

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 заводу металорізального інструменту»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ–22мб,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ Арсеній ЛИСЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Василь ЗІНЗУРА

« ____ » _____ 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

Лисенка Арсенія Віталійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання заводу металорізального інструменту

Design of the power supply system of a metal cutting tool factory

2. Керівник роботи Зінзура Василь Васильович, канд. техн. наук, доцент

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

3. Строк подання роботи до захисту 03.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розробка системи електропостачання заводу металорізального інструменту. 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>2.04-12.04</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>27.05-02.06</i>	

Дата видачі завдання
«___» _____ 2025 р.

Підпис керівника _____

Василь ЗІНЗУРА

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2025 р.

Підпис здобувача _____

Арсеній ЛИСЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 76 с.; 33 рис.; 21 табл.; 5 джерел

Лисенко А. В. Проектування системи електропостачання заводу металорізального інструменту. – Рукопис.

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

Дана робота присвячена створенню ефективної системи електропостачання для промислового підприємства, що спеціалізується на виробництві металорізального інструменту.

У процесі проектування було здійснено комплексний аналіз електричних навантажень підприємства, визначено оптимальні параметри графіків споживання електроенергії, проаналізовано режими роботи реактивної потужності та досліджено характеристики короткого замикання в електричній мережі. Отримані результати розрахунків стали основою для обґрунтованого вибору компонентів високовольтної електричної системи виробництва.

Розроблена електромережа забезпечує дотримання ключових технічних стандартів промислового електропостачання. Система характеризується високими показниками надійності роботи, що гарантує безперебійне функціонування технологічного обладнання.

Ключові слова: розрахункові навантаження, електрична мережа, графіки навантажень

ABSTRACT

Qualification work: 76 p.; 33 Fig.; 21 tables; 5 sources

Lysenko A. Design of the power supply system of a metal cutting tool factory. – 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.

This work is devoted to the creation of an effective power supply system for an industrial enterprise specializing in the production of metal-cutting tools.

During the design process, a comprehensive analysis of the electrical loads of the enterprise was carried out, the optimal parameters of the electricity consumption schedules were determined, the reactive power operating modes were analyzed, and the characteristics of a short circuit in the electrical network were investigated. The obtained calculation results became the basis for a well-founded selection of components of a high-voltage electrical production system.

The developed electrical network ensures compliance with key technical standards of industrial power supply. The system is characterized by high reliability indicators, which guarantees uninterrupted operation of technological equipment.

Keywords: design loads, electrical network, load graphs

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	8
1.1 Силові електричні навантаження до 1 кВ	8
1.2 Освітлювальні електричні навантаження.....	9
1.3 Силові електричні навантаження вище 1 кВ	10
1.4 Графіки електричних навантажень заводу	15
РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	20
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ	22
3.1 Схема зовнішнього електропостачання.....	22
3.2 Схема внутрішнього електропостачання	25
РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	27
4.1 Баланс реактивної потужності.....	27
4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення компенсуючих пристроїв	28
РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА	31
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ	32
6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень	32
6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ.....	39
6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....	41
6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб	42
РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ	44
7.1 Загальний опис та характеристика фотоелектричних насосних станцій	44
7.2 Визначення характеристик електромеханічного комплексу	51
7.3 Методика розрахунку Г-подібної та Т-подібної схеми заміщення	55
7.4 Створення системи управління електричним приводом	57
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ						
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				<i>Лім.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>	
<i>Розроб.</i>		<i>Лисенко А.В.</i>			Проектування системи електропостачання заводу металорізального інструменту Design of the power supply system of a metal cutting tool factory			6	76	ЦНТУ гр. ЕЕ-22мб	
<i>Перев.</i>		<i>Зінзура В.В.</i>									
<i>Н. контр.</i>		<i>Зінзура В.В.</i>									
<i>Затвер.</i>		<i>Плешков П.Г.</i>									

ВСТУП

Дане дослідження спрямоване на створення ефективної електроенергетичної інфраструктури для підприємства з виробництва металорізального інструменту.

Забезпечення надійного енергопостачання промислових об'єктів набуває критичного значення в сучасних умовах господарювання. Електроенергія становить основу для стабільного функціонування технологічних ліній, верстатного парку та допоміжного устаткування. Тому якісне та безаварійне постачання електрики визначає рівень виробничої потужності й економічну ефективність всього виробничого комплексу.

Заводи металорізального інструменту характеризуються високими вимогами до якості електропостачання через специфіку технологічних процесів. Виробництво свердел, фрез, різців та іншого ріжучого інструменту потребує точного контролю параметрів обробки, що досягається за допомогою сучасних станків з ЧПК. Такі верстати особливо чутливі до коливань напруги та частоти в електромережі.

Сучасні системи електропостачання промислових підприємств повинні відповідати вимогам енергоефективності згідно з міжнародними стандартами ISO 50001. Це передбачає впровадження інтелектуальних систем управління енергоспоживанням, використання компенсаторів реактивної потужності та застосування енергозберігаючих технологій.

									Арк.
									7
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					

Таблиця 1.3. Силові навантаження вище 1 кВ

Назва	N спож шт	P одн.сп.		P сум, кВт	m	K _в	cos φ	tg φ	Сер. зм. нав.		n _{эф}	K _р	Розрах навант.			
		мін, кВт	мак, кВт						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _{розр} , кВт	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА	
ТП1, ТП2																
Заготівельний цех																
сілове:	90	2	150	2395	75,0	0,30	0,75	0,88	718,5	633,66	32	1,31	944,55	633,66	1137,41	
освітлювальне:									21,58				6,15	5,42		
Всього:									740,08	633,66			950,7	639,08	1145,54	
Цех циліндричних свердел																
сілове:	50	1	90	2790	90,0	0,20	0,65	1,17	558	652,37	50	1,33	741,73	652,37	987,8	
освітлювальне:									16,76				3,18	3,72		
Всього:									574,76	652,37			744,91	656,09	992,65	
Цех мечиків																
сілове:	50	3	50	2870	16,7	0,23	0,68	1,08	660,1	711,75	50	1,30	857,25	711,75	1114,21	
освітлювальне:									33,12				7,24	7,8		
Всього:									693,22	711,75			864,49	719,55	1124,76	
Всього по ТП1, ТП2:																
сілове:	190	1	150	8055	150,0	0,24	0,70	1,03	1936,6	1997,78	107	1,19	2303,1	1997,78	3048,83	
освітлювальне:									71,46				16,57	16,94		
Всього на шинях 0.4 кВ ТП1, ТП2:									2008,06	1997,78			2319,67	2014,72	3072,45	
Врати в трансформаторах:													24,6	129,99		
Кількість трансформаторів: 4																
Номинальна потужність, кВА: 1000																
Коефіцієнт завантаження: Кз = 0,58																
Всього на шинях 10 кВ ТП1, ТП2:													2344,27	2144,71	3177,32	
ТП3																
Цех конічних свердел																
сілове:	50	2,5	400	3990	160,0	0,22	0,67	1,11	877,8	972,6	20	1,52	1333,35	972,6	1650,39	
освітлювальне:									124,99				12,5	2,54		
Всього:									1002,79	972,6			1345,85	975,14	1661,99	
Територія заводу																
освітлювальне:									124,99				12,5	2,54		

Продовження табл. 1.3

Назва	N шт	P одн.сп.		P сум, кВт	m	K _в	cosφ	tgφ	Сер. зм. нав.		n _{эф}	K _р	Розрах. навант.		
		мін, кВт	мак, кВт						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _{розр} , кВт	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА
Всього:									124,99	0			12,5	2,54	12,76
Всього по ТПЗ:															
силове:	50	2,5	400	3990	160	0,22	0,67	1,11	877,8	972,6	20	1,52	1333,35	972,6	1650,39
освітлювальне:									249,98				25	5,08	
Всього на шинах 0.4 кВ ТПЗ:									1127,78	972,6			1358,35	977,68	1673,61
Врати в трансформаторах:													15,05	78,74	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															
Коефіцієнт завантаження: Kз = 0,68															
Всього на шинах 10 кВ ТПЗ:													1373,4	1056,42	1732,7
ТП4															
Цехплашок															
силове:	60	3	30	1170	10	0,24	0,7	1,02	280,8	286,47	60	1,26	354,24	286,47	455,58
освітлювальне:									31,08				7,09	7,23	
Всього:									311,88	286,47			361,33	293,7	465,64
Цех розгортки															
силове:	60	3	50	1020	16,7	0,25	0,7	1,02	255	260,15	41	1,31	335,16	260,15	424,28
освітлювальне:									78				18,52	18,89	
Всього:									333	260,15			353,68	279,04	450,5
Цех збирального інструмента															
силове:	100	4	40	2264	10	0,26	0,73	0,94	588,64	551,1	100	1,19	697,84	551,1	889,21
освітлювальне:									14,34				3,54	3,31	
Всього:									602,98	551,1			701,38	554,41	894,04
Всього по ТП4:															
силове:	220	3	50	4454	16,7	0,25	0,72	0,98	1124,44	1097,72	178	1,14	1279,32	1097,72	1685,72
освітлювальне:									123,42				29,15	29,43	
Всього на шинах 0.4 кВ ТП4:									1247,86	1097,72			1308,47	1127,15	1727,01
Врати в трансформаторах:													14,32	75,08	
Кількість трансформаторів: 2															
Номінальна потужність, кВА: 1000															

Продовження табл. 1.3

Назва	N шт	P одн.сп.		P сум, кВт	m	K _v	cos φ	tg φ	Сер. зм. нав.		n _{эф}	K _p	Розрах навант.			
		мін, кВт	мак, кВт						P _{зм} , кВт	Q _{зм} , квар			P _{розр} , кВт	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА	
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,65																
Всього на шинах 10 кВ ТП4:														1322,79	1202,23	1787,49
ТП5, ТП6																
Цех різьбонарізних головок																
силове:	40	2	15	505	7,5	0,27	0,7	1,02	136,35	139,1	40	1,3	177,39	139,1	225,42	
освітлювальне:									114,53				29,38	29,97		
Всього:									250,88	139,1			206,77	169,07	267,09	
Цех нестандартного інструменту																
силове:	20	5	15	285	3	0,3	0,65	1,17	85,5	99,96	20	1,41	120,71	99,96	156,73	
освітлювальне:									95,23				27,14	31,73		
Всього:									180,73	99,96			147,85	131,69	197,99	
Термічний цех																
силове:	100	10	100	2500	10	0,79	0,95	0,33	1975	649,15	50	1,04	2058,95	649,15	2158,86	
освітлювальне:									72,13				54,13	17,81		
Всього:									2047,13	649,15			2113,08	666,96	2215,84	
Насосна																
силове:	20	1	40	214	40	0,6	0,7	1,02	128,4	130,99	11	1,27	163,3	130,99	209,34	
освітлювальне:									18,27				9,32	9,51		
Всього:									146,67	130,99			172,62	140,5	222,57	
Всього по ТП5, ТП6:																
силове:	180	1	100	3504	100	0,66	0,92	0,44	2325,25	1019,2	70	1,08	2502,28	1019,2	2701,88	
освітлювальне:									300,16				119,97	89,02		
Всього на шинах 0,4 кВ ТП5, ТП6:									2625,41	1019,2			2622,25	1108,22	2846,81	
Врати в трансформаторах:													28,71	150,55		
Кількість трансформаторів: 4																
Номінальна потужність, кВА: 1000																
Коефіцієнт завантаження: K _з = 0,66																
Всього на шинах 10 кВ ТП5, ТП6:														2650,96	1258,77	2934,63
Всього по об'єкту																

Продовження табл. 1.3

Назва	N спож шт	P одн.сп.		P сум, кВт	m	K _в	cos φ	tg φ	Сер. зм. нав.		n еф	K _р	Розрах навант.			
		мін, кВт	мак, кВт						P _{з_м} , кВт	Q _{з_м} , квар			P _{розр} , кВт	Q _{розр} , квар	S _{розр} , кВА	
силове:	640	1	400	20003	400	0,31	0,78	0,81	6264,09	5087,3	100	1,16	7269,21	5087,3	8872,54	
освітлювальне:									745,02				190,69	140,47		
Всього:									7009,11	5087,3			7459,9	5227,77	9109,32	
Втрати в трансформаторах:													82,67	434,36		
Всього по об'єкту:													7542,57	5662,13	9431,33	
Всього по об'єкту 10 кВ: tgf = 0,75													7542,57	5662,13	9431,33	
Попереднє значення Q _{кп}																
Всього з урахуванням попередн. комп.													7542,57	1131,39	7626,95	

Таблиця 1.5. Результати розрахунків доб. графіків

№	Зим. дні						Літн. дні					
	Роб. дні			Вих. дні			Роб. дні			Вих. дні		
	$P_{др}$ кВт	$Q_{др}$ квар	$S_{др}$ кВА	$P_{др}$ кВт	$Q_{др}$ квар	$S_{др}$ кВА	$P_{др}$ кВт	$Q_{др}$ квар	$S_{др}$ кВА	$P_{др}$ кВт	$Q_{др}$ квар	$S_{др}$ кВА
1	3545	430	3571	3243	758	3330	3013	365	3035	2757	644	2831
2	3093	464	3128	3243	758	3330	2629	394	2658	2757	644	2831
3	3017	498	3058	3243	758	3330	2565	423	2600	2757	644	2831
4	3017	430	3047	3243	758	3330	2565	365	2591	2757	644	2831
5	4073	554	4111	3243	758	3330	3462	471	3494	2757	644	2831
6	3998	509	4030	3243	758	3330	3398	433	3425	2757	644	2831
7	6336	667	6371	3243	758	3330	5386	567	5416	2757	644	2831
8	6789	848	6842	3243	758	3330	5770	721	5815	2757	644	2831
9	7543	1131	7627	1961	588	2047	6412	961	6484	1667	500	1740
10	7543	1131	7627	1961	588	2047	6412	961	6484	1667	500	1740
11	6864	792	6910	1961	588	2047	5835	673	5874	1667	500	1740
12	6110	679	6148	1961	588	2047	5193	577	5225	1667	500	1740
13	6562	826	6614	1961	588	2047	5578	702	5622	1667	500	1740
14	7090	848	7141	1961	588	2047	6027	721	6070	1667	500	1740
15	7543	905	7597	1961	588	2047	6412	769	6458	1667	500	1740
16	7543	848	7591	1961	588	2047	6412	721	6452	1667	500	1740
17	6412	882	6472	1961	588	2047	5450	750	5501	1667	500	1740
18	6034	735	6079	3243	758	3330	5129	625	5167	2757	644	2831
19	4601	520	4630	3243	758	3330	3911	442	3936	2757	644	2831
20	4375	622	4419	3243	758	3330	3719	529	3756	2757	644	2831
21	3394	554	3439	3243	758	3330	2885	471	2923	2757	644	2831
22	3847	543	3885	3243	758	3330	3270	461	3302	2757	644	2831
23	3847	452	3873	3243	758	3330	3270	385	3293	2757	644	2831
24	3696	520	3732	3243	758	3330	3142	442	3173	2757	644	2831

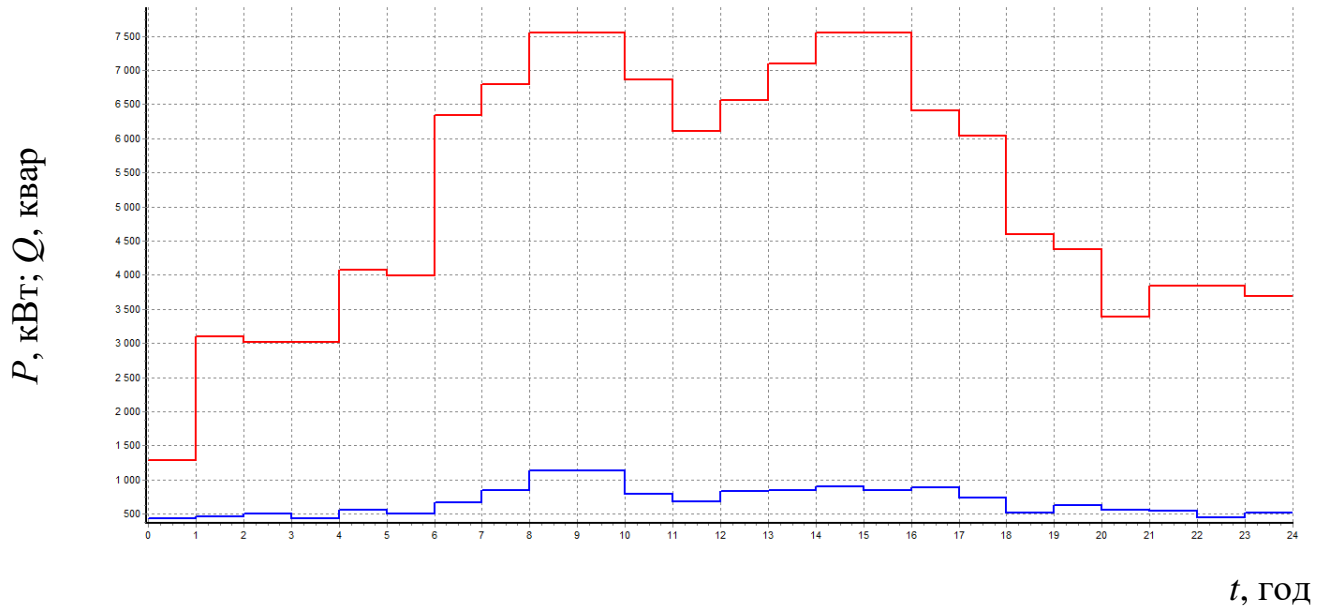


Рис. 1.1. Добові графіки (з. р.)

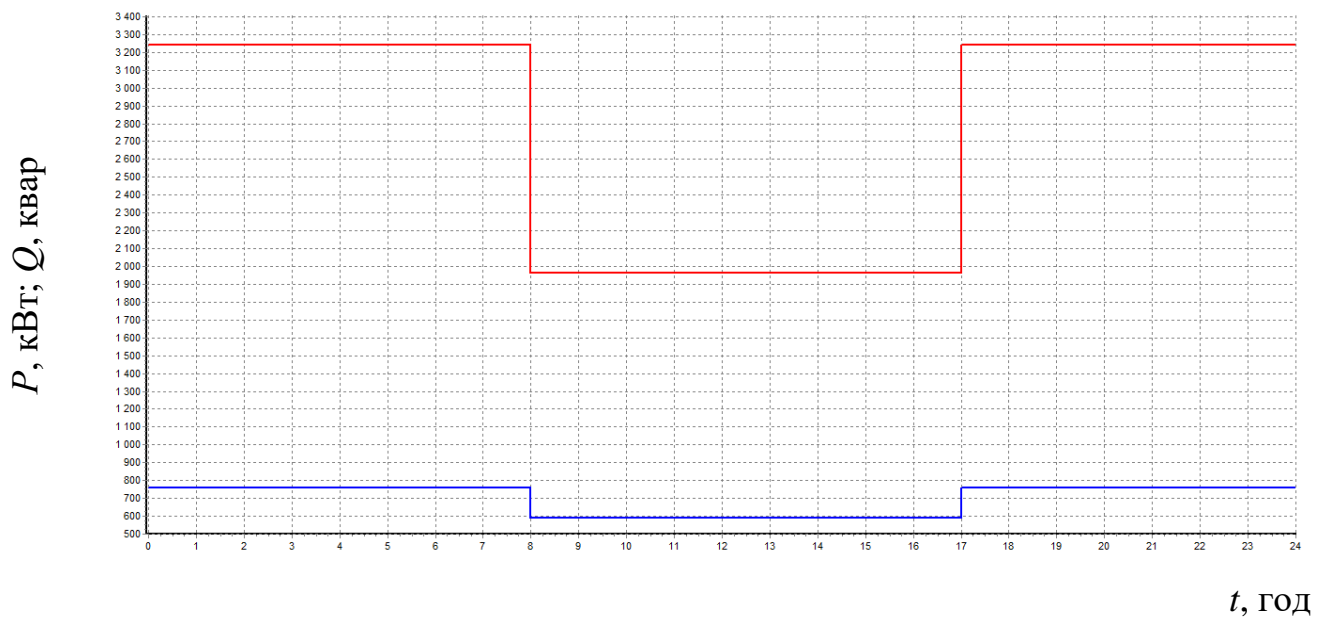


Рис. 1.2. Добові графіки активн. (з.в.)

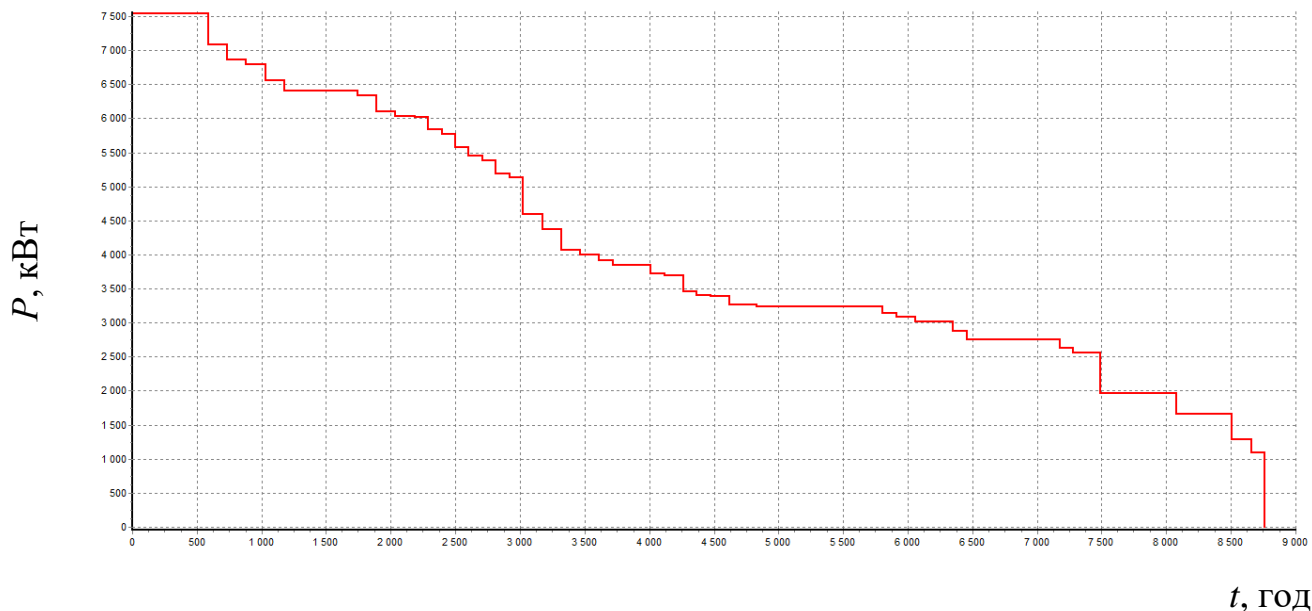


Рис. 1.5. Річний графік за тривалістю

Таблиця 1.6. Результати розрахунку графіків

№	Назва параметру	Знач.	Од. вим.
1	$S_{розр}$	7627,32	МВА
2	$W_{зим.роб.}$	18650184	кВт·год
3	$V_{зим.роб.}$	2409036	квар·год
4	$W_{зим.вих.}$	4309110	кВт·год
5	$V_{зим.вих.}$	1083030	квар·год
6	$W_{літн.роб.}$	11323725	кВт·год
7	$V_{літн.роб.}$	1462545	квар·год
8	$W_{літн.вих.}$	2705184	кВт·год
9	$V_{літн.вих.}$	679680	квар·год
10	$W_{річн}$	36988203	кВт·год
11	$V_{річн}$	5634291	квар·год
12	T_m	4905,376	год
13	τ_m	3308,27	год

РОЗДІЛ 2

КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок картограми термічного відділення:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_{\text{осв}} + P_{\text{сил}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{6,15 + 944,55}{3,14 \cdot 0,2}} = 38,9 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360}{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}} = \frac{6,15 \cdot 360}{944,55 + 6,15} = 2,33^\circ$$

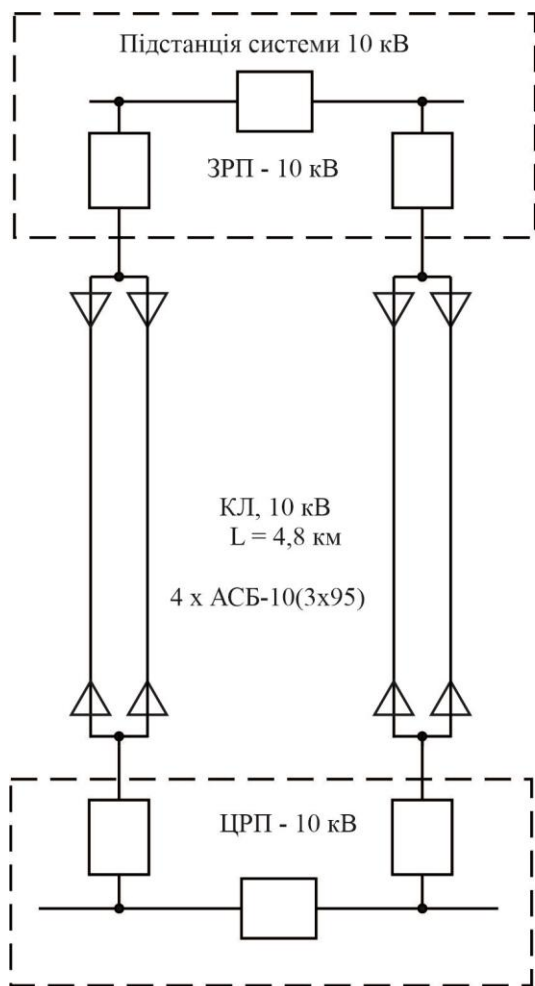
Центр електричних навантажень, м:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^m X_j P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{30612,54}{950,7} = 32,2$$

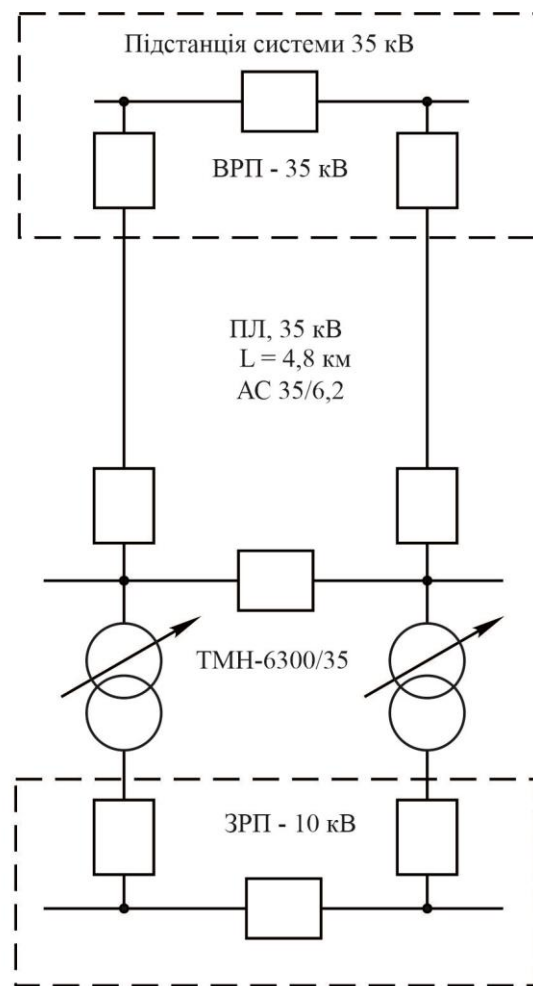
$$Y = \frac{\sum_{j=1}^m Y_j P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{151541,58}{950,7} = 159,4$$

Таблиця 2.1. Картограма ел. навантажень

№	Назва цеху	$P_{\text{спир}}$, кВт	$P_{\text{осв}}$, кВт	$P_{1,}$ кВт	m	R , мм	a , град	x , м	y , м	$P_{1,x}$, кВт·м	$P_{1,y}$, кВт·м
1.	Заготівельний цех	944,55	6,15	950,70	0,2	38,90	2,33	32,20	159,40	30612,54	151541,58
2.	Цех циліндричних свердел	741,73	3,18	744,91	0,2	34,43	1,54	31,20	210,60	23241,19	156878,05
3.	Цех конічних свердл	1333,35	9,78	1343,13	0,2	46,23	2,62	176,40	264,60	236928,13	355392,20
4.	Цех мечиків	857,25	7,24	864,49	0,2	37,09	3,01	40,80	269,60	35271,19	233066,50
5.	Цех плашок	354,24	7,09	361,33	0,2	23,98	7,06	278,40	274,60	100594,27	99221,22
6.	Цех розгортки	335,16	18,52	353,68	0,2	23,73	18,85	398,20	264,60	140835,38	93583,73
7.	Цех збирального інструмента	697,84	3,54	701,38	0,2	33,41	1,82	412,60	83,40	289389,39	58495,09
8.	Цех різьбонарізних головок	177,39	29,38	206,77	0,2	18,14	51,15	50,12	64,06	10363,31	13245,69
9.	Цех нестандартного інструменту	120,71	27,14	147,85	0,2	15,34	66,08	139,00	32,90	20551,15	4864,27
10.	Термічний цех	2058,95	54,13	2113,08	0,2	57,99	9,22	139,00	32,98	293718,12	69689,38
11.	Насосна	163,3	9,32	172,62	0,2	16,58	19,44	295,80	23,00	51061,00	3970,26
12.	Територія заводу	0	12,5	12,50	0,2	4,46	360,00	239,80	143,60	2997,50	1795,00
	Всього по заводу	7784,47	187,97	7972,44						1235563,17	1241742,96



а)



б)

Рис. 3.1. Схеми зовн. електропостачання

$$K_{\text{зав}} = \frac{I_p}{I_{\text{доп}}} = \frac{110,1}{205} = 0,54$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{1\text{км}} l_{\text{сум}} K_{\text{зав}}^2 = 16 \cdot 19,2 \cdot 0,2916 = 89,58 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{кл}} \tau = 44,79 \cdot 3307,87 = 148159,5 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$C_{\text{втр.кл}} = \Delta W_{\text{сум}} C_0 = 148159,5 \cdot 8,87 \cdot 0,001 = 1314,17 \text{ тис.грн.}$$

Таблиця 3.1. Розрахунок капвкладень

№	Назва	Од.	К-сть	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	19,2	48	921,6
2	Траншея	км.	4,8	14,3	68,64
3	Шафи КРП	шт.	2	10,7	21,4
Всього					1814,39

Таблиця 3.2. Поточні витрати

№	Назва	K_j	P_{aj}	C_{aj}	P_{ej}	C_{ej}	C_j
1	КЛ 10 кВ	1717,2	5	46,08	5	46,08	92,16
2	Траншея	75,79	5	3,432	5	3,432	6,864
3	Шафи КРП	21,4	15	3,21	5	1,07	4,28
Всього							103,304

Розрахунок збитку від недовідпуску електроенергії наведено нижче.

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,768 = 0,772 \text{ 1/рік}$$

$$T_{\text{відн}} = \frac{\sum \lambda_i T_{\text{відн}i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,768 \cdot 0,000672)}{0,772} = 0,00067085 \text{ рік}$$

$$K_{\text{пр}} = 1,2K_{\text{прmax}} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

$$K_{\text{а.п}} = \lambda T_{\text{відн}} = 0,772 \cdot 0,000670849740932642 = 0,000517896$$

$$K_{\text{а.пр}} = 0,5\lambda K_{\text{пр}}^2 = 0,5 \cdot 0,772 \cdot 0,00000576 = 0,00000222336$$

$$K_{\text{а.пр}}^{(2)} = K_{\text{а.п}}^2 + 2K_{\text{а.пр}} = 0,00000026821627 + 2 \cdot 0,00000222336 = 0,0000047149$$

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Опори елементів мережі:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{100} = 1,103 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{1,103}{25} = 0,044 \text{ Ом}$$

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,326 \cdot 4,8}{2} = 0,7824 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,083 \cdot 4,8}{2} = 0,2 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 1,103 + 0,2 = 1,303 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,044 + 0,7824 = 0,826 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,826^2 + 1,303^2} = 1,543 \text{ Ом}$$

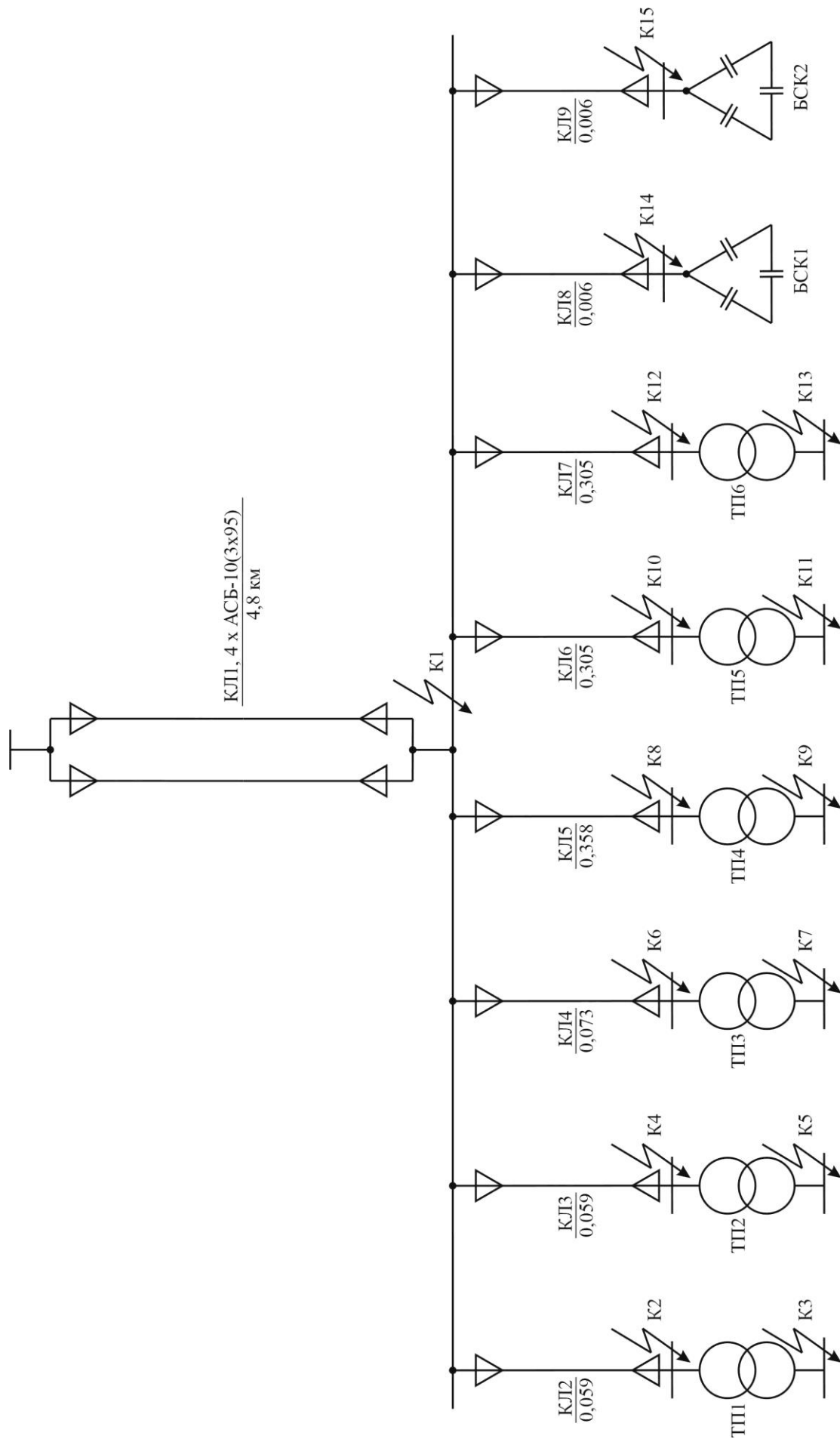


Рис. 6.1. Розрахункова схема

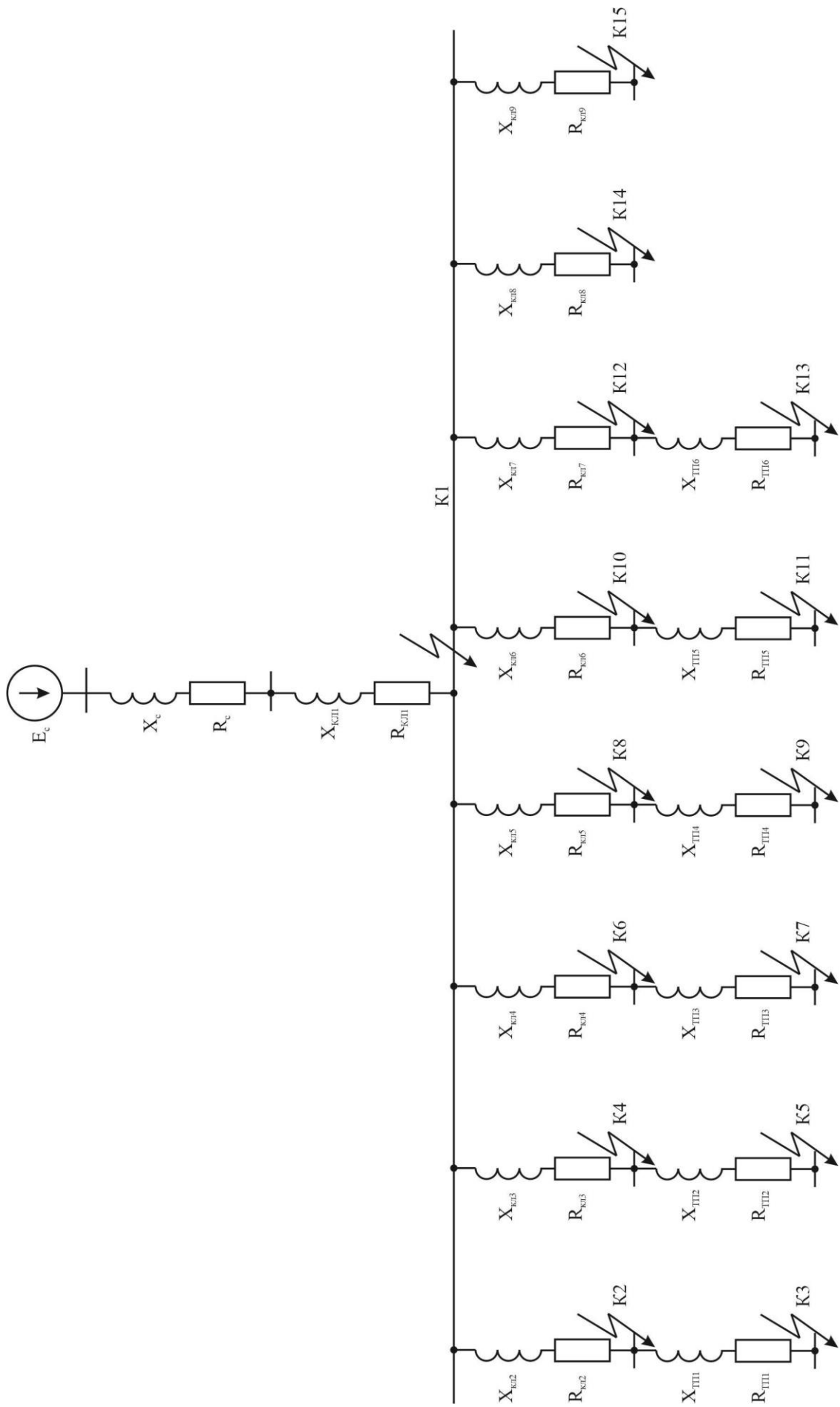


Рис. 6.2. Схема заміщення

Параметри струму к.з. в т. К1:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,543} = 3,93 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,303}{314 \cdot 0,826} = 0,005 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,005}} = 1,135$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial 1}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,135 \cdot 3,93 = 6,31 \text{ кА}$$

Параметри вибору КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном.}} = \frac{1399,06}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 38,46 \text{ А}$$

$$B_k = I''_{K1}{}^2(t_{p.з.min} + T_a) = 3,93^2(1,365 + 0,005) = 21,16 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{21,16 \cdot 10^3} = 48,94 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 70).

Опір КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,059 = 0,026 \text{ Ом}$$

$$X_{кЛ} = x_0 \cdot l_{кЛ} = 0,086 \cdot 0,059 = 0,005 \text{ Ом}$$

Параметри струму к.з. в т. К2:

$$X_{К2} = X_{К1} + X_{кЛ} = 1,303 + 0,005 = 1,308 \text{ Ом}$$

$$R_{К2} = R_{К1} + R_{кЛ} = 0,826 + 0,026 = 0,852 \text{ Ом}$$

$$Z_{К2} = \sqrt{R_{К2}^2 + X_{К2}^2} = \sqrt{0,852^2 + 1,308^2} = 1,561 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1. Розрахунок опорів КЛ

№	Довжина l , км	Пит. опір r_0 , Ом/км	Пит. опір x_0 , Ом/км	Опір R , Ом	Опір X , Ом
1	4,800	0,326	0,083	0,782	0,199
2	0,059	0,443	0,086	0,026	0,005
3	0,059	0,443	0,086	0,026	0,005
4	0,073	0,443	0,086	0,032	0,006
5	0,358	0,443	0,086	0,159	0,031
6	0,305	0,443	0,086	0,135	0,026
7	0,305	0,443	0,086	0,135	0,026
0	0,000	0,443	0,086	0,000	0,000
8, 9	0,006	0,443	0,086	0,003	0,001
10, 11	0,006	0,443	0,086	0,003	0,001

$$I''_{К2} = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3}Z_{К2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,561} = 3,88 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,308}{314 \cdot 0,852} = 0,0049 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0049}} = 1,13$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2} k_{y\partial 2} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,13 \cdot 3,88 = 6,2 \text{ кА}$$

Опір ТМ-1000/10:

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

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

Параметри струму к.з. в т. К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = (1,308 + 6,064) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0107 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = (0,852 + 0,948) \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0026 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0026^2 + 0,0107^2} = 0,011 \text{ Ом}$$

$$I_{K3}'' = \frac{U_{cp.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,011} = 20,99 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0107}{314 \cdot 0,0026} = 0,0131 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0131}} = 1,466$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial 3} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,466 \cdot 20,99 = 43,52 \text{ кА}$$

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів к.з.

№	Опір R, Ом	Опір X, Ом	Струм I _к '', кА	Постійна часу T _а , с	Ударний коеф. k _{уд}	Ударний струм i _{уд} , кА
1	0,8260	1,3030	3,93	0,0050	1,135	6,31
2	0,8520	1,3080	3,88	0,0049	1,130	6,20
3	0,0026	0,0107	20,99	0,0131	1,466	43,52
4	0,8520	1,3080	3,88	0,0049	1,130	6,20
5	0,0026	0,0107	20,99	0,0131	1,466	43,52
6	0,8580	1,3090	3,87	0,0049	1,130	6,18
7	0,0026	0,0107	20,99	0,0131	1,466	43,52
8	0,9850	1,3340	3,66	0,0043	1,098	5,68
9	0,0028	0,0107	20,81	0,0122	1,441	42,41
10	0,9610	1,3290	3,70	0,0044	1,103	5,77
11	0,0028	0,0107	20,81	0,0122	1,441	42,41
12	0,9610	1,3290	3,70	0,0044	1,103	5,77
13	0,0028	0,0107	20,81	0,0122	1,441	42,41
14	0,8290	1,3040	3,92	0,0050	1,135	6,29
15	0,8290	1,3040	3,92	0,0050	1,135	6,29

6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

КЛ до ТП1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp,ном}} = \frac{1399,06}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 38,46 \text{ A}$$

Обираємо 2 х ААШВ-10(3х70).

$$I_p = 38,46 \text{ A} \leq K_n \cdot I_{дон} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ A}$$

$$I_{ог} = 76,92 \text{ A} \leq K_{ан} \cdot K_n' \cdot I_{дон} = 1,35 \cdot 1 \cdot 165 = 222,75 \text{ A}$$

$$B_k = I_{К1}^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 3,93^2 (1,365 + 0,005) = 48,94 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{21,16 \cdot 10^3} = 48,94 \text{ мм}^2$$

Таблиця .6.3. Вибір КЛ

№	$n_{\text{КЛ}},$ шт	$S_{\text{розр}},$ МВА	$I_{\text{р}},$ А	$I_{\text{р.ав.}},$ А	$B_{\text{к}},$ кА ² с	$F_{\text{min}},$ мм ²	Марка КЛ	$I_{\text{доп}},$ А	$K_{\text{п}}$	$K_{\text{п}}I_{\text{доп}},$ А	$K_{\text{ап}}$	$K_{\text{п}}'$	$K_{\text{ап}}K_{\text{п}}'I_{\text{доп}}$ А
1	4	7627	104,84	209,68	21,16	48,94	4 х АСБ-10(3 х 95)	205	0,8	164	1,35	0,9	249,08
2	2	1399,06	38,46	76,92	21,16	48,94	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
3	2	1399,06	38,46	76,92	21,16	48,94	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
4	2	1400,16	38,49	76,98	21,16	48,94	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
5	2	1397,96	38,43	76,86	21,16	48,94	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
6	2	1401,2	38,52	77,04	21,16	48,94	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
7	2	1401,2	38,52	77,04	21,16	48,94	2 х ААШВ-10(3х70)	165	0,9	148,5	1,35	1	222,75
8, 9	1	450	24,74	-	21,16	48,94	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-
10, 11	1	900	49,49	-	21,16	48,94	1 х ААШВ-10(3х70)	165	1	165	-	-	-

6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

Розрахункові параметри вибору ввідного вимикача наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача

Назва параметру	Умова	Розрах. значення
Номинальна напруга, кВ	$U_{вст} \leq U_{ном}$	$10 \leq 11$
Довготр. струм, кА	$I_{р.ф.} \leq I_{ном}$	$442,25 \leq 1000$
Відключаюча здатність: - симетр. струм: - аперіод. склад.: - повний струм:	$I_{нт} \leq I_{в.н.}$ $i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_{ном} I_{в.н.}$ $\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н.в.} (1 + \beta_{ном})$	$3,93 \leq 20$ $0 \leq 11,31$ $1,41 \cdot 3,93 + 0 < < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$ $5,56 \leq 39,6$
Динамічна стійкість: - симетр. струм: - уд. струм:	$I'' \leq I_{д.ст.}$ $i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{д.ст.}$	$3,93 \leq 52$ $6,31 \leq 132,37$
Термічна стійкість	$B_k \leq I_{т.ном}^2 t_{т.ном}$	$19,26 \leq 1200$

$$\tau = t_{пз. min} + t_{с.с} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 3,93 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,005}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз. max} + T_a) = 3,93^2 (0,042 + 1,2 + 0,005) = 19,26 \text{ кА}^2 \text{ с}$$

Обираємо ВР2-10-20/1000.

6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Схема приєднання ТВП наведена на рис. 6.3.

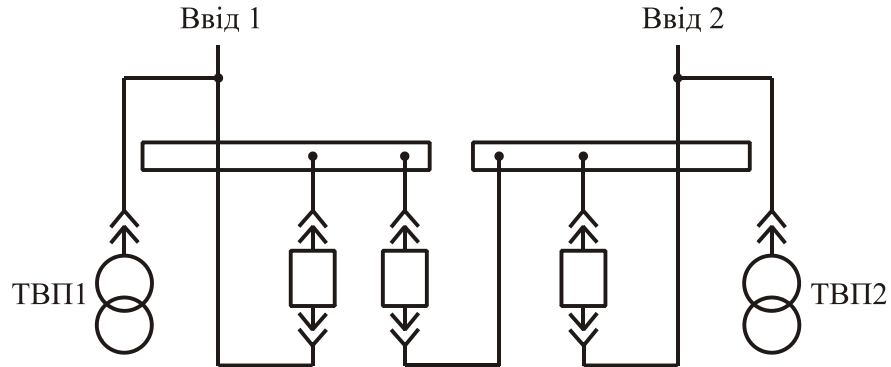


Рис. 6.3. Схема приєднання ТВП

Таблиця 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

№	Назва споживача	P _н , кВт	n, шт.	P _Σ , кВт	cosφ	tgφ	P _{вст} , кВт	Q _{вст} , квар
1.	Пристрої підігріву комірок КРП	0,6	24	14,4	0,97	0,25	14,4	4
2.	Приміщення персоналу	6	3	18	0,97	0,25	18	5
3.	Зовнішнє освітлення	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
4.	Оперативні кола	4,5	4	18	0,97	0,25	18	5
Всього							68,4	19

Сумарне навант. ТВП:

$$S_{\text{вст}} = \sqrt{P_{\text{вст}}^2 + Q_{\text{вст}}^2} = \sqrt{68,4^2 + 19^2} = 70,99 \text{ кВА}$$

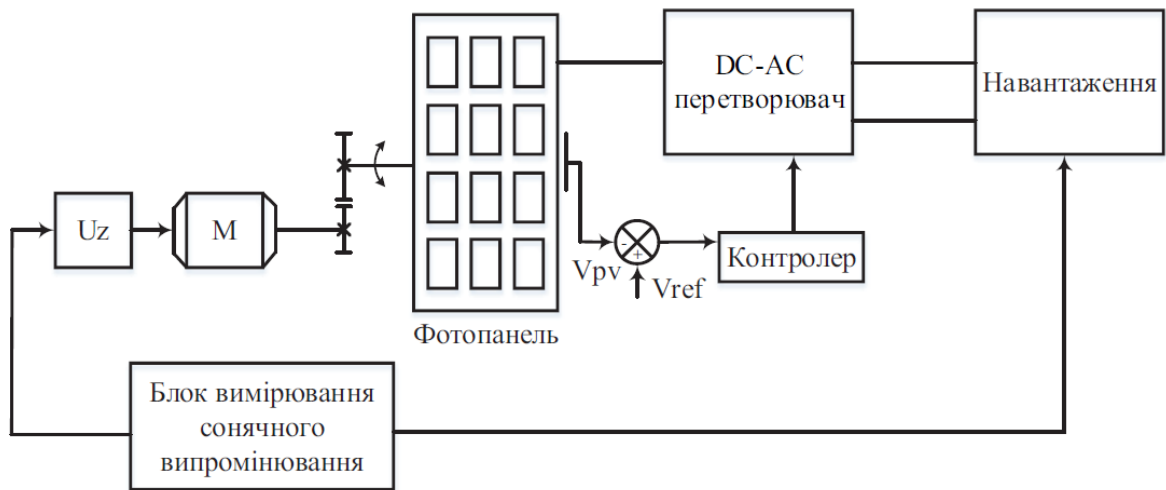


Рис.7.1 – Принципова схема управління фотовольтаїчною установкою з використанням методу сталої напруги

Розглянута система являє собою комплексну фотоелектричну установку для водопостачання, що включає сонячну панель, систему автоматичного орієнтування панелі (блок керування U_z і двигун M), DC-AC перетворювач, трифазний інвертор напруги та асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, механічно з'єднаний з водяним насосом.

Сонячна панель становить серцевину всієї фотоелектричної системи та формується шляхом об'єднання окремих фотоелементів у послідовно-паралельні кластери. Така конфігурація дозволяє досягти необхідних параметрів вихідної напруги та електричної потужності для ефективного функціонування насосної установки. Сучасні кремнієві фотоелементи демонструють ефективність перетворення 18-22%, а найновіші гетероперехідні технології досягають показників 24-26%.

Перетворення постійного струму, генерованого фотопанеллю, у трифазний змінний струм для живлення асинхронного двигуна реалізується за допомогою інвертора напруги на базі IGBT-транзисторів T1-T6. Ці напівпровідникові елементи характеризуються високою швидкістю перемикання (до 20 кГц), низькими втратами провідності та здатністю працювати з високими струмами та напругами.

формування концептуальної основи, ідентифікацію критичних параметрів для моніторингу та керування, підбір оптимальних засобів контролю й регулювання для забезпечення стабільної роботи технологічного процесу, а також комплексне дослідження функціонування електромеханічної системи.

Впровадження автоматизованої фотоелектричної станції сприятиме істотному покращенню робочих умов персоналу, досягненню суттєвої економії енергетичних ресурсів та матеріалів, а також підвищенню загальної продуктивності виробничого процесу.

7.2 Визначення характеристик електромеханічного комплексу

Оскільки досліджувана система характеризується автономністю роботи та не потребує стаціонарного підключення до водопровідних мереж, її застосування має універсальний характер. З огляду на це, доцільно здійснити порівняльний аналіз з наявною аналогічною автономною установкою. Як об'єкт порівняння обрано дизельну насосну станцію ДНУ-144/88.

Дизельні насосні станції широко використовуються в різних галузях промисловості завдяки своїй мобільності та незалежності від електромереж. Модель ДНУ-144/88 відноситься до класу середньопотужних установок, призначених для перекачування води та інших рідин в умовах відсутності стаціонарного енергопостачання.

На основі попередньо визначених параметрів необхідно виконати обчислення потужності приводного двигуна.

Напірна характеристика насосного агрегату визначається згідно з рівнянням:

$$H = H_{ГВ} + H_{ГН} + h_{ВВ} + h_{ВН}, \quad (7.1)$$

$$N \leq 2\text{кВт} - K_{\text{зап}} = 1.5;$$

$$2\text{кВт} < N < 5\text{кВт} - K_{\text{зап}} = 1.5 \div 1.25;$$

$$5\text{кВт} < N < 50\text{кВт} - K_{\text{зап}} = 1.25 \div 1.15;$$

$$50\text{кВт} < N < 100\text{кВт} - K_{\text{зап}} = 1.15 \div 1.05;$$

$$N > 100\text{кВт} - K_{\text{зап}} = 1.05.$$

Розрахунок потужності електродвигуна насоса здійснюється згідно з представленою формулою:

$$P = N \cdot K_{\text{зап}} = 7.1685 \cdot 1.24 = 8.889 \text{ (кВт)}. \quad (7.6)$$

На основі розрахункових параметрів потужності (формула 7.6) було обрано центробіжний насос Pedrollo F 40/250B.

Як приводний механізм використовується асинхронний електродвигун виробництва АВВ, серія М2АА 160МЛА 7.

Щоб визначити кругову (кутову) частоту електрорушійної сили на статорі, використовують залежність:

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ (рад/с)}$$

Обчислення синхронної швидкості обертання здійснюється згідно з методикою:

$$\omega_{\text{xx}} = \frac{\omega_0}{p_n} = \frac{314}{2} = 157 \text{ (рад/с)}$$

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 219.393 = 310.268 \text{ (В)}$$

Піковий струм визначається відповідно до електричних характеристик системи:

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 21.954 = 31.048 \text{ (А)}$$

Амплітуда потокозчеплення статора у режимі неробочого ходу при умові $r_1 = 0$ розраховується згідно з теоретичними основами:

$$\Psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_0} = \frac{310.268}{314} = 0.99 \text{ (Вб)}$$

7.3 Методика розрахунку Г-подібної та Т-подібної схеми заміщення

Методика перетворення параметрів зі схеми заміщення Г-типу в Т-подібну конфігурацію. Схеми заміщення типу Г та Т-подібної зображені на рисунку 7.2 та 7.3 Трансформація характеристик здійснюється згідно з наступним алгоритмом:

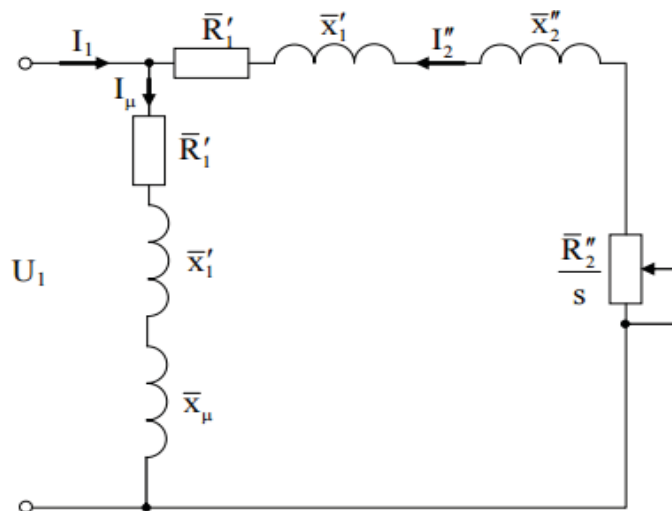


Рис.7.2 – Г-подібне схематичне зображення асинхронного електродвигуна

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{0.8494}{314} = 0.0027 (\text{Гн})$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2'}{\omega_0} = \frac{1.2991}{314} = 0.00413 (\text{Гн})$$

Обчислення загальних індуктивних характеристик статора та ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.1018 + 0.0027 = 0.1045 (\text{Гн})$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.1018 + 0.00413 = 0.10593 (\text{Гн})$$

Використовуючи отримані дані, здійснюємо визначення числових значень параметрів α , β , γ , σ :

$$\alpha = \frac{R_2'}{L_2} = \frac{0.3197}{0.1059} = 3.0188 (\text{Ом} / \text{Гн})$$

$$\sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} = 0.1045 - \frac{0.1018^2}{0.1059} = 0.0066 (\text{Гн})$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \cdot \sigma} = \frac{0.1018}{0.1059 \cdot 0.0066} = 145.649 (1 / \text{Гн})$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta = \frac{0.4297}{0.0066} + 3.019 \cdot 0.102 \cdot 145.65 = 109.86 (\text{Ом} / \text{Гн})$$

7.4. Створення системи управління електричним приводом

Асинхронні електродвигуни належать до найбільш затребуваних типів електричних машин у сучасному світі, виконуючи ключову роль як головні перетворювачі електроенергії у механічну потужність. Їхня основна перевага полягає у відсутності фізичного контакту між статичними та обертовими

Виходячи з цієї закономірності, доцільно обирати електропривод з частотним керуванням.

Практичний досвід демонструє, що для приведення в рух турбомеханізмів необхідно застосовувати квадратичну залежність напруги від частоти $U/f^2 = \text{const}$. Така залежність забезпечує зменшення втрат активної потужності під час навантаження.

$$U_{1m} = (U_{1d}^2 + U_{1q}^2)^{\frac{1}{2}} = \psi^* \sqrt{\alpha_1^2 + (\omega^* p_n)^2} \quad (7.3)$$

$$U_{1m} = \left(\psi^* + (\psi_n^* - \psi_0^*) \frac{\omega^* p_n}{\omega_{on}^*} \right) \sqrt{\alpha_1^2 + (\omega^* p_n)^2} \quad (7.4)$$

Фізичні напруги, що прикладаються до обмоток асинхронного двигуна, визначаються відповідними математичними співвідношеннями:

$$\begin{pmatrix} u_{1a} \\ u_{1b} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_0(t) & -\sin \theta_0(t) \\ \sin \theta_0(t) & \cos \theta_0(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \alpha_1 \psi^* \\ \omega^* p_n \psi^* \end{pmatrix} \\ \hat{\theta} = \omega^* p_n \quad (7.5)$$

Для реалізації даного алгоритму керування необхідно знати параметр α_1 , який визначається на основі стандартних випробувань двигуна. Потреба у здійсненні вимірювання струмів статора та кутової швидкості для реалізації алгоритму відсутня. Для встановлення зв'язку алгоритму частотного керування слід записати вираз модуля напруги статора.

$$\begin{aligned} u_{1d} &= \alpha_1 \psi^* \\ u_{1q} &= \omega^* p_n \psi^* \\ \psi^* &= \psi_0^* + (\psi_a^* - \psi_0^*) \frac{\omega^* p_n}{\omega_{on}^*} \end{aligned} \quad (7.6)$$

Структурна схема алгоритму частотного керування з квадратичною залежністю U від f демонструє основні принципи такого управління на рис. 7.4.

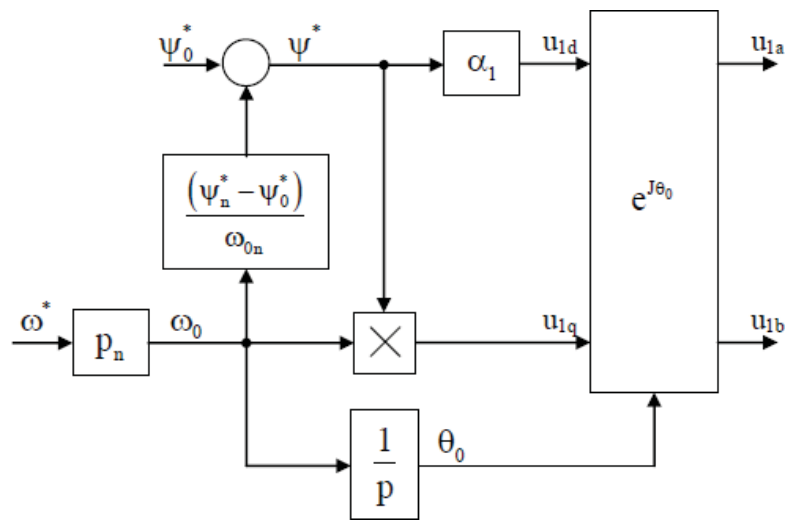


Рис.7.4 – Блок-схема частотного регулювання

Однак, оскільки було прийнято рішення здійснити моделювання реальної та найбільш економічної установки, керування електроприводом є недоцільним, адже двигун працюватиме безпосередньо від мережі.

Як асинхронний двигун буде обрано стандартний блок у програмному середовищі MATLAB/Simulink під назвою Asynchronous Machine.

Фотоелектрична панель представляє собою інтерфейсний пристрій, здатний перетворювати сонячне випромінювання в електричну енергію. Для адекватного моделювання такого пристрою обов'язково потрібно враховувати метеорологічні параметри (рівень сонячної інсоляції та температуру навколишнього середовища) як вхідні змінні. Вихідними параметрами можуть бути струм, напруга або потужність. Будь-яка зміна вхідних величин спричиняє відповідну модифікацію результатів, тому критично важливим є застосування адекватної математичної моделі фотопанелі. Модель повинна демонструвати вплив сонячної інсоляції та температурних умов на параметри фотоелектричного модуля. Досліджувана

модель є однодіодною схемою з послідовними та паралельними резисторами для підвищення точності розрахунків.

Підвищення якості еквівалентної схеми моделі призводить до збільшення кількості невідомих параметрів. Більшість технічних специфікацій виробників не містять достатньої інформації про параметри, залежні від метеорологічних умов (інсоляції та температури). Тому певні припущення щодо фізичної природи поведінки є необхідними для створення математичної моделі фотопанелі.

Основною метою досліджуваної моделі є отримання в будь-який момент часу максимальної потужності, наближеної до експериментальних значень.

Зовнішня вольт-амперна характеристика панелі $I(V)$ являє собою нелінійне рівняння з множиною параметрів, класифікованих таким чином: ті, що надаються виробником, ті, що відомі як фізичні константи, і ті, які потребують обчислення. Іноді розробляються спрощені методики, у яких деякі невідомі параметри не розраховуються. Таким чином вони приймаються як сталі величини.

Наприклад, у деяких дослідженнях включався лише послідовний опір R_s без урахування паралельного для моделі помірної складності. Аналогічне припущення приймається в інших роботах, де паралельний опір вважається дуже великим. Деякі автори нехтують як паралельним, так і послідовним опорами, припускаючи, що послідовний опір надзвичайно малий, а паралельний - надзвичайно великий.

Найпростіша модель фотоелектричної панелі базується на ідеальній схемі з одним діодом, яка демонструє основні принципи перетворення сонячної енергії в електричну. Ця схема (рис.7.5) включає струмове джерело, що генерує фотострум, та діод, який моделює p-n перехід напівпровідникового матеріалу.

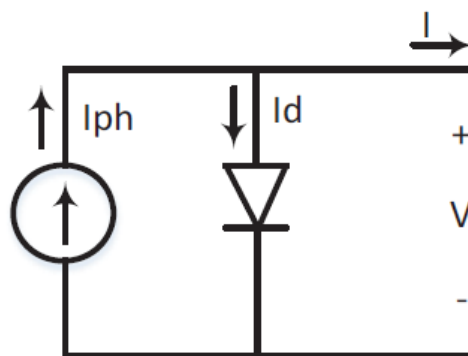


Рис.7.5 – Ідеальна схема з одним діодом

Для більш реалістичного відображення характеристик фотоелектричного елемента в модель вводиться послідовний опір R_s , який враховує внутрішні втрати в матеріалі панелі, контактах та з'єднаннях. Цей опір значно впливає на форму вольт-амперної характеристики, особливо в області високих струмів.

Насправді неможливо знехтувати послідовним опором R_s і паралельним опором R_p через їхній суттєвий вплив на ефективність фотоелемента.

Схема з лише послідовним опором рис. 7.6, має спрощену форму, що робить її простою для моделювання.

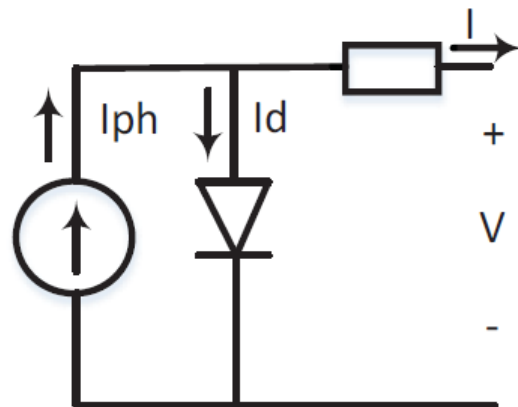


Рис.7.6 – Практична схема з послідовним опором

Однак для повноцінного представлення фотопанелі краще підходить схема з обома типами опорів. рис. 7.7.

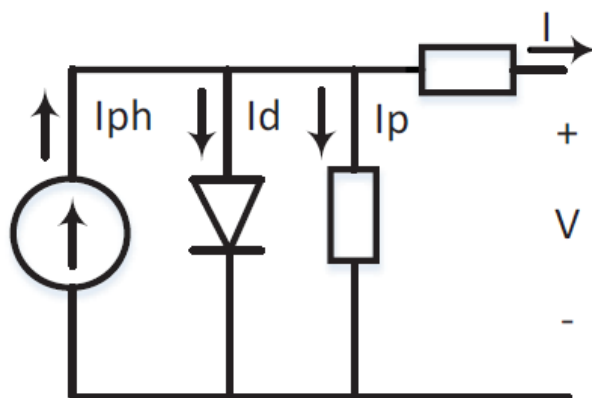


Рис.7.7 - Практичне рішення з послідовним та паралельним опором

Кількість параметрів змінюється відповідно до обраної схеми та припущень. Наприклад, розглядається п'ять параметрів: I_{ph} (фотострум), I_0 (струм насичення), R_s (послідовний опір), R_p (паралельний опір) та A (коефіцієнт ідеальності), які залежать від падаючої сонячної радіації та температури елемента. В інших дослідженнях невідомими параметрами є I_{ph} , I_0 , R_s , γ , де $\gamma = A \cdot N_s$.

Початковий крок моделювання полягає у застосуванні рівняння (7.11) до формули (7.12), що дозволяє визначити фотострум. Далі рівняння (7.12) втілюється за допомогою програмного пакету MATLAB/Simulink. Отримані результати демонструються на рисунку 7.8.

Зворотний струм насичення $I_{0.ref}$ розраховується відповідно до математичного виразу (7.17). Відповідну підсистему можна спостерігати на рисунку 7.7.

На основі параметра $I_{0.ref}$ формується модель I_0 , яка базується на рівнянні (7.20) і відображається на рисунку 7.9.

Математичний вираз (7.8) подається у двох варіантах: один враховує паралельний опір R_p , інший - ігнорує його.

Комплексна модель фотоелектричної панелі показана на рисунку 7.10. Температурні показники та рівень опромінення виступають входними параметрами, які встановлюються в основній підсистемі моделі AXM144-9-166-470. Там же визначаються величини R_s і R_p . Об'єднані підсистеми відображені на рисунку 7.13.

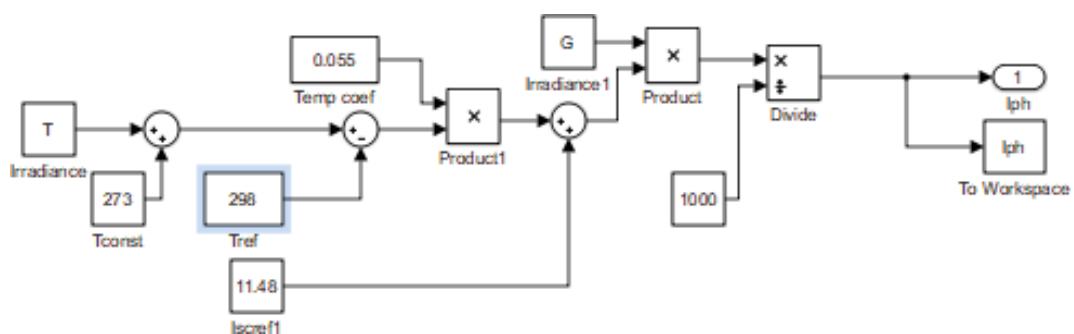


Рис.7.8 – Докладна імплементація I_{ph}

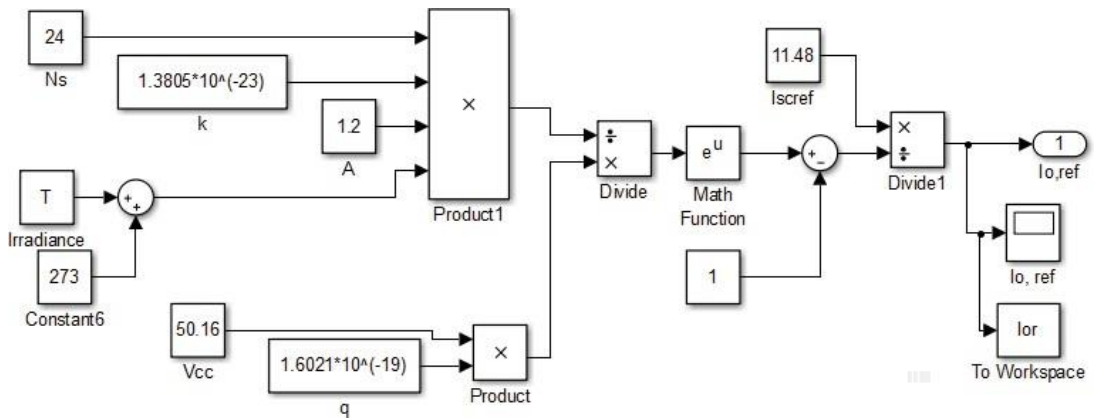


Рис.7.9 – Детальне втілення $I_{0,ref}$

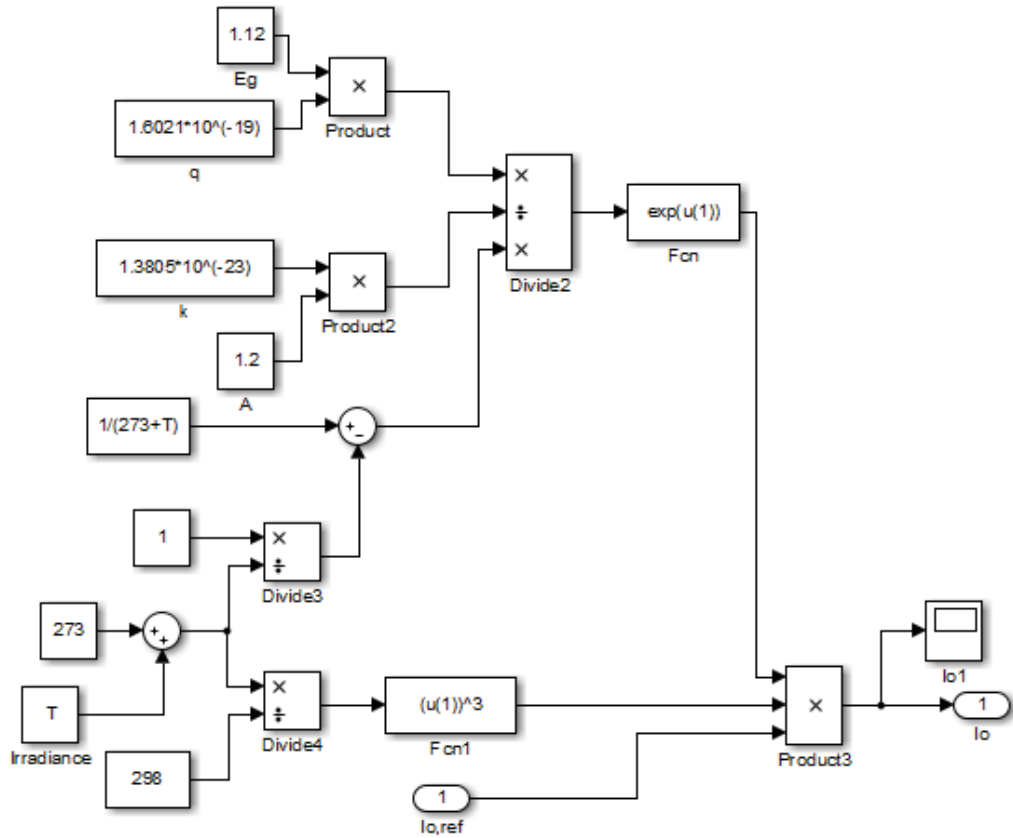


Рис.7.10 – Повна реалізація I_0

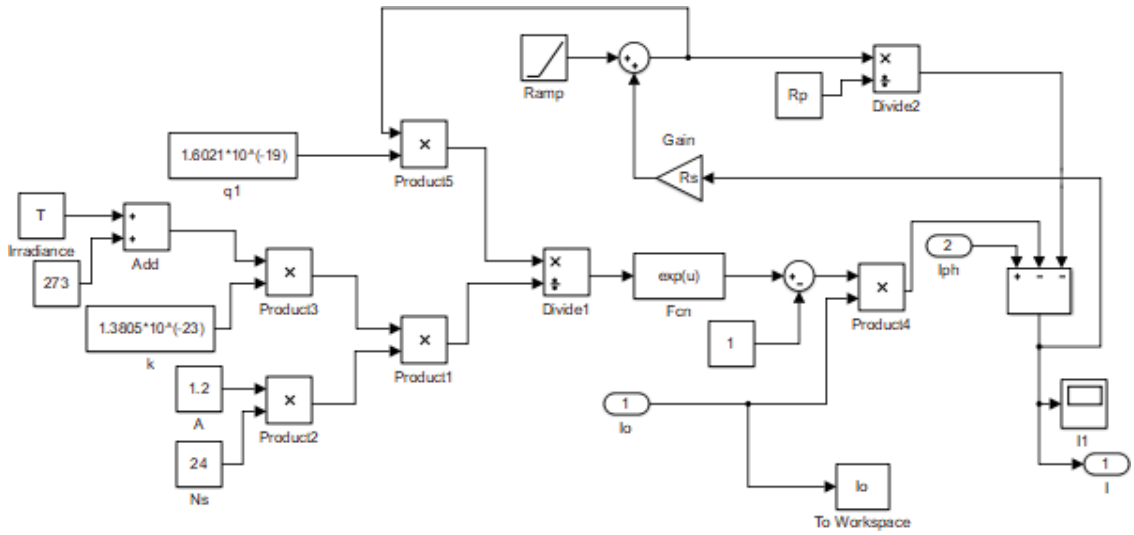


Рис.7.11 – Докладне впровадження I з компонентом R_p

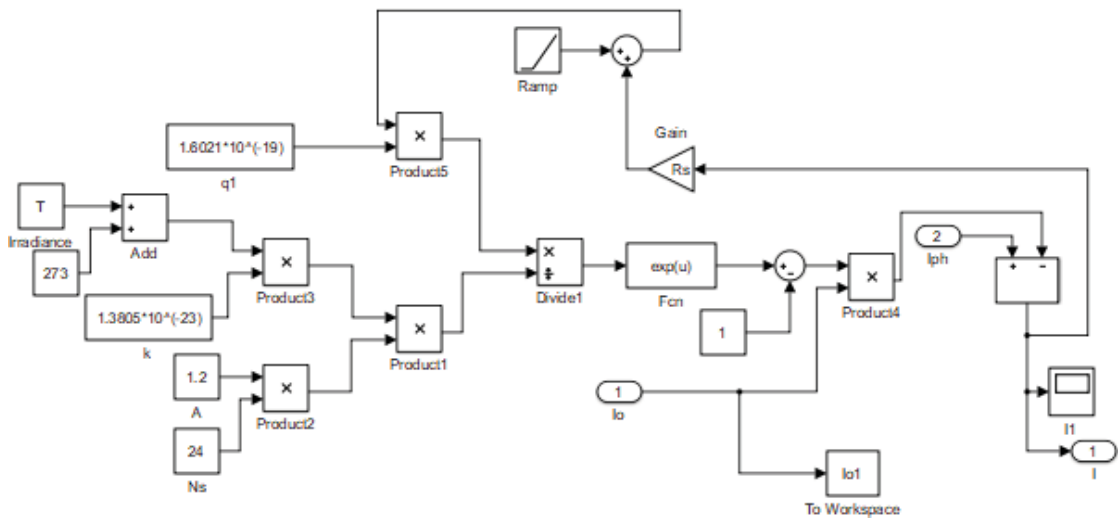


Рис.7.12 Детальне втілення I без елемента R_p

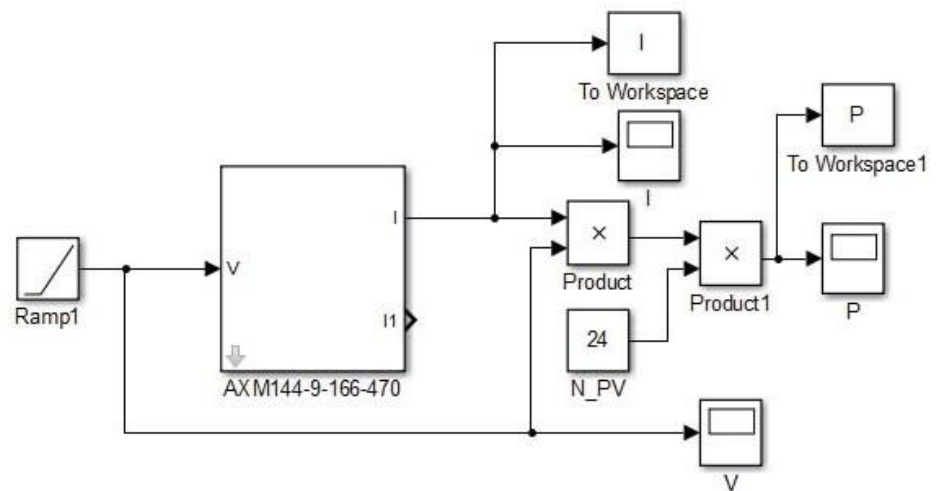


Рис.7.13 – Зовнішнє представлення фотопанельної моделі

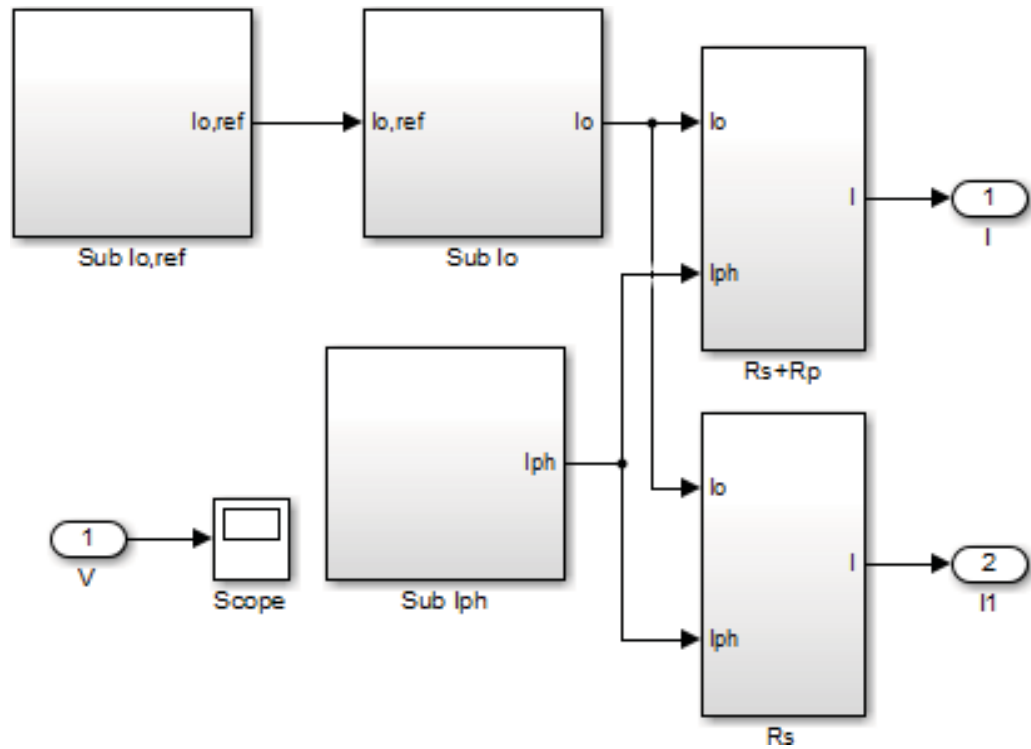


Рис.7.14 – Внутрішня конфігурація підсистеми AXM144-9-166-470

Спочатку вольт-амперна характеристика $I(V)$ розробляється для двох значень: $R_s=0$ та $R_s=0.45$ Ом. Останнє значення послідовного опору визначається виробником панелі. Стосовно рисунків 7.15 та 7.14 варто зазначити, що як струм короткого замикання I_{sc} , так і напруга холостого ходу V_{oc} залишаються незмінними при варіації послідовного опору. Попри це, конфігурація характеристики набуває більш прямокутного вигляду при зниженні величини R_s . Координата максимальної потужності зміщується у правий бік, тому P_{mp} перебуває в оберненій залежності від послідовного опору. Дана закономірність узгоджується з принципом коефіцієнта заповнення:

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (7.22)$$

Оскільки величини I_{sc} і V_{oc} залишаються сталими, коефіцієнт заповнення FF визначається виключно параметром R_{mp} . Ця залежність характерна як для послідовного опору R_s , так і для паралельного опору R_p згідно з рівнянням (7.21).

Розроблена модель з урахуванням R_p демонструє підвищену точність і відмінно підходить для симуляції фотоелектричної панелі АХМ144-9-166-470. Для даного модуля наявні усі необхідні параметри, що дозволяють розрахувати R_s і R_p . Ці значення були імплементовані в деталізовану модель з R_p , яку зображено на рисунку 7.7.

Створена модель з врахуванням R_p застосовується для моделювання фотоелектричного модуля за різних умов освітленості та температурних режимів. Вольт-амперні характеристики $I(V)$ показані на рисунку 7.19 через варіацію рівня освітленості в діапазоні 200-1000 Вт/м² за постійної температури. Рис.7.22 демонструє зміну струму відносно температурних коливань при незмінному опроміненні. Подібні залежності наведені також для потужнісних характеристик.

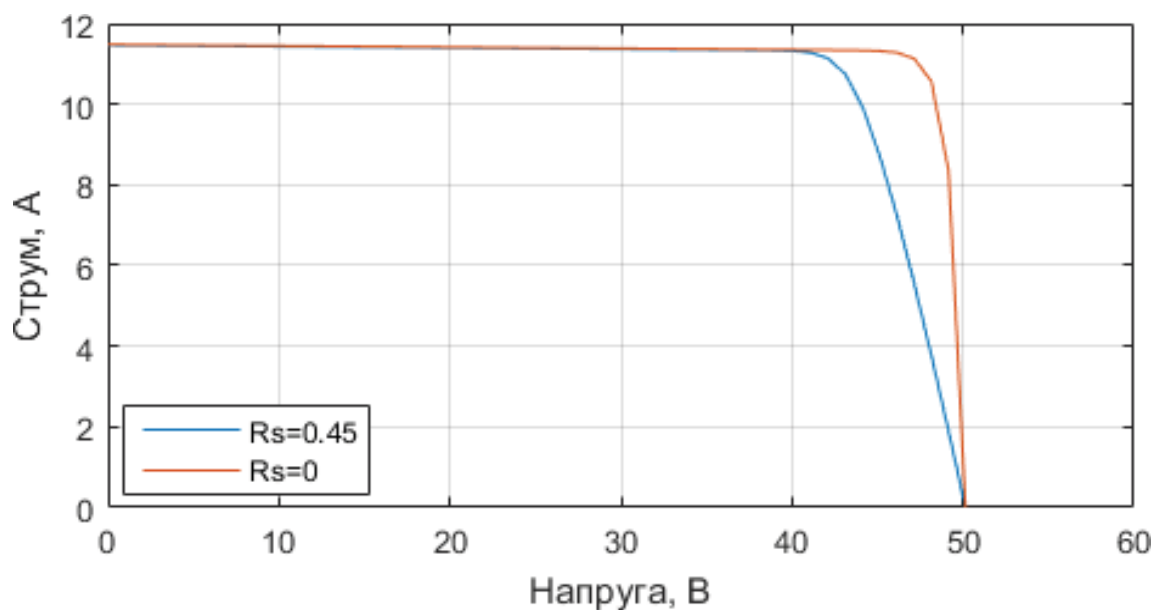


Рис.7.15 – Експлуатаційна характеристика моделі з R_p під час варіації параметра R_s

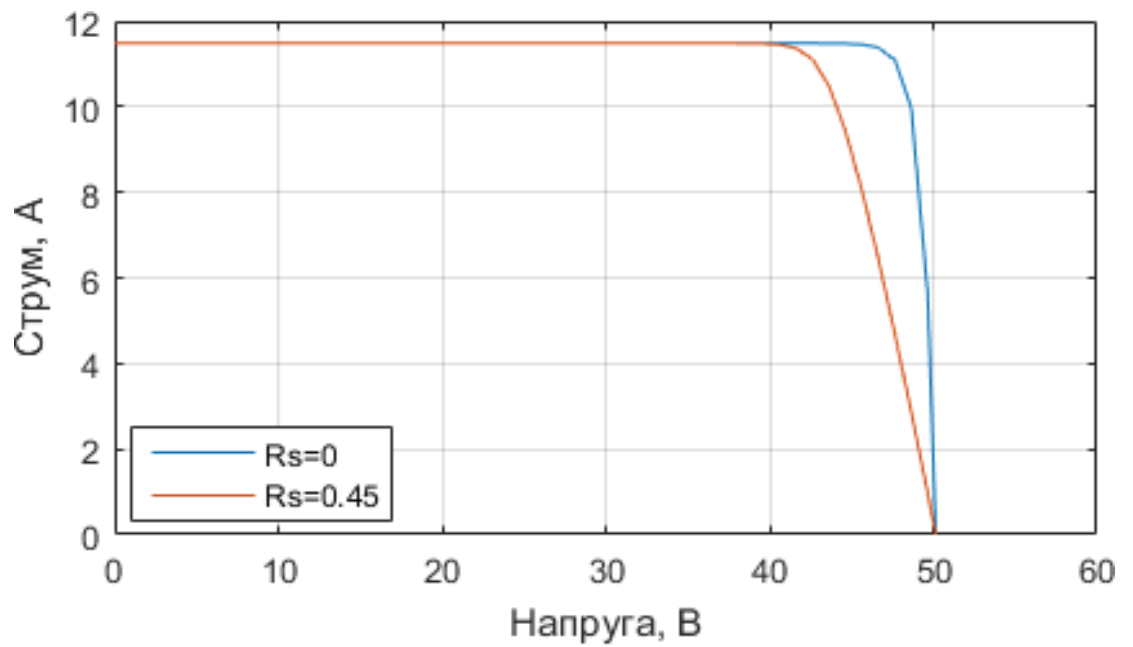


Рис.7.16 – Експлуатаційна властивість моделі без R_p при модифікації показника R_s

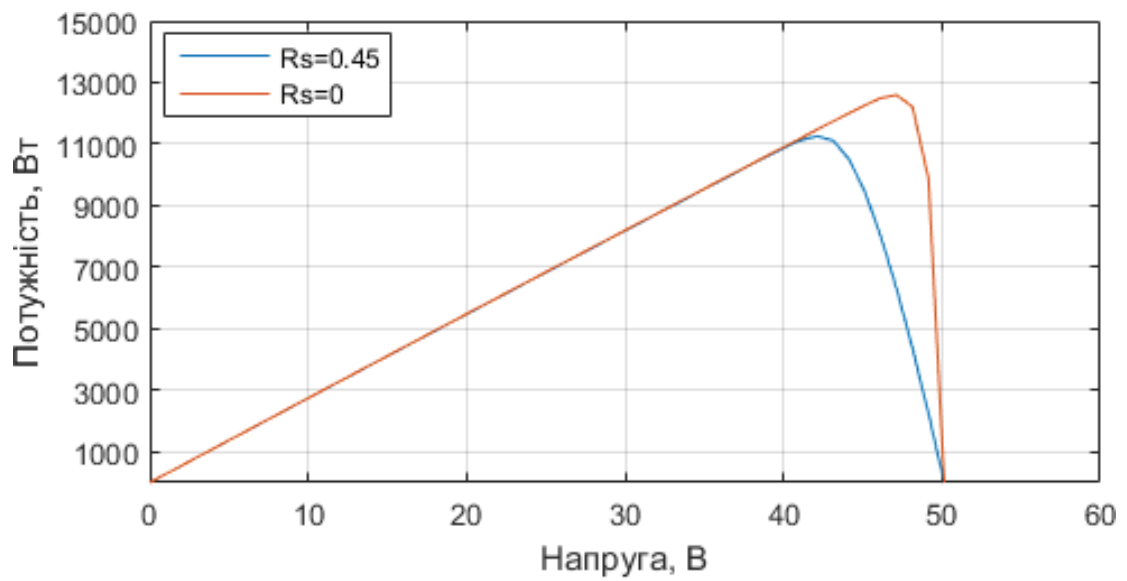


Рис.7.17 – Експлуатаційна залежність моделі з R_p під час корегування параметра R_s

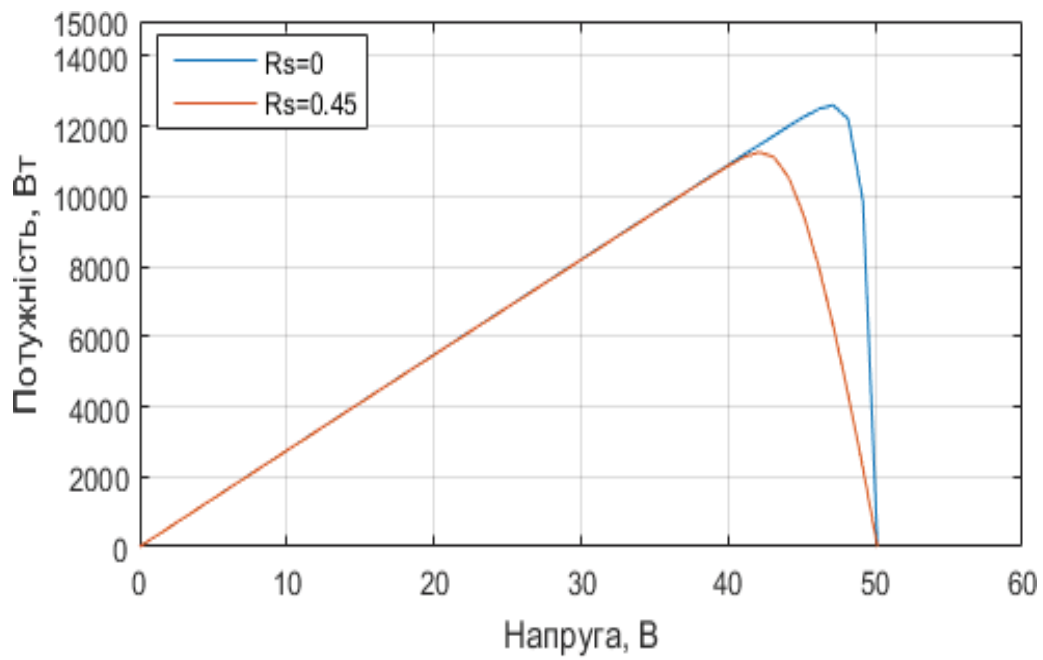


Рис.7.18 – Експлуатаційна характеристика системи без R_p при зміні величини R_s

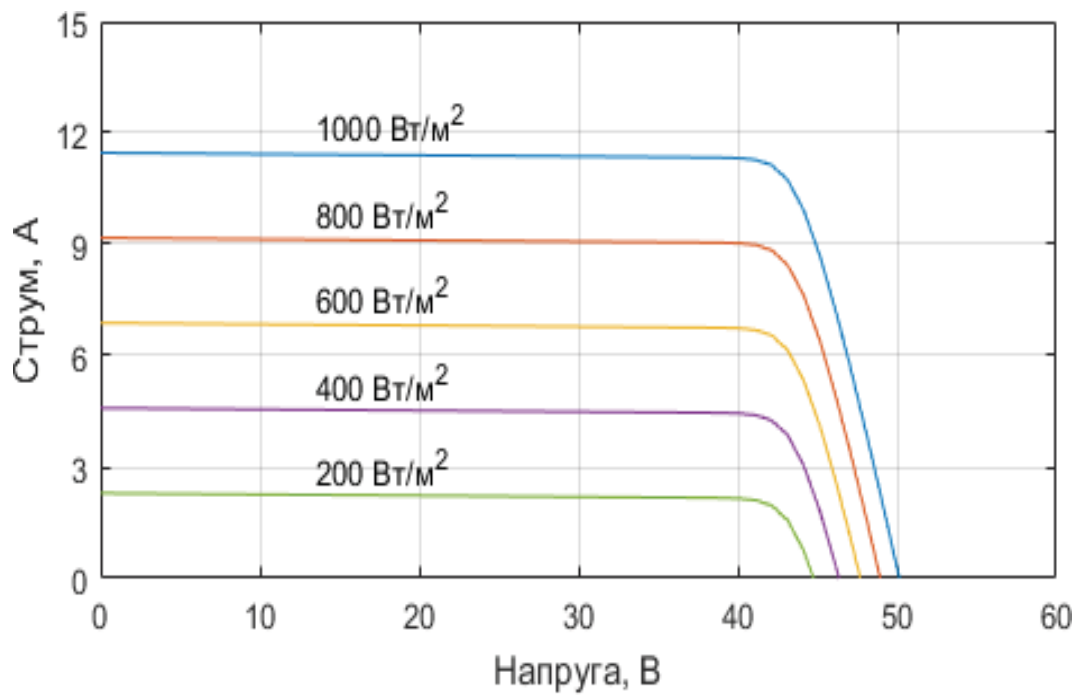


Рис.7.19 – Експлуатаційні властивості моделі з R_p під час варіації інсоляції G

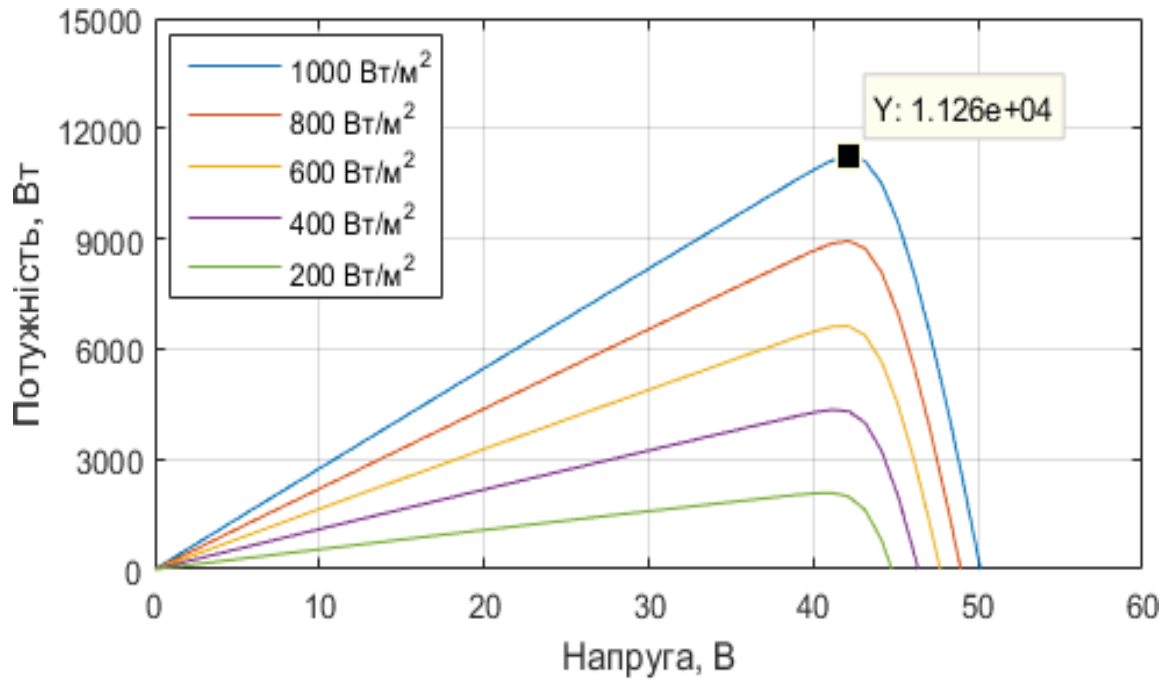


Рис.7.20 – Експлуатаційні залежності системи з R_p при корегуванні опромінення G

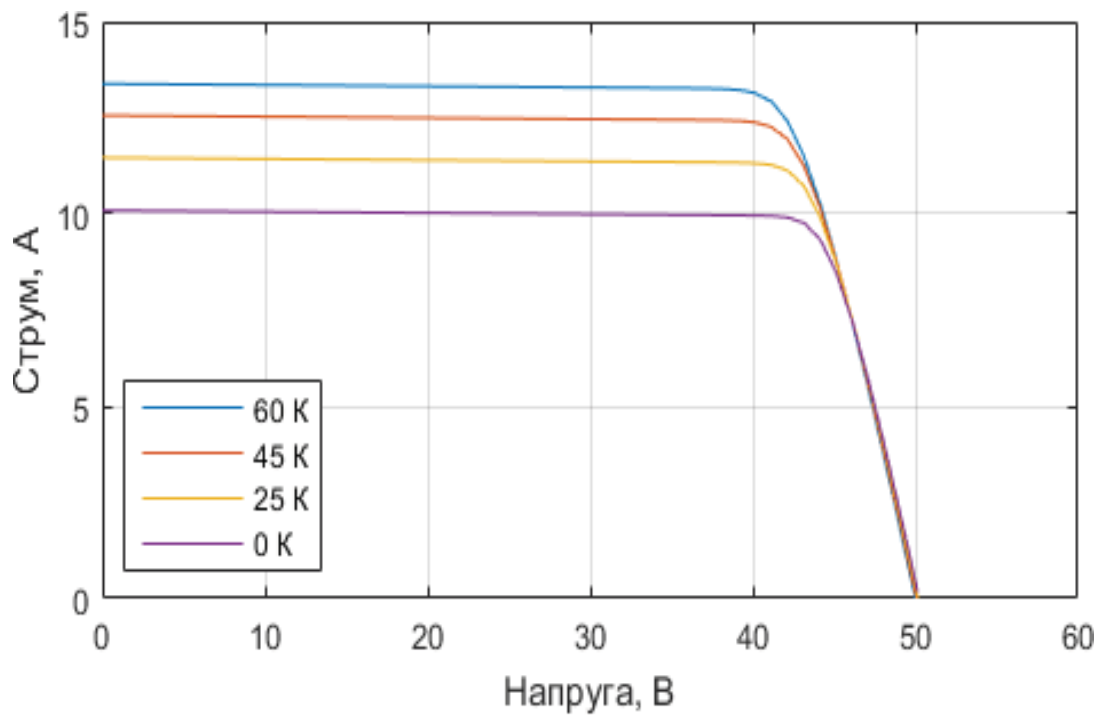


Рис.7.21 – Експлуатаційні властивості моделі з R_p під час модифікації температури T

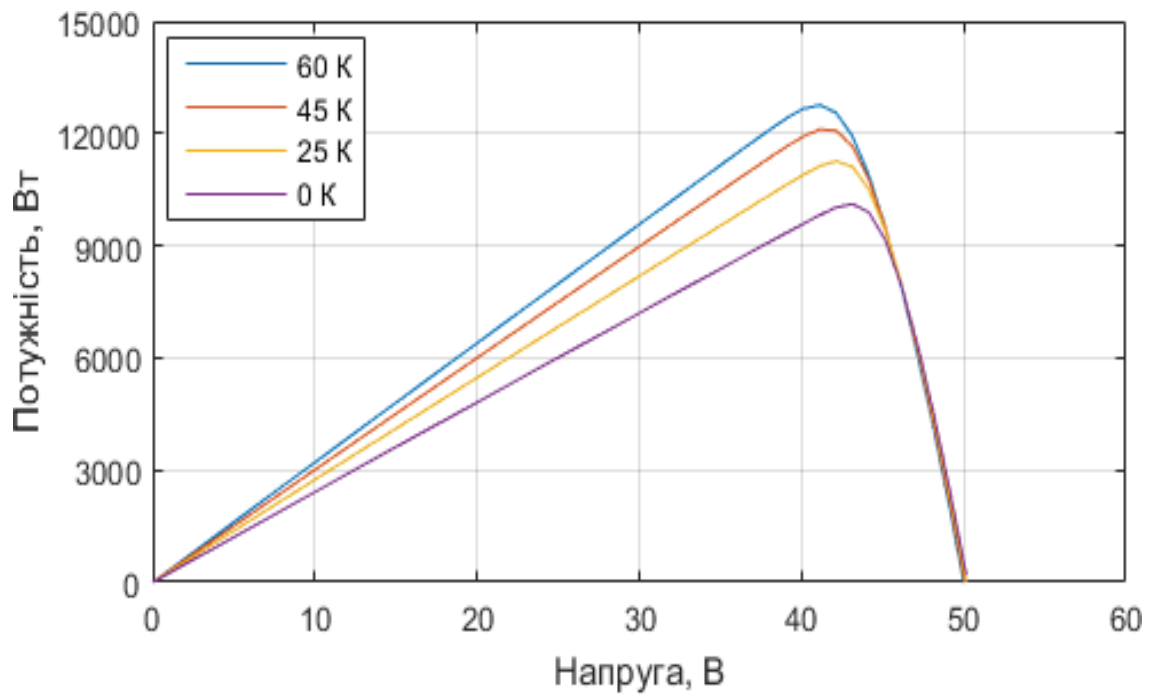


Рис.7.22 – Експлуатаційні характеристики системи з R_p при варіації температурного режиму T

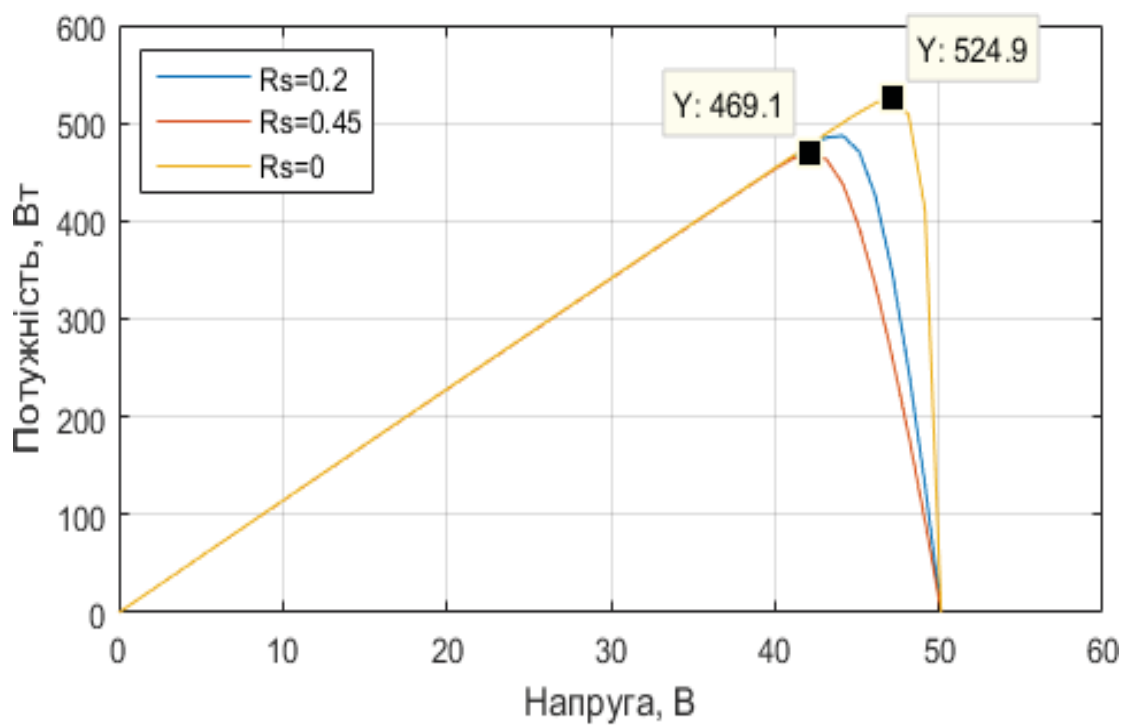


Рис.7.23 – Експлуатаційні властивості для різноманітних R_s у моделі з R_p

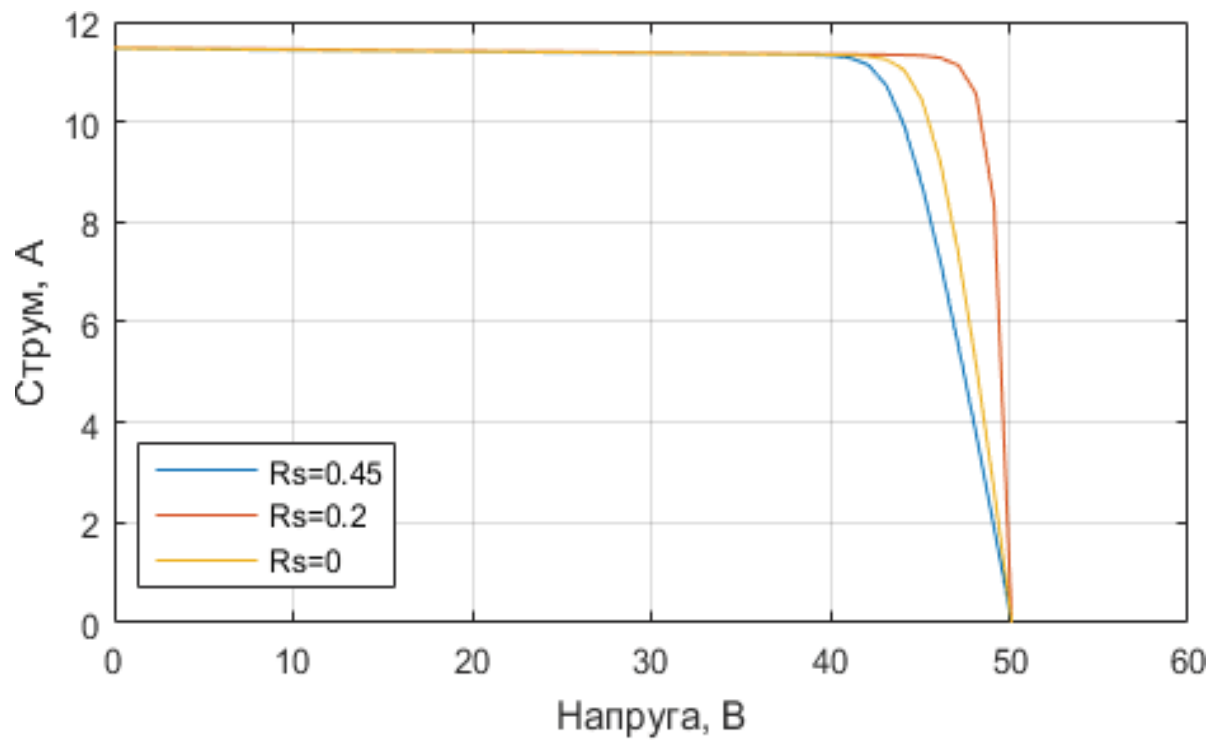


Рис.7.24 – Експлуатаційні залежності для відмінних R_s у системі з R_p

