

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

канд. техн. наук, професор

Петро ПЛЄШКОВ

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ**

**ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

### **«Проектування системи електропостачання виробничого комплексу текстилю»**

Виконав здобувач вищої освіти

III курсу, групи ЕЕ-22мб,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

\_\_\_\_\_ Денис РУДЕНКО

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Валентин СОЛДАТЕНКО

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_

м. Кропивницький

# Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

\_\_\_\_\_ Петро ПЛІШКОВ

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Руденка Дениса Віталійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання виробничого комплексу текстилю

Design of the power supply system of a textile production complex

2. Керівник роботи Солдатенко Валентин Петрович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 02.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розроблення системи електропостачання виробничого комплексу текстилю. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н.Ю. Гарасьова</i>		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>03.02-19.02</i>	
2	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>20.02-28.02</i>	
3	<i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>	<i>01.03-12.03</i>	
4	<i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>	<i>13.03-01.04</i>	
5	<i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>	<i>02.04-12.04</i>	
6	<i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i>	<i>13.05-01.05</i>	
7	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>02.05-20.05</i>	
8	<i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>	<i>21.05-26.05</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>	<i>27.05-30.05</i>	

Дата видачі завдання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника \_\_\_\_\_

Валентин СОЛДАТЕНКО

Завдання прийнято до виконання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис здобувача \_\_\_\_\_

Денис РУДЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 90 с.; 19 рис.; 20 табл.; 5 джерел

### **Руденко Д. В. Проектування системи електропостачання виробничого комплексу текстилю. – Рукопис.**

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

Робота присвячена питанням розробки системи електропостачання виробничого комплексу текстилю.

Здійснені детальні обчислення електричних навантажень промислового об'єкта, визначення основних параметрів графіків споживання електроенергії, аналіз режимів реактивної потужності та дослідження параметрів короткого замикання в електричній мережі створили надійну основу для обґрунтованого вибору компонентів високовольтної електричної системи підприємства. Розроблена в результаті комплексних досліджень система електропостачання повністю задовольняє ключові технічні вимоги сучасного виробництва, зокрема забезпечує високий рівень надійності функціонування, необхідну експлуатаційну гнучкість та ефективну ремонтпридатність обладнання.

Завдяки проведенню ретельних порівняльних техніко-економічних розрахунків різних варіантів освітлювального обладнання вдалося визначити оптимальний тип та необхідну кількість інноваційних світлодіодних освітлювальних приладів нового покоління. Обрані світлотехнічні пристрої характеризуються високою енергоефективністю та успішно впроваджуються в рамках сучасної енергозберігаючої системи освітлення просторого складського приміщення промислового заводу, що дозволяє значно зменшити енергоспоживання та підвищити якість робочого освітлення.

**Ключові слова:** розрахункове навантаження, електричні мережі, вітрова енергетична установка

## ABSTRACT

Qualification work: 90 p.; 19 Fig.; 20 tables; 5 sources

### **Rudenko D. Design of the power supply system of a textile production complex. – Manuscript.**

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The work is devoted to the development of a power supply system for a textile production complex.

Detailed calculations of the electrical loads of the industrial facility, determination of the main parameters of electricity consumption graphs, analysis of reactive power modes and research of short circuit parameters in the electrical network have created a reliable basis for a well-founded selection of components of the enterprise's high-voltage electrical system. The power supply system developed as a result of comprehensive research fully satisfies the key technical requirements of modern production, in particular, it provides a high level of operational reliability, the necessary operational flexibility and effective maintainability of the equipment.

Thanks to careful comparative feasibility studies of various lighting equipment options, it was possible to determine the optimal type and required quantity of innovative new generation LED lighting devices. The selected lighting devices are characterized by high energy efficiency and are successfully implemented within the framework of a modern energy-saving lighting system for a spacious warehouse of an industrial plant, which allows significantly reducing energy consumption and improving the quality of working lighting.

**Keywords:** calculated load, electrical networks, wind power plant

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ</b> .....	9
1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в мережі напругою до 1 кВ...	10
1.2 Розрахунок освітлювальних електричних навантажень .....	11
1.3 Електричні навантаження в силових мережах вище 1 кВ .....	12
1.4 Графіки електричних навантажень текстильного підприємства .....	18
<b>РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА</b> .....	23
<b>РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА</b> ....	26
3.1 Схема зовнішнього електропостачання підприємства текстилю .....	26
3.2 Схема внутрішнього електропостачання підприємства текстилю .....	30
<b>РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ</b> .....	32
4.1 Баланс реактивної потужності підприємства текстилю .....	33
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв	34
<b>РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА ТЕКСТИЛЮ</b> .....	38
<b>РОЗДІЛ 6. ПІДРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ОБРАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ</b> .....	40
6.1 Підрахунок струмів коротких замкнень .....	40
6.2 Підбір кабельних ліній напругою 10 кВ .....	48
6.3 Підбір електричних апаратів високої напруги .....	50
6.4 Підбір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб .....	51
<b>РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ</b> .....	53
7.1 Розвиток застосування вітрової енергетики: від невеликих вітряних установок до потужних енергетичних комплексів .....	53
7.2 Технічні характеристики вітряних генераторів та їхній вплив на продуктивність експлуатаційних режимів. ....	60
7.3 Симуляція функціонування вітрогенераторної системи з частотним перетворювачем на основі віденського випрямляча .....	73
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	89
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	90

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Руденко Д.В.			Проектування системи електропостачання виробничого комплексу текстилю Design of the power supply system of a textile production complex	Літ.	Аркуш	Аркушів		
Перев.		Солдатенко В.П.					6	90		
Н. контр.		Солдатенко В.П.				ЦНТУ гр. ЕЕ-22мб				
Затвер.		Плешков П.Г.								















Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього на шинах 0.4 кВ ТПП, 2, 3:									4155,4	-337,99			4168,72	-246,64	4176,01
Врати в трансформаторах:													46,67	243,86	
Кількість трансформаторів: 6															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,7															
Всього на шинах 10 кВ ТПП, 2, 3:													4215,39	-2,78	4215,39
ТПП 4, 5, 6															
Корпус № 3															
силове:	104	4,7	147	3180	31,3	0,60	0,85	0,62	1908	1182,47	43	1,12	2143,54	1182,47	2448,06
освітлювальне:									9,1				10,37	5,02	
Всього:									1917,1	1182,47			2153,91	1187,49	2459,57
Корпуси № 5, 6, 7															
силове:	110	5	55	2150	11,0	0,60	0,85	0,62	1290	799,47	78	1,09	1404,1	799,47	1615,75
освітлювальне:									27,2				31,01	15,01	
Всього:									1317,2	799,47			1435,11	814,48	1650,13
Склад допоміжних матеріалів															
силове:	51	2	48	605	24,0	0,60	0,80	0,75	363	272,25	25	1,17	423,96	272,25	503,85
освітлювальне:									20,88				23,8	11,52	
Всього:									383,88	272,25			447,76	283,77	530,11
Склад сировини № 3															
силове:	9	2,9	11	42	3,8	0,50	0,80	0,75	21	15,75	8	1,43	30,11	17,32	34,74
освітлювальне:									9,2				6,62	3,2	
Всього:									30,2	15,75			36,73	20,52	42,07
Територія підприємства															
освітлювальне:									28,56				31,99	55,41	
Всього:									28,56	0			31,99	55,41	63,98
Всього по ТПП 4, 5, 6:															
силове:	274	2	147	5977	73,5	0,60	0,84	0,63	3582	2269,94	81	1,09	3892,9	2269,94	4506,36
освітлювальне:									94,94				103,79	90,16	
БК 0,4 кВ										-1448				-1448	
Всього на шинах 0.4 кВ ТПП 4, 5, 6:									3676,94	821,94			3996,69	912,1	4099,45

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Втрати в трансформаторах:													45,51	238,05	
Кількість трансформаторів: 6															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															
Всього на шинях 10 кВ ТП 4, 5, 6:													4042,2	1150,15	4202,65
ТП 7															
Фарбувально-сортувальний корпус															
силове:	69	4,6	107	1940	23,3	0,66	0,80	0,75	1280,4	960,3	36	1,11	1423,89	960,3	1717,45
освітлювальне:									12,24				13,95	6,75	
Всього:									1292,64	960,3			1437,84	967,05	1732,79
Всього по ТП 7:															
силове:	69	4,6	107	1940	23,3	0,66	0,80	0,75	1280,4	960,3	36	1,11	1423,89	960,3	1717,45
освітлювальне:									12,24	-1072			13,95	6,75	
БК 0,4 кВ														-1072	
Всього на шинях 0,4 кВ ТП 7:									1292,64	-111,7			1437,84	-104,95	1441,67
Втрати в трансформаторах:													16,33	85,16	
Кількість трансформаторів: 2															
Номинальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,72															
Всього на шинях 10 кВ ТП 7:													1454,17	-19,79	1454,31
ТП 8															
Компресорна															
силове:	10	12,5	240	1550	19,2	0,60	0,70	1,02	930	948,79	10	1,29	1197,87	1043,67	1588,75
освітлювальне:									14,82				15,12	7,32	
Всього:									944,82	948,79			1212,99	1050,99	1604,97
Насосна															
силове:	9	2,8	14,5	145	5,2	0,6	0,7	1,02	87	88,76	9	1,31	113,74	97,64	149,9
освітлювальне:									5,34				6,09	2,95	
Всього:									92,34	88,76			119,83	100,59	156,45
Всього по ТП 8:															
силове:	19	2,8	240	1695	85,7	0,6	0,7	1,02	1017	1037,55	14	1,24	1256,3	1037,55	1629,36
освітлювальне:									20,16				21,21	10,27	
БК 0,4 кВ										-600				-600	

Продовження табл. 1.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 8:										1037,16	437,55			1277,51	447,82	1353,73
Врали в трансформаторах:														14,98	78,4	
Кількість трансформаторів: 2																
Номинальна потужність, кВА: 1000																
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68																
Всього на шинах 10 кВ ТП 8:														1292,49	526,22	1395,5
ТП 9, 10																
Корпус № 4																
силове:	48	48	4	55	1480	13,7	0,6	0,85	0,62	888	550,33	48	1,12	991,05	550,33	1133,6
освітлювальне:										46,2				52,67	25,49	
Всього:										934,2	550,33			1043,72	575,82	1192,02
Сортувальний корпус																
силове:	11	48	105		610	2,2	0,50	0,80	0,75	305	228,75	11	1,36	413,73	228,75	472,76
освітлювальне:										12,88				12,36	5,98	
Всього:										317,88	228,75			426,09	234,73	486,47
Гараж																
силове:	21	11	48		410	4,4	0,60	0,70	1,02	246	250,97	17	1,21	297,64	250,97	389,33
освітлювальне:										10,57				12,05	5,83	
Всього:										256,57	250,97			309,69	256,8	402,31
Склад продукції																
силове:	16	4	16		240	4,0	0,50	0,80	0,75	120	90	16	1,29	154,23	90	178,57
освітлювальне:										22,45				16,16	7,82	
Всього:										142,45	90			170,39	97,82	196,47
Склад сировини № 1																
силове:	11	2,7	11		52	4,1	0,50	0,80	0,75	26	19,5	9	1,40	36,48	21,45	42,32
освітлювальне:										8,15				5,87	2,84	
Всього:										34,15	19,5			42,35	24,29	48,82
Склад сировини № 2																
силове:	13	2,4	12		62	5,0	0,50	0,80	0,75	31	23,25	10	1,38	42,71	25,57	49,78
освітлювальне:										12,8				9,22	15,97	
Всього:										43,8	23,25			51,93	41,54	66,5

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього по ТП 9, 10:															
силове:	120	2,4	105	2854	43,7	0,57	0,81	0,72	1616	1162,8	54	1,12	1809,43	1162,8	2150,85
освітлювальне:									113,05				108,33	63,93	
БК 0,4 кВ										-548				-548	
Всього на шинах 0,4 кВ ТП 9, 10:									1729,05	614,8			1917,76	678,73	2034,32
Втрати в трансформаторах:													22,52	117,87	
Кількість трансформаторів: 3															
Номинальна потужність, кВА : 1000															
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТП 9, 10:													1940,28	796,6	2097,45
Всього по об'єкту															
силове:	743	2	240	18991	120,0	0,60	0,99	0,12	11475,4	1424,6	158	1,06	12152,64	1424,6	12235,85
освітлювальне:									415,79				436	262,46	
Всього:									11891,19	1424,6			12588,64	1687,06	12701,18
Потужність КП 0,4 кВ:										-6724				-6724	
Втрати в трансформаторах													146,02	763,33	
Всього по об'єкту:													12734,66	2450,39	12968,27
Високоевольтне навантаження															
СДІ, 2	2	630	30	1260		0,70	0,90	0,48	882	427,17			882	-427,17	980
Всього високовольтного навантаження:													882	-427,17	980
Всього по об'єкту 10 кВ:													13616,66	2023,22	13766,15
КП 10 кВ:														-300	
Всього 10 кВ з КП:													13616,66	1723,22	13725,26



Таблиця 1.5. Результати розрахунків доб. графіків

№	Зим. дні						Літн. дні					
	Роб. дні			Вих. і дні			Роб. дні			Вих. і дні		
	$P_{д}$ , кВт	$Q_{д}$ , квар	$S_{д}$ , кВА	$P_{д}$ , кВт	$Q_{д}$ , квар	$S_{д}$ , кВА	$P_{д}$ , кВт	$Q_{д}$ , квар	$S_{д}$ , кВА	$P_{д}$ , кВт	$Q_{д}$ , квар	$S_{д}$ , кВА
1	11664	3046	12055	10152	4990	11312	9914	2589	10246	8629	4241	9615
2	8208	2009	8450	10152	4990	11312	6977	1707	7183	8629	4241	9615
3	7560	2462	7951	10152	4990	11312	6426	2093	6758	8629	4241	9615
4	8856	2398	9175	10152	4990	11312	7528	2038	7799	8629	4241	9615
5	11880	3564	12403	10152	4990	11312	10098	3029	10543	8629	4241	9615
6	11880	3046	12264	10152	4990	11312	10098	2589	10425	8629	4241	9615
7	18360	4018	18795	10152	4990	11312	15606	3415	15975	8629	4241	9615
8	19440	4601	19977	10152	4990	11312	16524	3911	16981	8629	4241	9615
9	21600	6480	22551	5832	3434	6768	18360	5508	19168	4957	2919	5753
10	21600	6480	22551	5832	3434	6768	18360	5508	19168	4957	2919	5753
11	19872	4342	20341	5832	3434	6768	16891	3690	17289	4957	2919	5753
12	17928	4082	18387	5832	3434	6768	15239	3470	15629	4957	2919	5753
13	20088	5184	20746	5832	3434	6768	17075	4406	17634	4957	2919	5753
14	21600	5054	22183	5832	3434	6768	18360	4296	18856	4957	2919	5753
15	21600	5249	22229	5832	3434	6768	18360	4461	18894	4957	2919	5753
16	21384	4342	21820	5832	3434	6768	18176	3690	18547	4957	2919	5753
17	19656	5119	20312	5832	3434	6768	16708	4351	17265	4957	2919	5753
18	16848	3694	17248	10152	4990	11312	14321	3140	14661	8629	4241	9615
19	10152	2592	10478	10152	4990	11312	8629	2203	8906	8629	4241	9615
20	12528	3888	13117	10152	4990	11312	10649	3305	11150	8629	4241	9615
21	9072	3110	9590	10152	4990	11312	7711	2644	8152	8629	4241	9615
22	10152	3175	10637	10152	4990	11312	8629	2699	9041	8629	4241	9615
23	10584	3110	11031	10152	4990	11312	8996	2644	9376	8629	4241	9615
24	10584	2916	10978	10152	4990	11312	8996	2479	9331	8629	4241	9615





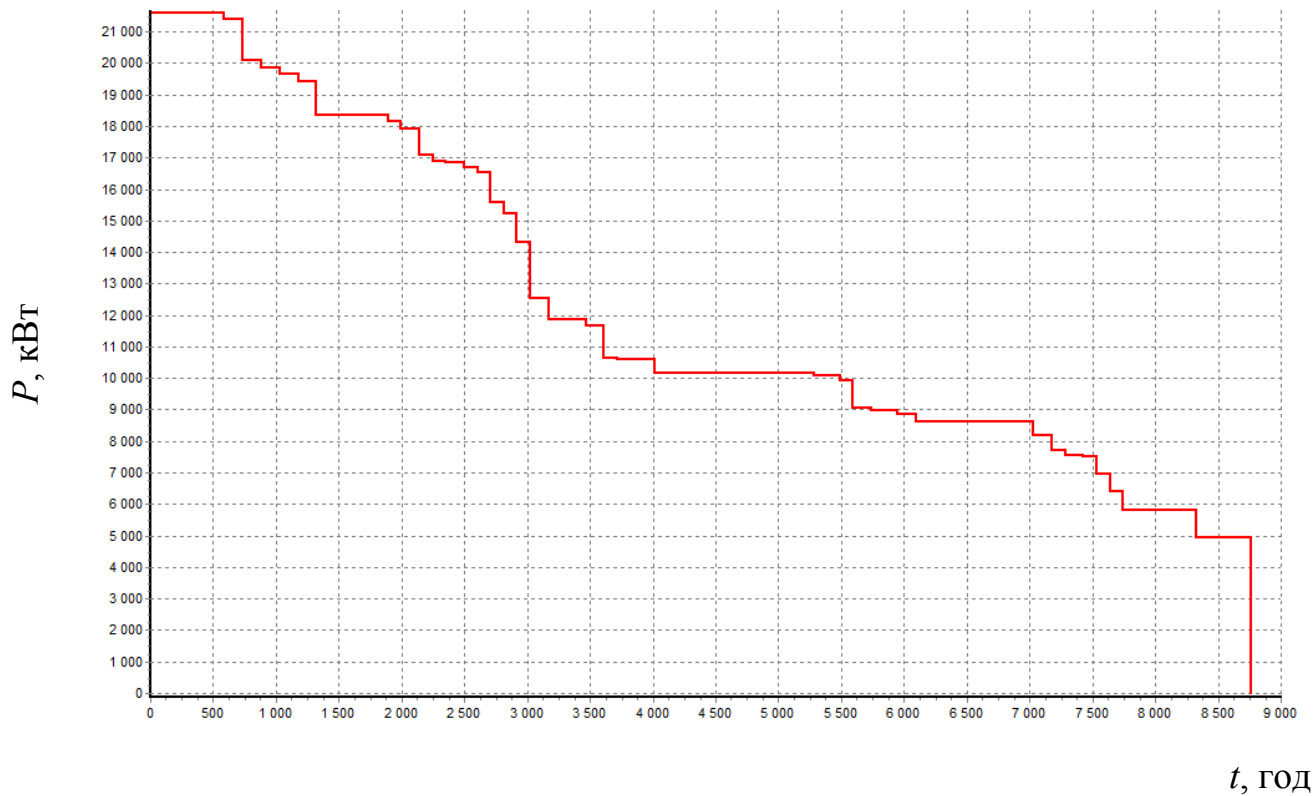


Рис. 1.5. Річний графік по тривалісті (P)

Таблиця 1.6. Результати розрах. параметрів графіків

№	Назва параметру	Знач.	Од. вим.
1	$S_{розр}$	22551,06	МВА
2	$W_{з.р.}$	53375112	кВт·год
3	$V_{з.р.}$	13812267	квар·год
4	$W_{з.в.}$	13309920	кВт·год
5	$V_{з.в.}$	6874140	квар·год
6	$W_{л.р.}$	32406255	кВт·год
7	$V_{л.р.}$	8385825	квар·год
8	$W_{л.в.}$	8354304	кВт·год
9	$V_{л.в.}$	4314528	квар·год
10	$W_{річн.}$	107445591	кВт·год
11	$V_{річн.}$	33386760	квар·год
12	$T_m$	4989	ГОД
13	$\tau_m$	3399	ГОД

## РОЗДІЛ 2

### КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

Для ефективного проектування системи електропостачання важливим етапом є просторовий аналіз розміщення електричних навантажень на території виробничого комплексу. Картограма електричних навантажень є графічним відображенням розподілу активної потужності споживачів у плані підприємства і дозволяє візуалізувати концентрацію навантажень, визначити оптимальні точки приєднання до електричної мережі та обґрунтувати раціональне розташування джерел живлення.

Застосування картограми дозволяє:

- визначити центр електричних навантажень як орієнтир для вибору місця встановлення трансформаторної підстанції;
- мінімізувати втрати електроенергії за рахунок оптимізації довжин ліній електропередач;
- покращити топологію мережі, забезпечивши її надійність та гнучкість;
- спростити подальше трасування кабельних мереж і розміщення розподільчих пристроїв.

У даному розділі на основі розрахованих електричних навантажень силового та освітлювального обладнання побудовано картограму навантажень виробничого комплексу текстильної галузі. Визначено центр електричних навантажень та обґрунтовано його положення відносно загальної території підприємства, що стане основою для розробки схеми електропостачання.

Розрахунок картограми корпусу №1 подано далі у формулах:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}}{\pi t}} = \sqrt{\frac{1937,5 + 45,4}{3,14 \cdot 0,5}} = 35,5 \text{ мм},$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360}{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}} = \frac{45,4 \cdot 360}{1937,5 + 45,4} = 8,2^\circ.$$



Таблиця 2.1. Результати розрахунку картограми електричних навантажень

№ п/п	Найменування	$P_{P, \text{силь}}$ кВт	$P_{P, \text{осв}}$ кВт	$P_P$ , кВт	$m$	$R$ , мм	$a$	$x$ , м	$y$ , м	$P \cdot x$ , кВт · м	$P \cdot y$ , кВт · м
1	Корпус № 1	1937,5	45,4	1982,9	0,5	35,5	8,2	200	78	396175	154267
2	Корпус № 2	1840,8	55,2	1896,0	0,5	34,7	10,5	465	120	880868	226758
3	Корпус № 3	2143,5	10,4	2153,9	0,5	37,0	1,7	258	68	556140	146466
4	Корпус № 4	991,1	52,7	1043,7	0,5	25,8	18,2	341	75	355909	78696
5	Корпуси № 5, 6, 7	1404,1	31,0	1435,1	0,5	30,2	7,8	419	37	601311	53099
6	Сортувальний корпус	413,7	12,4	426,1	0,5	16,5	10,4	416	88	177083	37325
7	Цех очистки сировини	57,7	8,3	66,0	0,5	6,5	45,4	427	172	28225	11332
8	Ткацьке відділення № 1	149,0	25,1	174,0	0,5	10,5	51,8	350	223	60841	38843
9	Крутильний корпус	189,0	19,9	208,9	0,5	11,5	34,3	112	360	23395	75155
10	Ткацьке відділення № 1	188,2	34,9	223,1	0,5	11,9	56,3	121	247	26994	55148
11	Гараж	297,6	12,1	309,7	0,5	14,0	14,0	313	165	97057	51223
12	Фарбувально-сортувальний корпус	1423,9	14,0	1437,8	0,5	30,3	3,5	350	174	503532	250759
13	Склад допоміжних матеріалів	424,0	23,8	447,8	0,5	16,9	19,1	355	154	159044	69134
14	Склад продукції	154,2	16,2	170,4	0,5	10,4	34,1	57	275	9780	46891
15	Насосна	113,7	6,1	119,8	0,5	8,7	18,3	53	248	6399	29742
16	Компресорна	1197,9	15,1	1213,0	0,5	27,8	4,5	70	192	84424	233137
17	Склад сировини № 1	36,5	5,9	42,4	0,5	5,2	49,9	221	342	9351	14467
18	Склад сировини № 2	42,7	9,2	51,9	0,5	5,7	63,9	119	266	6180	13824
19	Склад сировини № 3	30,1	6,6	36,7	0,5	4,8	64,9	121	218	4430	8007
20	Територія заводу	0,0	32,0	32,0	0,5	4,5	360	56	219	1804	7012
21	СД 10,5 кВ в насосній (15)	882,0	0,0	882,0	0,5	23,7	0,0	177	237	156467	209034
	<b>Всього по заводу</b>	<b>13917,2</b>	<b>436,0</b>	<b>14353,2</b>						<b>4145407,5</b>	<b>1810320,1</b>















#### 4.1 Баланс реактивной мощности предприятия текстилю

Розрахунки балансу РП згідно [1] наведено нижче.

$$P_n = \sum P_{ТП} = 12799 \text{ кВт} \quad Q_n = \sum Q_{ТП} = 8411 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_m = \sum \Delta P_{ТП} = 142 \text{ кВт} \quad \Delta Q_m = \sum \Delta Q_{ТП} = 741 \text{ кВАр}$$

$$Q_{ном} = P_{ном} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{СД} = 630 \cdot 0,484 = 304,92 \text{ квар}$$

$$P_{СД} = N_{СД} P_{ном} K_{вик} = 2 \cdot 630 \cdot 0,7 = 882 \text{ кВт}$$

$$Q_{номсд} = n_{сд} \frac{P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta} = 2 \cdot \frac{630 \cdot 0,484}{0,958} = 636,58 \text{ квар}$$

$$Q_{maxсд} = n_{сд} \frac{\alpha_M P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_n}{\eta} = 2 \cdot \frac{1,21 \cdot 630 \cdot 0,484}{0,958} = 770,26 \text{ квар}$$

$$P_p = P_n + \Delta P_m + P_\epsilon + P_{сд} = 12799 + 142 + 0 + 882 = 13823 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_m + Q_\epsilon - Q_{СД} = 8411 + 741 + 0 - 636,58 = 8515,4 \text{ квар}$$

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 13823 \cdot 0,15 = 2073,45 \text{ квар}$$

$$Q_{КП} = Q_p - Q_e = 8515,42 - 2073,45 = 6441,97 \text{ квар}$$









## РОЗДІЛ 5

### ВИБІР КІЛЬКОСТІ І ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА ТЕКСТИЛЮ

Трансформатори є ключовими елементами системи електропостачання, оскільки вони забезпечують перетворення рівнів напруги відповідно до потреб споживачів, розподіл електроенергії та підвищення енергоефективності роботи електричних мереж. Правильний вибір кількості та потужності трансформаторів безпосередньо впливає на надійність, безпеку та економічність функціонування енергетичної системи підприємства.

Процес вибору трансформаторів повинен враховувати ряд факторів, таких як загальне та максимальне електричне навантаження підприємства, режими роботи обладнання, можливість резервування, перспективи розширення виробництва, умови охолодження та вимоги до якості електроенергії. Недостатня потужність трансформаторів може призвести до перевантаження та аварійних ситуацій, а надлишкова – до перевитрат капіталовкладень та зниження ефективності.

У цьому розділі виконується технічно обґрунтований вибір кількості та номінальної потужності трансформаторів для системи електропостачання виробничого комплексу текстильної галузі. Розрахунки базуються на даних про електричні навантаження, особливості режимів роботи підприємства та вимоги до резервування живлення. Отримані результати є основою для формування структурної схеми електропостачання та подальшого вибору електротехнічного обладнання.

Проведемо вибір трансформаторів на головній знижувальній підстанції.

$$S_{P.T.} = \frac{S_{\max} \cdot K_{1.2}}{1.4(n-1)} = \frac{13,764 \cdot 0,8}{1,4 \cdot (2-1)} = 7,9 \text{ кВА.}$$

Обираємо ТДН 10000/110, що має паспортні дані:  $\Delta P_{xx} = 14$  кВт,  $\Delta P_{кз} = 60$  кВт,  $u_{к,\%} = 10,5$  %.

Завантаження трансформатора ГЗП при нормальному режимі складає:

$$K_3 = \frac{S_{\max}}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{13,76}{2 \cdot 10} = 0,69$$

Умови вибору задовільняють необхідні умови.

Обераються трансформатори в цехових ТП. Передбачається використання комплектних ТП з числом трансформаторів 1 та 2 та типом трансформаторів ТМ-1000/10/0,4.

Вибір силового трансформатора ТП-1:

$$K_{\text{зав}} = \frac{S_{\text{розр}}}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном тр}}} = \frac{1405,09}{2 \cdot 1000} = 0,7,$$

$$S_{\text{ном тр}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \geq \frac{S_{\text{розр}}}{K_1} = \frac{1405,09}{1,08} = 1301,$$

$$S_{\text{ном тр}} = 1000 \geq \frac{S_{\text{розр}}}{K_2} = \frac{1405,09}{1,4} \approx 1000.$$

Таблиця 5.1. Результати вибору цехових трансформаторів

№	К-сть тр.	$S_{\text{розр}}$ , кВА	$K_{\text{зав}}$	$\frac{S_{\text{ном}} > S_{\text{розр}}/K_1}$	$S_{\text{ном}} > S_{\text{розр}}/K_2$
ТП-1	2	1405,09	0,70	1301	1004
ТП-2	2	1405,09	0,70	1301	1004
ТП-3	2	1405,09	0,70	1301	1004
ТП-4	2	1399,70	0,70	1296	1000
ТП-5	2	1399,70	0,70	1296	1000
ТП-6	2	1399,70	0,70	1296	1000
ТП-7	2	1454,25	0,73	1347	1039
ТП-8	2	1392,41	0,70	1289	995
ТП-9	2	1395,13	0,70	1292	997
ТП-10	1	697,56	0,70	646	498

## РОЗДІЛ 6

### ПІДРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ОБРАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

#### 6.1 Підрахунок струмів коротких замкнень

Розрахункова схема та схема заміщення мережі наведені на рис. 6.1, 6.2.

Опори елементів мережі до шин напругою 110 кВ ГЗП (до точки К0):

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{115^2}{75000} = 0,176 \text{ Ом} \quad R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{0,176}{25} = 0,007 \text{ Ом}$$

$$R_l = r_0 \cdot l = 0,422 \cdot 7,9 = 3,3338 \text{ Ом} \quad X_l = x_0 \cdot l = 0,444 \cdot 7,9 = 3,51 \text{ Ом}$$

$$X_{K0} = X_c + X_l = 0,176 + 3,51 = 3,686 \text{ Ом}$$

$$R_{K0} = R_c + R_l = 0,007 + 3,3338 = 3,3408 \text{ Ом}$$

$$Z_{K0} = \sqrt{R_{K0}^2 + X_{K0}^2} = \sqrt{3,3408^2 + 3,686^2} = 4,975 \text{ Ом}$$

Підраховуємо параметри струму к.з. в т. К0 (надперехідний струм, постійна часу, ударний коефіцієнт, ударний струм):

$$I''_{K0} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K0}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 4,975} = 13,346 \text{ кА}$$

$$T_{a0} = \frac{X_{K0}}{\omega R_{K0}} = \frac{3,686}{314 \cdot 3,3408} = 0,0035 \text{ с} \quad k_{y\partial 0} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a0}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0035}} = 1,057$$

$$i_{y\partial 0} = \sqrt{2}k_{y\partial 0}I''_{K0} = \sqrt{2} \cdot 1,057 \cdot 13,319 = 19,91 \text{ кА}$$

Опори елементів мережі приведені до напруги 10 кВ ГЗП (точка К1):

$$X'_{K0} = X_{K0} \left( \frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 3,699 \cdot \left( \frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,031 \text{ Ом}$$

$$R'_{K0} = R_{K0} \left( \frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 3,3418 \cdot \left( \frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,028 \text{ Ом}$$

$$Z'_{K0} = Z_{K0} \left( \frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 4,985 \cdot \left( \frac{10,5}{115} \right)^2 = 0,042 \text{ Ом}$$

$$R_m = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{cp.ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{60 \cdot 10,5^2}{10000^2} \cdot 10^3 = 0,066 \text{ Ом}$$

$$X_m = \frac{U_{\kappa, \%} U_{cp.ном}^2}{S_{ном}} = \frac{10,5 \cdot 10,5^2}{10000} \cdot 10 = 1,158 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X'_{K0} + X_m = 0,031 + 1,158 = 1,189 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R'_{K0} + R_m = 0,028 + 0,066 = 0,094 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,094^2 + 1,189^2} = 1,193 \text{ Ом}$$

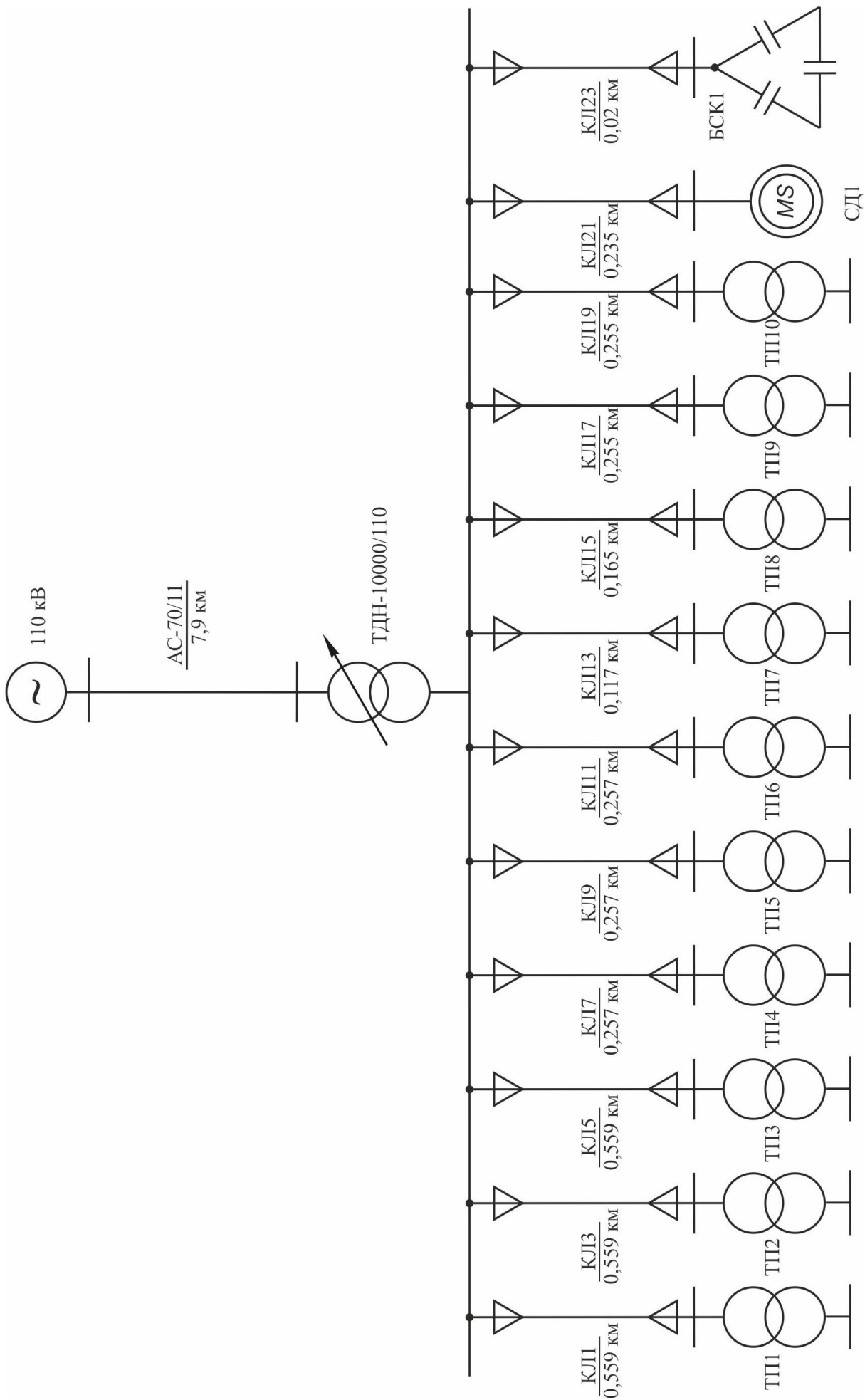


Рис. 6.1. Розрахункова схема

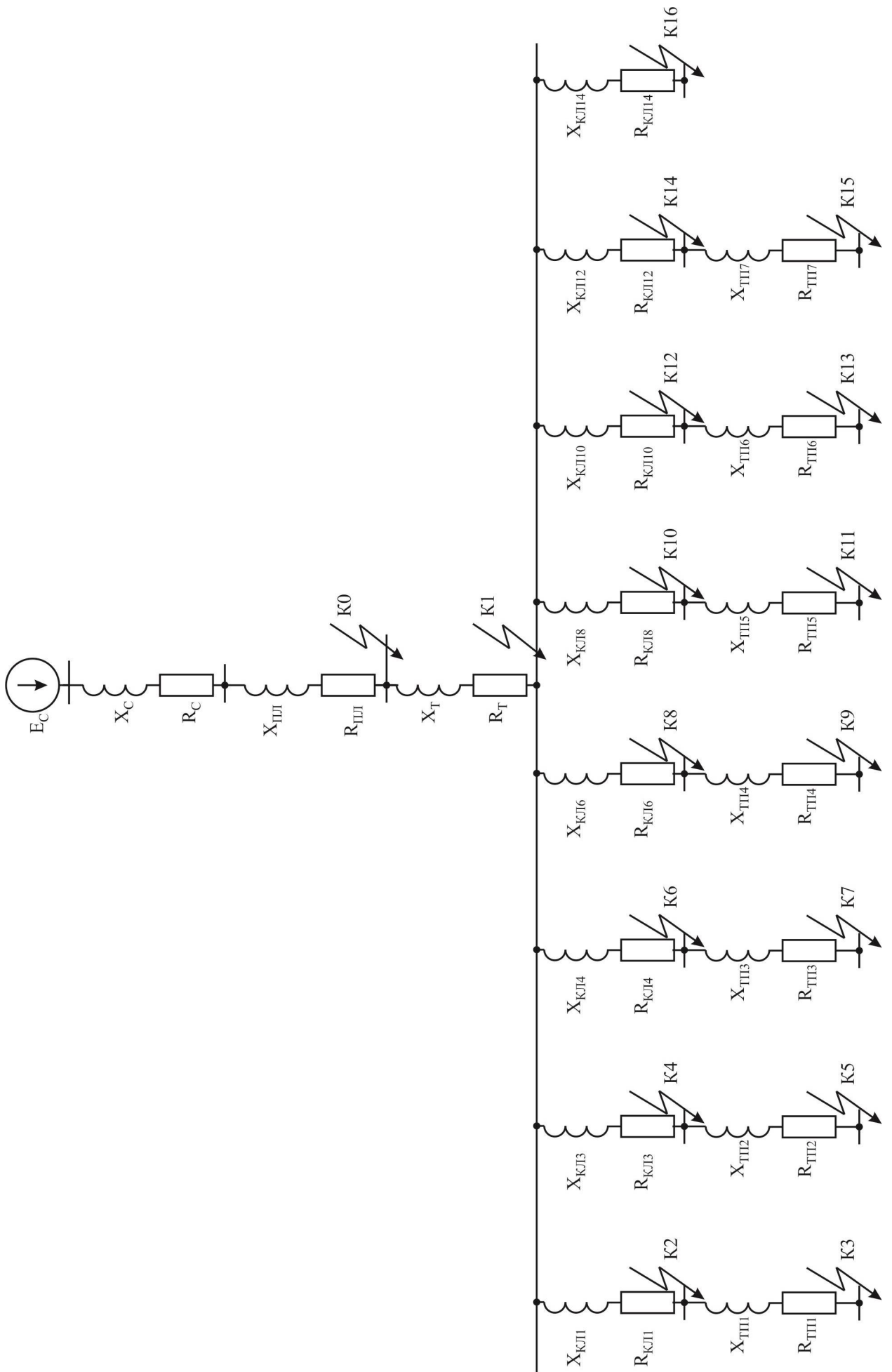


Рис. 6.2. Схема заміщення


Підраховуємо параметри струму к.з. в т. К1 (надперехідний струм, постійна часу, ударний коефіцієнт, ударний струму) визначаємо як результат дії двох складових – від енергосистеми та від високовольтного синхронного двигуна:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,193} = 5,081 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,189}{314 \cdot 0,094} = 0,0403 \text{ с}, \quad k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0403}} = 1,78$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,78 \cdot 5,081 = 12,79 \text{ кА}$$

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,63}{0,9 \cdot 0,958} = 0,731 \text{ МВА}$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{0,731}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,04 \text{ кА}$$

$$I''_{K1(CD)} = n_{CD} \frac{E_*}{x_d} I_{ном} = 2 \cdot \frac{1,1}{0,15} \cdot 0,04 = 0,587 \text{ кА}$$

$$T_{aCD} = \frac{X_{CD}}{\omega R_{CD}} = \frac{15}{314} = 0,0478 \text{ с}, \quad k_{y\partial(CD)} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a(CD)}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0478}} = 1,811$$

$$i_{y\partial 1(CD)} = \sqrt{2}k_{y\partial(CD)}I''_{K1(CD)} = \sqrt{2} \cdot 1,811 \cdot 0,587 = 1,503 \text{ кА}$$

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(CD)} = 5,081 + 0,587 = 5,668 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(CD)} = 12,79 + 1,503 = 14,293 \text{ кА}$$

Проведемо визначення параметрів для вибору КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{1405,1}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,63 \text{ А}$$

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 5,668^2 (1,025 + 0,0403) = 34,22 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{34,22 \cdot 10^3} = 62,23 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 70) та проводимо розрахунок опорів КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,559 = 0,248 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,559 = 0,048 \text{ Ом}$$

Опори інших ліній наведено в табл. 6.1.

Параметри загального опору та струму к.з. в т. К2 по схемі заміщення:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,189 + 0,048 = 1,237 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,094 + 0,248 = 0,342 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,342^2 + 1,237^2} = 1,283 \text{ Ом}$$

$$I_{K2}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,283} = 4,725 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,237}{314 \cdot 0,342} = 0,0115 \text{ с}, \quad k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0115}} = 1,419$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,419 \cdot 4,725 = 9,482 \text{ кА}$$

Опір трансформатора ТМ-1000/10:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_k U_{cp.ном}^2}{S_{ном}^2} = \frac{8,6 \cdot 10,5^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 0,948 \text{ Ом}$$

$$X_{тр} = \frac{U_{к,\%} U_{cp.ном}^2}{S_{ном}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{1000} \cdot 10 = 6,064 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1. Визначення опорів ліній КЛ

№ КЛ	$l, \text{ км}$	$r_0, \text{ Ом/км}$	$x_0, \text{ Ом/км}$	$R, \text{ Ом}$	$X, \text{ Ом}$
1, 2	0,559	0,443	0,086	0,248	0,048
3, 4	0,559	0,443	0,086	0,248	0,048
5, 6	0,559	0,443	0,086	0,248	0,048
7, 8	0,257	0,443	0,086	0,114	0,022
9, 10	0,257	0,443	0,086	0,114	0,022
11, 12	0,257	0,443	0,086	0,114	0,022
13, 14	0,117	0,443	0,086	0,052	0,01
15, 16	0,165	0,443	0,086	0,073	0,014
17, 18	0,255	0,443	0,086	0,113	0,022
19	0,255	0,443	0,086	0,113	0,022
20, 21	0,235	0,443	0,086	0,104	0,02
22, 23	0,02	0,443	0,086	0,009	0,002

Параметри струму к.з. в т. К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (1,237 + 6,064) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0106 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{вн}} \right)^2 = (0,342 + 0,948) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0019 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0019^2 + 0,0106^2} = 0,0108 \text{ Ом}$$

$$I_{K3}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0108} = 21,383 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0106}{314 \cdot 0,0019} = 0,0178 \text{ с}, \quad k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0178}} = 1,57$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,57 \cdot 21,383 = 47,477 \text{ кА}$$

Розрахунок струмів к.з. в інших точках наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів к.з.

<i>№ точки к.з.</i>	<i>R, Ом</i>	<i>X, Ом</i>	<i>I<sub>к</sub><sup>''</sup>, кА</i>	<i>T<sub>а</sub>, с</i>	<i>k<sub>уд</sub></i>	<i>i<sub>уд</sub>, кА</i>
0	3,342	3,699	13,319	0,0035	1,057	19,910
1	0,094	1,189	5,668	0,0403	1,780	14,293
2	0,342	1,237	4,720	0,0115	1,419	9,470
3	0,002	0,011	21,380	0,0178	1,570	47,470
4	0,342	1,237	4,720	0,0115	1,419	9,470
5	0,002	0,011	21,380	0,0178	1,570	47,470
6	0,342	1,237	4,720	0,0115	1,419	9,470
7	0,002	0,011	21,380	0,0178	1,570	47,470
8	0,208	1,211	4,930	0,0185	1,582	11,030
9	0,002	0,011	21,580	0,0199	1,605	48,980
10	0,208	1,211	4,930	0,0185	1,582	11,030
11	0,002	0,011	21,580	0,0199	1,605	48,980
12	0,208	1,211	4,930	0,0185	1,582	11,030
13	0,002	0,011	21,580	0,0199	1,605	48,980
14	0,146	1,199	5,020	0,0262	1,683	11,950
15	0,002	0,011	21,790	0,0209	1,620	49,920
16	0,167	1,203	4,990	0,0229	1,646	11,620
17	0,002	0,011	21,790	0,0209	1,620	49,920
18	0,207	1,211	4,930	0,0186	1,584	11,040
19	0,002	0,011	21,580	0,0199	1,605	48,980
20	0,207	1,211	4,930	0,0186	1,584	11,040
21	0,002	0,011	21,580	0,0199	1,605	48,980
22	0,198	1,209	4,950	0,0194	1,597	11,180
23	0,103	1,191	5,070	0,0368	1,762	12,630



Таблиця 6.3. Вибір КЛ

№ КЛ	$n$ , шт	$S_p$ , МВА	$I_p$ , А	$I_{p.ав.}$ , А	$F_{ек}$ , мм <sup>2</sup>	$B_{к'}$ , ка <sup>2</sup> с	$F_{min}$ , мм <sup>2</sup>	Марка кабелю	$I_{дон}$ , А	$K_n$	$K_n I_{дон}$ , А	$K_{ан}$	$K'_n$	$K_{ан} K'_n$ $I_{дон}$ , А
1, 2	2	1405,1	38,63	77,26	27,59	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
3, 4	2	1405,1	38,63	77,26	27,59	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
5, 6	2	1405,1	38,63	77,26	27,59	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
7, 8	2	1399,7	38,48	76,96	27,49	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
9, 10	2	1399,7	38,48	76,96	27,49	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
11, 12	2	1399,7	38,48	76,96	27,49	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
13, 14	2	1454,2	39,98	79,96	28,56	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
15, 16	2	1392,4	38,28	76,56	27,34	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
17, 18	2	1395,1	38,36	76,72	27,4	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	0,92	119,6	1,25	1	162,5
19	1	697,6	38,36	-	27,4	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	1	130	-	-	-
20, 21	1	730	40,14	-	28,67	34,22	62,23	ААШВ-10 (3 x 70)	130	1	130	-	-	-
22, 23	1	150	8,25	-	5,89	34,22	62,23	ААШВ-10(3 x 70)	130	1	130	-	-	-

### 6.3 Підбір електричних апаратів високої напруги

Розрахункові параметри вибору ввідних вимикачів наведені в табл. 6.4-6.5.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача 35 кВ

Параметр вимикача	Умова вибору	Розрахунок
Номінальна напруга, кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$110 \leq 110$
Довготривалий струм, кА	$I_{роб.форс} \leq I_{ном}$	$100,85 \leq 3150$
Відключаюча здатність: - симетричний струм: - аперіодична складова: - повний струм:	$I_{нт} \leq I_{відкл.ном}$ $i_{a\tau} \leq \sqrt{2}\beta_n I_{відкл.ном}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2}I_{ном.відкл}(1 + \beta_n)$	$13,32 \leq 40$ $0 \leq 19,8$ $1,41 \cdot 13,32 + 0 < < 1,41 \cdot 40 \cdot (1 + 0,35)$ $18,84 \leq 76,37$
Динамічна стійкість: - симетричний струм: - ударний струм:	$I'' \leq I_{дин.ст}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{дин.ст}$	$13,32 \leq 52$ $19,92 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{TH}^2 t_{TH}$	$185,5 \leq 1200$

$$\tau = t_{пз.мин} + t_{с.в} = 0,02 + 0,022 = 0,042 \text{ с}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 13,32 \cdot e^{\frac{-0,042}{0,0035}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.в.} + t_{пз.маx} + T_a) = 13,32^2 (0,022 + 1,02 + 0,0035) = 185,5 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо LTB-145D1/B.



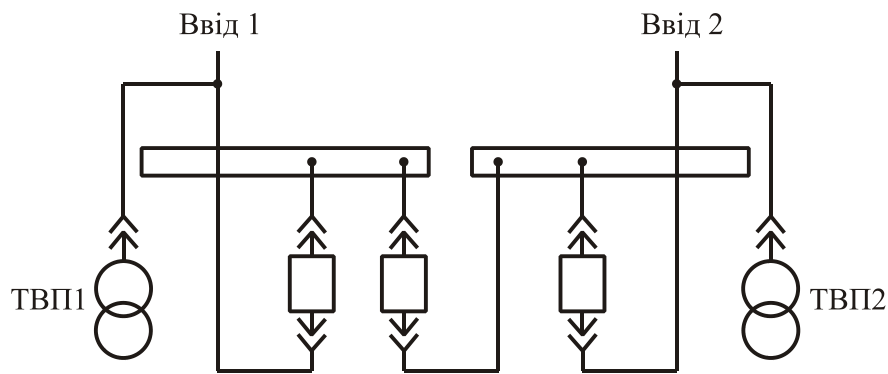


Рис. 6.3. Схема приєднання до мережі ТВП

Таблиця 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

№ п/п	Споживачі	$P_{ном}$ , кВт	$n$ , шт.	$P_{сум}$ , кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{уст}$ , кВт	$Q_{ус}$ , кВАр
1.	Електродвигуни обдуву трансформаторів номінальною потужністю 10 МВА	7	4	28	0,8	0,75	28	21
2.	Пристрої підігріву вимикачів номінальною напругою 110 кВ	1,75	3	5,25	0,97	0,25	5,25	1
3.	Пристрої підігріву комірок	0,6	32	19,2	0,97	0,25	19,2	5
4.	Опалення і освітлення приміщення оперативного	6	3	18	0,97	0,25	18	5
5.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
6.	Споживання оперативними колами	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
<i>Всього</i>							<i>107</i>	<i>42</i>

Сумарне електр. навант. ТВП:

$$S_{уст} = \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = \sqrt{106,5^2 + 42^2} = 114,48 \text{ кВА}$$

$$S_p = K_c S_{уст} = 0,8 \cdot 114,48 = 91,58 \text{ кВА}$$

Обираємо ТМ-63/10.

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} = \frac{91,58}{2 \cdot 63} = 0,73$$





























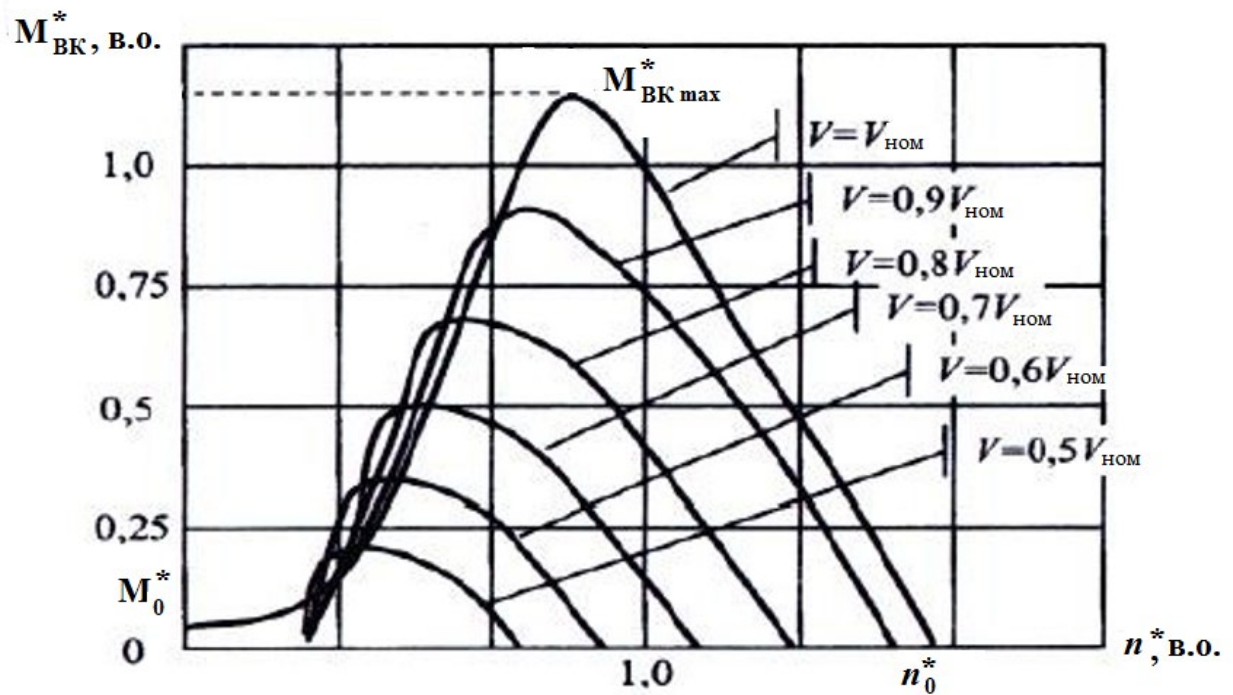


Рис. 7.2. Експлуатаційні параметри лопатевої вітроенергетичної турбіни

$$M_{BK}^* = \frac{M_{BK}}{M_{BK \text{ ном}}}$$

Крутний момент на валу безпосередньо впливає на потужність, яку може генерувати вітроустановка за конкретних атмосферних умов. Максимальна ефективність досягається при оптимальному співвідношенні між аеродинамічними характеристиками лопатей та параметрами електричного генератора.

Відносна частота обертання характеризує режим роботи турбіни відносно її проектних параметрів. При значенні  $n^* = 1$  система функціонує в оптимальному режимі, забезпечуючи найвищий коефіцієнт корисної дії перетворення кінетичної енергії вітру в електричну енергію.

Регулювання крутного моменту здійснюється через зміну кута атаки лопатей або використання систем електронного керування навантаженням генератора. Сучасні вітроустановки обладнані системами автоматичного контролю, які





Сучасні силові електронні перетворювачі забезпечують високий коефіцієнт корисної дії та можливість реалізації алгоритмів максимізації потужності.

Альтернативним підходом є використання механічних систем обмеження, які автоматично змінюють аеродинамічні характеристики турбіни при критичних швидкостях вітру, запобігаючи пошкодженню обладнання та забезпечуючи безпечну експлуатацію.

Зазначене положення не поширюється на аварійні системи виведення вітроенергетичних агрегатів з робочого стану, коли частота обертання ротора досягає критично допустимих меж. Подібні системи екстреного гальмування та відключення інтегровані в конструктивну схему вітрових турбін з метою попередження руйнування при екстремальних швидкостях повітряного потоку.

Відтак за нормальних експлуатаційних умов сучасні вітроенергетичні установки функціонують без активних систем регулювання частоти обертання, а їх обмеження стає необхідним виключно в аварійних експлуатаційних режимах.

Загальний характер залежностей потужності вітроелектростанції від величини швидкості повітряного потоку демонструється на рисунку 7.3.

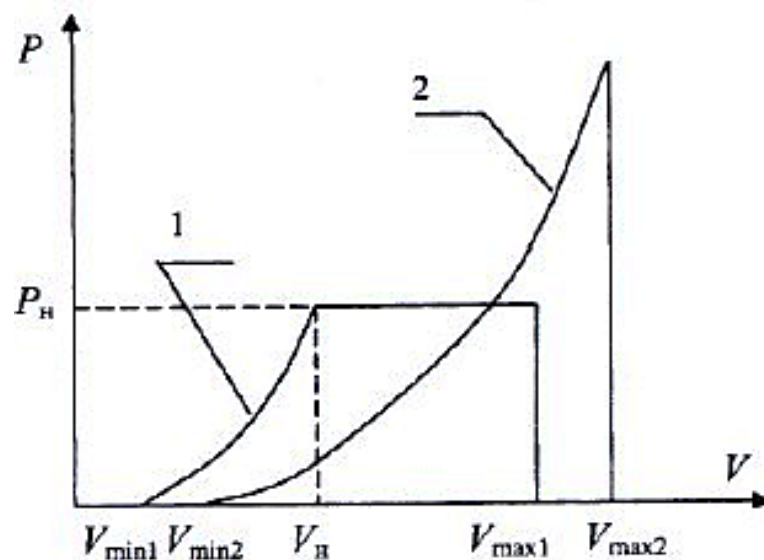


Рис. 7.3. Типовий вид кривих потужності вітроенергетичної станції при різних способах аеродинамічного керування



















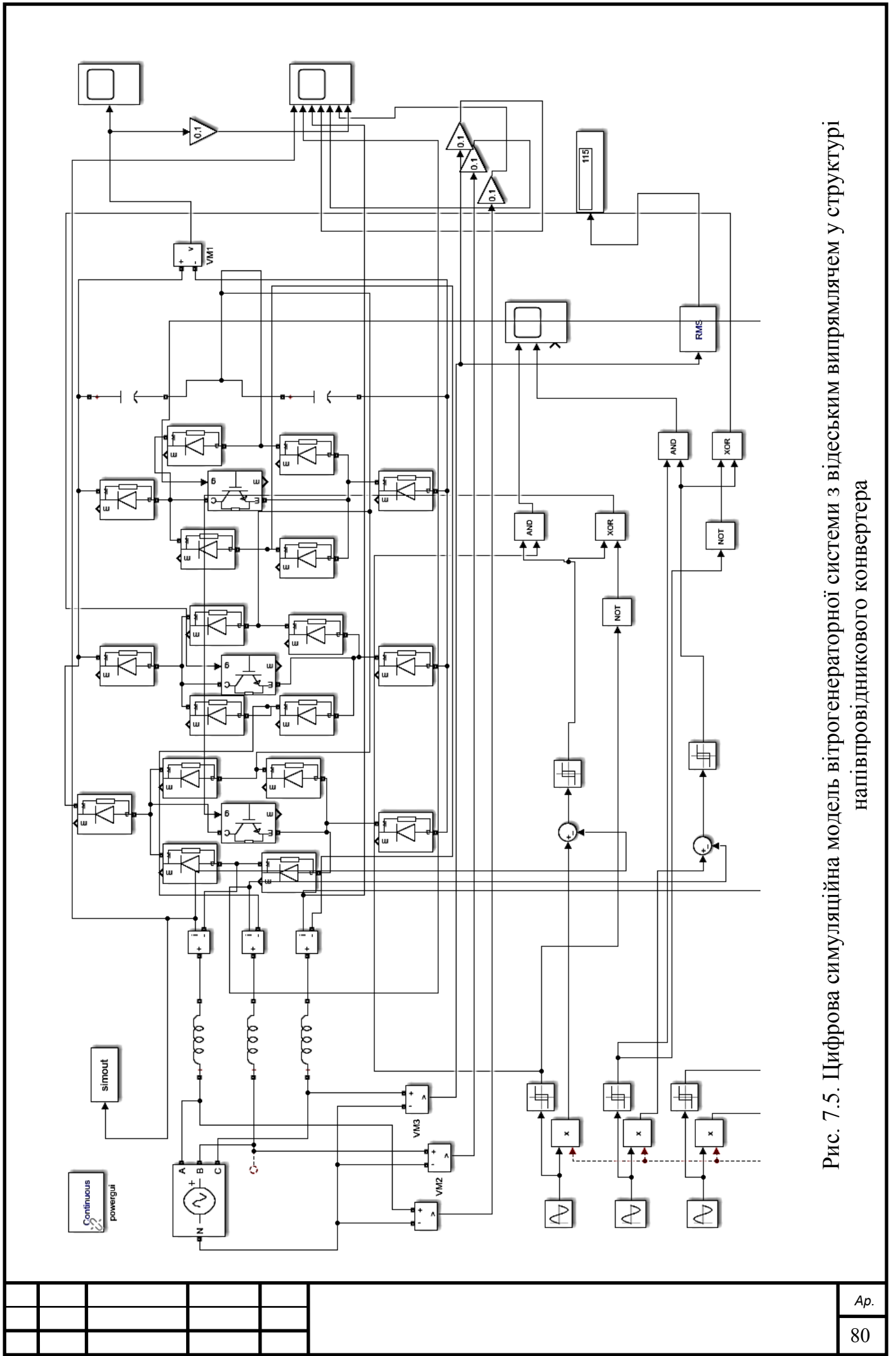


Рис. 7.5. Цифрова симуляційна модель вітрогенераторної системи з відьським випрямлячем у структурі напівпровідникового конвертера



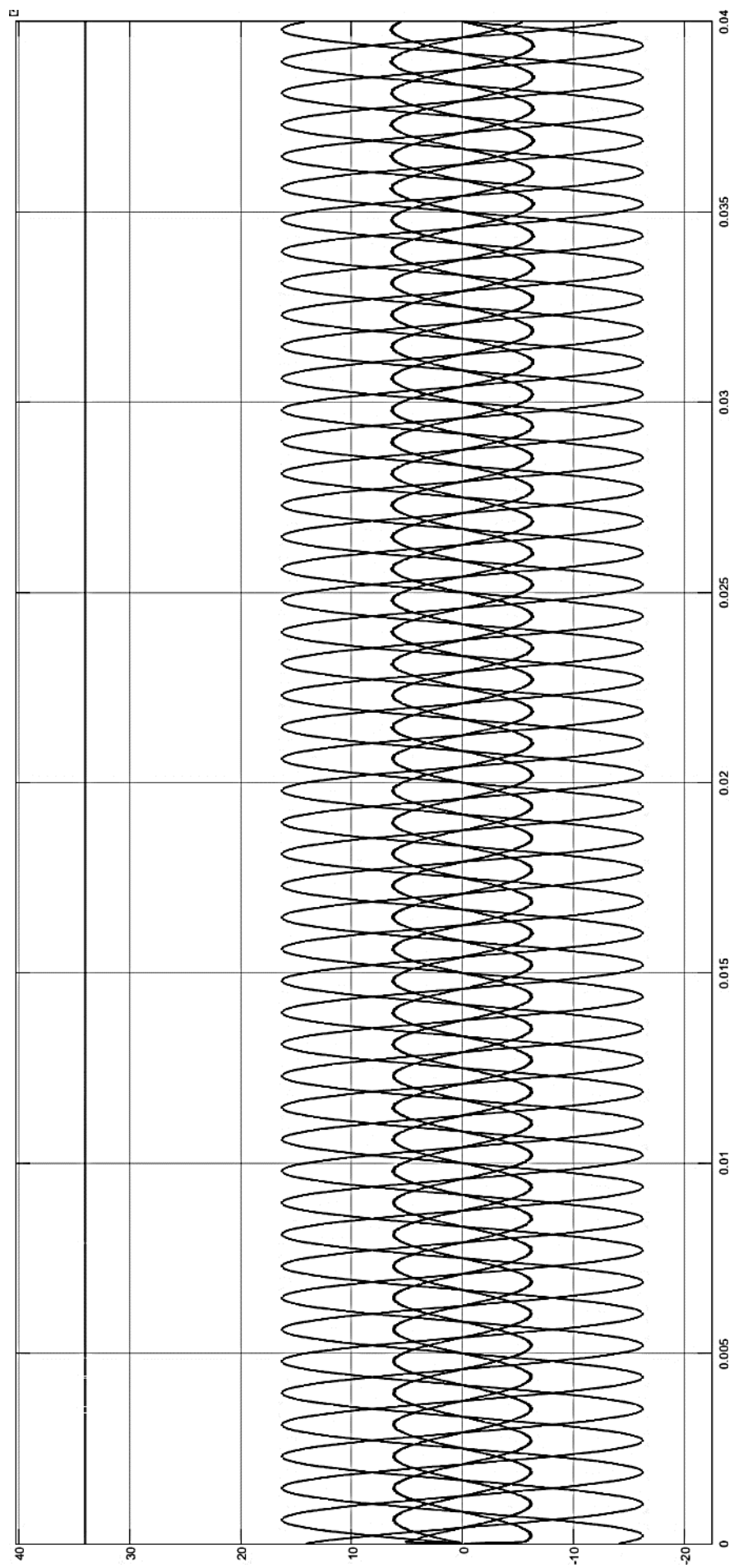


Рис. 7.6. Графіки напруги та струму фазових обмоток у контурах відеського випрямляча і напруги в ланці постійного



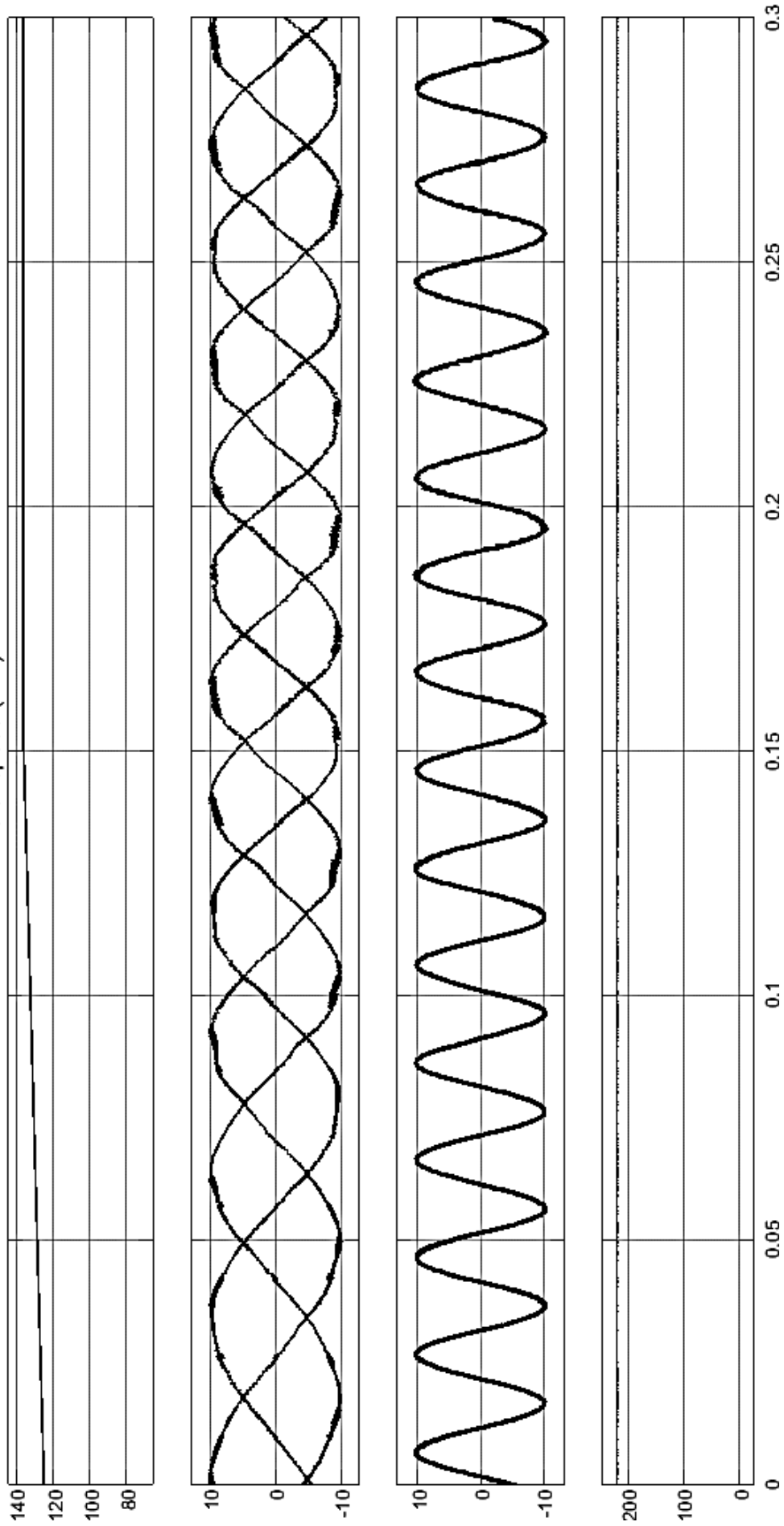
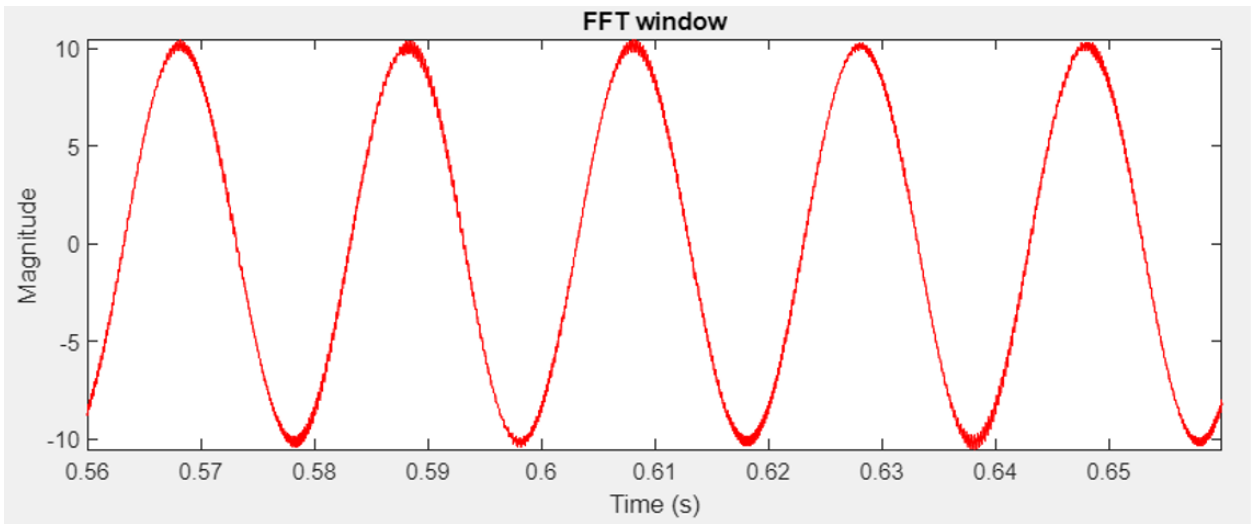
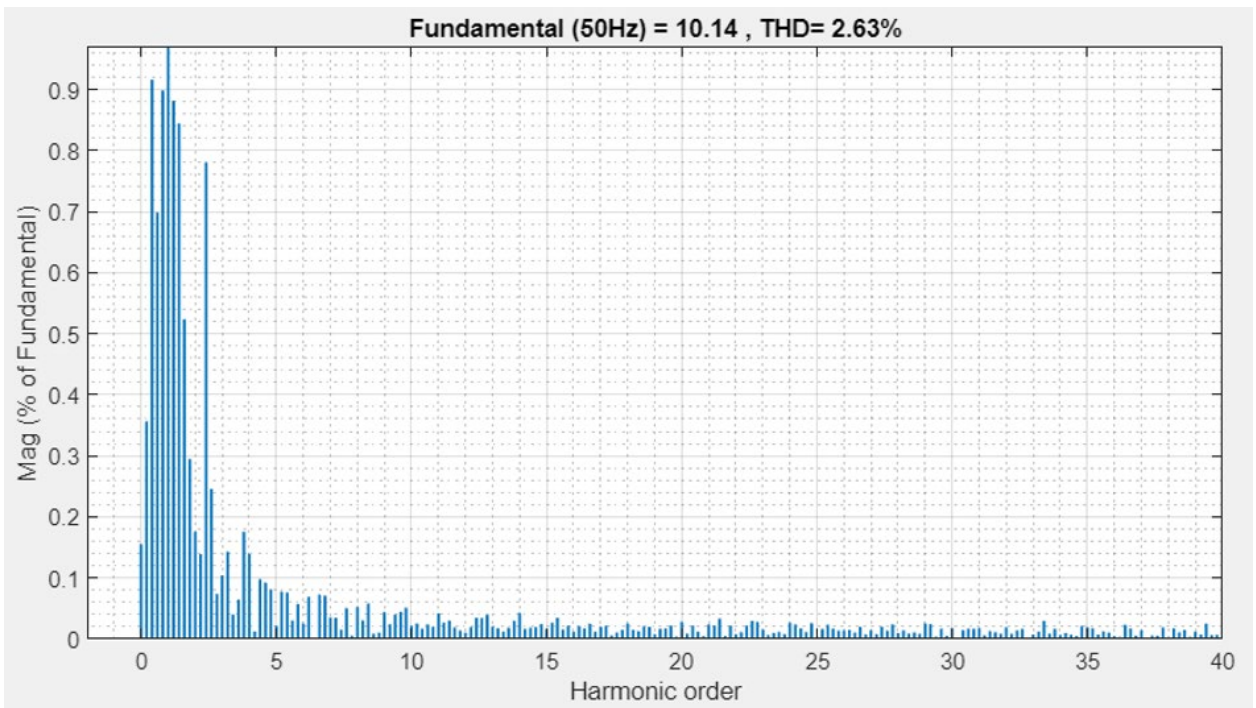


Рис. 7.7. Графіки експлуатаційних показників вітрогенераторної системи



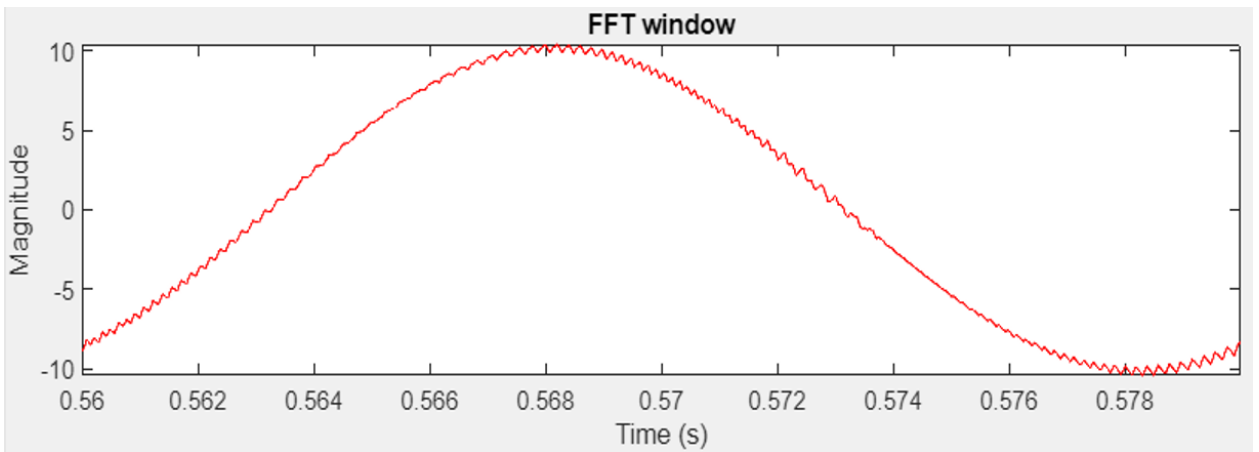
a)



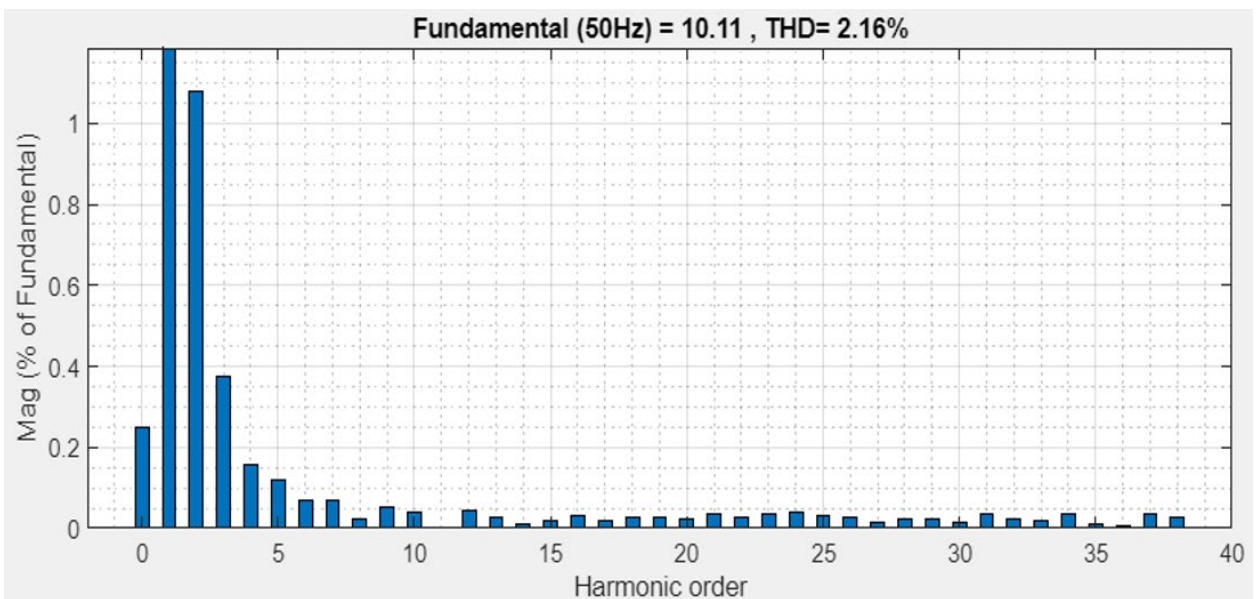
б)

Рис. 7.8. Підсумки симуляції струму статорної обмотки протягом п'яти циклів

На рис. 7.9 представлено підсумки симуляції струму роторної обмотки за один період та результати аналізу його гармонійного складу.

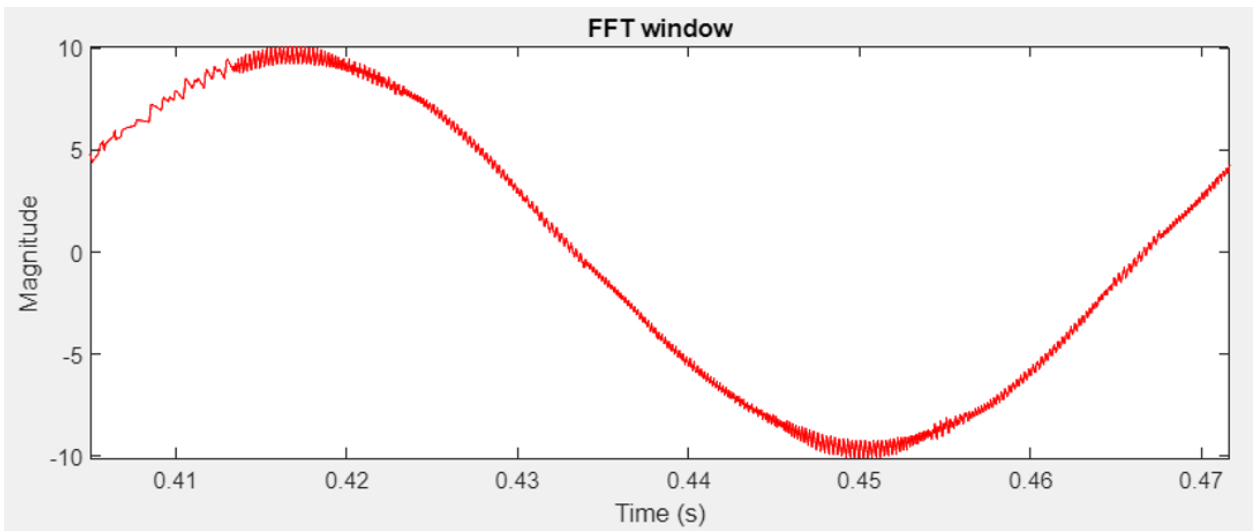
a)



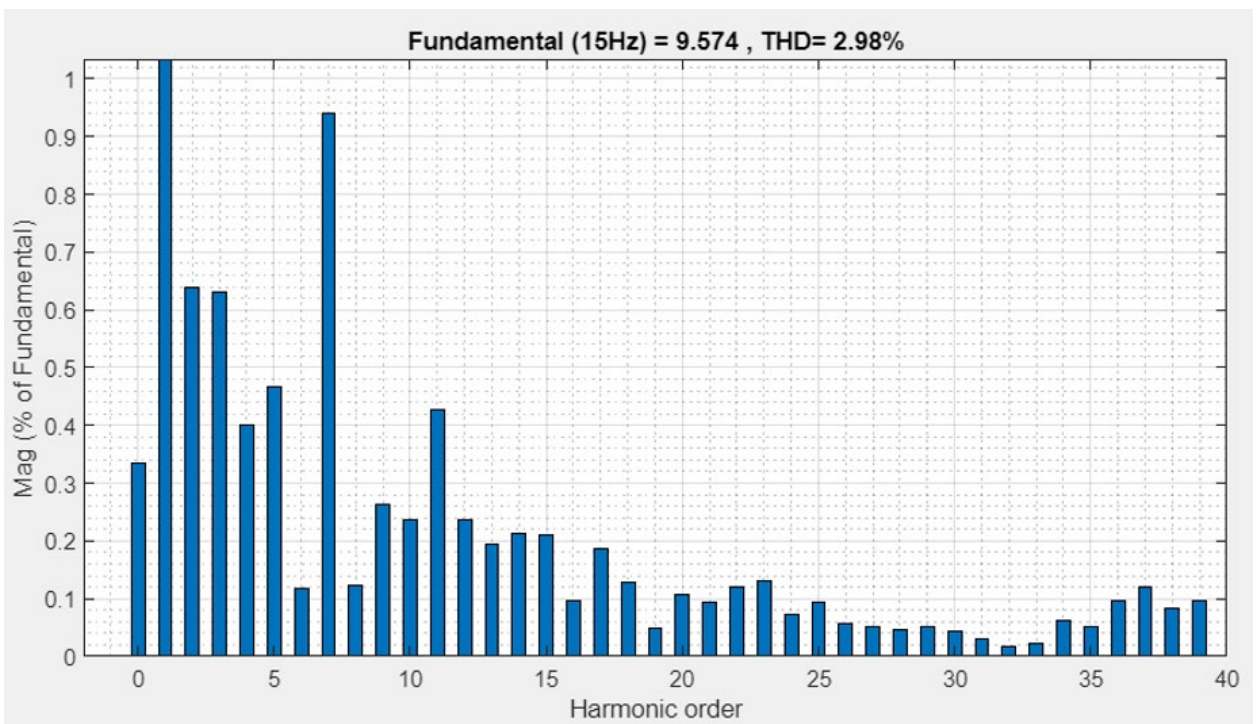
б)

Рис. 7.9. Підсумки симуляції струму роторної обмотки

На рис. 7.10 зображено отриману посередством комп'ютерної імітаційної моделі осцилограму струму ротора асинхронного генератора та відповідний спектр гармонік. Видно, що при зміні швидкості обертання ротора відбувається зсув частоти струму відносно основної гармоніки.

a)



б)

Рис. 7.10. Підсумки симуляції струму статорної обмотки протягом одного циклу

Отже, на основі дослідження форми струмів і їх гармонічного спектру можна визначити вплив варіації швидкості обертання на характеристики електричних процесів у системі та підтвердити достовірність створеної моделі.

Якщо активна компонента роторного струму асинхронного двигуна була б повністю переважаючою, його функціонування практично не відрізнялося б від



