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Режимы работы электрооборудования систем электроснабжения» для студентов электроэнергетического факультета, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профилю подготовки «Системы электроснабжения городов, промышленных предприятий, сельского хозяйства, и их объектов».

В методических указаниях к выполнению курсовой работы даны краткие сведения из теории, порядок выполнения курсовой работы, требуемый порядок оформления и защиты курсовой работы.

Составитель: доцент кафедры электроснабжения и эксплуатации электрооборудования, кандидат физико-математических наук, доцент Ястребов С.С.

Содержание

1 Цели и задачи работы	4
2 Рекомендуемые темы курсовых работ	5
3 Требования к структуре работы с описанием требований и рекомендаций к каждому разделу.....	13
4 Список рекомендованных основных и дополнительных источников литературы.....	15
5 Требования к защите работы	17
6. Критерии оценки работы.....	18
Приложение 1	21
Приложение 2	22
Приложение 3	24

1 Цели и задачи работы

Цель выполнения курсовой работы по дисциплине «Режимы работы электрооборудования систем электроснабжения» заключается в приобретении навыков расчета режимов работы генераторов и нагрузок в системах электроснабжения.

Задачи работы:

- Для заданной схемы системы электроснабжения составить схему замещения и привести параметры этой схемы к базисным условиям с пересчетом в относительные единицы.

- Рассчитать параметры исходного установившегося режима для трех возможных вариантов регулирования возбуждения: нерегулируемый генератор; генератор с АРВ ПД; генератор с АРВ СД и построить векторную диаграмму.

- Рассчитать пределы передаваемой мощности для трех возможных вариантов регулирования возбуждения и соответствующие коэффициенты запаса статической устойчивости.

- Выполнить приближенную оценку устойчивости динамического перехода при $E_q = \text{const}$ для заданного сценария развития аварийной ситуации.

- Выполнить уточненную оценку устойчивости динамического перехода при простейшем учете действия АРВ.

- Выполнить проверку устойчивости комплексной нагрузки, включающей в себя осветительную нагрузку и асинхронные двигатели, с применением практических критериев устойчивости комплексной нагрузки.

- Рассчитать коэффициент запаса устойчивости нагрузки определить предельное время перерыва электроснабжения нагрузки.

2 Рекомендуемые темы курсовых работ

Тема курсовой работы «Расчет режимов работы электрооборудования системы электроснабжения», задание выдается студентам индивидуально, по вариантам

Задание для выполнения курсовой работы.

Для системы электроснабжения (СЭС), приведенной на рисунке, составить схему замещения и привести параметры этой схемы к базисным условиям с пересчетом в относительные единицы. Рассчитать параметры исходного установившегося режима для трех возможных вариантов регулирования возбуждения: нерегулируемый генератор; генератор с АРВ ПД; генератор с АРВ СД и построить векторную диаграмму. Рассчитать пределы передаваемой мощности для трех возможных вариантов регулирования возбуждения и соответствующие коэффициенты запаса статической устойчивости. Выполнить приближенную оценку устойчивости динамического перехода при $E_q = \text{const}$ для заданного сценария развития аварийной ситуации. Выполнить уточненную оценку устойчивости динамического перехода при простейшем учете действия АРВ. Выполнить уточненную оценку устойчивости динамического перехода – с учетом действия АРВ. Для проверки устойчивости комплексной нагрузки, включающей в себя осветительную нагрузку и асинхронные двигатели, построить зависимости $E_{\text{экв}} = f(U)$ и $Q_{\text{экв}} = f(E_{\text{экв}})$, воспользоваться практическими критериями устойчивости комплексной нагрузки. Рассчитать коэффициент запаса устойчивости нагрузки для следующих случаев: 1) выключатель Q3 включен; 2) выключатель Q3 отключен, генератор не имеет АРВ; 3) выключатель Q3 отключен, на генераторе установлено АРВ ПД; 4) выключатель Q3 отключен, на генераторе – АРВ СД. При питании нагрузки только от системы неограниченной мощности определить предельное время перерыва электроснабжения при отключении выключателя Q3.

Задание выполняется по вариантам, которые приведены в таблицах 2-6.

При расчетах принять следующее:

1. Принять в качестве независимых базисных величин $S_{ген.ном}=S_b$ и $U_{ном.линии}=U_b$. Приведение к базисным условиям выполнить приближенное - по средним коэффициентам трансформации.

2. Гидрогенераторы принять явнополюсными.

3. Расчеты динамической устойчивости выполнить с использованием сопротивления шунта в месте КЗ (таблица 1), Кратность форсировки возбуждения принять $k_{форс}=2,5$.

Таблица 1

Вид к.з.	Обозначение к.з.	Формула для определения аварийного шунта
Трехфазное	$K^{(3)}$	$X_{ш}^{(3)} = 0$
Двухфазное	$K^{(2)}$	$X_{ш}^{(2)} = X_{экв.о.п}$
Однофазное	$K^{(1)}$	$X_{ш}^{(1)} = X_{экв.о.п} + X_{экв.н.п.}$
Двухфазное на землю	$K^{(1,1)}$	$X_{ш}^{(1,1)} = (X_{экв.о.п} \cdot X_{экв.н.п.}) / (X_{экв.о.п} + X_{экв.н.п.})$

4. При расчетах устойчивости нагрузки принять $X_{сист}=0,15$ о.е. и характеристику типовой нагрузки (таблица 2)

Таблица 2

U _{нагр} , о.е.	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
P _{нагр} , о.е.	1,0	0,969	0,941	0,916	0,893	0,872	0,855
Q _{нагр} , о.е.	1,0	0,93	0,885	0,858	0,844	0,848	0,880

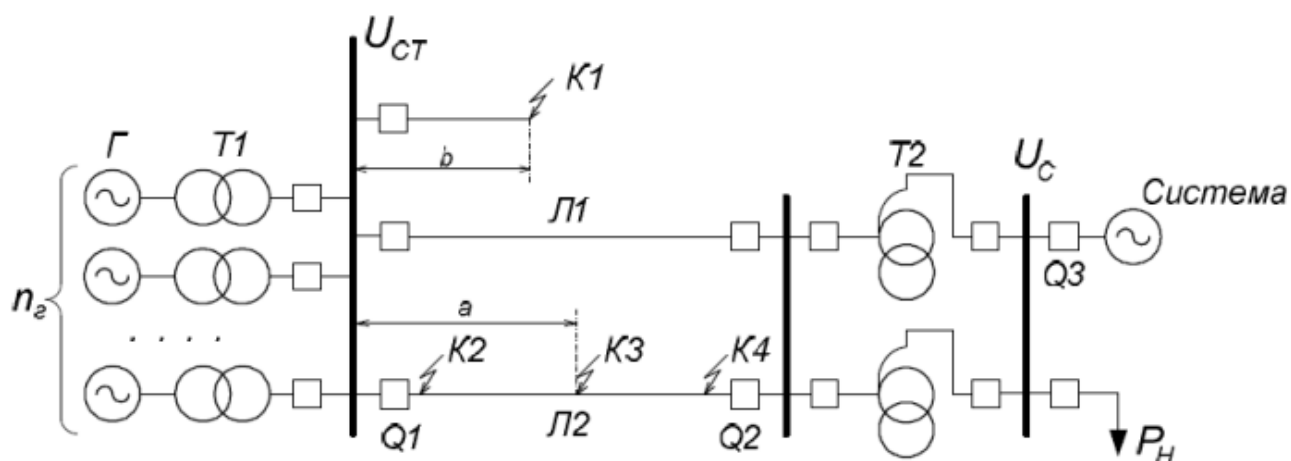


Рисунок 1 – Схема для выполнения расчетов

Таблица 3

Генератор										
Вариант	Тип	Сном, МВА	n_{Γ}	X_d	X_q	X'_d	X_2	T_J с	T_{do} с	T_e с
1	ГГ	40	4	2,45	-	0,24	0,17	6,0	10,4	0,15
2	ГГ	75	4	1,6	-	0,28	0,24	7,4	4,9	0,12
3	ГГ	117,5	3	1,78	-	0,26	0,22	7,0	6,4	0,4
4	ГГ	125	3	1,91	-	0,278	0,234	10,0	6,4	0,25
5	ГГ	188	3	1,7	-	0,3	0,26	5,0	5,4	0,1
6	ГГ	235	3	1,88	-	0,27	0,23	8,0	6,38	0,3
7	ГГ	260	2	2,32	-	0,3	0,25	6,5	5,0	0,15
8	ГГ	350	2	2,2	-	0,3	0,245	9,0	7,0	0,08
9	ГГ	353	2	2,19	-	0,3	0,24	8,5	6,5	0,12
10	ГГ	588	2	2,48	-	0,4	0,33	12,0	6,7	0,2
11	ГГ	71,5	4	0,77	0,46	0,32	0,3	4,0	9,2	0,1
12	ГГ	80,0	4	1,06	0,64	0,26	0,2	4,4	7,6	0,3
13	ГГ	85,0	4	1,23	0,74	0,34	0,26	5,0	5,2	0,22
14	ГГ	100	4	0,87	0,53	0,22	0,25	6,0	6,7	0,37
15	ГГ	130	4	1,05	0,63	0,32	0,3	7,0	8,1	0,12
16	ГГ	190	3	1,1	0,66	0,38	0,35	7,5	6,0	0,4
17	ГГ	180	3	0,73	0,44	0,29	0,3	6,0	5,0	0,2
18	ГГ	206	3	1,02	0,61	0,33	0,2	7,8	4,8	0,4
19	ГГ	306	2	1,65	1,02	0,44	0,28	10,0	5,2	0,15
20	ГГ	590	2	1,57	0,97	0,41	0,19	8,0	4,1	0,25

Таблица 4

Трансформаторы							Линия			
Т1			Т2							
Вариант	СНОМ, МВА	$U_k, \%$	Группа соед.	МВА	$\%$	Группа соед.	к Т2	L, км	и. нам' кВ	Ом/км
1	40	10,5	Δ/Y_0	2x125	14,0	Y_0/Y_0	110/220	60	110	0,4
2	80	10,5	Δ/Y_0	2x125	14,0	Y_0/Y_0	110/220	75	110	0,4

3	125	11,0	Δ/Y_0	2x200	11,5	Y_0/Y_0	110/220	80	110	0,4
4	125	11,0	Δ/Y_0	2x200	11,5	Y_0/Y_0	110/220	100	110	0,4
5	200	11,0	Δ/Y_0	2x250	11,5	Y_0/Y_0	220/500	70	220	0,4
6	250	11,0	Δ/Y_0	3x250	11,5	Y_0/Y_0	220/500	60	220	0,4
7	400	13,0	Δ/Y_0	3x250	11,5	Y_0/Y_0	220/500	150	220	0,4
8	400	13,0	Δ/Y_0	3x250	11,5	Y_0/Y_0	220/500	120	220	0,4
9	400	13,0	Δ/Y_0	3x250	11,5	Y_0/Y_0	330/750	200	330	0,38
10	630	13,0	Δ/Y_0	4x250	11,5	Y_0/Y_0	330/750	225	330	0,38
11	80	10,5	Δ/Y_0	2x200	11,5	Y_0/Y_0	110/220	50	110	0,4
12	80	10,5	Δ/Y_0	2x200	11,5	Y_0/Y_0	110/220	60	110	0,4
13	125	11,0	Δ/Y_0	2x200	11,5	Y_0/Y_0	110/220	40	110	0,4
14	125	11,0	Δ/Y_0	2x200	11,5	Y_0/Y_0	110/220	55	110	0,4
15	160	11,0	Δ/Y_0	3x200	11,5	Y_0/Y_0	220/500	70	220	0,4
16	200	11,0	Δ/Y_0	3x200	11,5	Y_0/Y_0	220/500	120	220	0,4
17	200	11,0	Δ/Y_0	3x200	11,5	Y_0/Y_0	220/500	110	220	0,4
18	250	11,0	Δ/Y_0	3x250	11,5	Y_0/Y_0	220/500	150	220	0,4
19	400	13,0	Δ/Y_0	3x250	11,5	Y_0/Y_0	330/750	180	330	0,38
20	630	13,0	Δ/Y_0	5x250	11,5	Y_0/Y_0	330/750	200	330	0,38

Таблица 5

Мощность, передаваемая в систему					Напряжение системы
Вариант	P_n , МВт	$\cos\varphi$	Скольжение, S_0	T_J , с	U_c , кВ
1	90	0,81	0,035	2	220
2	150	0,83	0,03	6	220
3	160	0,82	0,032	4	220
4	170	0,84	0,025	8	220
5	180	0,85	0,022	7	500
6	200	0,78	0,02	9	500
7	220	0,79	0,018	10	500
8	250	0,80	0,017	6	500
9	400	0,77	0,02	5	750
10	700	0,76	0,021	8	750
11	120	0,81	0,035	2	220
12	150	0,83	0,03	6	220
13	160	0,82	0,032	4	220
14	170	0,84	0,025	8	220
15	180	0,85	0,022	7	500
16	200	0,78	0,02	9	500
17	220	0,79	0,018	10	500
18	250	0,80	0,017	6	500
19	400	0,77	0,02	5	750
20	800	0,76	0,021	8	750

Таблица 6

Вариант	Алгоритм развития аварии
1	2
A1	В точке К2 - трехфазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной - с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз}=0$ с, $t_{ов}=0,1$ с выключатель Q2 (со стороны Т2) - второй ступенью дистанционной защиты: $t_{сз}=0,05$ с, $t_{ов}=0,1$ с, АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ - успешное.
A2	В точке К2 - двухфазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной - с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз}=0$ с, $t_{ов}=0,1$ с выключатель Q2 (со стороны Т2) - второй ступенью дистанционной защиты: $t_{сз}=0,05$ с, $t_{ов}=0,1$ с, АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ - неуспешное.
A3	В точке К4 - трехфазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной - с обеих сторон линии. В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз}=0$ с, $t_{ов}=0,1$ с выключатель Q1 (со стороны Т1) - второй ступенью дистанционной защиты: $t_{сз}=0,05$ с, $t_{ов}=0,1$ с, АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ - успешное.
A4	В точке К4 - однофазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной - с обеих сторон линии. В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз}=0$ с, $t_{ов}=0,1$ с выключатель Q1 (со стороны Т1) - второй ступенью дистанционной защиты: $t_{сз}=0,05$ с, $t_{ов}=0,1$ с, АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,15$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ - неуспешное.
A5	В точке К3 на расстоянии $a=0,5l_2$ работает основная защита – поперечная диффзащита с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз}=0$ с, $t_{ов}=0,1$ с выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз}=0$ с, $t_{ов}=0,1$ с, АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ - успешное.
A6	В начале линии, находящейся под охранным напряжением, в точке К1 – двухфазное к.з. ($b = 0$) Выключатель линии отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1$ с; Сработало АПВ: $t_{АПВ} = 0,15$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ – неуспешное.. после АПВ к.з. переросло в трехфазное, работа защит - аналогичная.
A7	В точке К2 – двухфазное к.з., сопровождающееся временным отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – на дальнем конце линии (к.з. - в зоне каскадного действия защиты). В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен основной защитой: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1$ с; выключатель Q2 (со стороны Т2) – также основной защитой, но. только после отключения Q1: $t_{сз}=0$ с, $t_{ов}= 0,1$ с. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ – успешное.
A8	В точке К4 – двухфазное к.з., сопровождающееся временным отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – на ближнем конце линии (к.з. - в зоне каскадного действия защиты). В результате выключатель Q2 (со стороны Т2)

Вариант	Алгоритм развития аварии
1	2
	отключен основной защитой: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1(со стороны Т1) – также основной защитой, но только после отключения Q2: $t_{сз} = 0$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A9	В точке К4 – двухфазное к.з., сопровождающееся временным отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – на ближнем конце линии (к.з. - в зоне каскадного действия защиты). В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен основной защитой: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – также основной защитой, но только после отключения Q2: $t_{сз} = 0$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A10	В точке К4 – двухфазное к.з., сопровождающееся временным отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – на ближнем конце линии (к.з. - в зоне каскадного действия защиты). В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен основной защитой: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – также основной защитой, но только после отключения Q2: $t_{сз} = 0$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное.
A11	В точке К3, на расстоянии $a = 0,3$ л Л2 от шин станции – двухфазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,15$ с; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A12	В точке К3, на расстоянии $a = 0,7$ л Л2 от шин станции – двухфазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,15$ с; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2 $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное.
A13	В точке К1, на расстоянии $b = 0,2$ л Л2 от шин станции – однофазное к.з. Выключатель линии отключен первой ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; Сработало АПВ: $t_{АПВ} = 0,2$ с, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное, после к.з. переросло в двухфазное на землю, работа защит - аналогичная.
A14	В точке К2 – однофазное к.з. Выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен первой ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2) – второй ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0,05$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A15	В точке К4 – однофазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен первой ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – второй ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0,05с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с

Вариант	Алгоритм развития аварии
1	2
	контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное. После АПВ работа защиты – аналогичная.
A16	В точке К3, на расстоянии $a = 0,6$ ЛЛ2 от шин станции – однофазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0$ с, $t_{ов} = 0,15$ с. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A17	В точке К1, на расстоянии $b = 0,35$ ЛЛ2 от шин станции – однофазное к.з. Выключатель линии отключен первой ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; Сработало АПВ: $t_{АПВ} = 0,2$ с, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное, после АПВ к.з. переросло в двухфазное на землю, работа защит - аналогичная.
A18	В точке К3, на расстоянии $a = 0,38$ ЛЛ2 от шин станции – однофазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0$ с, $t_{ов} = 0,15$ с. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное.
A19	В точке К2 – трехфазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2) – второй ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0,05$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A20	В точке К2 – двухфазное к.з. на землю, сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2) – второй ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0,05$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное.
A21	В точке К4 – трехфазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – второй ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0,05$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A22	В точке К4 – однофазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен первой ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – второй ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0,05$ с, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с

Вариант	Алгоритм развития аварии
1	2
	контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное.
A23	В точке К3, на расстоянии $a = 0,55$ l Л2 от шин станции – трехфазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,15с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2 $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A24	В точке К1, на расстоянии $b = 0,25$ l Л2 от шин станции – двухфазное к.з. Выключатель линии отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; Сработало АПВ: $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное, после АПВ к.з. переросло в трехфазное, работа защит - аналогичная. Как изменится развитие переходного процесса, если спустя 0,1с после аварии произойдет отключение части генераторов (25% от активной мощности нагрузки)?
A25	В точке К2 – двухфазное к.з., сопровождающееся временным отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – на дальнем конце линии (к.з. - в зоне каскадного действия защиты). В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен основной защитой: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2) – также основной защитой, но только после отключения Q1: $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A26	В точке К4 – двухфазное к.з., сопровождающееся временным отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – на ближнем конце линии (к.з. - в зоне каскадного действия защиты). В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен основной защитой: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – также основной защитой, но только после отключения Q2: $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A27	В точке К4 – двухфазное к.з., сопровождающееся временным отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – на ближнем конце линии (к.з. - в зоне каскадного действия защиты). В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен основной защитой: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – также основной защитой, но только после отключения Q2: $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A28	В точке К4 – двухфазное к.з., сопровождающееся временным отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – на ближнем конце линии (к.з. - в зоне каскадного действия защиты). В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен основной защитой: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – также основной защитой, но только после отключения Q2: $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное.
A29	В точке К3, на расстоянии $a = 0,6$ l Л2 от шин станции – двухфазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,15с$; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия

Вариант	Алгоритм развития аварии
1	2
	напряжения - на Q1. $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A30	В точке К3, на расстоянии $a = 0,4$ л Л2 от шин станции – двухфазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,15с$; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное.
A31	В точке К1, на расстоянии $b = 0,65$ л Л2 от шин станции – однофазное к.з. Выключатель линии отключен второй ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0,05$, $t_{ов} = 0,1с$; Сработало АПВ: $t_{АПВ} = 0,25с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное, после АПВ к.з. переросло в двухфазное на землю, работа защит - аналогичная.
A32	В точке К2 – однофазное к.з. Выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен первой ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2) – второй ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0,05с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A33	В точке К4 – однофазное к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен первой ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q1 (со стороны Т1) – второй ступенью ТЗНП: $t_{сз} = 0,05с$, $t_{ов} = 0,1с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное. После АПВ развитие аварии – аналогичное.
A34	В точке К3, на расстоянии $a = 0,45$ л Л2 от шин станции – однофазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,15с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,1с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – успешное.
A35	В точке К1, на расстоянии $b = 0,75$ л Л2 от шин станции – двухфазное к.з. Выключатель линии отключен второй ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0,05$, $t_{ов} = 0,1с$; Сработало АПВ: $t_{АПВ} = 0,25с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное, после АПВ к.з. переросло в трехфазное, работа защит - аналогичная.
A36	В точке К3, на расстоянии $a = 0,5$ л Л2 от шин станции – однофазное к.з. Работает основная защита – поперечная дифференциальная – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q1 (со стороны Т1) отключен: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель Q2 (со стороны Т2): $t_{сз} = 0с$, $t_{ов} = 0,15с$. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q2 $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,15с$, $t_{вв} = 0,05с$. АПВ – неуспешное.

3 Требования к структуре работы с описанием требований и рекомендаций к каждому разделу

Структура курсового проекта.

Типовое содержание курсовой работы:

Титульный лист (приложение 1)

Задание

Введение

1. Основные теоретические положения, принимаемые допущения.

2. Схемы замещения и применяемые для расчета выражения

3. Результаты расчета, их графическое представление

Заключение.

Приложения:

П1 Расчеты

П2 Графический материал

Оформление: стандартные поля MS Word, шрифт 14, Times new romans, 1,5 интервал, формулы набраны в редакторе формул (equation или mathtype), Все расчеты в программах должны быть в приложении 1 (если использовались). Объем работы от 20 до 40 страниц (10-25 страниц основная часть, от 5 до 15 страниц приложения). Если курсовой проект сдается в электронном виде, то окончательный файл оформляется как PDF документ, отправляется на проверку преподавателю. Страницы должны быть пронумерованы (снизу страницы, справа), на титульном листе и задании нумерация страниц не ставится, перед введением в работе должно быть вставлено содержание (В MS WORD вкладка ссылки – оглавление – автособираемое оглавление¹, при этом название разделов работы задается как «УРОВЕНЬ 1» во вкладке «Абзац»)

Во введении приводятся:

Актуальность темы исследования - обоснование теоретической и практической важности выбранной для исследования проблемы.

Цель и задачи курсовой работы (проекта) - краткая и четкая формулировка цели проведения исследования и нескольких задач, решение которых необходимо для достижения поставленной цели.

Предмет исследования - формулировка конкретного вопроса или анализируемой проблемы.

Объект исследования.

Методы исследования

Заключение - краткое изложение основных, наиболее существенных результатов проведенного анализа, сформулированных в виде выводов, соответствующих цели и поставленным во введении задачам исследования.

В списке использованных источников литературы должны быть представлены основные источники по теме:

- нормативно-правовые документы (ГОСТы, кодексы, стандарты, законы);
- учебники и учебные пособия;
- отраслевые периодические издания;
- научные статьи, монографии и материалы научных конференций;
- интернет-ресурсы (официальные сайты организаций, базы данных и т.д.)
- материалы лабораторных и полевых исследований;
- данные, собранные во время практик;

Список должен содержать не менее 10 современных источников, изученных обучающимися (преимущественно даты издания не более 5 лет относительно года написания курсовой работы, кроме учебников, справочников и другой действующей нормативно-технической документации).

4 Список рекомендованных основных и дополнительных источников литературы.

Основная литература

1 Коган Феликс Лазаревич Развитие конструкций, параметры и режимы мощных турбогенераторов : Учебное пособие; ВО - Бакалавриат. - Москва:ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2019. - 325 с. - URL: <http://new.znaniium.com/go.php?id=1005637>.

2 Немировский Александр Емельянович Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : Учебное пособие; ВО - Бакалавриат, Магистратура/Вологодский государственный университет. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. - 174 с. - URL: <http://znaniium.com/catalog/document?id=361762>.

3 Привалов, Е. Е. Эксплуатация линий распределительных сетей систем электроснабжения : учеб. пособие/Е. Е. Привалов, А. В. Ефанов, С. С. Ястребов, В. А. Ярош ; под ред. Е. Е. Привалова ; СтГАУ. - Ставрополь: Параграф, 2018. - 3,44 МБ

4 Хорольский В. Я. Эксплуатация электрооборудования : учебник ; ВО - Бакалавриат/Хорольский В. Я., Таранов М. А., Шемякин В. Н.. - Санкт-Петербург:Лань, 2018. - 268 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/106891>. - Издательство Лань.

Дополнительная литература

1. Методика расчетов устойчивости автоматизированных электрических систем / Под ред. Веникова В.А. – М.; Высшая школа, 1966. – 248 с.

2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1978. – 415 с.

3. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.

4. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электрических специальностей / Под ред. В.М. Блок. – М.: Высшая школа, 1981. – 304 с.

5. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Веникова. – М.; Энергоатомиздат, 1983. – 504 с.
6. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы / Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Энергия, 1972. – 336 с.
7. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях: Учеб. пособие для вузов (В.В. Ежков, Н.И. Зеленохат, И.В. Литкенс и др.; Под ред. В.А. Строева). – М.: Знак, 1996 – 224 с.
8. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены приказом Минэнерго России № 277 от 30.06.2003. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
9. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. Учебно-методическое пособие к курсовому проектированию / А.Н. Козлов, В.А. Козлов, А.С. Степанов. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2013.

5 Требования к защите работы

В целях выполнения требований по хранению курсовых работ законченная и оформленная в соответствии с установленными требованиями курсовая работа и сопроводительный материал предоставляется преподавателю для защиты в распечатанном виде.

Курсовая работа допускается к защите при выполнении следующих условиях:

- степень оригинальности текста курсовой работы (проекта) не ниже 25% для работ, выполненных обучающимися по образовательным программам бакалавриата и специалитета, не ниже 35% - по образовательным программам магистратуры;
- наличия рецензии преподавателя, принимающего курсовую работу (Приложение 2).

Защита курсовых работ относится к промежуточной аттестации и проводится в конце семестра. Защита курсовых работ (проектов) назначается кафедрой, дирекцией/деканатом вносится в расписание промежуточной аттестации и отражается в расписании учебных занятий.

Защиту курсовых работ проводит ведущий преподаватель, а в случае возникновения спорных ситуаций создается комиссия, в состав которой входит заведующий кафедрой и преподаватели кафедры.

Защита работы проходит в форме публичного выступления (5-7 мин.) с представлением результатов работы в виде презентации (5-7 слайдов) и ответов на вопросы преподавателя/комиссии (5 мин).

Для защиты курсовой работы обучающийся готовит текст доклада. В тексте выступления отражается:

- актуальности выбранной темы;
- цели и основные задачи курсовой работы;
- основное содержание курсовой работы;
- основные выводы и практические рекомендации.

6. Критерии оценки работы

Выполненная и защищенная курсовая работа оценивается в соответствии с учетом балльно-рейтинговой системы оценивания и критериями оценки, которые указаны в рабочей программе дисциплины.

В соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки знаний студентов, обучающихся по образовательным программам высшего образования курсовую работу (проект) необходимо оценить по следующим критериям с учетом установленных максимальных баллов:

Критерий	Максимальное значение в баллах	Набранных баллов
Оформление курсовой работы/проекта	10	
Содержание курсовой работы/проекта	60	
Защита курсовой работы/проекта	30	
ИТОГО	100	

Содержание критериев оценки курсовой работы (проекта):

1. Оформление курсовой работы:

-10 баллов - курсовая работа соответствует всем требованиям к ее оформлению. При оформлении курсовой работы использовались современные средства визуализации информации.

-5 баллов - курсовая работа частично соответствует требованиям к ее оформлению, представленный материал проиллюстрирован не качественно. При оформлении курсовой работы современные средства визуализации информации не использовались.

2. Содержание курсовой работы:

-60 баллов - в курсовой работе подобраны необходимые информационные источники, информация использована корректно, все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов приведены достаточные обоснования;

-40 баллов - в курсовой работе подобраны не все необходимые информационные источники, информация использована не везде корректно, не все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов не приведены достаточные обоснования;

-20 баллов - в курсовой работе отсутствуют некоторые разделы, или их название не отвечает содержанию.

3. Защита курсовой работы:

-30 баллов - студент продемонстрировал полное понимание всех положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на все вопросы, заданные преподавателем;

-20 баллов - студент продемонстрировал понимание основных положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на большую часть вопросов, заданных преподавателем;

-10 баллов - студент дал недостаточно полные ответы на вопросы, на некоторые из них дал ошибочные ответы или не ответил.

Перевод оценки из 100-бальной в пятибалльную систему оценки знаний осуществляется следующим образом:

-89-100 - оценка «отлично»,

-77 - 88 баллов - оценка «хорошо»,

-65 - 76 баллов - оценка «удовлетворительно»,

-менее 64 баллов - оценка «неудовлетворительно».

При неудовлетворительной оценке курсовой работы обучающийся имеет право на повторную защиту после доработки и внесения исправлений.

У обучающегося, не сдавшего в установленный срок курсовую работу и/или не защитившего её по неуважительной причине, образуется

академическая задолженность.

Оценка за курсовую работу фиксируется в зачетной книжке обучающегося и в электронной ведомости. Распечатанный и подписанный оригинал ведомости храниться в деканате факультета/института в соответствии со номенклатурой дел и сроками хранения документов 5 лет.

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Ставропольский государственный аграрный университет
Институт механики и энергетики
Кафедра Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования

Курсовая работа
по дисциплине

Режимы работы электрооборудования систем электроснабжения
На тему «Расчет режимов работы электрооборудования системы
электроснабжения»

Выполнил: студент 3 курса

«__» _____ 202_ года

По направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и
электротехника»

Профиль: Системы электроснабжения городов, промышленных предприятий,
сельского хозяйства, и их объектов

Форма обучения:

Проверил: канд. физ-мат. наук,
доцент кафедры

Электроснабжения и эксплуатации
электрооборудования

Ястребов С.С.

Зарегистрирована

«__» _____ 202_ года

Критерий	Максимальное значение в баллах	Набрано баллов
Оформление курсовой работы/проекта	10	
Содержание курсовой работы/проекта	60	
Защита курсовой работы/проекта	30	
ИТОГО	100	

Оценка «_____»

Дата _____

Подпись _____

Ставрополь, 2024 г.

Приложение 2

Кафедра: Электроснабжения и эксплуатации электрооборудования

РЕЦЕНЗИЯ на курсовую работу

Тема _____

Обучающийся (Ф.И.О.) _____

Курс _____ Группа _____

Преподаватель (Ф.И.О.) _____

Выполнение общих требований к курсовой работе (проекту)

1	Объем работы соответствует установленным требованиям	Да/нет
2	Степень оригинальности курсовой работы (проекта) соответствует установленным требованиям	Да/нет (указать %)

Критерии оценивания курсовой работы (проекта)

Критерии	Количество баллов	Содержание критерия оценки	Итоговый балл
Оформление курсовой работы (проекта)	10	Курсовая работа соответствует всем требованиям к ее оформлению. При оформлении курсовой работы использовались современные средства визуализации информации.	
	5	Курсовая работа частично соответствует требованиям к ее оформлению, представленный материал проиллюстрирован не качественно. При оформлении курсовой работы (проекта) современные средства визуализации информации не использовались.	
Содержание курсовой работы (проекта)	60	В курсовой работе подобраны необходимые информационные источники, информация использована корректно, все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов приведены достаточные обоснования.	

	40	В курсовой работе подобраны не все необходимые информационные источники, информация использована не везде корректно, не все вопросы и разделы освещены полностью, для выводов не приведены достаточные обоснования.	
	20	В курсовой работе отсутствуют некоторые разделы, или их название не отвечает содержанию.	
Защита курсовой работы (проекта)	30	Студент продемонстрировал полное понимание всех положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на все вопросы, заданные преподавателем.	
	20	Студент продемонстрировал понимание основных положений защищаемой работы, четкость и правильность изложения ответов на большую часть вопросов, заданных преподавателем.	
	10	Студент дал недостаточно полные ответы на вопросы, на некоторые из них дал ошибочные ответы или не ответил.	
ИТОГО:			<i>Указывается итоговый балл по всем критериям</i>

Рекомендации:

Ведущий преподаватель _____ / _____
 (ФИО) (подпись)

Приложение 3

Введение

Наиболее универсальным и удобным видом энергоносителя в промышленности является электрический ток или электрическая энергия. Такой вид энергообеспечения предприятий всех отраслей промышленности помогает сделать их менее зависимыми от колебаний цен на различные виды энергоресурсов. Это возможно благодаря тому, что электроэнергия может быть получена из практически любых источников, таких как ГРЭС, ТЭЦ, ВЭС, АЭС или других. Хотя электрическая энергия является более дорогим видом энергоносителя, но использование низких тарифов в периоды минимума нагрузок может минимизировать данный недостаток.

Электрическая энергия может применяться для выполнения практически всех технологических процессов на предприятиях в агропромышленном комплексе, в том числе и в производстве навесного сельскохозяйственного оборудования, ручного инструмента и т.д., поэтому этот вид энергии используется для основных нужд предприятия при проектировании его электроснабжения. Исключение составляет отопление производственных и административных зданий, которое осуществляется от заводской котельной, работающей на различных видах дешевых энергоносителей, таких как древесные отходы, пеллеты, уголь и т.д.

Для нормальной работы электрооборудования системы электроснабжения предприятий агропромышленного комплекса необходимо производить оценку работы его режимов, как установившихся, так и в переходных процессах, при возникновении перегрузок, коротких замыкания и работе релейной защиты и автоматики. Для этого проводятся расчеты режимов работы электрооборудования системы электроснабжения предприятий агропромышленного комплекса.

Расчёты установившихся электрических режимов выполняются для электрических сетей произвольного размера и сложности с целью определения схемы присоединения системы электроснабжения предприятия к электрической сети, выбора оптимального режима работы генераторов системы электроснабжения предприятия, работающих параллельно с сетью, выбора мощностей и мест размещения компенсирующих устройств, выбора коэффициентов трансформации силовых трансформаторов с учётом уменьшения суммарных потерь активной мощности в электрических сетях, выбора оптимального состава работающего оборудования и максимально эффективного его использования, выбора главных схем электрических подстанций и станций, выбора номинальных параметров оборудования, проведения анализа допустимой токовой загрузки линий электропередачи и трансформаторов с учётом зависимости допустимого тока от температуры окружающей среды, определения перспектив развития района электрической сети или электрической сети в целом на заданной территории.

1 Основные теоретические положения, принимаемые допущения

1.1 Общие положения

Перед выполнением расчетов устойчивости необходимо составить расчетную схему (схему замещения) простейшей электроэнергетической системы, включающую в себя схемы замещения отдельных элементов. Генераторы, трансформаторы и линии электропередачи представляются простейшими схемами замещения, т.е. индуктивными сопротивлениями. Нагрузку рекомендуется представлять в комплексном виде.

Элементы схемы замещения и параметры режима (напряжения, токи, мощности) определяются в относительных единицах [1]. Используется приближенное приведение по средним коэффициентам трансформации. За базисные величины рекомендуется принимать номинальную мощность генератора $S_b = S_{ген.ном}$ и напряжение на шинах нагрузки системы $U_b = U_{сист.}$ ($U_{*(б)с} = 1$).

Также в относительных единицах (в радианах) рекомендуется рассчитывать значения углов между различными векторами, т.к. в наиболее часто используемом пакете прикладных программ Mathcad при работе с тригонометрическими функциями углы, по умолчанию, берутся в радианах. Постоянные инерции T и время развития переходного процесса t оставляются в именованных единицах. Перечисленными рекомендациями определяется форма записи уравнений движения, используемых для описания переходного процесса и рассматриваемых далее.

1.2 Определение параметров схемы замещения

Расчет параметров схем замещения отдельных элементов электроэнергетической системы выполняется по известным формулам. Если сопротивление элемента задано в относительных единицах:

$$x_{*(\delta)} = x_{*(\text{НОМ})} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ}}} \quad (1.1)$$

если в именованных:

$$x_{*(\delta)} = x_{*(\text{НОМ})} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \quad (1.2)$$

В таблице 1, приведены расчетные формулы для отдельных элементов системы.

Таблица 1 – Расчетные выражения для определения параметров схемы замещения элементов ЭЭС

Элемент системы	Исходные данные	Сопротивления в о.е., приведенное к базисным условиям
Синхронный генератор	$x_d; x'_d; x_q; x_2; S_{\text{ген.ном}}$	При условии $S_{\delta} = S_{\text{ген.ном}}$ все исходные величины используются без пересчета
Силовой трансформатор	$\Delta U_{\text{к}}(\%); S_{\text{т.ном}}$	$x_{*т(\delta)} = \frac{\Delta U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{т.ном}}}$
Линия электропередачи	$x_0(\text{Ом/км}); l_{\text{линии}}(\text{км}); U_{\text{л.ном}}$	$x_{*л(\delta)} = x_0 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{л.}}^2}$

Параметры элементов для схем отдельных последовательностей определяются по рекомендациям.

Если в качестве базисной выбрана мощность, отличающаяся от мощности элемента (генератора, двигателя), то соответствующие постоянные инерции необходимо привести к базисной мощности:

$$T_{J(\delta)} = T_{J(\text{НОМ})} \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{S_{\delta}} \quad (1.3)$$

Переводу в относительные единицы подлежат значения всех мощностей, напряжений и э.д.с. При этом следует помнить, что к базисным условиям приводятся как полные мощности, так и их составляющие:

$$S_{*(\text{НОМ})} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{S_{\delta}}; \quad P_{*(\text{НОМ})} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{P_{\delta}}; \quad Q_{*(\text{НОМ})} = \frac{Q_{\text{НОМ}}}{Q_{\delta}}. \quad (1.4)$$

1.3 Последовательность выполнения расчетов

Для простейшей электроэнергетической системы (ЭЭС), приведенной на рисунке 1.1, составить схему замещения и привести параметры этой схемы к базисным условиям с пересчетом в относительные единицы

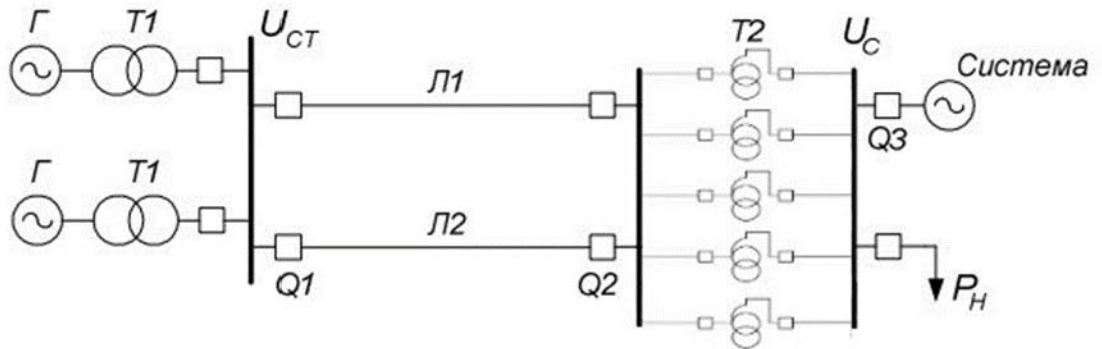


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема простейшей электроэнергетической системы

Приведение к базисным условиям выполним приближенное - по средним коэффициентам трансформации.

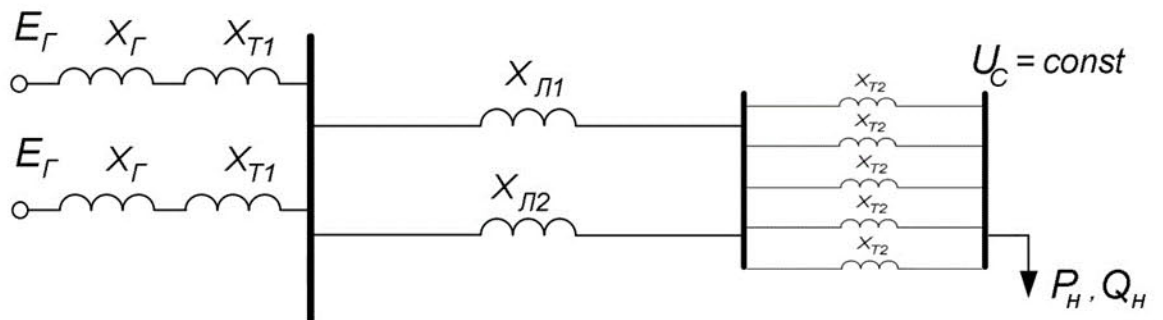


Рисунок 1.2 – Схема замещения простейшей электроэнергетической системы

Для трансформаторов (у автотрансформатора Т2 во внимание принимается только сопротивление обмотки высокого напряжения (ВН), т.к. сопротивление обмотки СН всегда принимается равным нулю, а обмотка НН

в данном примере не нагружена и поэтому ее сопротивление в схему замещения не включается):

$$x_{*T1(баз)} = x_{T1} = \frac{\Delta U_{к.Т1}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{НОМ}}; \quad (1.5)$$

$$x_{*T2(баз)} = x_{T2} = \frac{\Delta U_{к.ВН.Т2}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{НОМ}} \quad (1.6)$$

Для линий:

$$x_{*Л1(баз)} = x_{*Л2(баз)} = x_{Л1} = x_{Л2} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_б^2}; \quad (1.7)$$

Напряжение системы:

$$U_{C(баз)} = \frac{U_{C(исх)}}{U_б} \cdot (k_{T2}); \quad (1.8)$$

Нагрузка:

$$P_{*н(баз)} = P_н = \frac{P_{н(исх)}}{S_б}; \quad (1.9)$$

$$Q_{*н(баз)} = Q_н = P_н \cdot \operatorname{tg}(\varphi) = P_н \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2(\varphi)}}{\cos(\varphi)}; \quad (1.10)$$

1.4 Расчет исходного установившегося режима

Генератор при расчетах в схеме замещения представляется индуктивным сопротивлением x_r и приложенной за ним э.д.с. E_r . Величины сопротивления и э.д.с. зависят от типа генератора, отсутствия или наличия АРВ и способа регулирования. Выбирать следует такие параметры, которые не изменяются в первый момент при любом резком изменении режима, т.е. позволяют связать состояние системы, предшествовавшее нарушению режима с новым состоянием, наступающим после нарушения.

При отсутствии АРВ:

для гидрогенераторов (явнополюсных синхронных машин): $x_r = x_q$;

$E_r = E_Q$ – синхронное сопротивление по поперечной оси и фиктивная расчетная э.д.с.

При наличии регулятора пропорционального действия (АРВ ПД):
 $x_r = x'_d$; $E_r = E'_q$ – переходное сопротивление и поперечная составляющая переходной э.д.с., обусловленной результирующим полным потокосцеплением обмотки возбуждения.

При регуляторах сильного действия (АРВ СД): $x_r = 0$; $E_r = U_{Гq}$ – поперечная составляющая напряжения генератора.

Расчет величин э.д.с. может проводиться по формуле:

$$E_r = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_{\text{нагр}}(x_r + x_{\text{внеш.}})}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_{\text{нагр}}(x_r + x_{\text{внеш.}})}{U_c} \right)^2}, \quad (1.11)$$

где $x_{\text{внеш.}} = \frac{x_{T1}}{n_{T1}} + \frac{x_{\text{линии}}}{2} + \frac{x_{T2}}{2}$ в исходном (нормальном) режиме;

n_r, n_{T1} – число генераторов и трансформаторов $T1$ на станции.

углы $\delta_0, \delta'_0, \delta_{0u}$, характеризующие сдвиг вектора соответствующей э.д.с. относительно вектора напряжения U_c , определяются по формуле:

$$\delta_0 = \arctg \frac{P_{\text{нагр}}(x_r + x_{\text{внеш.}})}{U_c^2 + Q_{\text{нагр}}(x_r + x_{\text{внеш.}})}. \quad (1.12)$$

Определяются продольные составляющие переходной э.д.с. E'_q и напряжения генератора $U_{Гq}$:

$$E'_q = E' \cos(\delta_0 - \delta'_0), \quad (1.13)$$

$$U_{Гq} = U_r \cos(\delta_0 - \delta_{0u}). \quad (1.14)$$

По рассчитанным значениям э.д.с. и углов и заданному значению $U_{*c} = 1$ в координатной плоскости d, q в масштабе строится векторная диаграмма.

Далее по формулам (1.11)-(1.14) рассчитываются э.д.с., приложенные за сопротивлениями, соответствующими способу регулирования возбуждения.

-гидрогенератор без АРВ:

$$x_{Г\text{экв.1}} = \frac{x_q}{n_r}; \quad (1.15)$$

$$x_{\text{внеш.}} = \frac{x_{T1}}{n_{T1}} + \frac{x_{\text{линии}}}{5} + \frac{x_{T2}}{5}; \quad (1.16)$$

$$E_Q = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_H(x_{\Gamma.\text{ЭКВ.1}} + x_{\text{внеш.}})}{U_c}\right)^2 + \left(\frac{P_H(x_{\Gamma.\text{ЭКВ.1}} + x_{\text{внеш.}})}{U_c}\right)^2}; \quad (1.17)$$

$$\delta_{0Q} = \arctg \frac{P_H(x_{\Gamma.\text{ЭКВ.1}} + x_{\text{внеш.}})}{U_c^2 + Q_H(x_{\Gamma.\text{ЭКВ.1}} + x_{\text{внеш.}})}; \quad (1.18)$$

$$\delta_{0Q}(\text{град.}) = \delta_{0Q}(\text{рад.}) \cdot \frac{180}{3,14}; \quad (1.19)$$

$$E'_{q2} = E' \cos(\delta_{0Q} - \delta'_0); \quad (1.20)$$

$$U_{\Gamma q2} = U_{\Gamma} \cos(\delta_{0Q} - \delta_{0u}). \quad (1.21)$$

-гидрогенератор с АРВ ПД:

$$x_{\Gamma.\text{ЭКВ.2}} = \frac{x'_d}{n_{\Gamma}}; \quad (1.22)$$

$$E' = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_H(x_{\Gamma.\text{ЭКВ.2}} + x_{\text{внеш.}})}{U_c}\right)^2 + \left(\frac{P_H(x_{\Gamma.\text{ЭКВ.2}} + x_{\text{внеш.}})}{U_c}\right)^2}; \quad (1.23)$$

$$\delta'_0 = \arctg \frac{P_H(x_{\Gamma.\text{ЭКВ.2}} + x_{\text{внеш.}})}{U_c^2 + Q_H(x_{\Gamma.\text{ЭКВ.2}} + x_{\text{внеш.}})}; \quad (1.24)$$

$$\delta'_0(\text{град.}) = \delta'_0(\text{рад.}) \cdot \frac{180}{3,14}; \quad (1.25)$$

$$E'_q = E' \cos(\delta_{0Q} - \delta'_0); \quad (1.26)$$

-гидрогенератор с АРВ СД:

$$x_{\Gamma.\text{ЭКВ.3}} = 0; \quad (1.27)$$

$$U_{\Gamma} = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_H \cdot x_{\text{внеш.}}}{U_c}\right)^2 + \left(\frac{P_H \cdot x_{\text{внеш.}}}{U_c}\right)^2}; \quad (1.28)$$

$$\delta_{0u} = \arctg \frac{P_H \cdot x_{\text{внеш.}}}{U_c^2 + Q_H \cdot x_{\text{внеш.}}}; \quad (1.29)$$

$$\delta_{0u}(\text{град.}) = \delta_{0u}(\text{рад.}) \cdot \frac{180}{3,14}; \quad (1.30)$$

$$U_{\Gamma q} = U_{\Gamma} \cos(\delta_{0Q} - \delta_{0u}). \quad (1.31)$$

$$P_{mEq}^{(a)} = \frac{E_q^{(a)} \cdot U_c}{x_{d\Sigma}} \cdot \sin\delta + \frac{U_c^2}{2} + \frac{\frac{x_\Gamma}{n_\Gamma} \cdot \frac{x_q}{n_\Gamma}}{x_{d\Sigma} \cdot x_{q\Sigma}} \cdot \sin 2\delta, \quad (1.34)$$

где $x_{q\Sigma} = \frac{x_q}{n_\Gamma} + x_{\text{внеш.}}$

Предел передаваемой мощности и значение угла, при котором $\frac{dP}{d\delta} = 0$ определяются решением задачи нахождения экстремума выражения (36)

$$\delta_m = \arccos\left(-b + \sqrt{b^2 + 0,5}\right), \quad (1.35)$$

Где $b = \frac{E_q^{(a)} \cdot x_{q\Sigma} \cdot n_\Gamma}{4 \cdot U_c \cdot (x_d - x_q)}$

явнополосная машина с АРВ ПД:

$$P_{E_q'} = \frac{E_q' \cdot U_c}{x_{d\Sigma}'} \cdot \sin\delta - \frac{U_c^2}{2} + \frac{\frac{x_q}{n_\Gamma} \cdot \frac{x_d'}{n_\Gamma}}{x_{q\Sigma}' \cdot x_{d\Sigma}'} \cdot \sin 2\delta; \quad (1.36)$$

явнополосная машина с АРВ СД:

$$P_{U_{\Gamma q}} = \frac{U_{\Gamma q} \cdot U_c}{x_{\text{внеш.}}} \cdot \sin\delta - \frac{U_c^2}{2} + \frac{\frac{x_q}{n_\Gamma}}{x_{q\Sigma} \cdot x_{\text{внеш.}}} \cdot \sin 2\delta; \quad (1.37)$$

Как и для формулы (1.34), в выражениях (1.36) и (1.37) можно определить углы, при которых $\frac{dP}{d\delta} = 0$. Но, как правило, вторыми слагаемыми в приведенных выше формулах можно пренебречь и определять пределы передаваемой мощности приближенно:

для машин с АРВ ПД:

$$P_{E_q'} = \frac{E_q' \cdot U_c}{x_{d\Sigma}'} \cdot \sin\delta; \quad (1.38)$$

Для машин с АРВ СД:

$$P_{U_{\Gamma q}} = \frac{U_{\Gamma q} \cdot U_c}{x_{\text{внеш.}}} \cdot \sin\delta. \quad (1.39)$$

По результатам проведенных расчетов делаются выводы о влиянии различных видов АРВ на запас статической устойчивости рассматриваемой электропередачи. Величина запаса статической устойчивости в нормальном и утяжеленном режиме должна быть не менее 20%, в послеаварийном режиме – не менее 8%.

2 Составление схем замещения и выполнение расчетов

2.1 Оставление схемы замещения одно машинной ЭЭС

При расчёте задания необходимо для схемы, приведенной на рисунке 2.1 составить схему замещения, параметры схемы замещения представить в относительных единицах.

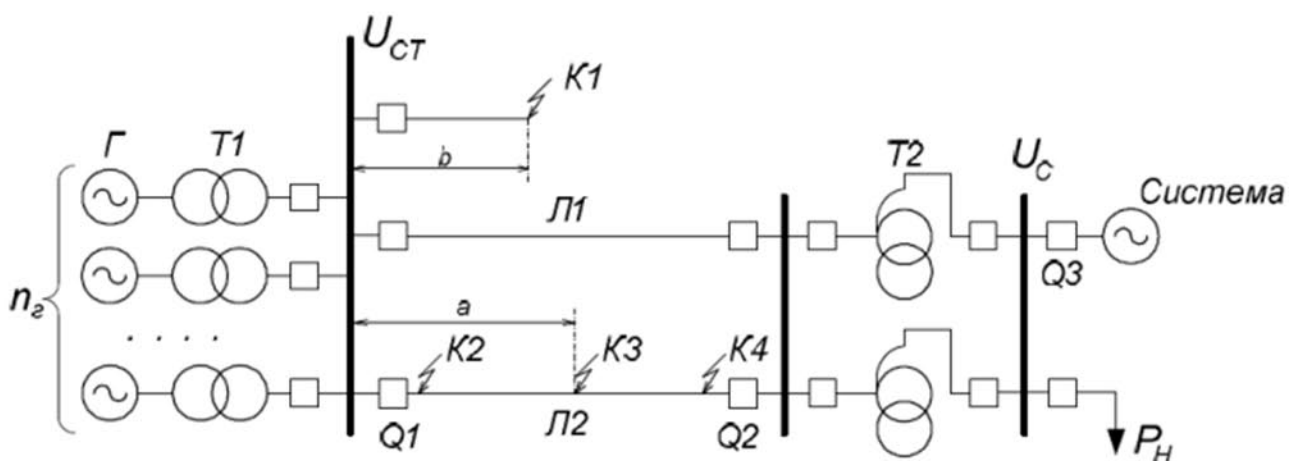


Рисунок 2.1 – Схема участка ЭЭС

Исходные данные для расчета представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета

Генератор									
Тип	Sном, МВА	nГ	Xд	Xq	X'd	X2	Tj, с	Tдо,с	Te,с
ТГ	40	4	2,45	-	0,24	0,17	6,0	10,4	0,15
Трансформаторы							Линия		
Т1			Т2						
Sном, МВА	Uк, %	Группа соед.	МВА	%	Группа а соед.	кТ2	L, км	U. ном кВ	Ом/км
40	10,5	Δ/Y0	2x125	14,0	Y0/Y0	110/220	60	110	0,4
Мощность, передаваемая в систему							Напряжение системы		
Pн, МВт		cosφ	Скольжение, S0		Tj, с	Uс, кВ			
90		0,81	0,035		2	220			

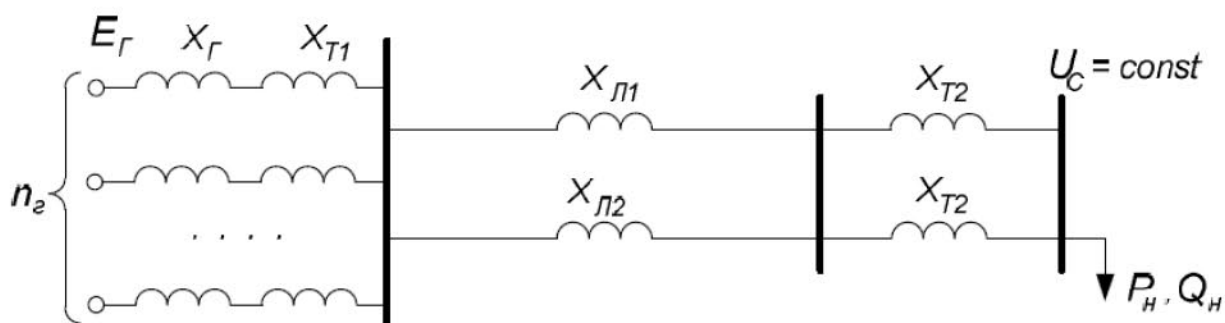


Рисунок 2.2 – Схема замещения участка ЭЭС в нормальном режиме работы

Схема замещения фрагмента ЭЭС для нормального режима представлена на рисунке 2.2. Перед началом расчета необходимо перевести именованные единицы в безразмерные, $U_C=1$ (таблица 2.2)

Таблица 2.2 – Параметры схемы замещения

Параметр	Величина	Выражение
S_6	117,5	
U_6	110	
X_{T1}	0,103	(1.5)
X_{T2}	0,068	(1.6)
$X_{Л1} = X_{Л2}$	0,311	(1.7)
P_H	1,362	(1.8)
Q_H	0,950	(1.9)

2.2 Расчет параметров установившегося режима работы системы и построение векторной диаграммы

Рассчитаем параметры исходного установившегося режима для трех возможных вариантов регулирования возбуждения турбогенератор с без АРВ, с АРВ ПД, с АРВ СД. Результаты расчета сведем в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчета установившегося режима работы генератора

Параметр	без АРВ		АРВ ПД		АРВ СД	
	выражение для расчета	Значение	выражение для расчета	Значение	выражение для расчета	Значение
$X_{ГЭВК}$	(1.15)	0,593	(1.22)	0,086667	(1.27)	0
$X_{ВНЕС}$	(1.16)	0,224	(1.16)	0,224	(1.16)	0,224
E_q	(1.17)	2,096	-	-	-	-
δ_0 , град	(1.18),(1.19)	32,07	-	-	-	-
E'	-	-	(1.23)	1,362	-	-
δ_0' , град	-	-	(1.24),(1.25)	18,080	-	-
E_q'	-	-	(1.26)	1,322	-	-
U_r	-	-			(1.28)	1,250
δ_{0u}	-	-			(1.29),(1.30)	14,104
U_{rq}	-	-			(1.31)	1,189

Для построения векторной диаграммы нам необходимо рассчитать ток нагрузки в относительных единицах

$$I_H = \frac{\sqrt{P_H^2 + Q_H^2}}{U_C} = 1,661 \quad (2.1)$$

и угол $\varphi_H = \arccos(\cos\varphi) = 34,93^\circ$. Векторная диаграмма одномашиной системы показан на рисунке 2.3

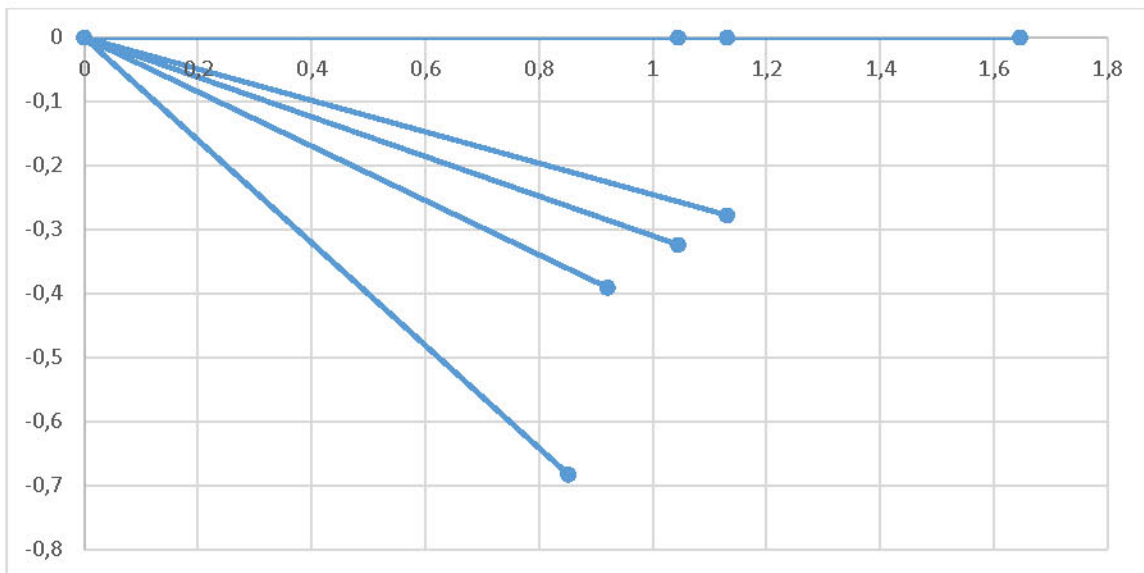


Рисунок 2.3 - Векторная диаграмма работы одномашиной системы в установившемся режиме

2.3 Расчёт пределов передаваемой мощности для трех возможных вариантов регулирования возбуждения и соответствующих коэффициентов запаса статической устойчивости

Для этого рассчитаем пределы передаваемой мощности и запас по статической устойчивости для различных типов АРВ генераторов.

Турбогенератор без АРВ:

Максимальное значение передаваемой мощности

$$P_{mEq} = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{ГЭЭС} + X_{ВНЕС}} \quad (2.2)$$

Запас по статической устойчивости

$$K_{зап.ст.1} = \frac{P_{mEq} - P_H}{P_{mEq}} \cdot 100 \quad (2.3)$$

Турбогенератор с АРВ ПД:

Для расчетов решим уравнение для производной $\frac{dP_{mEq}(\delta)}{d\delta}$ для

турбогенератора с АРВ ПД:

$$\frac{E'_q \cdot U_C}{X'_{d\Sigma}} \cdot \cos(\delta) - \frac{U_C^2}{2} \cdot \frac{X_d - X'_d}{X_{d\Sigma} \cdot X'_{d\Sigma}} \cdot n_\Gamma \cdot n_\Gamma \cdot 2 \cdot \cos(2\delta) = 0 \quad (2.4)$$

где $X_{d\Sigma} = X_{ГЭКВ} + X_{ВНВШ}$ – для генератора без АРВ,

$X'_{d\Sigma} = X_{ГЭКВ} + X_{ВНВШ}$ – для генератора с АРВ ПД.

При этом значение угла δ_m . Подставляя полученное значение δ_m в выражение для угловой характеристики генератора, получаем предел передаваемой мощности:

$$P_{mE'q} = \frac{E'_q \cdot U_C}{X'_{d\Sigma}} \cdot \sin(\delta_m) - \frac{U_C^2}{2} \cdot \frac{X_d - X'_d}{X_{d\Sigma} \cdot X'_{d\Sigma}} \cdot n_\Gamma \cdot n_\Gamma \cdot 2 \cdot \sin(2\delta_m) \quad (2.5)$$

Предел передаваемой мощности для упрощенной характеристики и $\delta_m = 90^\circ$

$$P_{mE'q} = \frac{E'_q \cdot U_C}{X'_{d\Sigma}} \cdot \sin(\delta_m) \quad (2.6)$$

Запас по статической устойчивости для точного выражения угловой характеристики

$$K_{\text{зап.ст.2.1}} = \frac{P_{mE'q} - P_H}{P_{mE'q}} \cdot 100 \quad (2.7)$$

Запас по статической устойчивости для упрощенного выражения угловой характеристики

$$K_{\text{зап.ст.2.2}} = \frac{P_{mE'q} - P_H}{P_{mE'q}} \cdot 100 \quad (2.8)$$

Турбогенератор с АРВ СД:

Для расчетов решим уравнение для производной $\frac{dP_{mE'q}(\delta)}{d\delta}$ для турбогенератора с АРВ СД:

$$\frac{U_{Гq} \cdot U_C}{X'_{d\Sigma}} \cdot \cos(\delta) - \frac{U_C^2}{2} \cdot \frac{X_d}{X_{d\Sigma} \cdot X'_{d\Sigma}} \cdot n_\Gamma \cdot n_\Gamma \cdot \cos(2\delta) = 0 \quad (2.9)$$

где $X_{d\Sigma} = X_{ГЭКВ} + X_{ВНВШ}$ – для генератора без АРВ,

$X'_{d\Sigma} = X_{ГЭКВ} + X_{ВНЕШ}$ – для генератора с АРВ СД.

Подставляя полученное значение δ_m в выражение для угловой характеристики генератора, получаем предел передаваемой мощности:

$$P_{mUGq} = \frac{U_{Гq} \cdot U_C}{X'_{d\Sigma}} \cdot \sin(\delta_m) - \frac{U_C^2}{2} \cdot \frac{\frac{X_d}{n_T}}{X_{d\Sigma} \cdot X'_{d\Sigma}} \cdot \sin(2\delta_m) \quad (2.10)$$

Предел передаваемой мощности для упрощенной характеристики и $\delta_m=90^\circ$

$$P_{mUGq} = \frac{U_{Гq} \cdot U_C}{X'_{d\Sigma}} \cdot \sin(\delta_m) \quad (2.11)$$

Запас по статической устойчивости для точного выражения угловой характеристики

$$K_{ЗАП.СТ.3.1} = \frac{P_{mUGq} - P_H}{P_{mUGq}} \cdot 100 \quad (2.12)$$

Запас по статической устойчивости для упрощенного выражения угловой характеристики

$$K_{ЗАП.СТ.3.1} = \frac{P_{mUGq} - P_H}{P_{mUGq}} \cdot 100 \quad (2.13)$$

Рассчитанные значения сведем в таблицу 2.4

Таблица 2.4 – Запас статической устойчивости

	без АРВ	АРВ ПД	АРВ СД	Выражение для расчета
P_{m1}	2,57	4,47	6,07	(2.2), (2.5), (2.10)
P_{m2}	-	4,26	5,32	(2.6), (2.11)
δ_m	90	123,72	114,03	(2.4), (2.9)
$K_{ЗАП.СТ.1}$	46,93	69,52	77,55	(2.3), (2.7), (2.12)
$K_{ЗАП.СТ.2}$	-	68,03	74,40	(2.8), (2.13)

Таким образом требования по запасу устойчивости для системы выполняются.

2.4 Приближенная оценка устойчивости динамического перехода для заданного сценария развития аварийной ситуации

Схема замещения нормального режима приведена на рисунке 2.2. Параметры нормального режима:

$$XI = \frac{X'_d}{n_T} + \frac{X_{T1}}{n_{T1}} + \frac{X_{M1}}{2} + \frac{X_{T2}}{n_{T2}} \quad (2.14)$$

Схема замещения для первого аварийного режима по прямой последовательности показана на рисунке 2.4.

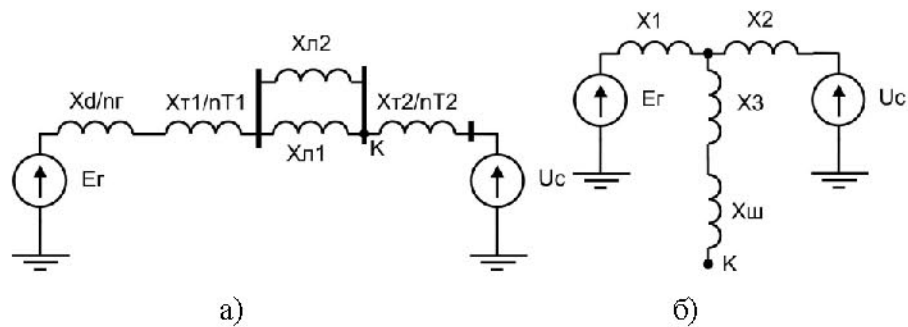


Рисунок 2.4 – Схема замещения первого аварийного режима по прямой последовательности: а – исходная, б – преобразованная.

Для нахождения сопротивления $X_{ш}$ необходимо составить схему замещения для обратной последовательности, которая показана на рисунке 2.5.

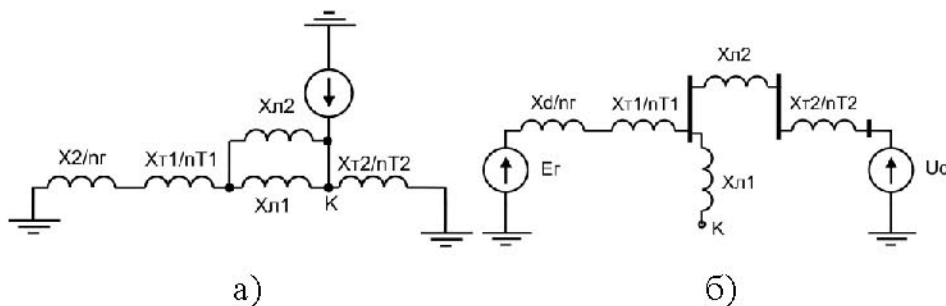


Рисунок 2.5 – Схема замещения: а) - первого аварийного режима для обратной последовательности; б) – второго аварийного режима по прямой последовательности

$$X1 = \frac{X'_d}{n_r} + \frac{X_{T1}}{n_{T1}} + \frac{X_{Л1}}{2} \quad (2.15)$$

$$X2 = \frac{X_{T2}}{n_{T2}} \quad (2.16)$$

$$X3 = b \cdot X_{Л1} \quad (2.17)$$

Для расчета сопротивления по обратной последовательности воспользуемся выражением:

$$X_{\Sigma 2} = \frac{\left(\frac{X_2}{n_r} + \frac{X_{T1}}{n_{T1}} + \frac{X_{Л1}}{2} \right) \cdot \left(\frac{X_{T2}}{n_{T2}} \right)}{\frac{X_2}{n_r} + \frac{X_{T1}}{n_{T1}} + \frac{X_{Л1}}{2} + \frac{X_{T2}}{n_{T2}}} \quad (2.18)$$

Таблица 2.5 - Значение сопротивлений аварийного шунта в месте КЗ.

Вид к.з.	Обозначение к.з.	Формула для определения аварийного шунта
Трёхфазное	$K^{(3)}$	$X^{(3)}_{ш} = 0$
Двухфазное	$K^{(2)}$	$X^{(2)}_{ш} = X_{Экв.О.П}$
Однофазное	$K^{(1)}$	$X^{(1)}_{ш} = X_{Экв.О.П} + X_{Экв.Н.П.}$
Двухфазное на землю	$K^{(1,1)}$	$X^{(1,1)}_{ш} = (X_{Экв.О.П} \cdot X_{Экв.Н.П.}) / (X_{Экв.О.П} + X_{Экв.Н.П.})$

Окончательно, для первого аварийного режима имеем

$$X_{II-1} = X1 + X2 + \frac{X1 \cdot X2}{X3 + X_{ш}} \quad (2.19)$$

По сценарию, второй аварийный режим отличается тем, что линия Л1 Отключена выключателем Q2, (рисунок 2.5, б) поэтому можно записать:

$$X_{II-2} = X1 + X2 + \frac{X1 \cdot X2}{X_{Л1} + X_{ш}} \quad (2.20)$$

Где $X1 = \frac{X'_d}{n_r} + \frac{X_{T1}}{n_{T1}}$, $X2 = \frac{X_{T2}}{n_{T2}} + X_{Л2}$, $X_{\Sigma 2} = X_{ш} = \frac{\left(\frac{X_2}{n_r} + \frac{X_{T1}}{n_{T1}} \right) \cdot \left(\frac{X_{T2}}{n_{T2}} + \frac{X_{Л1}}{2} \right)}{\frac{X_2}{n_r} + \frac{X_{T1}}{n_{T1}} + \frac{X_{Л1}}{2} + \frac{X_{T2}}{n_{T2}}}$

Третий аварийный режим характеризуется отключением линии Л1, поэтому $X_{II-3} = \frac{X'_d}{n_T} + \frac{X_{T1}}{n_{T1}} + X_{Л1} + \frac{X_{T2}}{n_{T2}}$

По сценарию после удачного АПВ линия Л1 включается в работу, поэтому послеаварийный режим совпадает с до аварийным. т.е. $XI = XIII$.

Таблица 2.6 – Параметры режима для расчета динамической устойчивости

Параметры режима		Параметры режима	
X1	0,207	XI	0,310
X2	0,104	XII_1	0,867
X3	0,038	XII_2	0,570
X01	0,034	XII_3	0,466
X02	0,034	XIII	0,310
X03	0,000	XII_11	0,235
X021	0,104	XII_12	0,867
КСУММНП	0,017	XII_21	0,459
КСУММОП	0,090	XII_22	0,570
XIII	0,000	XII_31	0,466
		XII_32	0,466

Проведем оценку устойчивости динамического перехода методом последовательных интервалов.

Сценарий развития аварии: В точке К4 – двухфазное на землю к.з., сопровождающееся отказом основной защиты – поперечной дифференциальной – с обеих сторон линии. В результате выключатель Q2 (со стороны Т2) отключен первой ступенью дистанционной защиты: $t_{сз} = 0$, $t_{ов} = 0,1с$; выключатель. Q1 (со стороны Т1) – второй ступенью дистанционной

защиты: $t_{сз} = 0,05$ с, $t_{ов} = 0,1$ с. АПВ с контролем отсутствия напряжения - на Q1, $t_{АПВ} = 0,15$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ с контролем наличия напряжения - на Q2, $t_{АПВ} = 0,1$ с, $t_{вв} = 0,05$ с. АПВ – успешное

Угловые характеристики системы для различных режимов запишем как:

Нормальный режим

$$P_I = \frac{E'_q \cdot U_C}{X_I} \cdot \sin(\delta) \quad (2.21)$$

Первый аварийный режим

$$P_{II-1} = \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{II-1}} \cdot \sin(\delta) \quad (2.22)$$

Второй и третий аварийный режим

$$P_{II-2} = \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{II-2}} \cdot \sin(\delta), \quad P_{II-3} = \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{II-3}} \cdot \sin(\delta) \quad (2.23)$$

Послеаварийный режим

$$P_{III} = \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{III}} \cdot \sin(\delta) \quad (2.24)$$

Для метода последовательных интервалов воспользуемся выражениями.

Для начального состояния ($t=0$):

$$\delta_0 = \arcsin \left(\frac{P_H}{P_I \left(\frac{\pi}{2} \right)} \right) \quad (2.25)$$

$$Tj_{\Sigma} = Tj \cdot n_T \cdot \frac{S_{НОМГ}}{S_6} \text{ с} \quad (2.26)$$

Для интервала, где нет смены режима работы сети (отключения или включение выключателей):

$$\Delta P_i = P_H - P_{РЭК,i}(\delta_{i-1}) \quad (2.27)$$

$$\alpha_i = \frac{\Delta P_i}{Tj_{\Sigma}} \cdot \omega_0 \quad (2.28)$$

Для первого интервал времени:

$$\Delta\delta_i = \alpha_i \frac{\Delta t^2}{2} \quad (2.29)$$

Для второго и последующего интервалов времени:

$$\Delta\delta_i = \Delta\delta_{i-1} + \alpha_i \Delta t^2 \quad (2.30)$$

$$\delta_i = \delta_{i-1} + \Delta\delta_i \quad (2.31)$$

где $\omega_0=314$ – круговая частота, $\Delta t=0,05$ с – единичный интервал времени.

Для интервала, где есть смена режима работы сети от первого режима ко второму (отключение или включение выключателей):

$$\Delta P_{i-1} = P_H - P_{PЭЖ.инерции}(\delta_{i-1}) \quad (2.32)$$

$$\Delta P_{i-2} = P_H - P_{PЭЖ.исторой}(\delta_{i-1}) \quad (2.33)$$

$$\alpha_{i-1} = \frac{\Delta P_{i-1}}{T_j \Sigma} \cdot \omega_0 \quad (2.34)$$

$$\alpha_{i-2} = \frac{\Delta P_{i-2}}{T_j \Sigma} \cdot \omega_0 \quad (2.35)$$

$$\alpha_i = \frac{\alpha_{i-1} + \alpha_{i-2}}{2} \quad (2.36)$$

$$\Delta\delta_i = \Delta\delta_{i-1} + \alpha_i \Delta t^2 \quad (2.37)$$

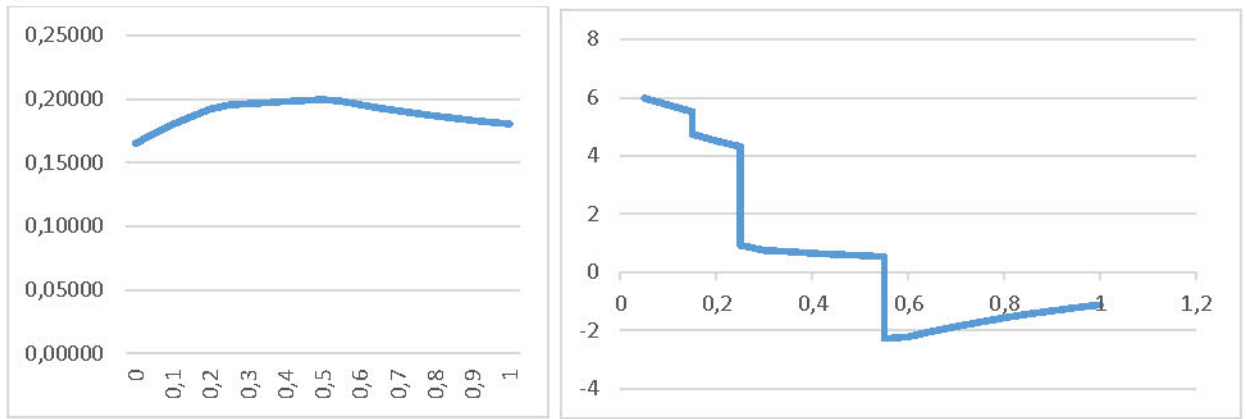
$$\delta_i = \delta_{i-1} + \Delta\delta_i \quad (2.38)$$

Рассмотрим 20 интервалов по 0,05 с каждый: 1,2 интервал – возникновение КЗ и его отключение выключателем Q2 без выдержки времени (первый аварийный режим), 3, 4 интервал – отключение выключателя Q1 (второй аварийный режим), 5-10 интервал – выдержка времени АПВ и включение выключателей Q1 и Q2 (третий аварийный режим), 11,12 интервал – включение Л1 в работу (послеаварийный режим). Таким образом, изменение режима наблюдается в 3, 5, 11 интервале. Данные расчетов сведем в таблицу 2.7

Таблица 2.7 – Результаты расчета методом последовательных интервалов.

№ ИНТ	DP	a	Dd	d
0	0,0	0,0	0,0	0,32538
1	0,87458	13,07711	0,01635	0,34173
2	0,85105	12,72519	0,01591	0,35763
3	0,82828	12,38470	0,01288	0,37051
4	0,54996	8,22325	0,00800	0,37851
5	0,52205	7,80595	0,00585	0,38436
6	0,33393	4,99300	0,00556	0,38992
7	0,31280	4,67703	0,00529	0,39520
8	0,29739	4,44674	0,00503	0,40023
9	0,28278	4,22829	0,00478	0,40501
10	0,26892	4,02104	0,00455	0,40956
11	0,25577	3,82436	-0,00096	0,40859
12	0,24329	3,63770	-0,00618	0,40241
13	0,23143	3,46050	-0,00573	0,39668
14	-0,33453	-5,00205	-0,00531	0,39137
15	-0,33077	-4,94575	-0,00492	0,38645
16	-0,30657	-4,58392	-0,00456	0,38189
17	-0,28408	-4,24771	-0,00422	0,37767
18	-0,26320	-3,93543	-0,00391	0,37377
19	-0,24381	-3,64551	-0,00362	0,37015
20	-0,22581	-3,37642	-0,00335	0,36680
21	-0,20911	-3,12676	0,00000	0,00000
22	-0,19363	-2,89518	0,00000	0,00000
23	-0,17926	-2,68044	0,00000	0,00000

Графики изменения угла δ и ускорения α показаны на рисунке 2.6. Как видно из графиков, угол генераторов не уходит в бесконечное увеличение, и поэтому при заданных параметрах защит и времени отключения КЗ в расчётной точке система является динамически устойчивой.



а)

б)

Рисунок 2.6 – Графики изменения: а) угла генератора δ ; б) ускорения α

2.5 Уточненная оценка устойчивости динамического перехода при учете действия АРВ генераторов.

Для учета влияния АРВ генераторов на устойчивость энергосистемы, проведем расчеты с учетом изменения E_T под влиянием системы АРВ. В первом приближении примем, что контроль напряжения на шинах электростанции не выполняется.

Для расчетов используем выражения:

$$E_{qe} = E_{qe0} \left(K_{\Phi OPC} - (K_{\Phi OPC} - 1) e^{-(t/T_e)} \right) \quad (2.39)$$

$$E_{qe, cp} = \frac{E_{qe(i-1)} + E_{qe}}{2} \quad (2.40)$$

$$E_{qi} = \frac{\frac{X_d - X'_d}{X_{12PEЖ}} \cdot (E'_{qi} - U_C) \cdot \frac{n_T}{n_T} \cdot \cos(\delta_0)}{1 - \frac{X_d - X'_d}{X_{11PEЖ}}} \quad (2.41)$$

Где $K_{форс}=2,5$ – коэффициент форсировки возбуждения,

$X_{12PEЖ}$, $X_{11PEЖ}$ – сопротивления связи для заданного режима, рассчитываются по выражениям (2.15-2.20), с учетом того, что сопротивление генераторов берется как для установившегося режима. Для заданной схемы:

$$X_{I-12}=X_{I-11}=X_{III-12}=X_{III-11} \quad (2.42)$$

$$X_{II-11} = X1 + \frac{X2 \cdot (X3 + X_{III})}{X2 + (X3 + X_{III})} \quad (2.43)$$

$$X_{II-2-11} = X1 + \frac{X2 \cdot X3}{X2 + X3} \quad (2.44)$$

$$\Delta E'_{qi} = \frac{E_{qei.cp} + E_{q(i-1)} \cdot \Delta t}{T_{d0}} \quad (2.46)$$

Где $T_{d0}=4,9$ – постоянная времени инерции Э.Д.С. генератора.

$$E'_{qi} = E'_{q(i-1)} \Delta E'_{qi} \quad (2.47)$$

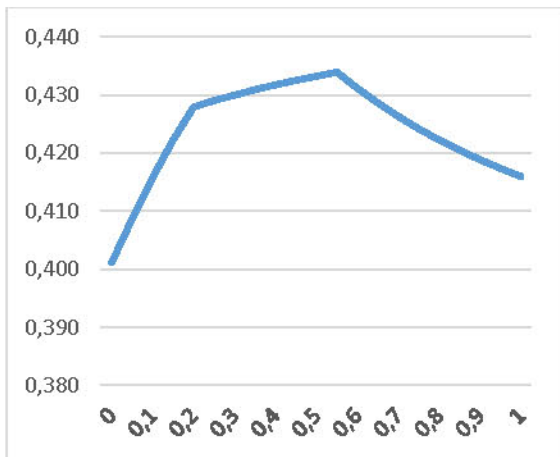
$$P_i(\delta) = \frac{E'_{q(i-1)} \cdot U_C}{X_{режi12}} \cdot \sin(\delta) \quad (2.48)$$

Остальные применяемые выражения аналогичны (2.27-2.38). Для интервалов, в которых идет смена режима сети (включение или отключение выключателей), E_q рассчитывается для первого и второго режима сети в заданном интервале с применением выражения (2.41), а для расчета разницы передаваемых и предельных мощностей ΔP используются зависимости $P_i(\delta)$ для первого и второго режима сети в заданном интервале. С применением выражений (2.39 – 2.47) и (2.27-2.38) рассчитаем устойчивость системы методом последовательных интервалов. Данные расчета сведем в таблицу 2.8.

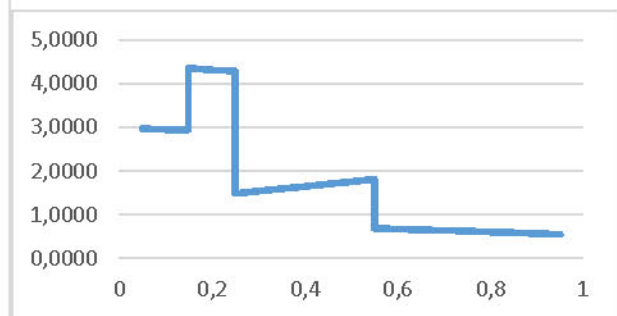
По результатам расчета построим графики изменения ЭДС холостого хода генераторов, вынужденной ЭДС холостого хода, изменение угла δ , изменение ускорения α для заданного времени. Результаты построения показаны на рисунке 2.7

Таблица 2.8 – Расчет динамической устойчивости с учетом действия
АРВ генераторов

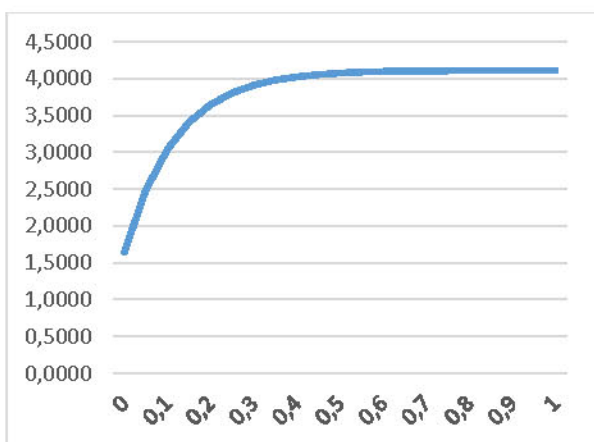
№ инт	E_q	E_{qe}	$E_{qеср}$	DE_{qi}	E_{qi}	DP	a	Dd	d
0	3,3831	2,0961	0	0	1,3217	0,0000	0,0000	0,0000	0,559
1	3,3707	3,1674	2,6317	-0,0059	1,3159	0,7065	13,0771	0,0163	0,576
2	3,3788	3,8737	3,5206	0,0012	1,3170	0,6919	12,7252	0,0159	0,592
3	2,0328	4,3394	4,1065	0,0162	1,3332	0,6740	12,3847	0,0129	0,605
4	2,0733	4,6463	4,4928	0,0203	1,3536	-0,2101	8,2233	0,0062	0,611
5	1,8887	4,8487	4,7475	0,0220	1,3756	0,3980	7,8059	0,0058	0,617
6	1,9351	4,9821	4,9154	0,0229	1,3985	0,1733	4,9930	0,0056	0,622
7	1,9846	5,0700	5,0260	0,0234	1,4218	0,1387	6,3995	0,0053	0,628
8	2,0359	5,1280	5,0990	0,0235	1,4453	0,2383	4,6770	0,0050	0,633
9	2,0881	5,1662	5,1471	0,0235	1,4688	0,2017	4,4467	0,0048	0,637
10	2,1404	5,1914	5,1788	0,0233	1,4922	0,1633	4,2283	0,0045	0,642
11	2,1925	5,2080	5,1997	0,0429	1,5351	0,1238	4,0210	0,0044	0,646
12	2,2442	5,2190	5,2135	0,0436	1,5786	0,0838	3,8244	-0,0062	0,640
13	-0,2911	5,2262	5,2226	0,0441	1,6228	0,0438	3,6377	-0,0057	0,634
14	-0,3658	5,2309	5,2286	0,0446	1,6674	-2,7683	3,4605	-0,0053	0,629
15	-0,4251	5,2341	5,2325	0,0452	1,7126	-2,8939	-0,7708	-0,0049	0,624
16	-0,4860	5,2361	5,2351	0,0457	1,7583	-2,9584	-4,9457	-0,0046	0,620
17	-0,5485	5,2375	5,2368	0,0462	1,8045	1,9178	-4,5839	-0,0042	0,615
18	-0,6124	5,2384	5,2380	0,0467	1,8512	2,0553	-4,2477	-0,0039	0,611
19	-0,6777	5,2390	5,2387	0,0473	1,8985	2,1624	-3,9354	-0,0036	0,608
20	-0,7444	5,2394	5,2392	0,0478	1,9463	2,2713	-3,6455	-0,0034	0,605
21	-0,8124	0	0	0	0	2,3821	-3,3764	0	0
22	-0,8818	0	0	0	0	2,4947	-3,1268	0	0
23	-2	0	0	0	0	2,6091	-2,8952	0	0



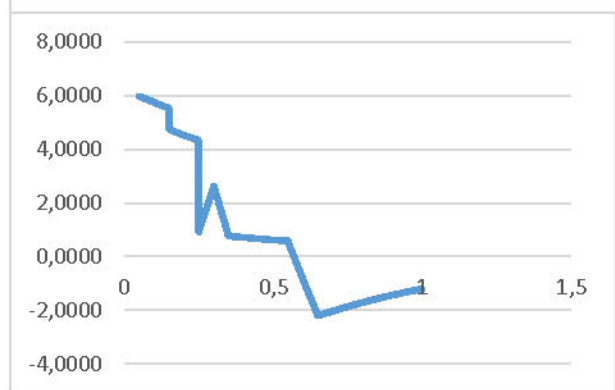
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.7 - Графики изменения для заданного времени: а) угла; б) ЭДС холостого хода генераторов, в) вынужденной ЭДС холостого хода, δ, г) ускорения α .

2.6 Расчёт коэффициента запаса устойчивости нагрузки

В случае отключения выключателя Q3 - рисунок 2.8, а - баланс мощности в оставшейся части системы сохранится. Но напряжение на шинах нагрузки $U_{нагр}$ будет теперь зависеть от режима работы эквивалентной асинхронной нагрузки

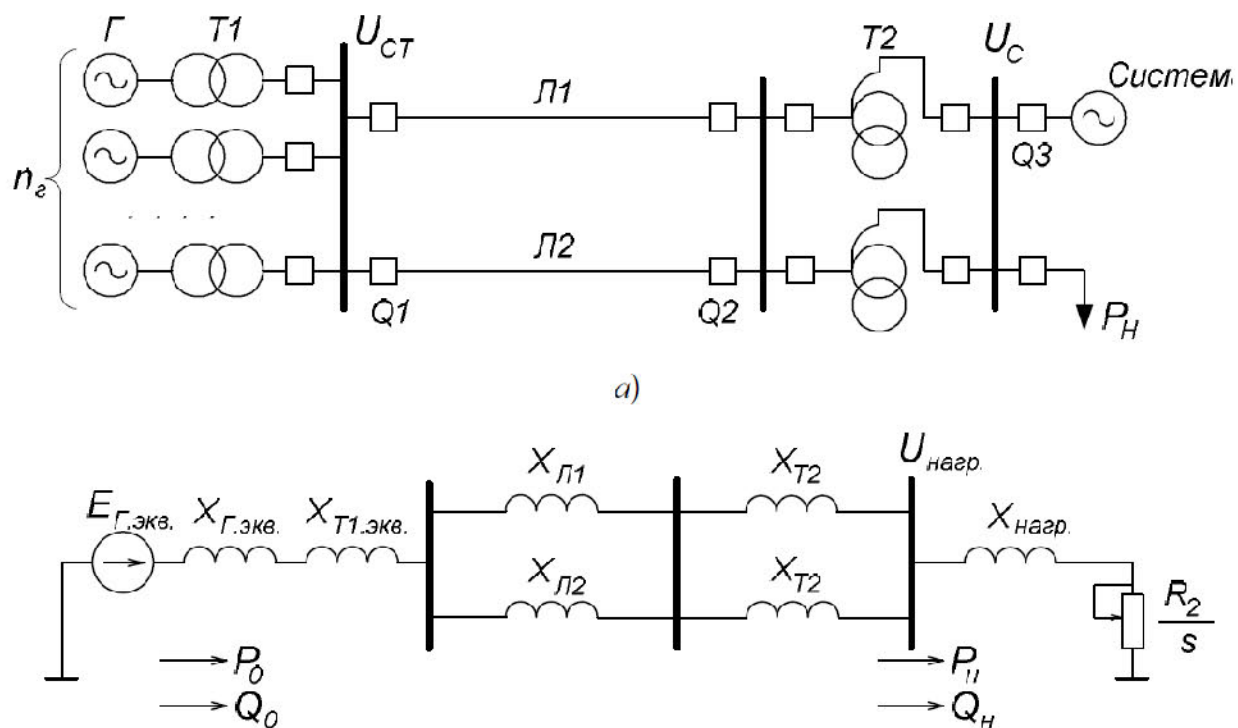


Рисунок 2.8 - Расчетная схема (а) для анализа устойчивости асинхронной нагрузки и схема замещения

При определении запаса устойчивости в качестве независимой переменной теперь должна рассматриваться э.д.с. $E_{Г.экр.}$, зависящая от вида регулирования возбуждения генератора. Генератор вводится в схему замещения соответствующим сопротивлением $X_{Г.экр.}$. Расчетная схема приведена на рисунке 2.8, б. На схеме нагрузка представлена в виде комплексного сопротивления в относительных единицах:

$$Z_H = \frac{S_\delta}{S_H} (\cos \varphi_H + j \sin \varphi_H) \quad (2.50)$$

Активное сопротивление схемы замещения R_2 эквивалентного асинхронного двигателя определяется как:

$$R_2 = R_H s_0 \quad (2.51)$$

где s_0 - скольжение эквивалентного асинхронного двигателя, замещающего нагрузку, при $U_{н0}=1$. Для обеспечения устойчивости асинхронной нагрузки необходимо выполнение прямого критерия устойчивости: $dP/ds > 0$, что эквивалентно условиям $P_{\max} > P_H$ и $S_{кр} > S_0$, где:

$$P_{\max} = \frac{E_{ГЭКВ}^2}{2 \cdot x_{\Sigma}} \quad (2.52)$$

$$S_{кр} = \frac{R_2}{x_{\Sigma}} \quad (2.53)$$

$$x_{\Sigma} = X_{ГЭКВ} + X_{СИСТ} + X_{НАГР} \quad (2.54)$$

Так как

$$P_0 = \frac{E_{ГКР}^2}{2 \cdot x_{\Sigma}} \quad (2.55)$$

то условие устойчивости может быть записано в виде

$$E_{Г} > E_{ГКР}; S_{кр} > S_0; E_{ГКР} > \sqrt{2 \cdot P_0 \cdot X_{\Sigma}} \quad (2.56)$$

По известному значению $E_{ГКР}$ можно найти соответствующее ей критическое напряжение на шинах нагрузки:

$$U_{нагр.кр.} = \sqrt{\left(E_{ГКР} + \frac{Q_0 (x_{Г.экс} + x_{внеш.})}{E_{ГКР}} \right)^2 + \left(\frac{P_0 (x_{Г.экс} + x_{внеш.})}{E_{ГКР}} \right)^2} \quad (2.57)$$

и определить запас статической устойчивости нагрузки по напряжению

$$k_{запU} = \frac{U_{нагр.0} - U_{нагр.кр.}}{U_{нагр.0}} \cdot 100\% \quad (2.58)$$

$$k_{запP} = \frac{P_{\max} - P_0}{P_{\max}} \cdot 100\% \quad (2.59)$$

$$k_{запS} = \frac{S_{кр} - S_0}{S_0} \cdot 100\% \quad (2.60)$$

Рассчитаем коэффициент запаса устойчивости нагрузки для следующих случаев: 1) выключатель Q3 включен; 2) выключатель Q3 отключен, генератор не имеет АРВ; 3) выключатель Q3 отключен, на генераторе установлено АРВ ПД; 4) выключатель Q3 отключен, на генераторе – АРВ СД. Данные расчетов сведем в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 - Расчёт коэффициентов запаса устойчивости нагрузки

№ Варианта	Zн	Rн	Xн	X _{Σ1}	S _{кр}	U _{н.кр}	P _{max}	E _{Гкр}	K _{запP}	K _{запS}	K _{запU}
1	0,53+0,37i	0,53	0,37	0,00	0,05	0,00	1,36	0,00	6,53	43,27	0,00
2	0,53+0,37i	0,53	0,37	1,15	0,01	1,43	1,36	1,72	6,53	-54,45	-43,44
3	0,53+0,37i	0,53	0,37	0,61	0,03	1,10	1,36	1,25	6,53	-13,79	-10,38
4	0,53+0,37i	0,53	0,37	0,52	0,03	1,05	1,36	1,15	6,53	1,67	-4,69

Как видно из таблицы 2.6, при вариантах 2-4 работа асинхронного двигателя при отключении выключателя Q3 не является устойчивой.

При питании нагрузки только от системы неограниченной мощности определим предельное время перерыва электроснабжения при отключении выключателя Q3. Для этого определяем

$$k_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_{\text{НОМ}}} = 1,065 \quad (2.61)$$

И используя выражение

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{2k_{\max}}{\frac{S_{\text{ПП}} + S_{\text{КР}}}{S_{\text{КР}}} + \frac{S_{\text{КР}}}{S_{\text{ПП}}}} \quad (2.62)$$

И решая его относительно $S_{\text{ПП}}$ получаем квадратное уравнение, и его корни равны:

$S_{\text{ПП}1,2} = 0,024 \pm 0,039j$ Значения $S_{\text{ПП}}$ оказались комплексными, это означает, что при перерыве электроснабжения самозапуск эквивалентного двигателя не обеспечивается.

Проверка устойчивости комплексной нагрузки, включающей в себя осветительную нагрузку и асинхронные двигатели. Для этого построим зависимости $E_{\text{экв}} = f(U)$ и $Q_{\text{экв}} = f(E_{\text{экв}})$, и воспользуемся практическими критериями устойчивости комплексной нагрузки.

$dE_{\text{ЭКВ}}/dU > 0$ и $dQ_{\text{ЭКВ}}/dE_{\text{ЭКВ}} \rightarrow \infty$. Генераторы с АРВ ПД, выключатель Q3 отключен.

Рассчитаем реактивную мощность, которую эквивалентный генератор выдает в сеть

$$Q_{ЭКВ} = Q_H + \frac{P_H^2 + Q_H^2}{U_H^2} \cdot (X_{ГЭКВ} + X_{СИСТ}) \quad (2.63)$$

$$\Delta Q = \frac{P_H^2 + Q_H^2}{U_H^2} \cdot (X_{ГЭКВ} + X_{СИСТ}) \quad (2.64)$$

$$E_{ГЭКВ} = \sqrt{\left(U_{нагр} + \frac{Q_H(x_{Г.экс} + x_{сист.})}{U_{нагр}} \right)^2 + \left(\frac{P_0(x_{Г.экс} + x_{сист.})}{U_{нагр}} \right)^2} \quad (2.65)$$

Таблица 2.7 – Изменение P и Q нагрузки в зависимости от напряжения U .

U _{нагр} , о.е.	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
P _{нагр} , о.е.	1,0	0,969	0,941	0,916	0,893	0,872	0,855
Q _{нагр} , о.е.	1,0	0,93	0,885	0,858	0,844	0,848	0,880

Для каждого из значений P и Q нагрузки в зависимости от напряжения U по выражениям (2.63) - (2.65) рассчитаем значения и занесем их в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Данные расчета устойчивости комплексной нагрузки

U _{нагр}	P _H	Q _H	ΔQ	Q _{ЭКВ}	E _{ЭКВ}
1,00	1,28	1,28	0,80	2,08	1,35
0,95	1,24	1,19	0,79	1,99	1,29
0,90	1,20	1,13	0,82	1,95	1,25
0,85	1,17	1,10	0,87	1,97	1,21
0,80	1,14	1,08	0,94	2,02	1,18
0,75	1,12	1,09	1,05	2,13	1,16
0,70	1,09	1,13	1,22	2,35	1,15
1,00	1,28	1,28	0,80	2,08	1,35

Определим запас устойчивости по напряжению для комплексной нагрузки. Для этого построим графики изменения $E_{ЭКВ} = f(U)$ и $Q_{ЭКВ} = f(E_{ЭКВ})$ (рисунок 2.9).

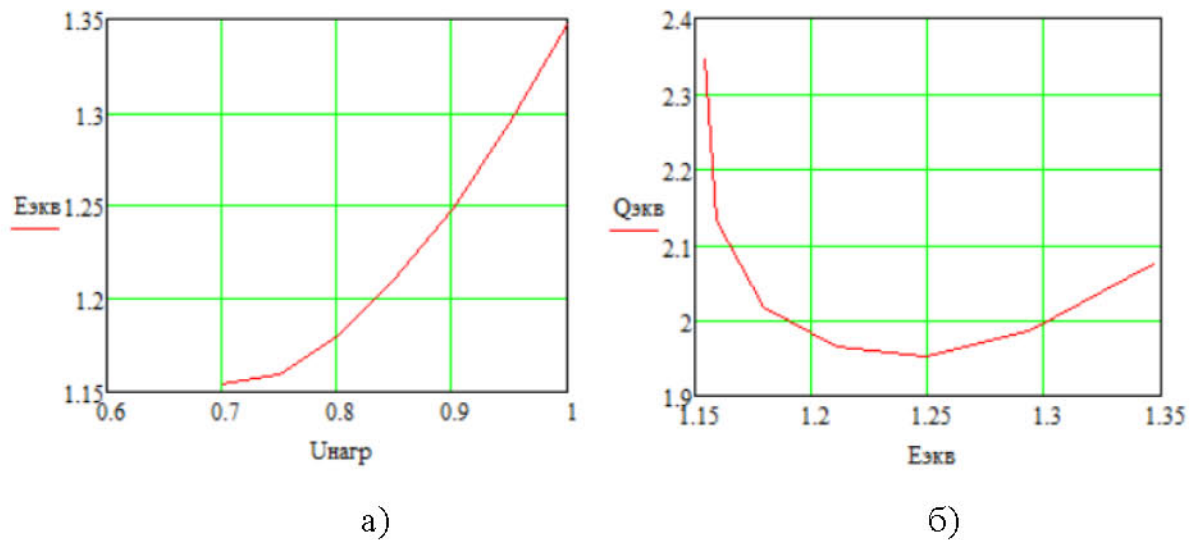


Рисунок 2.9 – Графики изменения: а) $E_{экв} = f(U)$ и б) $Q_{экв} = f(E_{экв})$

Из рисунка 2.9 видно, что практические критерий устойчивости выполняются при $U=0,7$. Поэтому запас устойчивости по напряжению, рассчитанный по выражению (2.58) равен $K_{запU}=30\%$.

Заключение

В работе были выполнены следующие задачи.

Для заданных исходных данных рассчитаны параметры исходного установившегося режима для трех возможных вариантов регулирования возбуждения: нерегулируемый генератор; генератор с АРВ ПД; генератор с АРВ СД и построена векторную диаграмму.

Были выполнены расчёты пределов передаваемой мощности для трех возможных вариантов регулирования возбуждения и соответствующих коэффициентов запаса статической устойчивости одномашинной энергосистемы.

Выполнена приближенная оценка устойчивости динамического перехода при $E_q = \text{const}$ для заданного сценария развития аварийной ситуации, которая показала, что при заданных выдержках времени релейной защиты и автоматики система является устойчивой.

Выполнена уточненная оценка устойчивости динамического перехода при учете действия АРВ, которая показала, что при заданных выдержках времени релейной защиты и автоматики система является устойчивой.

Произведена проверка устойчивости комплексной нагрузки, включающей в себя осветительную нагрузку и асинхронные двигатели, с использованием практических критериев устойчивости комплексной нагрузки.

Выполнен расчёт коэффициента запаса устойчивости нагрузки для следующих случаев: 1) выключатель Q3 включен; 2) выключатель Q3 отключен, генератор не имеет АРВ; 3) выключатель Q3 отключен, на генераторе установлено АРВ ПД; 4) выключатель Q3 отключен, на генераторе – АРВ СД.

Для случая питания нагрузки только от системы неограниченной мощности определено предельное время перерыва электроснабжения при отключении выключателя Q3, показано, что при любом перерыве в электроснабжении нагрузки двигатели переходят в режим самозапуска.

Литература

1. Методика расчетов устойчивости автоматизированных электрических систем / Под ред. Веникова В.А. – М.; Высшая школа, 1966. – 248 с.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1978. – 415 с.
3. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.
4. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электрических специальностей / Под ред. В.М. Блок. – М.: Высшая школа, 1981. – 304 с.
5. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Веникова. – М.; Энергоатомиздат, 1983. – 504 с.
6. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы / Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Энергия, 1972. – 336 с.
7. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях: Учеб. пособие для вузов (В.В. Ежков, Н.И. Зеленохат, И.В. Литкенс и др.; Под ред. В.А. Строева). – М.: Знак, 1996 – 224 с.
8. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены приказом Минэнерго России № 277 от 30.06.2003. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

Содержание

1 Основные теоретические положения, принимаемые допущения.....	8
1.1 Общие положения	8
1.2 Определение параметров схемы замещения	8
1.3 Последовательность выполнения расчетов	10
1.4 Расчет исходного установившегося режима	11
1.5 Расчет статической устойчивости	14
2 Составление схем замещения и выполнение расчетов	16
2.1 Оставление схемы замещения одно машинной ЭЭС	16
2.2 Расчет параметров установившегося режима работы системы и построение векторной диаграммы	17
2.3 Расчёт пределов передаваемой мощности для трех возможных вариантов регулирования возбуждения и соответствующих коэффициентов запаса статической устойчивости.....	19
2.4 Приближенная оценка устойчивости динамического перехода для заданного сценария развития аварийной ситуации	22
2.5 Уточненная оценка устойчивости динамического перехода при учете действия АРВ генераторов.....	28
2.6 Расчёт коэффициента запаса устойчивости нагрузки	31
Заключение	37
Литература	38