

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до контрольних робіт з дисципліни

“Перехідні процеси в енергосистемах”

для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

освітньо-професійної програми

«Енергетичний менеджмент»

заочної форми навчання

2019

Методичні вказівки до контрольних робіт з дисципліни "Перехідні процеси в енергосистемах" для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент» заочної форми навчання / Укл.: О. А. Шрам. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 18 с.

Укладач: О. А. Шрам, доцент, канд. техн. наук,

Рецензент: В. В. Попов, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск: О. А. Шрам, доцент, канд. техн. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
електропостачання промислових
підприємств
протокол № 6 від 24.01.2019 р.

Затверджено
на засіданні НМК
електротехнічного факультету
протокол № 7 від 21.02.2019 р.

КОНТРОЛЬНА РОБОТА №1

Завдання на контрольну роботу №1

Для заданої схеми електричної мережі, що приведена на рис. 1.1, та вихідних даних за таблицями 1.1 і 1.2 необхідно.

1. Розрахувати початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ і ударний струм для точки КЗ, що задана викладачем.

2. Розрахувати надперехідний струм і ударний струм трифазного КЗ, що генерують електродвигуни, для заданої точки КЗ.

Варіанти завдань за таблицею 1.1 визначаються викладачем.

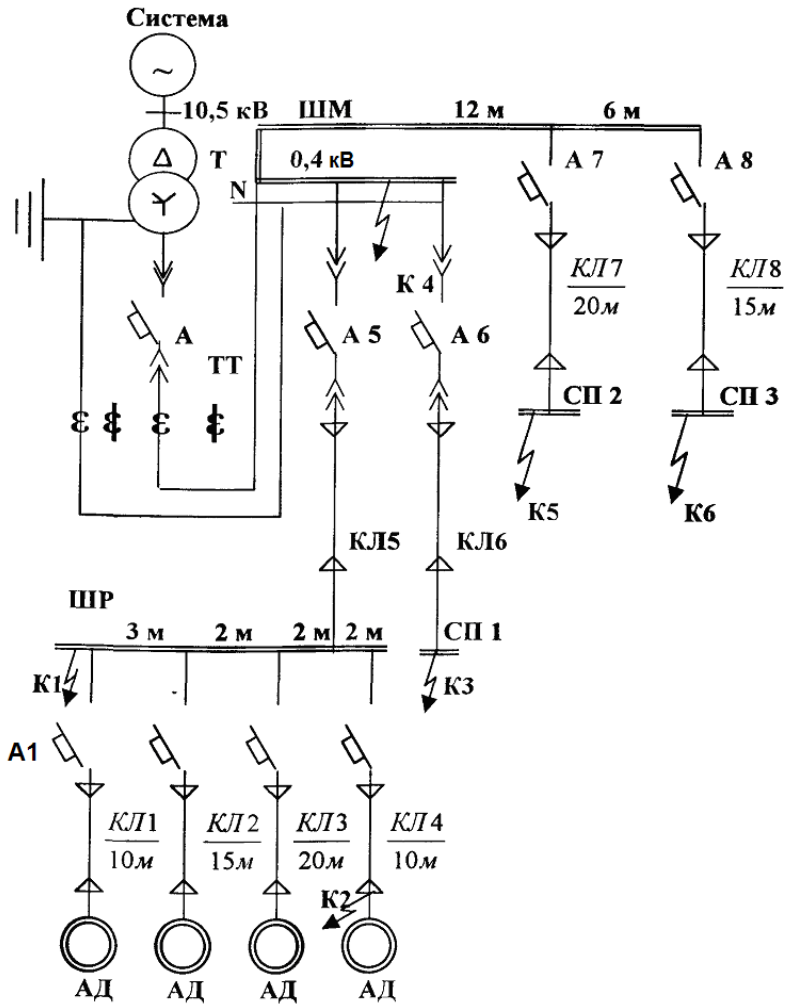


Рисунок 1.1

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

№ ва- рі- ан- ту	Трансформатор			Трансформа- тор струму		Кабель КЛ5, КЛ6		
	$S_{ном},$ КВА	U_K %,	ΔP_K , кВт	$r,$ мОм	$x,$ мОм	$r_0,$ мОм/м	$x_0,$ мОм/ м	$l,$ м
1	100	4,5	2,7	2,7	1,7	0,894	0,064	60
2	160	4,5	2,7	0,75	1,2	0,625	0,063	50
3	250	5,5	3,8	0,42	0,67	0,447	0,061	40
4	400	5,5	5,4	0,2	0,3	0,329	0,06	30
5	630	5,5	7,3	0,11	0,17	0,261	0,060	20
6	1000	5,5	11,2	0,05	0,07	0,208	0,059	80
7	1600	5,5	16	-	-	0,169	0,059	90
8	2500	6,5	23,5	-	-	0,13	0,058	100
9	100	5,5	2,7	0,75	0,7	0,894	0,064	70
10	160	5,5	2,7	0,33	0,3	0,625	0,063	10
11	250	5,5	3,8	0,19	0,17	0,447	0,061	25
12	400	5,5	5,4	0,09	0,08	0,329	0,06	35
13	630	5,5	7,3	0,05	0,04	0,261	0,06	45
14	1000	5,5	11	0,02	0,02	0,208	0,059	55
15	1600	5,5	16,5	-	-	0,169	0,059	95
16	2500	6,5	23,5	-	-	0,13	0,058	65
17	100	5,5	2,7	0,75	0,7	0,53	0,088	75
18	160	5,5	2,7	0,75	1,2	0,37	0,085	85
19	250	5,5	3,8	0,42	0,67	0,265	0,082	15
20	400	5,5	5,4	0,09	0,08	0,195	0,081	10
21	630	8	8,5	0,05	0,04	0,154	0,08	40
22	1000	5,5	11,6	0,02	0,02	0,124	0,079	50
23	1600	5,5	16,5	-	-	0,1	0,078	20
24	2500	6,5	23,5	-	-	0,077	0,077	30
25	100	5,5	2,7	2,7	1,7	1,4	0,2	80
26	160	5,5	2,7	0,75	1,2	0,8	0,2	90
27	250	5,5	3,8	0,42	0,67	1,9	0,23	10

Таблиця 1.2 - Вихідні дані

Для всіх варіантів	Середні значення опорів розчеплювачів автоматичних вимикачів	$r, мОм$	A1 – A4	A5, A6	A7, A8	
			1,3	0,74	0,12	
	Середні значення опорів кабелів	$r_0 \frac{мОм}{м}$	КЛ1 – КЛ4	КЛ 7 – КЛ 8		
			2,4	0,32		
		$x_0 \frac{мОм}{м}$	0,084	0,064		
			Середні значення опорів шинопроводів	$r_0 \frac{мОм}{м}$	ШР	ШМ
	0,1	0,014				
	$x_0 \frac{мОм}{м}$	0,13		0,006		
	Характеристика системи	$S_{НОМС} = \infty$, $x''_* = 0$				
	Асинхронні двигуни, АД	$P_{НОМ} = 55 \text{ кВт};$ $U_{НОМ} = 380 \text{ В};$ $S_{НОМ} = 1,3\%$ $\cos \varphi = 0,9;$ $M_{пуск_*} = 1,2$ $\eta_{к.п.д.} = 0,92;$ $I_* \text{ пуск} = 6,5$				

Методичні вказівки до виконання контрольних робіт

Розрахунки виконуються в іменованих одиницях. Порядок виконання роботи такий:

1. На основі розрахункової схеми (див. рис. 1.1) для заданої точки КЗ складається схема заміщення, котра включає всі елементи, по яким протікає струм КЗ. Розраховують індуктивні та активні опори всіх елементів в іменованих одиницях і наносять їх на схему заміщення. При цьому у чисельнику вказується порядковий номер опору, а у знаменнику – його величина. В схему заміщення вводиться додатковий активний опір перехідних контактних з'єднань.

2. Система живлення вводиться в схему заміщення як джерело з постійним ЕРС і з нульовим внутрішнім опором.

3. Асинхронний двигун вводиться в схему заміщення надперехідною ЕРС в іменованих одиницях за своїм активним та реактивним опором.

4. Схему заміщення спрощують, згортаючи її відносно точки КЗ так, щоб між джерелами живлення (система і двигуни) та точкою КЗ було б по одному повному опору.

5. Визначають надперехідний і ударний струми КЗ від системи.

6. Визначають надперехідний і ударний струми КЗ від двигунів. При розрахунках ударного струму від АД враховується зміна періодичної складової струму КЗ з часом та віддаленість двигунів від точки КЗ.

При виконання завдань слід дотримуватися найбільш доцільного порядку розв'язку, приводити необхідні пояснення. Формули потрібно записувати у загальному вигляді з подальшою підстановкою числових значень, вказувати розмірності отриманих величин. Схеми повинні виконуватися у відповідності зі стандартами.

КОНТРОЛЬНА РОБОТА №2

Варіанти завдання на контрольну роботу

Дослідити статичну стійкість електропередачі (рис. 2.1), параметри якої приведені в таблиці 2.1. Варіанти завдань визначаються викладачем.

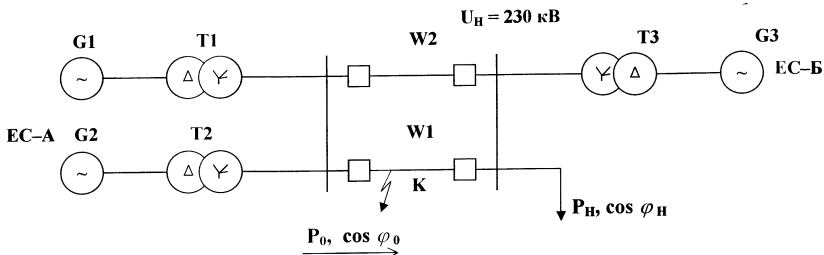


Рисунок 2.1 – Схема системи

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

№ варіанту			1	2	3	4	5
Генератори	Р _{ном} , МВт	G ₁ , G ₂	330	140	300	160	280
		G ₃	2300	1200	2100	1100	2000
	Cos φ		0,85	0,80	0,85	0,80	0,85
			0,80	0,90	0,80	0,85	0,87
	X _d , в.о		1,1	0,95	1,0	0,9	0,95
	X' _{d,в.о}	G ₁ , G ₂	0,28	0,24	0,32	0,27	0,24
		G ₃	0,19	0,22	0,21	0,21	0,19
	X ₂ , в.о		0,20	0,18	0,25	0,19	0,18
	T _j с		7	8	6	7	8
Трансформатори	S _{ном} , МВА	T1, T2	360	180	320	200	300
		T3	2500	1600	2400	1300	2200
	U _K , %	T1, T2	12	13	12	13	12
		T3	13	14	14	11	14
Довжина лінії, км			250	220	230	200	250
X ₀ , Ом/км			0,4				
Потужність, що передається Р ₀ , МВт			420	180	450	230	430
Cos φ ₀			0,87	092	0,90	0,87	0,85
Навантаження	Р _н , МВт		1900	1000	1500	800	1600
	Cos φ _н		0,85	0,83	0,84	0,85	0,84

Для лінії W1, W2 прийняти: $x_{\text{пр}} = 0,4 \text{ Ом/км}$
 $X_{\text{нул}} = 5,5 \text{ хпр}$

Продовження таблиці 2.1

№ варіанту			6	7	8	9	10
Генератори	P _{ном} , МВт	G ₁ , G ₂	240	130	160	180	210
		G ₃	1700	1300	1200	1500	1700
	Cos φ		0,80	0,85	0,80	0,85	0,80
			0,85	0,87	0,85	0,87	0,85
	X _d , в.о		1,15	1,1	1,0	0,95	0,9
	X _d [/] , в.о	G ₁ ,G ₂	0,30	0,35	0,32	0,30	0,35
		G ₃	0,23	0,20	0,18	0,22	0,20
	X ₂ , в.о		0,20	0,20	0,20	0,20	0,26
	T _j с		8	9	6	7	8
Трансформатори	S _{ном} , МВА	T1, T2	280	180	200	200	280
		T3	2000	1600	1600	1800	2000
	U _к , %	T1, T2	12	10	11	12	14
		T3	14	13	12	14	12
Довжина лінії, км			220	300	270	220	180
X ₀ , Ом/км			0,4				
Потужність, що передається P ₀ , МВт			380	180	280	330	380
Cos φ ₀			0,90	0,80	0,85	0,87	0,90
Нагрузка	P _н , МВт		1400	1200	1000	1100	1300
	Cos φ _н		0,83	0,80	0,83	0,85	0,83

Продовження таблиці 2.1

№ варіанту			11	12	13	14	15
Генератори	Р _{ном} , МВт	G ₁ , G ₂	340	150	320	170	290
		G ₃	2200	1100	2000	1000	1900
	Cos φ		0,85	0,80	0,85	0,80	0,85
			0,80	0,90	0,80	0,85	0,87
	X _d , в.о		1,1	0,95	1,0	0,9	0,95
	X' _d , в.о	G ₁ , G ₂	0,28	0,24	0,32	0,27	0,24
		G ₃	0,19	0,22	0,21	0,21	0,19
	X ₂ , в.о		0,20	0,18	0,25	0,19	0,18
	T _j с		7	8	6	7	8
Трансформатори	S _{ном} , МВА	T1, T2	400	180	360	200	320
		T3	2400	1300	2200	1200	2200
	U _к , %	T1, T2	12	13	12	13	12
		T3	13	14	14	11	14
Довжина лінії, км			230	200	210	180	230
X ₀ , Ом/км			0,4				
Потужність, що передається Р ₀ , МВт			400	150	450	200	400
Cos φ ₀			0,87	0,92	0,90	0,87	0,85
Навантаження	Р _н , МВт		1800	900	1400	700	1500
	Cos φ _н		0,85	0,83	0,84	0,85	0,84

Продовження таблиці 2.1

№ варіанту			16	17	18	19	20
Генератори	P _{ном} , МВт	G ₁ , G ₂	250	140	170	190	220
		G ₃	1700	1300	1100	1400	1600
	Cos φ		0,80	0,85	0,80	0,85	0,80
			0,85	0,87	0,85	0,87	0,85
	X _d , в.о		1,15	1,1	1,0	0,95	0,9
	X' _d , в.о	G ₁ , G ₂	0,3	0,35	0,32	0,30	0,35
		G ₃	0,23	0,20	0,18	0,22	0,20
	X ₂ , в.о		0,20	0,26	0,20	0,20	0,26
	T _j с		8	9	6	7	8
Трансформатори	S _{ном} , МВА	T1, T2	300	180	200	240	280
		T3	2000	1600	1300	1600	1900
	U _к , %	T1, T2	12	10	11	12	14
		T3	14	13	12	14	12
Довжина лінії, км			200	280	250	200	150
X ₀ , Ом/км			0,4				
Потужність, що Передається P ₀ , МВт			350	150	250	300	350
Cos φ ₀			0,90	0,80	0,85	0,87	0,9
Навантажен- ня	P _н , МВт		1300	1100	900	1000	1200
	Cos φ _н		0,83	0,80	0,83	0,85	0,83

Продовження таблиці 2.1

№ варіанту			21	22	23	24	25
Генератори	P _{ном} , МВт	G1, G2	350	160	330	180	300
		G3	2200	1100	2000	1000	1900
	Cos ϕ		0,85	0,80	0,85	0,80	0,85
			0,80	0,90	0,80	0,85	0,87
	Xd, в.о		1,1	0,95	1,0	0,9	0,95
	X/d, в.о	G1, G2	0,28	0,24	0,32	0,27	0,24
		G3	0,19	0,22	0,21	0,21	0,19
	X2, в.о		0,20	0,18	0,25	0,19	0,18
Tj с		7	8	6	7	8	
Трансформатори	S _{ном} , МВА	T1, T2	400	180	360	200	320
		T3	2400	1300	2200	1200	2200
	UK, %	T1, T2	12	13	12	13	12
		T3	13	14	14	11	14
Довжина лінії, км			230	200	210	180	230
X0 , Ом/км			0,4				
Потужність, що передається P0, МВт			450	200	500	250	450
Cos ϕ0			0,87	0,92	0,9	0,87	0,85
Навантажен- ня	PH, МВт		1900	1000	1500	800	1600
	Cos ϕH		0,85	0,83	0,84	0,85	0,84

Продовження таблиці 2.1

№ варіанту			26	27	28	29	30
Генератори	P _{ном} , МВт	G ₁ , G ₂	260	150	180	200	230
		G ₃	1700	1300	1100	1400	1600
	Cos φ		0,80	0,85	0,80	0,85	0,80
			0,85	0,87	0,85	0,87	0,85
	Xd, в.о		1,15	1,1	1,0	0,95	0,9
	X/d, в.о	G ₁ , G ₂	0,3	0,35	0,32	0,3	0,35
		G ₃	0,23	0,20	0,18	0,22	0,20
	X ₂ , в.о		0,2	0,26	0,2	0,20	0,26
	T _j с		8	9	6	7	8
Трансформатори	S _{ном} , МВА	T ₁ , T ₂	300	180	200	240	280
		T ₃	2000	1600	1300	1600	1900
	U _K , %	T ₁ , T ₂	12	10	11	12	14
		T ₃	14	13	12	14	12
Довжина лінії, км			200	280	250	200	180
X ₀ , Ом/км			0,4				
Потужність, що передається P ₀ , МВт			400	200	300	350	400
Cos φ ₀			0,9	0,80	0,85	0,87	0,9
Навантажен- ня	P _H , МВт		1400	1200	1000	1100	1300
	Cos φ _H		0,83	0,80	0,83	0,85	0,83

Завдання на контрольну роботу

1. Визначити ідеальну межу потужності, що передається, та коефіцієнт запасу статичної стійкості, при відсутності на генераторах станції А автоматичного регулювання збудження ($E_q = \text{const}$) і не вра-

ховуючи явнополісності генераторів. При розрахунках прийняти, що на шинах навантаження підтримується постійна напруга.

2. Визначити дійсну межу потужності, що передається, та коефіцієнт запасу статичної стійкості для випадків:

а) при відсутності на генераторах А автоматичного регулювання збудження ($E_q = \text{const}$);

б) на генераторах станції А є АРЗ пропорційного типу ($E/ = \text{const}$);

в) на генераторах станції А є АРЗ сильної дії ($U_G = \text{const}$).

При розрахунках прийняти, що генератор станції Б обладнаний АРЗ пропорційної дії.

3. Проаналізувати результати розрахунків та пояснити отриману різницю. Побудувати кутові характеристики потужності для всіх чотирьох випадків розрахунків.

4. Дослідити динамічну стійкість системи (див. рис. 2.1), параметри якої приведені в таблиці 2.1. Варіант завдання співпадає з варіантом першої контрольної роботи.

5. Визначити граничний кут відключення трифазного КЗ за завданням викладача в точці К (див. рис. 2.1).

6. Знайти граничний час відключення трифазного КЗ.

7. Побудувати кутові характеристики потужності (до-, після- і аварійного) режимів для трифазного КЗ з вказанням площадок прискорення та гальмування.

8. Визначити можливість встановлення пофазного АПВ при однофазному КЗ в точці К при умові, що друга лінія (W_2) електропередачі виведена в ремонт. Час відключення пошкодження 0,1 с. Час безструмової паузи (перерви) – 0,4 с. Розрахунки провести за допомогою ЕОМ.

9. При розрахунках динамічної стійкості прийняти, що перехідна ЕРС генераторів станції А $E = \text{const}$ і напруга на шинах навантаження $U_n = \text{const}$.

10. Побудувати кутові характеристики потужності (до-, після- і аварійного) режимів з вказанням площадок прискорення та гальмування. За результатами розрахунків ЕОМ накреслити графік зміни кута δ з часом.

11. Пояснити отримані результати та зробити висновки.

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи

Розрахунки виконуються у відносних базових одиницях. Порядок виконання роботи такий:

1. На основі схеми системи (рис. 4.1) складається схема заміщення, розраховуються опори всіх елементів і наносяться на схему заміщення.

2. Визначається синхронна ЕРС генераторів станції А без врахування АРЗ, ідеальна межа потужності, що передається, та коефіцієнт запасу статичної стійкості.

3. Визначається синхронна ЕРС нерегульованих генераторів станції А, перехідна ЕРС станції Б з врахуванням дії АРЗ пропорційного типу, дійсна межа потужності, що передається, та коефіцієнт запасу статичної стійкості. В цьому пункті та в пунктах 4 і 5 слід врахувати опір приймальної системи та навантаження.

4. Визначаються перехідні ЕРС генераторів станції А і Б з врахуванням АРЗ пропорційної дії, дійсна межа потужності, що передається, та коефіцієнт запасу статичної стійкості..

5. Визначається напруга генераторів станції А з врахуванням АРЗ сильної дії, дійсна межа потужності, що передається, та коефіцієнт запасу статичної стійкості.

6. Будуються залежності $P = f(\delta)$ для всіх вищезгаданих випадків та аналізуються величини коефіцієнтів запасу статичної стійкості.

7. На основі схеми системи за рис. 4.1 складається схема заміщення нормального режиму, розраховуються опори всіх елементів і наносяться на схему заміщення.

8. Складається схема заміщення аварійного режиму, в яку по місцю КЗ в точці К вводиться індуктивний опір $\Delta x^{(n)}$, значення якого знаходиться по формулах, приведеним у таблиці. [1]. Для того, щоб розрахувати $\Delta x^{(n)}$ необхідно скласти схеми заміщення зворотної та кульової послідовностей і розрахувати опори елементів цих схем заміщення з обов'язковим нанесенням їх на схеми по методиці, яка приведена в [4]. Результуючі опори схем заміщення зворотної та нульової послідовностей знаходяться в результаті проведення перетворень цих схем до однопроменевого виду.

9. Складається схема заміщення після аварійного режиму із врахуванням відключення пошкодженої лінії W1. Всі опори елементів наносяться на схему заміщення.

10. Розраховуються результуючі опори зв'язку генераторів станції А із шинами навантаження для схем заміщення нормального, аварійного і післяаварійного режимів.

11. Для порталного режиму розраховується перехідна ЕРС E' , яка вважається незмінною для всіх режимів.

12. Будуються кутові характеристики потужності $P = f(\delta)$ для нормального, аварійного і післяаварійного режимів. У випадку трифазного КЗ без розрахунків можна прийняти $P_{\max}^{ii} = 0$.

13. Розраховується граничний кут відключення. У випадку несиметричного КЗ площадка гальмування може бути більшою від площадки прискорення навіть без переключення на характеристику післяаварійного режиму $P^{III} = f(\delta)$. Це значить, що кут δ гр. відкл. не існує.

14. Розраховується граничний час відключення КЗ. У випадку трифазного КЗ граничний час знаходиться за формулою [1], а для несиметричного КЗ – з використанням ЕОМ (програма ЕРР1).

15. Для визначення можливості встановлення пофазного АПВ на лінії W1 при відключенні лінії W2 необхідно скласти схеми заміщення нормального, аварійного режимів.

16. Розраховуються опори всіх елементів схеми заміщення нормального режиму.

17. Розраховуються опори всіх елементів схеми заміщення аварійного режиму аналогічно п. 2.

18. Розраховуються опори всіх елементів схеми заміщення післяаварійного режиму. Післяаварійний режим характеризується відключенням однієї фази лінії W1, яка пошкоджена при однофазному КЗ. В такому режимі роботи з'являється продольна несиметрія і в схему заміщення необхідно послідовно з лінією W1 підключити додатковий опір $\Delta x^{(L1)}$, який визначається за формулою:

$$\Delta x^{(L1)} = \frac{x_2 \text{рез} \cdot x_0 \text{рез}}{x_2 \text{рез} + x_0 \text{рез}}$$

Результуючі опори схем заміщення зворотної ти нульової послідовності ($x_{2рез}$, $x_{0рез}$) визначаються відносно місця виникнення продовольної несиметрії для відповідних схем заміщення.

19. Розраховуються результуючі опори зв'язку генераторів станції А із шинами навантаження для схем заміщення нормального, аварійного і післяаварійного режимів.

20. Розраховується перехідна ЕРС E' для схеми нормального режиму і вважається. Що вона в інших режимах не змінюється.

21. Будуються кутові характеристики потужності $P = f(\delta)$ для трьох режимів і проводяться розрахунки зміни кута δ з часом на ЕОМ (програма ЕРР2).

Дані, необхідні для вводу в ЕОМ (програма ЕРР1).

1. Кут усталеного режиму, град - δ_0 .
2. Граничний кут відключення, град - δ гр. Відкл.
3. Потужність, що передається, в. о. - P_0 .
4. Максимальна потужність аварійного режиму, в. о. - $P_{\max}^{\text{II}}$.
5. Шаг інтегрування, с - Δt .
6. Розрахунковий коефіцієнт, в. о. - k .

Дані, необхідні для вводу в ЕОМ (програма ЕРР2).

1. Кут усталеного режиму, град - δ_0 .
2. Потужність, що передається, в. о. - P_0 .
3. Максимальна потужність аварійного режиму, в. о. - $P_{\max}^{\text{II}}$.
4. Максимальна потужність післяаварійного режиму, в. о. -

$P_{\max}^{\text{II}}$.

5. Шаг інтегрування, с - Δt .
6. Розрахунковий коефіцієнт, в. о. - k .

При виконанні завдань слід дотримуватися найбільш доцільного порядку розв'язку, приводити необхідні пояснення. Формули потрібно записувати у загальному вигляді з подальшою підставкою числових значень, вказувати розмірності отриманих величин. Схеми повинні виконуватися у відповідності зі стандартами.

Контрольні роботи виконуються в окремому зошиті, де потрібно вказати вихідні дані. Параметри елементів наносяться на розрахункову схему електричної мережі. У роботі приводиться список використаної літератури.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Правила улаштування електроустановок. Україна Видання офіційне. Міненерговугілля України. — Х.: Форт, 2017. — 760 с.

2. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для ВНЗ / Г.Г. Півняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папайка, Л.І. Несен, за ред. Г.Г. Півняка ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. — 5-те вид. доопрац. та допов. — Дніпро : НГУ, 2016. — 600 с.

3. ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. Госстандарт. М., 1988.

4. Черемісін М.М., Мороз О.М., Єгоров О.Б., Швець С.В. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. — Харків: ТОВ «В справі», 2016. — 260с. — Бібліогр.: с. 254. — 200 пр. ISBN978-617-7305-20-9.

Додаткова література

5. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. — М.: Энергия, 1970. — 520 с.

6. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для вузів. / Г.Г. Півняк., В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен/ За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. - Дніпропетровськ: Вид. НГАУ, 2000. - 597с.