

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання
Кафедра електроенергетики

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Ігор ЛЕБЕДИНСЬКИЙ

" ____ " _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 6.141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
програми 6.141.00.02 Електротехнічні системи електроспоживання

на тему: «Проектування системи електропостачання приватного котеджу з
використанням альтернативних джерел енергії»

Здобувача групи ЕТз-91с _____ В.І. КОСОГОВ

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

(підпис)

_____ **Владислав КОСОГОВ**
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник канд. фіз.-мат. наук, доцент Михайло ПЕТРОВСЬКИЙ _____

Анотація

с. 94, рис. 6, табл. 20.

Бібліографічний опис: Косошов В.І. Проектування системи електропостачання приватного котеджу з використанням альтернативних джерел енергії [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / В.І. Косошов; керівник М.В. Петровський. – Суми: СумДУ, 2023. – 94 с.

Ключові слова:

Автоматичний вимикач, кабельна лінія, коротке замикання, альтернативне джерело, заземлення, блискавкозахист.

Circuit breaker, cable line, short circuit, alternative source, grounding, lightning protection.

Об'єкт дослідження: електрична мережа класу напруги 0,4 кВ.

Короткий огляд.

Проведено розрахунок силової та освітлювальної мереж електропостачання приватного котеджу. Розраховано електричне навантаження системи електропостачання на 2-х рівнях. Розраховано та обрано перерізи кабелів та проводів силової живильної та розподільної мереж, а також освітлювальної мережі котеджу. Виконано розрахунок струмів трифазного та однофазного короткого замикання в різних точках системи електропостачання. Обрано автоматичні вимикачі для захисту електричних мереж від надструмів та струмів короткого замикання. Здійснений вибір альтернативних джерел живлення будинку: акумуляторних батарей та фотоелектричних панелей. Проведений розрахунок параметрів контуру заземлення для захисту від ураження електричним струмом. Розраховано параметри системи грозозахист котеджу.

					БР 3.6.141.ххх ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

КЗ – коротке замикання

ТП – трансформаторна підстанція

НН – низька напруга

ВН – висока напруга

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

ЛЕП – лінія електропередачі

АВР – автоматичний ввід резерву

ТН – трансформатор напруги

ЗП – заземлюючий пристрій

ЕУВ – електроустановлювальні вироби

ВРП – ввідний розподільчий пристрій

ГРЩ – головний розподільчий щит

ПЗВ – пристрій захисного відключення

ТВ – тривале вмикання

ЕП - електроприймач

СЕП – система електропостачання

					БР 3.6.141.ххх ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
1. Загальні відомості про об'єкт проектування.....	8
2. Розрахунок електричних навантажень.....	13
2.1. Розрахунок силового навантаження на першому рівні.....	14
2.2 Розрахунок силового навантаження на другому рівні.....	18
2.3 Розрахунок пікових струмів.....	25
3. Вибір перерізу провідників.....	27
3.1 Розрахунок перерізів кабелів силової мережі живлення від опори до ВРП 0,4 кВ.....	29
3.2 Вибір перерізу провідників силової мережі від ВРП до ГРЩ 0,4кВ.....	31
4. Розрахунок струмів короткого замикання.....	36
4.1 Розрахунок струмів трифазного КЗ.....	37
4.2 Розрахунок струмів однофазного КЗ.....	43
5. Вибір автоматичних вимикачів.....	49
5.1. Вибір ввідного автомата ВРП.....	52
5.2. Вибір автоматів розподільної мережі.....	55
6. Вибір альтернативних джерел живлення будинку.....	59
7. Розрахунок заземлюючого контуру приватного будинку.....	63
8. Розрахунок системи блискавкозахисту будинку.....	70
Висновки.....	73
Список використаних джерел.....	74

					БР 3.6.141.125 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Косошов В.І.			Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Петровський М.В.				5	95
Консульт					СумДУ, ЕТз-91с		
		Лебединський І.Л.					

*Проектування системи
 електропостачання приватного
 котеджу з використанням
 альтернативних джерел енергії.
 Пояснювальна записка*

Додаток А.....	76
Додаток А1.....	77
Додаток А2.....	78
Додаток А3.....	79
Додаток А4.....	80
Додаток А5.....	81
Додаток А6.....	82
Додаток А7.....	83
Додаток А8.....	84
Додаток В.....	85
Додаток С.....	86
Додаток D.....	87
Додаток D1.....	88
Додаток D2.....	89
Додаток D3.....	90
Додаток D4.....	91
Додаток Е.....	92
Додаток F.....	93
Додаток G.....	94

Вступ

У сучасному світі досить складно уявити приватний будинок без електрики. Неможливо ні приготувати їжу, ні обігріти сам будинок, і взагалі немає комфортного життя. При проектуванні будинку, потрібно забезпечити електрикою котельні, водопостачання та очисні станції, побутові прилади, телекомунікаційне обладнання, системи охорони будинку, опалення та інше.

Деякі прилади потребують резервне живлення, у разі відключення електроенергії від міста. Для безперебійного живлення розеток кабінету, холодильників, водопостачання, опалення та охорони будинку було встановлено сонячні панелі. Цей будинок можна віднести до 1-ї категорії групи навантажень, так як в будинку є безперебійне джерело живлення. Завдяки енергії, накопиченої в акумуляторних батареях, при відключенні електроенергії, інвертор MultiPlus-II 48/5000/70-50 за долю секунди перейде в активний режим. Було передбачено трифазний ввід, який дозволяє підключити потужні прилади. Для захисту електроніки та інших побутових приладів від стрибків напруги, було передбачено монтаж на вводі стабілізаторів напруги Volter-18с, (вхідний діапазон 125-265 В, максимальний струм 80А) на кожен фазу.

Щороку в Україні від ураження електричним струмом гине приблизно 1500 осіб. Найбільша кількість випадків з травмами та смертельними наслідками, трапляється при використанні електроустановок напругою до 1000 В. Однак із загальної кількості смертельних випадків частка електротравм становить 20 – 40%. Для забезпечення безпечної експлуатації електроприладами, було впроваджено двухрівневий захист та системи зрівнювання потенціалів, тобто виконано заземлення.

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Загальні відомості про об'єкт проектування

Приватний будинок знаходиться в північно-східній частині, Охтирського району Сумської області. Розташоване на лівому березі річки Ворскла, за 90 км від м. Суми та за 33 км від залізничної станції Кириківка.

Загальна площа території розташування будинку складає 40 Ар. Найбільш поширений ґрунт на цій площі є чорнозем звичайний. Це село міського типу відноситься до північно-східного кліматичного району з помірно-континентальним кліматом. Середньорічна кількість опадів по району коливається від 500 мм до 590 мм.

Електропостачання будинку здійснюється від Великописарівської трансформаторної підстанції 6/0,4 кВ потужністю 630 кВА, повітряною лінією (проводом СІП 4х16) яка у ВРП переходить на кабельну лінію (кабель ВВГнг 5х10).

Приватний будинок має 2 поверхи, 11 кімнат та горище, загальною площею 314 м². Експлікація приміщень 1 та 2 поверхів зведена до таблиці 1.1. Будинок побудований з SIP (Structural Insulated Panel) – панелей або ще їх називають сендвіч панелі. Цей матеріал потребує високі показники пожежної безпеки, так як це легкозаймисті матеріали. СІП панель являє собою багат шарову структуру з теплоізоляційного матеріалу – самозагасаючий пінополістирол марки ПСБ-С 25, густиною 25 кг/м³, який вклеєний під великим тиском між двох плит ОСП-3 (Орієнтовна стружкова плита) або OSB-3 (Oriented Strand Board).

СІП панелі в поєднанні з дерев'яним каркасом, в якому ці плити грають роль утеплювача, утворюють достатньо міцний, теплий та легкий конструктив. При проектуванні електропостачання, потрібно враховувати, що матеріали з якого виготовлений будинок – легкозаймисті, тому потрібно крім заземлення та

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

групових ПЗВ, встановлювати селекційний (протипожежний) ввідний пристрій захисного відключення.

Таблиця 1.1 – Експлікація приміщень першого та другого поверху

Експлікація приміщень		
№	Приміщення	Площа м ²
2	Передпокій	11,43
3	Кухня – студія	30,97
5	Вітальня	19,65
6	Коридор	20,10
7	Спальня	19,72
8	Ванна кімната	8,87
9	Тамбур	3,79
I	Хол 2 поверх	58,36
II	Гардероб 2 поверх	18,84
III	Балкон (1)	4,68
IV	Спальня (1) 2 поверх	18,84
V	Балкон (2)	1,09
VI	Спальня (2) 2 поверх	19,44
VII	Ванна	8,42
Площа першого поверху		114,53
Площа другого поверху		129,67
Загальна площа будинку		314,11

Живлення будинку здійснюється за допомогою ВРП, в якому виконаний перехід з СІП провода на кабель ВВГнг 5x10. На вводі встановлений автоматичний вимикач Hager 50A/400В MC450A. Для обліку електроенергії використовується лічильник НІК 2303 AP3T.1000.MC.11 3x220/380В (5-120А) трифазний багатотарифний.

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Живлення ГРЩ, який розташований в котельні будинку, здійснюється від ВРП - 0,4кВ, вуличного розташування. Розподільчий щит поділений на декілька видів захисту:

1. Для захисту від короткого замикання та перенавантаження встановлюється автоматичний вимикач. При перевищенні допустимої максимальної величини струму знеструмлюється лінія.
2. Для захисту мешканців будинку від ураження електричним струмом, або від витoku струмів (пробій на корпус) встановлюється диференційний автоматичний вимикач. Також можна поєднувати з автоматичними вимикачами пристрій захисного відключення (ПЗВ) типу АС. При перевищенні значення струму витoku 30мА та 10мА в санвузлах (мокрі групи), ПЗВ перейде в режим спрацювання та розірве коло живлення.
3. Захист від стрибків напруги. Крім встановлених стабілізаторів напруги на вводі, потрібний додатковий захист, в разі виходу з ладу стабілізаторів, ставиться реле напруги на кожен фазу. Якщо напруга в мережі підвищиться/знизиться за допустимі норми (+-20% від напруги 230В), реле розірве коло, і тільки після стабілізації напруги, реле перейде в активний режим та відновить живлення на лінії.

Обмірювальний план, схеми розташування ЕУВ та освітлювальних приладів, розташування прокладених трас наведені у додатках.

Перелік груп споживачів наведено в таблиці 1.2.

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 1.2 – Перелік електрообладнання будинку 1 та 2-го поверхів

№	Повна назва групи	Потужність, P _{ном} кВт	cos φ	К-т викор. Кв
1	2	3	4	5
1	Електрокотел	12	0,9	0,3
2	Розетки гараж	2	0,8	0,2
3	Розетки острів кухня	2	0,8	0,2
4	Бойлер передпокій	1,5	0,9	0,2
5	Бойлер передпокій 2	1,5	0,9	0,2
6	Розетки С/В 1 поверх	2	0,8	0,3
7	Розетки С/В 2 поверх	2	0,8	0,3
8	Холодильник	0,2	0,8	0,8
9	Посудомийна машина	2	0,8	0,8
10	Розетки кухні	2	0,8	0,2
11	Духова піч	2,5	0,8	0,2
12	Свердловина	1,5	0,8	0,6
13	Водопідготовка	1,5	0,8	0,6
14	Газовий котел	0,2	0,9	0,3
15	Розетки спальні 1 пов.	2	0,8	0,2
16	Розетки спальні 2 пов.	2	0,8	0,2
17	Розетки зал 1 поверх	2	0,8	0,2
18	Розетки вітальня + кабінет 2 поверх	2	0,8	0,2
19	Живлення розумний будинок резервір.	0,1	0,9	0,5
20	Живлення розумний будинок 1	0,1	0,9	0,5
21	Живлення розумний будинок 2	0,1	0,9	0,5
22	Живлення розумний будинок 3	0,1	0,9	0,5

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
23	Освітлення кухня	0,2	0,9	0,7
24	Освітлення гараж + коридор	0,2	0,9	0,7
25	Освітлення С/В + спальня 1 поверх	0,2	0,9	0,7
26	Освітлення С/В + кухня 2 поверх	0,2	0,9	0,7
27	Освітлення зал 1 поверх	0,2	0,9	0,7
28	Освітлення коридор 2 поверх	0,2	0,9	0,7
29	Освітлення спальня 2 поверх	0,2	0,9	0,7
30	Освітлення тераса	0,2	0,9	0,7
31	Освітлення фасад 2 поверх	0,2	0,9	0,7

2. Розрахунок електричних навантажень

Для розрахунку електричних навантажень споживачів, потрібно враховувати низку номінальних параметрів: напруга, частота струму, коефіцієнт корисної дії (ККД) та коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) [1].

Вихідні дані для розрахунку навантажень:

1. номінальна напруга споживача;
2. номінальна потужність;
3. коефіцієнт потужності;
4. кількість фаз.

Розділимо схему електропостачання на 2 рівня (рис. 2.1).

Перший рівень електропостачання – це електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують від ГРЩ групових споживачів.

Другий рівень електропостачання – це електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують ВРП до ГРЩ.

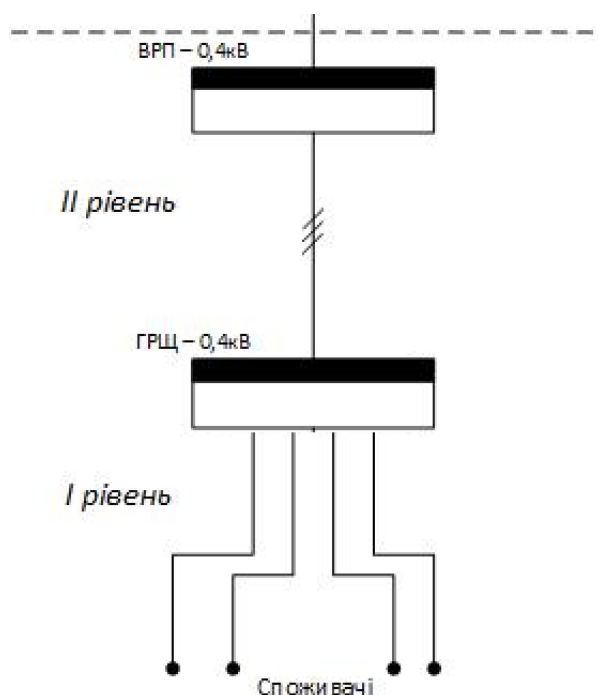


Рисунок 2.1 – Рівні визначення розрахункових навантажень

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1. Розрахунок силового навантаження на першому рівні

При розрахунку першого рівня електропостачання потрібно враховувати, що кожне навантаження це є окремий споживач або група споживачів, з відомим коефіцієнтом завантаження k_3 . Для розрахунку активного та реактивного навантаження потрібно використовувати такі формули [2]:

$$p_{p.1} = k_3 \cdot p_{ном}, \quad (2.1)$$

$$q_{p.1} = p_{p.1} \cdot \operatorname{tg}\phi, \quad (2.2)$$

$$s_{p.1} = \sqrt{p_{p.1}^2 + q_{p.1}^2}, \quad (2.3)$$

$$I_{p.1} = \frac{s_{p.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.4)$$

де $\operatorname{tg}\phi$ – паспортне значення коефіцієнта потужності $\cos\phi$ для кожного споживача або групи споживачів;

$U_{ном}$ – номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ.

Група 1 - «Електрокотел».

Якщо коефіцієнт завантаження невідомий, то при проектуванні приймається $k_3 = 1$. Таким чином, за розрахункове активне навантаження приймається номінальна потужність електроспоживача при $TВ = 1$:

$$P_{p.1} = k_3 \cdot p_{ном}, \quad (2.1)$$

де k_3 – коефіцієнт використання активної потужності;

$p_{ном}$ – номінальна активна потужність споживача, кВт.

$$P_{p.1} = 1 \cdot 12 = 12 \text{ кВт.} \quad (2.1)$$

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо за відомим значенням косинуса тангенс: $tg\phi = 0,48$.

Розрахункове реактивне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$q_{p.1} = p_{p.1} \cdot tg\phi, \quad (2.2)$$

де $p_{p.1}$ – розрахункове активне навантаження, кВт;

$$q_{p.1} = 12 \cdot 0,48 = 5,81 \text{ кВАр}. \quad (2.2)$$

Розрахуємо розрахункове повне навантаження на першому рівні електропостачання за формулою:

$$s_{p.1} = \sqrt{p_{p.1}^2 + q_{p.1}^2} \text{ кВА}, \quad (2.3)$$

де $p_{p.1}$ – розрахункове активне навантаження, кВт;

$q_{p.1}$ – розрахункове реактивне навантаження, кВАр.

$$s_{p.1} = \sqrt{12^2 + 5,76^2} = 13,3 \text{ кВА}. \quad (2.3)$$

Розрахуємо розрахунковий струм першого рівня електропостачання за формулою:

$$I_{p.1} = \frac{s_{p.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А}, \quad (2.4)$$

де $p_{p.1}$ – розрахункове активне навантаження, кВт;

$U_{ном}$ – номінальна напруга мережі, кВ.

$$I_{p.1} = \frac{13,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 20,2 \text{ А}. \quad (2.4)$$

Для розрахунку пускового струму, приймаємо коефіцієнт пуску $kп = 2$, визначаємо за формулою:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{номЕП}, \quad (2.5)$$

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						15
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

де $k_{\text{пуск}}$ – коефіцієнт пуску;

$I_{\text{номЕП}}$ – номінальний струм споживача.

$$I_{\text{пуск}} = 2 \cdot 20,2 = 40,4 \text{ А.} \quad (2.5)$$

Далі по аналогії розраховуємо значення для решти споживачів, отримані результати розрахунків зведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункове навантаження на першому рівні електропостачання

№	Найменування ЕП	$P_{\text{ном}}$ кВт	$\cos \phi$	К-т вик КВ	$\text{tg}\phi$	рр.1 кВт	qr.1 квар	sp.1 кВА	$I_{\text{р.1}}$ А	$I_{\text{пуск}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Електрокотел	12	0,9	0,8	0,48	12	5,81	13,33	20,20	40,40
2	Розетки гараж	2,0	0,8	0,2	0,75	2	1,50	2,50	10,87	32,61
3	Розетки острів кухня	2	0,8	0,2	0,75	2	1,50	2,50	10,87	32,61
4	Бойлер передпокій	1,5	0,9	0,2	0,48	1,5	0,73	1,67	7,25	25,36
5	Бойлер передпокій 2	1,5	0,9	0,2	0,48	1,5	0,73	1,67	7,25	25,36
6	Розетки С/В 1 поверх	2	0,8	0,3	0,75	2	1,50	2,50	10,87	38,04
7	Розетки С/В 2 поверх	2	0,8	0,3	0,75	2	1,50	2,50	10,87	38,04
8	Холодильник	0,2	0,8	0,8	0,75	0,2	0,15	0,25	1,09	3,59
9	ПММ	2	0,8	0,8	0,75	2	1,50	2,50	10,87	38,04
10	Розетки кухні	2	0,8	0,5	0,75	2	1,50	2,50	10,87	32,61
11	Духова піч	2,5	0,8	0,5	0,75	2,5	1,88	3,13	13,59	27,17
12	Свердловина	1,5	0,8	0,8	0,75	1,5	1,13	1,88	8,15	57,07
13	Водопідготовка	1,5	0,8	0,8	0,75	1,5	1,13	1,88	8,15	57,07

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	Газовий котел	0,2	0,9	0,3	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	2,90
15	Розетки спальні 1 поверх	2	0,8	0,2	0,75	2	1,50	2,50	10,87	27,17
16	Розетки спальні 2 поверх	2	0,8	0,2	0,75	2	1,50	2,50	10,87	27,17
17	Розетки зал 1 поверх	2	0,8	0,2	0,75	2	1,50	2,50	10,87	27,17
18	Розетки вітальня + кабінет 2 поверх	2	0,8	0,2	0,75	2	1,50	2,50	10,87	27,17
19	Живлення розумний будинок резерівр.	0,1	0,9	0,5	0,48	0,1	0,05	0,11	0,48	4,83
20	Живлення розумний будинок 1	0,1	0,9	0,5	0,48	0,1	0,05	0,11	0,48	4,83
21	Живлення розумний будинок 2	0,1	0,9	0,5	0,48	0,1	0,05	0,11	0,48	4,83
22	Живлення розумний будинок 3	0,1	0,9	0,5	0,48	0,1	0,05	0,11	0,48	4,83
23	Освітлення кухня	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32
24	Освітлення гараж + коридор	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32
25	Освітлення С/В + спальня 1 поверх	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32
26	Освітлення С/В + кухня 2 поверх	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32
27	Освітлення зал 1 поверх	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32
28	Освітлення коридор 2 поверх	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32
29	Освітлення спальня 2 поверх	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32
30	Освітлення тераса	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32
31	Освітлення фасад 2 поверх	0,2	0,9	0,7	0,48	0,2	0,10	0,22	0,97	19,32

2.2 Розрахунок силового навантаження на другому рівні

На другому рівні електропостачання об'єднуються всі споживачі в групу, які приєднуються до ГРІЦ. Всі споживачі ніколи не будуть одночасно працювати на повну потужність, результуюче навантаження завжди буде меншим від їх суми номінальних потужностей і буде більшим від середнього навантаження (за малої кількості споживачів) або дорівнювати йому (за значної кількості споживачів), що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних навантажень K_{pa} і розрахункових реактивних навантажень K_{pp} . [2].

Коефіцієнт розрахункових активних навантажень K_{pa} залежить від ефективного числа споживачів n_e , середньозваженого коефіцієнта використання активної потужності $K_{e\text{ св}}$ та сталої часу нагрівання мережі T_o , яка на другому рівні електропостачання приймається $T_o = 10$ хв (розрахунковий інтервал часу $3T_o = 30$ хв) [3].

Ефективне число споживачів n_e – це така умовна кількість однорідних за режимом роботи споживачів однакової потужності, яка обумовлює те саме значення розрахункового навантаження, як і група споживачів різних за режимом роботи та потужністю. Величина ефективного числа споживачів n_e визначається так:

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n p_{ном.i})^2}{\sum_{i=1}^n p_{ном.i}^2}, \quad (2.6)$$

де n – кількість працюючих споживачів в групі;

$p_{ном.i}$ – номінальна активна потужність i -го споживача при $TВ = 1$.

Знайдені за формулою (2.6) значення n_e округляються до найближчого меншого цілого числа.

Число ефективних споживачів n_e приймається рівним дійсному числу споживачів n , якщо відношення потужностей найбільшого до найменшого споживача групи не перевищує 3 ($p_{ном. макс} / p_{ном. мін} \leq 3$).

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для груп різних споживачів різної потужності та різного режиму роботи середньозважений коефіцієнт використання активної потужності:

$$K_{в.св} = \frac{\sum_{i=1}^k P_{см.і}}{\sum_{i=1}^k P_{ном.і}}, \quad (2.7)$$

де k — кількість характерних груп електроприймачів (ЕП);

$P_{см.і}$ — групова середня активна потужність за максимально завантажений день;

$P_{ном.і}$ — групова номінальна активна потужність i -ї групи ЕП;

Групове середнє активне навантаження за максимально завантаженою зміну i -ї групи ЕП визначається за формулою:

$$P_{см.і} = \sum_{i=1}^n k_{в.і} \cdot p_{ном.і}, \quad (2.8)$$

де n — кількість ЕП в групі;

$k_{в.і}$ — коефіцієнт використання активної потужності i -го ЕП;

$p_{ном.і}$ — номінальна активна потужність i -го ЕП при $TВ = 1$.

Коефіцієнти використання активної потужності $k_{в}$ наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [3]. Якщо в довідкових матеріалах наведені інтервальні значення $k_{в}$, то для розрахунку приймають його найбільше значення.

Числові значення коефіцієнтів розрахункових активних навантажень $K_{р.а}$ на другому рівні електропостачання наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [4].

На другому рівні електропостачання розрахункове силове активне навантаження $P_{р.2}$ і розрахункове силове реактивне навантаження $Q_{р.2}$ для n ЕП в групі визначаються за формулами:

$$P_{р.2} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^n k_{в.і} \cdot p_{ном.і} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^n p_{см.і}, \quad (2.9)$$

$$Q_{р.2} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^n k_{в.і} \cdot p_{ном.і} \cdot tg\phi_{ном.і} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^n q_{см.і}, \quad (2.10)$$

де $p_{см.і}$, $q_{см.і}$ — середні активна та реактивна потужності за максимально завантаженою зміну i -го ЕП відповідно;

$tg\phi_{ном.i}$ — відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності;
 $cos\phi_{ном.i}$, яке характерне для даного виду ЕП.

У формулі (2.10) коефіцієнт розрахункових реактивних навантажень $K_{p,p}$ при числі ефективних ЕП $n_e < 10$ приймається $K_{p,p} = 1,1$, а при $n_e > 10$ приймається $K_{p,p} = 1$.

У випадках, коли розрахункове активне навантаження групи ЕП $P_{p,2}$ менше за номінальну потужність найбільш потужного ЕП групи, слід приймати:

$$P_{p,2} = p_{ном.макс}.$$

Якщо до вузла приєднано до трьох ЕП включно, то розрахункове навантаження приймається рівним сумі їх номінальних потужностей:

$$P_{p,2} = \sum_{i=1}^n p_{ном.i}, \quad (2.11)$$

$$Q_{p,2} = \sum_{i=1}^n q_{ном.i}, \quad (2.12)$$

де $n = 1-3$.

Розрахункове силове повне навантаження на другому рівні електропостачання визначається так:

$$S_{p,2} = \sqrt{P_{p,2}^2 + Q_{p,2}^2}. \quad (2.13)$$

При цьому розрахунковий струм:

$$I_{p,2} = \frac{S_{p,2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (2.14)$$

Всі результати розрахунків навантажень по ГРЩ зводяться до табл. 2.2.

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таблиця 2.2 — Результати розрахунків електричних навантажень на другому рівні

№	Найменування ЕП	Кількість ЕП, п	Номинальна потужність, кВт		К-т використання K_u	Коефіцієнти потужності	
			одного	загальна		$\cos \phi$	$\tan \phi$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Електрокотел	1	12	12	0,8	0,9	0,48
2	Розетки гараж	1	2,0	2	0,2	0,8	0,48
3	Розетки острів кухня	1	2	2	0,2	0,8	0,48
4	Бойлер передпокій	1	1,5	1,5	0,2	0,9	0,48
5	Бойлер передпокій 2	1	1,5	1,5	0,2	0,9	0,48
6	Розетки С/В 1 поверх	1	2	2	0,3	0,8	0,48
7	Розетки С/В 2 поверх	1	2	2	0,3	0,8	0,75
8	Холодильник	1	0,2	0,2	0,8	0,8	0,75
9	ПММ	1	2	2	0,8	0,8	0,75
10	Розетки кухні	1	2	2	0,5	0,8	0,75
11	Духова піч	1	2,5	2,5	0,5	0,8	0,75
12	Свердловина	1	1,5	1,5	0,8	0,8	0,48
13	Водопідготовка	1	1,5	1,5	0,8	0,8	0,48
14	Газовий котел	1	0,2	0,2	0,3	0,9	0,48
15	Розетки спальні 1 поверх	1	2	2	0,2	0,8	0,48
16	Розетки спальні 2 поверх	1	2	2	0,2	0,8	0,48
17	Розетки зал 1 поверх	1	2	2	0,2	0,8	0,75
18	Розетки вітальня + кабінет 2 поверх	1	2	2	0,2	0,8	0,48

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
19	Живлення розумний будинок резервнр.	1	0,1	0,1	0,5	0,9	0,48
20	Живлення розумний будинок 1	1	0,1	0,1	0,5	0,9	0,48
21	Живлення розумний будинок 2	1	0,1	0,1	0,5	0,9	0,48
22	Живлення розумний будинок 3	1	0,1	0,1	0,5	0,9	0,48
23	Освітлення кухня	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
24	Освітлення гараж + коридор	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
25	Освітлення С/В + спальня 1 поверх	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
26	Освітлення С/В + кухня 2 поверх	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
27	Освітлення зал 1 поверх	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
28	Освітлення коридор 2 поверх	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
29	Освітлення спальня 2 поверх	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
30	Освітлення тераса	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
31	Освітлення фасад 2 поверх	1	0,2	0,2	0,7	0,9	0,75
Всього споживачів		31		43,1	0,48		
Усього по ГРЩ				43,1			

Продовження таблиці 2.2

K_{0P_H}	$K_{0P_H} \cdot tgj$	Ефективна кількість ЕП, η_e	К-т розрахункового	Розрахункова потужність якщо $\eta_e > 10$ то $k=1$, якщо $\eta_e < 10$ то $k=1,1$			Розрахунковий струм, А
				Активна, кВт	Реактивна, кВАр	Повна, кВА	
9	10	11	12	13	14	15	16
9,60	4,65	1	0,68	6,53	4,65	8,01	2,99
0,40	0,19	1	0,17	0,07	0,19	0,21	0,93
0,40	0,19	1	0,17	0,07	0,21	0,22	1,02
0,30	0,15	1	0,17	0,05	0,15	0,15	0,70
0,30	0,15	1	0,17	0,05	0,16	0,17	0,76
0,60	0,29	1	0,26	0,15	0,29	0,33	1,49
0,60	0,45	1	0,26	0,15	0,45	0,48	2,16
0,16	0,12	1	0,68	0,11	0,12	0,16	0,74
1,60	1,20	1	0,68	1,09	1,20	1,62	7,36
1,00	0,75	1	0,43	0,43	0,75	0,86	3,92
1,25	0,94	1	0,43	0,53	0,94	1,08	4,90
1,20	0,58	1	0,68	0,82	0,58	1,00	4,55
1,20	0,58	1	0,68	0,82	0,64	1,04	4,71
0,06	0,03	1	0,31	0,02	0,03	0,03	0,16
0,40	0,19	1	0,21	0,08	0,19	0,21	0,96
0,40	0,19	1	0,21	0,08	0,19	0,21	0,96
0,40	0,30	1	0,21	0,08	0,30	0,31	1,41
0,40	0,19	1	0,21	0,08	0,19	0,21	0,96
0,05	0,02	1	0,51	0,03	0,02	0,04	0,16

Продовження таблиці 2.2

9	10	11	12	13	14	15	16
0,05	0,02	1	0,51	0,03	0,02	0,04	0,16
0,05	0,02	1	0,51	0,03	0,02	0,04	0,16
0,05	0,02	1	0,51	0,03	0,02	0,04	0,16
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
0,14	0,11	1	0,72	0,10	0,11	0,15	0,66
20,9	11,6	59	1,15	24,02	12,72	27,18	41,30
				24,02	12,72	27,18	41,30

2.3 Розрахунок пікових струмів

Піковий струм групи ЕП напругою до 1 кВ визначається як [3].

$$I_{пik} = I_{пyск.макс} + \sum_1^{n-1} I'_{ном}, \quad (2.15)$$

де $I_{пyск.макс}$ – найбільший з пускових струмів одного ЕП у групі за паспортними даними;

$\sum_1^{n-1} I'_{ном}$ – сумарний номінальний струм групи ЕП без урахування номінального струму найбільшого за потужністю ЕП.

Піковий струм від групи більше п'яти ЕП напругою до 1 кВ при активно-індуктивному навантаженні з достатньою точністю можна визначити як арифметичну суму найбільшого з пускових струмів ЕП у групі та розрахункового струму всіх ЕП групи без номінального струму ЕП з найбільшим пусковим струмом при $TВ = 1$.

$$I_{пik} = I_{пyск.макс} + (I_{p.2} - k_B \cdot I_{ном.макс}), \quad (2.16)$$

де $I_{p.2}$ — розрахунковий струм усіх ЕП групи (розрахунковий струм другого рівня електропостачання);

k_B — коефіцієнт використання ЕП з найбільшим пусковим струмом;

$I_{ном.макс}$ – номінальний струм ЕП з найбільшим пусковим струмом при $TВ=1$.

Найбільші пускові струми ЕП $I_{пyск.макс}$ для даної групи вибираються з табл. 2.1.

Пікова (пускова) потужність визначається так:

$$S_{пik(пyск)} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{пik(пyск)}, \quad (2.17)$$

де $I_{пik}$ — піковий струм, який визначається за формулою (2.15), а пусковий струм $I_{пyск}$ за формулою (2.5).

Розрахунок пікових струмів від ЕП радіальної лінії до ВРП для схеми.

Найпотужніший електроприймач, що заживлений від ГРЩ електродвигун з номінальною потужністю $P_{ном} = 12$ кВт, коефіцієнт активної потужності $\cos \phi = 0,9$; коефіцієнт використання $k_B = 0,8$.

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номинальний струм ЕП з найбільшим пусковим струмом при $TB = 1$ і за відсутності паспортних даних ЕП для цієї групи ЕП визначається за формулою (2.4):

$$I_{ном.макс} = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 25,3 \text{ А},$$

а його пусковий струм за формулою (2.5):

$$I_{пуск.макс} = 2 \cdot 25,3 = 50,6 \text{ А}.$$

З підрозділу 2.2 розрахунковий струм другого рівня електропостачання для ВРП $I_{р,2} = 41,3 \text{ А}$.

Піковий струм від групи більше п'яти ЕП визначається за формулою (2.15):

$$I_{пик} = 50,6 + (41,3 - 0,8 \cdot 25,3) = 71,6 \text{ А}.$$

Всі розрахункові значення заносимо до (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Розрахунок пікових навантажень

Назва	Дані найпотужнішого ЕП		Струм розрах $I_{р2}$, А	Коеф. використання	Піковий струм $I_{пик}$, А
	Струм ном $I_{ном.мах}$, А	Пусковий струм $I_{пуск.мах}$, А			
ВРП	25,30	50,60	41,30	0,80	71,60

3. Вибір перерізу провідників

При проектуванні електропостачання приватного будинку, потрібно розрахувати перерізи таких кабелів та проводів:

1. Провід силової живильної мережі від опори до ВРП 0,4 кВ.
2. Кабельна лінія живильної мережі від ВРП до ГРЩ 0,4 кВ.
3. Кабельні лінії розподільчої мережі від ГРЩ до споживачів 0,4/0,23 кВ.

При виборі перерізів провідників потрібно враховувати такі параметри, як робота в нормальному режимі, в аварійному режимі (КЗ) та при перевантаженні.

Вибір перерізу кабелю при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не менше розрахункового:

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{p.2}, \text{ A}, \quad (3.1)$$

де $I_{p.2}$ — розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання.

Допустимий тривалий струм для кабелів з врахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається з урахуванням коефіцієнта поправки $K_{\text{попр}}$ так:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}}, \text{ A}, \quad (3.2)$$

де $K_{\text{сер}}$ — поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, якщо вона відмінна від стандартної (таблиця 1.3.3 ПУЕ);

$K_{\text{пр}}$ — коефіцієнт поправки на кількість кабелів, що лежать поруч у землі (таблиця 1.3.26 ПУЕ) [5];

$I_{\text{доп}}$ — допустимий тривалий струм провідника стандартного перерізу для стандартних умов (для однієї окремої лінії; стандартних температур для землі та води $+15^{\circ}\text{C}$ і $+25^{\circ}\text{C}$ для повітря) залежно від матеріалу жил, їх ізоляції, способу прокладання.

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$ можна також обчислити за формулою:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{сер}}{T_{ж.н} - T_{сер.н}}}, \quad (3.3)$$

де $T_{ж.н}, T_{сер.н}$ — нормовані тривало допустимі температури жили та середовища відповідно, $T_{ж.н}$ наведено в табл 3.1;

$T_{сер}$ — фактична температура навколишнього середовища (у даній роботі приймається залежно від реальних даних).

Таблиця 3.1 — Допустимі температури провідників у нормальному, форсованому та аварійному режимах

Вид провідника	Допустима температура жили $T_{ж.н}, ^\circ\text{C}$		
	тривала за нормами	короткотривала при перевантаженнях	гранична при коротких замиканнях
Кабелі з паперовою просоченою ізоляцією:			
- до 1 кВ	80	125	200
- 6 кВ	65	100	200
- 10 кВ	60	90	200
Кабелі і проводи з ізоляцією:			
- гумовою звичайною	55	100	150
- гумовою теплостійкою	65	110	150
- полівінілхлоридною	70	90	150
- поліетиленовою	70	80	120

Для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза будинком, за будь-якої їх кількості коефіцієнт поправки $K_{пр} = 1$, нормована температура середовища $T_{сер} = 25 ^\circ\text{C}$.

Втрата напруги в кабелях у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{кб} = \frac{P_{P.2} \cdot R_{кб} + Q_{P.2} \cdot X_{кб}}{10 \cdot U_{ном}^2}, \% \quad (3.4)$$

де $P_{p,2}$ і $Q_{p,2}$ — максимальні розрахункові активне і реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт і кВАр;

$R_{кб}$ і $X_{кб}$ — активний і реактивний опори кабелю відповідно, Ом;

$U_{ном}$ — номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори кабелю обчислюють за формулами:

$$R_{кб} = r_n \cdot l_{кб}, \quad (3.5)$$

$$X_{кб} = x_n \cdot l_{кб}, \quad (3.6)$$

де r_n і x_n — активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км (наводяться в довідниках);

$l_{кб}$ — довжина кабелю, км.

Таким чином, остаточно за умовами нагрівання вибирається лише той переріз кабелю, для якого тривалий допустимий струм буде більший у формулі (3.2), а також виконуються умови допустимої втрати напруги й відповідності до захисного апарата.

3.1 Розрахунок перерізів кабелів силової мережі живлення від опори до ВРП 0,4 кВ

Для проводу марки СП-4 з термопластичною поліетиленовою ізоляцією нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н} = 70$ °С, нормована температура середовища при прокладці в повітрі $T_{сер.н} = 25$ °С [2].

Тоді за формулою (3.3) коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{70-20}{70-25}} = 1,05.$$

З таблиці 1.3.3 ПУЕ коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища також $K_{сер} = 1,05$.

При прокладці кабелю на вулиці коефіцієнт поправки $K_{пр} = 1$.

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З таблиці 2.2 розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання лінії, яка живить ВРП, $I_{p,2} = 41,3$ А.

З таблиці 1.3.7 [1] для чотирижильного проводу при прокладенні в повітрі зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{СТ} = 16$ мм² допустимий струм $I_{доп} = 75$ А. За формулою (3.2):

$$I'_{доп} = 1,05 \cdot 1 \cdot 75 = 78,75 \text{ А.}$$

Таким чином, $I'_{доп} = 78,75 \text{ А} \geq I_{p,2} = 41,3 \text{ А.}$

Умова виконується.

З таблиці 2.2 розрахункове активне навантаження 2-го рівня електропостачання $P_{p,2} = 24,02$ кВт, розрахункове реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання $Q_{p,2} = 12,72$ кВАр.

З таблиці [1] для кабелю з стандартним перерізом алюмінієвої струмопровідної жили $S_{СТ} = 16$ мм² приймаються такі питомі опори кабелю: $r_{\Pi} = 1,95$ мОм/м, $x_{\Pi} = 0,095$ мОм/м. Довжина кабелю $l_{кб} = 7$ м. Тоді за формулами (3.5) і (3.6):

$$R_{кб} = 1,95 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0,014 \text{ Ом.}$$

$$X_{кб} = 0,095 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0,0007 \text{ Ом.}$$

За формулою (3.4):

$$\Delta U_{кб} = \frac{24,02 \cdot 0,014 + 12,72 \cdot 0,0007}{10 \cdot 0,38^2} = 0,24\%.$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибирається чотирижильний провід СІП-4 4x16.

Результати розрахунків зведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 — Вибір перерізу кабелів мережі живлення

Кабель	$S_{см},$ мм ²	$I'_{доп},$ А	$I_{p,2},$ А	$\Delta U_{кб},\%$	Тип кабелю	Довжина, м
До ВРП	16	78,75	41,30	0,24	СІП-4 4x16	7

3.2 Вибір перерізу провідників силової мережі від ВРП до ГРЩ 0,4кВ

Для кабелю марки ВВГнг компанії «Інтерелектро» з полівінілхлоридною ізоляцією нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, нормована температура середовища при прокладці в землі $T_{сер.н} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Тоді за формулою (3.3) коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{70-20}{70-25}} = 1,05.$$

З таблиці 1.3.3 ПУЭ коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища також $K_{сер} = 1,05$.

При прокладці кабелю в землі коефіцієнт поправки $K_{пр} = 1$.

З таблиці 2.2 розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання лінії, яка живить ГРЩ, $I_{р.2} = 41,3 \text{ А}$.

З таблиці 1.3.4 [1] п'ятижильного кабелю при прокладенні в землі зі стандартним перерізом мідної струмопровідної жили $S_{ст} = 10 \text{ мм}^2$ допустимий струм $I_{доп} = 50 \text{ А}$. За формулою (3.2):

$$I'_{доп} = 1,05 \cdot 1 \cdot 50 = 52,5 \text{ А}.$$

Таким чином, $I'_{доп} = 52,5 \text{ А} \geq I_{р.2} = 41,3 \text{ А}$.

Умова виконується.

З таблиці 2.2 розрахункове активне навантаження 2-го рівня електропостачання $P_{р.2} = 24,02 \text{ кВт}$, розрахункове реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання $Q_{р.2} = 12,72 \text{ кВАр}$.

З таблиці [1] для кабелю з стандартним перерізом мідної струмопровідної жили $S_{ст} = 10 \text{ мм}^2$ приймаються такі питомі опори кабелю: $r_{п} = 1,84 \text{ мОм/м}$, $x_n = 0,099 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю $l_{кб} = 20 \text{ м}$.

Тоді за формулами (3.5) і (3.6):

$$R_{кб} = 1,84 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,037 \text{ Ом}.$$

$$X_{кб} = 0,099 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,002 \text{ Ом}.$$

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою (3.4):

$$\Delta U_{кб} = \frac{24.02 \cdot 0,037 + 12.72 \cdot 0,002}{10 \cdot 0,38^2} = 0.63\%.$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибирається п'ятижильний кабель ВВГнг 5х10.

Результати розрахунків зведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 — Вибір перерізу кабелів мережі живлення

Кабель	$S_{ст}, \text{мм}^2$	$I'_{доп}, \text{А}$	$I_{р.2}, \text{А}$	$\Delta U_{кб}, \%$	Тип кабелю	Довжина, м
До ГРЩ	10	52,5	41,30	0,63	ВВГнг 5х10	20

3.3. Вибір перерізу кабельних мереж

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз проводу (кабелю) розподільних мереж завжди вибирають за умовою нагрівання в нормальному режимі за формулою:

$$I'_{доп} \geq I_{р.1}, \text{А}, \quad (3.7)$$

де $I_{р.1}$ — розрахунковий струм 1-го рівня електропостачання (номінальний струм ЕП).

За умовою механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів — 2,5 мм², мідних - 1,5 мм².

Втрата напруги в проводах у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{нр} = \frac{p_{р.1} \cdot R_{нр} + q_{р.1} \cdot X_{нр}}{10 \cdot U_{ном}^2}, \%, \quad (3.8)$$

де $p_{р.1}$ і $q_{р.1}$ — розрахункові активне і реактивне навантаження 1-го рівня електропостачання ЕП відповідно, кВт і квар;

$R_{нр}$ і $X_{нр}$ — активний і реактивний опори проводів відповідно, Ом;

$U_{ном}$ — номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори проводів обчислюють за формулами:

$$R_{np} = r_n \cdot l_{np}, \quad (3.9)$$

$$X_{np} = x_n \cdot l_{np}, \quad (3.10)$$

де r_n і x_n — активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км (наводяться в довідниках);

l_{np} — довжина кабелю, км.

Для кабелю марки ВВГнг з полівінілхлоридною ізоляцією нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н} = 70^\circ\text{C}$, нормована температура середовища при прокладенні в повітрі $T_{сер.н} = 20^\circ\text{C}$. Фактична температура в приміщенні 25°C . Тоді коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища $K_{сер} = 1,05$ [3].

При прокладенні кабелю всередині будинку відкритого типу коефіцієнт умов середовища $K_{пр} = 1$, бо в довідкових таблицях ураховуються умови прокладки залежно від кількості проводів у трубі.

Для електрокотла розраховуємо переріз кабелю за формулою (2.14):

$$I_{номКотл} = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 20,3 \text{ А.}$$

Обираємо кабелі виробника «Інтерелектро». Допустимий струм для кабелю ВВГнг 5х4 в стандартних умовах $I_{доп} = 47 \text{ А}$.

Допустимий струм з урахуванням умов навколишнього середовища й умов прокладення визначається за формулою (3.2):

$$I'_{доп} = 1,05 \cdot 1 \cdot 47 = 49,35 \text{ А.}$$

За формулою (3.7):

$$I'_{доп} = 49,35 \text{ А} \geq I_{р.1} = I_{ном.д} = 20,3 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Умова механічної міцності також виконується ($4 \text{ мм}^2 \geq 1,5 \text{ мм}^2$).

З таблиці [1] для кабелів з мідною струмопровідною жилою $S_{ст} = 4 \text{ мм}^2$ приймаються такі питомі опори: $r_n = 4,63 \text{ мОм/м}$, $x_n = 0,095 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю до електрокотла $l_{пр} = 6 \text{ м}$. Тоді за формулами (3.9) і (3.10):

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$R_{np} = 4,63 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,028 \text{ Ом.}$$

$$X_{np} = 0,095 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,0006 \text{ Ом.}$$

Для електрокотлів при $tg\phi_{ном.д} = 0,48$, який відповідає $\cos\phi_{ном.д} = 0,9$, за формулою (2.2) розрахункове реактивне навантаження першого рівня електропостачання:

$$q_{p.1} = 12 \cdot 0,48 = 5,76 \text{ кВАр.}$$

Вибраний стандартний переріз проводу перевіряється на втрату напруги за формулою (3.8):

$$\Delta U_{кб} = \frac{12 \cdot 0,028 + 5,76 \cdot 0,0006}{10 \cdot 0,38^2} = 0,24\%.$$

Оскільки величина втрат напруги в проводі не перевищує допустимої (5%), то переріз проводу вибраний правильно.

Переріз проводів розподільної мережі та втрати напруги до інших ЕП вибирається аналогічно.

Результати розрахунків наводяться в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 — Вибір перерізу проводів розподільної мережі від ШР-3 до електроприймачів

Лінія до ЕП	$I_{р.1}$, А	$I'_{дон}$	$I_{дон}$	$S_{ст}$	Довж	R	X	Rкаб	Xкаб	Втрати	Марка кабелю
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Електрокотел	20,26	49,4	47	4	6	4,63	0,1	0,028	0,001	0,24	ВВГнгд-5х4
Розетки гараж	10,87	39,9	38	2,5	5	7,4	0,12	0,037	0,001	0,15	ВВГнгд-3х2,5
Розетки острів кухня	10,87	39,9	38	2,5	36	7,4	0,12	0,266	0,004	1,11	ВВГнгд-3х2,5
Бойлер передпокій	7,25	39,9	38	2,5	19	7,4	0,12	0,141	0,002	0,44	ВВГнгд-3х2,5
Бойлер передпокій 2	7,25	39,9	38	2,5	19	7,4	0,12	0,141	0,002	0,44	ВВГнгд-3х2,5
Розетки С/В 1 поверх	10,87	39,9	38	2,5	7	7,4	0,12	0,052	0,001	0,22	ВВГнгд-3х2,5
Розетки С/В 2 поверх	10,87	39,9	38	2,5	10	7,4	0,12	0,074	0,001	0,31	ВВГнгд-3х2,5
Холодильник	1,09	28,4	27	1,5	35	12,3	0,13	0,431	0,004	0,18	ВВГнгд-3х1,5
ПММ	10,87	39,9	38	2,5	34	7,4	0,12	0,252	0,004	1,05	ВВГнгд-3х2,5
Розетки кухні	10,87	39,9	38	2,5	39	7,4	0,12	0,289	0,005	1,21	ВВГнгд-3х2,5
Духова піч	13,59	39,9	38	2,5	32	7,4	0,12	0,237	0,004	1,24	ВВГнгд-3х2,5

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Свердловина	8,15	39,9	38	2,5	67	7,4	0,12	0,496	0,008	1,55	ВВГнзгд-3х2,5
Водопідготовка	8,15	39,9	38	2,5	9	7,4	0,12	0,067	0,001	0,21	ВВГнзгд-3х2,5
Газовий котел	0,97	28,4	27	1,5	10	12,3	0,13	0,123	0,001	0,05	ВВГнзгд-3х1,5
Розетки спальні 1 поверх	10,87	39,9	38	2,5	16	7,4	0,12	0,118	0,002	0,49	ВВГнзгд-3х2,5
Розетки спальні 2 поверх	10,87	39,9	38	2,5	26	7,4	0,12	0,192	0,003	0,80	ВВГнзгд-3х2,5
Розетки зал 1 поверх	10,87	39,9	38	2,5	18	7,4	0,12	0,133	0,002	0,56	ВВГнзгд-3х2,5
Розетки вітальня + кабінет 2 поверх	10,87	39,9	38	2,5	29	7,4	0,12	0,215	0,003	0,89	ВВГнзгд-3х2,5
Живлення розумний будинок резервр.	0,48	28,4	27	1,5	3	12,3	0,13	0,037	0,000	0,01	ВВГнзгд-3х1,5
Живлення розумний будинок 1	0,48	28,4	27	1,5	3	12,3	0,13	0,037	0,000	0,01	ВВГнзгд-3х1,5
Живлення розумний будинок 2	0,48	28,4	27	1,5	3	12,3	0,13	0,037	0,000	0,01	ВВГнзгд-3х1,5
Живлення розумний будинок 3	0,48	28,4	27	1,5	3	12,3	0,13	0,037	0,000	0,01	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення кухня	0,97	28,4	27	1,5	20	12,3	0,13	0,246	0,003	0,10	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення гараж + коридор	0,97	28,4	27	1,5	7	12,3	0,13	0,086	0,001	0,04	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення С/В + спальня 1 поверх	0,97	28,4	27	1,5	9	12,3	0,13	0,111	0,001	0,05	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення С/В + кухня 2 поверх	0,97	28,4	27	1,5	19	12,3	0,13	0,234	0,002	0,47	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення зал 1 поверх	0,97	28,4	27	1,5	16	12,3	0,13	0,197	0,002	0,40	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення коридор 2 поверх	0,97	28,4	27	1,5	20	12,3	0,13	0,246	0,003	0,50	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення спальня 2 поверх	0,97	28,4	27	1,5	29	12,3	0,13	0,357	0,004	0,72	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення тераса	0,97	28,4	27	1,5	35	12,3	0,13	0,431	0,004	0,87	ВВГнзгд-3х1,5
Освітлення фасад 2 поверх	0,97	28,4	27	1,5	28	12,3	0,13	0,344	0,004	0,69	ВВГнзгд-3х1,5

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							35

4. Розрахунок струмів короткого замикання

Коротке замикання — це будь-яке замикання джерела струму на дуже малий опір. Підключаючи електроспоживач до мережі, створюється опір для протікання електричного струму.

Найчастіші причини виникання КЗ:

1. Стара або пошкоджена ізоляція, в наслідку може фазна жила може доторкнутися до нульової.
2. Ослаблені кріплення.
3. Несправний електроприлад.

Щоб запобігти цьому, треба:

а) визначити величину струмів КЗ;
б) перевірити допустимість цих струмів для вибраних ЕА і струмопровідних частин (якщо струми виявляться більші за допустимі, то потрібно вибрати елемент, що має більшу стійкість або обмежити струми шляхом збільшення індуктивного опору ланцюга);

в) розрахувати захист для селективного вимикання пошкодженої ділянки.

Відповідно до вимог ПУЕ щодо режиму КЗ на стійкість до впливу струмів КЗ в ЕУ до 1 кВ повинні перевірятися розподільні щити, струмопроводи та силові шафи [5].

Для вибору і перевірки стійкості ЕА і струмопровідних частин до струмів КЗ розрахунку підлягають:

- найбільше початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ $I_{п(0)}$;
- ударний струм i_y трифазного КЗ.

При виборі й перевірці апаратури щодо її стійкості до струмів КЗ розрахунковим вважається максимальний режим, за якого струми КЗ мають максимальні значення. [6]

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для перевірки чутливості розрахункові умови відповідають найменшим значенням струмів КЗ у місці установаження захисту (мінімальний режим роботи живильної енергосистеми, найбільша кількість послідовно ввімкнених елементів між джерелами генерації і точкою КЗ).

Унаслідок цього для цілей вибору параметрів спрацьовування захисту визначають найбільші $I_{к.макс}$ і для перевірки чутливості найменші $I_{к.мін}$ значення періодичної складової струму в місці КЗ в елементах мережі, для якої проектується захист. Розрахунок здійснюється для початкового моменту часу.

Таким чином, розрахунковим видом КЗ є:

- при виборі ЕА і провідників за їх стійкістю до дії струмів КЗ — трифазне КЗ;
- при виборі захисту — трьох і однофазні КЗ.

4.1 Розрахунок струмів трифазного КЗ

Так як відсутні достовірні дані щодо контактів і їх перехідних опорах, то при обчисленні струмів КЗ урахуємо їх умовний сумарний опір у мережах, які живляться від трансформаторів потужністю до 1600 кВА включно, згідно з такими рекомендаціями [7]:

- а) на розподільних пристроях НН трансформаторів ПС - $R_{к1} = 15$ мОм;
- б) на первинних цехових розподільних пунктах (РШ, збірках) і на затискачах ЕА, які живляться радіальними лініями від розподільних пристроїв НН ПС або головних магістралей (ШМА) — $R_{к2} = 20$ мОм;
- в) на вторинних цехових розподільних пунктах і затискачах ЕА, які живляться від первинних розподільних пунктів — $R_{к3} = 25$ мОм;
- г) на затискачах ЕА, установлених безпосередньо у ЕП, які живляться від вторинних розподільних пунктів — $R_{к4} = 30$ мОм [2].

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Алгоритм визначення струмів трифазного короткого замикання

Визначаємо струм трифазного КЗ у початковий момент часу в електричній мережі напругою 0,38кВ приватного будинку К1, К1', К2, К2', К3 для схеми на (рис 4.1).

Вихідні дані взяті з попередніх результатів розрахунків і наведені нижче.

Система: $I_{n(0)} = 10$ кА, $U_{\text{ном.вн}} = 6$ кВ.

Трансформатор типу ТМ-630/6/0,4: $S_{\text{ном.т}} = 630$ кВА; $U_{\text{ном.вн}} = 6$ кВ; $U_{\text{ном.нн}} = 0,4$ кВ.

На лінії встановлені такі автоматичні вимикачі виробника Schneider Electric та Hager:

QF1 EZC250N3250: $I_{\text{ном.а}} = 250$ А;

QF2 EZC250N3160: $I_{\text{ном.а}} = 160$ А;

QF3 MC450: $I_{\text{ном.а}} = 50$ А;

QF4 MC116: $I_{\text{ном.а}} = 16$ А.

Трансформатори струму:

ТА1 з коефіцієнтом трансформації 300/5;

Кабельні лінії:

Мережа 6 кВ — АС-70/11; $l_{\text{кб1}} = 820$ м;

Мережа 0,4 кВ — СІП-4х70 ; $l_{\text{кб2}} = 250$ м;

Мережа 0,4 кВ — ВВГнг 5х10 ; $l_{\text{кб3}} = 20$ м;

Кабель до електрокотла — ВВГнг-5х4; $l_{\text{кб2}} = 6$ м.

Розрахунок. Базисна напруга ступеня в електричній мережі напругою до 1 кВ.

$$U_{\sigma} = 1,05 \cdot U_{\text{ном.нн}} = 1,05 \cdot 380 = 400\text{В.} \quad (4.1)$$

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

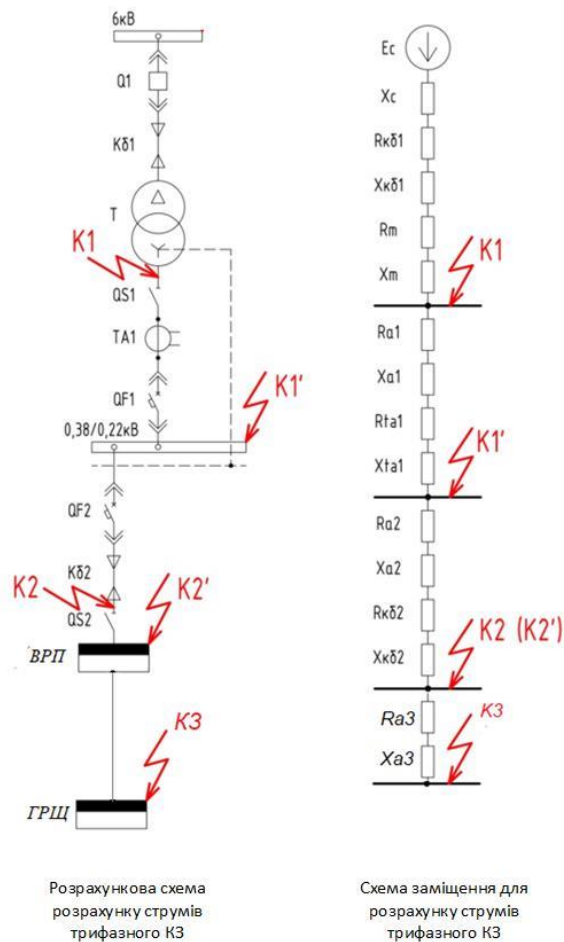


Рисунок 4.1 – Розрахункові схеми

1 етап: Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.

1) Індуктивний опір системи, який приведений до ступеня НН, визначається за формулою:

$$X_C = \frac{U_{\text{ном.серНН}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.ВН}} \cdot U_{\text{ном.серВН}}} = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 6300} = 1,466 \text{ мОм.}$$

2) У таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою 6 кВ (АС-70/11) питомі опори такі: $r_{\text{п}} = 0,447 \text{ мОм/м}$; $x_{\text{п}} = 0,08 \text{ мОм/м}$. Активний та індуктивний опори кабельної лінії, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_{\text{кб.1}} = r_{\text{п}} \cdot l_{\text{кб.1}} \frac{U_{\text{ном.серНН}}}{U_{\text{ном.серВН}}} = 0,447 \cdot 820 \frac{400}{6000} = 24,43 \text{ мОм,}$$

$$X_{кб.1} = x_n \cdot l_{кб.1} \frac{U_{ном.серНН}}{U_{ном.серВН}} = 0,08 \cdot 820 \frac{400}{6300} = 4.16 мОм.$$

3) За паспортними даними трансформатора ТМ-630/6/0,4кВ приймаються втрати КЗ $P_{к.ном} = 7,6$ кВт, напруга КЗ $u_k = 5,5$ %. Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_T = \frac{P_{к.ном} \cdot U_{ном.НН}^2}{S_{ном.Т}^2} \cdot 10^6 = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3,04 мОм;$$

$$X_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{к.ном}}{S_{ном.Т}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном.НН}^2}{S_{ном.Т}} \cdot 10^4 = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,63 мОм.$$

4) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF1 (250А) приймається:

$$R_{a.1} = 1,1 мОм; X_{a.1} = 0,5 мОм.$$

5) З таблиці Н.2 додатка Н [2] для ТС (ТА1) з коефіцієнтом трансформації 300/5 для класу точності 1 приймається:

$$R_{та1} = 0,2 мОм; X_{та1} = 0,3 мОм.$$

6) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF2 (160А) приймається:

$$R_{a.2} = 1,3 мОм; X_{a.2} = 0,7 мОм.$$

7) З таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (СП-4x70) з однаковим перерізом питомі опори такі:

$r_{л} = 0,447$ мОм/м; $x_{л} = 0,08$ мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються за формулами (3.5) і (3.6):

$$R_{кб.2} = r_n \cdot l_{кб.2} = 0,447 \cdot 250 = 111,75 мОм;$$

$$X_{кб.2} = x_n \cdot l_{кб.2} = 0,08 \cdot 250 = 20 мОм.$$

8) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF3 (50А) приймається:

$$R_{a.3} = 7 мОм; X_{a.3} = 4,5 мОм.$$

9) З таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (ВВГнг-5x10) з однаковим перерізом жил питомі опори такі: $r_{л} = 1,84$ мОм/м; $x_{л} = 0,099$ мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються аналогічно за формулами (3.5) і (3.6):

$$R_{кб.3} = r_n \cdot l_{кб.3} = 1,84 \cdot 20 = 36,8 мОм;$$

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$X_{кб.3} = x_n \cdot l_{кб.3} = 0,099 \cdot 20 = 1,98 \text{ мОм.}$$

10) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF4 (16А) приймається:

$$R_{a.3} = 7 \text{ мОм; } X_{a.3} = 4,5 \text{ мОм.}$$

11) З таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (ВВГнг-5х4) з однаковим перерізом жил питомі опори такі: $r_{\Pi} = 4,63 \text{ мОм/м; } x_{\Pi} = 0,102 \text{ мОм/м.}$ Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються аналогічно за формулами (3.5) і (3.6):

$$R_{кб.4} = r_{\Pi} \cdot l_{кб.3} = 4,63 \cdot 6 = 27,78 \text{ мОм;}$$

$$X_{кб.4} = x_{\Pi} \cdot l_{кб.3} = 0,102 \cdot 6 = 0,61 \text{ мОм.}$$

2 етап: Визначення діючого значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент (початкового надперехідного струму) у різних точках схеми.

1) Визначення струму трифазного КЗ у точці К1. Сумарні опори щодо точки К1 визначаються так:

$$R_{\Sigma K1} = R_{кб1} + R_T = 24,43 + 3,04 = 27,47 \text{ мОм;}$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_{кб1} + X_T = 1,466 + 4,16 + 13,63 = 19,26 \text{ мОм;}$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = \sqrt{27,47^2 + 19,26^2} = 33,55 \text{ мОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K1(0)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 33,55} = 6,88 \text{ кА.}$$

2) Визначення струму трифазного КЗ у точці К1'. Сумарні опори щодо точки К1' визначаються так:

$$R_{\Sigma K1'} = R_{\Sigma K1} + R_{a1} + R_{ta1} + R_{к1} = 27,47 + 1,1 + 0,2 + 15 = 43,77 \text{ мОм;}$$

$$X_{\Sigma K1'} = X_{\Sigma K1} + X_{a1} + X_{ta1} = 19,26 + 0,5 + 0,3 = 20,06 \text{ мОм;}$$

$$Z_{\Sigma K1'} = \sqrt{43,77^2 + 20,06^2} = 48,15 \text{ мОм.}$$

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K1'(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 48.15} = 4.8 \text{ кА.}$$

3) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2. Сумарні опори щодо точки К2 визначаються так:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{k\delta 2} + R_{k2} = 27,47 + 1,3 + 111,75 + 20 = 160,52 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1'} + X_{a2} + X_{k\delta 2} = 20,06 + 0,7 + 20 = 40,76 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{160,52^2 + 40,76^2} = 165,61 \text{ мОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 165,61} = 1,39 \text{ кА.}$$

4) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2'.

Сумарні опори щодо точки К2' визначаються так:

$$R_{\Sigma K2'} = R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{k\delta 2} + R_{k3} = 27,47 + 1,3 + 111,75 + 25 = 165,52 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2'} = X_{\Sigma K2} = 40,76 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K2'} = \sqrt{R_{\Sigma K2'}^2 + X_{\Sigma K2'}^2} = \sqrt{165,52^2 + 40,76^2} = 170,46 \text{ мОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2'(0)} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 170,46} = 1,35 \text{ кА.}$$

5) Визначення струму трифазного КЗ у точці К3.

Сумарні опори щодо точки К2' визначаються так:

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{k\delta 2} + R_{k\delta 3} + R_{k3} = 27,47 + 1,3 + 111,75 + 36,8 + 25 = 202,32 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K3'} = X_{\Sigma K2} + X_{k\delta 3} = 40,76 + 1,98 = 42,74 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K3'} = \sqrt{R_{\Sigma K3'}^2 + X_{\Sigma K3'}^2} = \sqrt{202,32^2 + 42,74^2} = 206,79 \text{ мОм.}$$

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Початкове діюче значення періодичної складової струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K3(0)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 206,79} = 1,12 \text{ кА.}$$

Так як струмоприймачі – однофазні, в точці КЗ значення трифазного струму КЗ не визначається.

Результати розрахунку струмів трифазних КЗ у початковий момент часу в електричній мережі приватного будинку в розрахункових точках зведені в (табл. 4.1).

4.2 Розрахунок струмів однофазного КЗ

Однофазні КЗ розраховують для перевірки надійності вимикання лінії в разі пробою ізоляції та появи на корпусі устаткування потенціалу, величина якого небезпечна для життя людини. Тому потрібно мінімально можлива величина струму однофазного КЗ, яка буде наприкінці ділянки, що захищається, тому що цей струм має бути достатнім для спрацьовування захисту автоматичного вимикача.

Якщо потужність живильної енергосистеми значна ($X_c < 0,1X_T$), початкове діюче значення періодичної складової струму однофазного металевого КЗ в електричній мережі напругою до 1 кВ «Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора» рекомендують визначати за формулою:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{IT}}, \quad (4.1)$$

де U_{ϕ} — фазна напруга мережі, В;

Z_{IT} — повний опір петлі «фаза — нуль» від трансформатора до точки КЗ, обмірюваний при іспитах або знайдений із розрахунків, мОм;

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$Z_T^{(1)}$ — повний опір знижувального трансформатора струмам однофазного КЗ, значення якого залежно від потужності та схеми з'єднання трансформаторів приймається з таблиці Н.3 додатка Н [2] або визначається як:

$$Z_T^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T})^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T})^2}, \quad (4.2)$$

де R_{1T} і X_{1T} — активний та індуктивний опори трансформатора струмам прямої послідовності, мОм;

$R_{2T} = R_{1T}$ і $X_{2T} = X_{1T}$ — те саме зворотної послідовності, мОм;

R_{0T} і X_{0T} — те саме нульової послідовності, мОм.

Опори трансформатора струмам нульової послідовності значною мірою залежать від схеми з'єднання обмоток трансформатора, тому рекомендується схема «трикутник — зірка з нейтраллю» (Δ/Y_n), у якій порівняно зі схемою «зірка — зірка з нейтраллю» (Y/Y_n) струм однофазного КЗ на шинах НН (до 1 кВ) у 3 рази більший, що сприяє надійному спрацюванню захисних апаратів (автоматів).

Якщо живильна енергосистема має обмежену потужність, то значення $Z_T^{(1)}$ збільшується з урахуванням опору енергосистеми.

$$Z_T^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T} + 2R_C)^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T} + 2X_C)^2}. \quad (4.3)$$

Опір петлі «фаза — нуль» для ланцюга з n послідовно з'єднаних ділянок визначається за формулою:

$$Z_{ПТ} = \sum_{i=1}^n z_{n,nn,i} \cdot l_i, \quad (4.4)$$

де $z_{n,nn,i}$ — питомий опір петлі «фаза – нуль» кожної наступної ділянки від трансформатора до точки КЗ, мОм/м (величини $z_{n,nn,i}$ наведені в таблицях Н.6-Н.8 додатка Н [2], у довідкових та інших джерелах);

l_i — довжина i -ї ділянки, м.

Опори контактів шин, апаратів, ТС не враховуються, бо обчислення за формулою (4.1) дає деякий запас для струму внаслідок арифметичного додавання $Z_T^{(1)}/3$ і $Z_{ПТ}$.

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для більш точнішого розрахунку струмів однофазних КЗ, крім опорів трансформатора й зовнішньої живильної мережі, ураховують сумарний активний і індуктивний опори петлі «фаза-нуль», що містять опори шинопроводів, апаратів і перехідних опорів, починаючи від нейтралі знижувального трансформатора, а також опір дуги.

З урахуванням опору мережі понад 1 кВ (опорів трансформатора і живильної мережі X_c і R_c), перехідних активних опорів контактів і опору дуги фактичне значення струму однофазного КЗ буде меншим, тому в разі необхідності більш точного визначення струму (наприклад, якщо його величина близька до уставок спрацьовування захисту) за будь-якої потужності живильної енергосистеми користуються формулою [8]:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_\Sigma^{(1)}}{3} + Z_{\Pi T}}. \quad (4.5)$$

Величина $Z_\Sigma^{(1)}$ з урахуванням перехідних активних опорів контактів $R_k = 15$ мОм обчислюється як [1]:

$$Z_\Sigma^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T} + 2R_c + 3R_{\Pi T})^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T} + 2X_c)^2}. \quad (4.6)$$

Визначаємо струм однофазного КЗ у точках К1, К2 і К3 для схеми на рисунку 4.2.

Трансформатор типу ТМ-630/6, схема з'єднання обмоток трансформатора «трикутник — зірка з нейтраллю» (Δ/Y_n).

Кабельні лінії:

Кб1: СІП-4х70; $I_{кб1} = 250$ м;

Кб2: ВВГнг 5х10 ; $I_{кб2} = 20$ м;

Кб3: ВВГнг 3х2,5; $I_{кб3} = 5$ м;

Розрахунок. З таблиці НЗ додатка Н [2] для трансформатора з номінальною потужністю 630 кВА і схемою з'єднання обмоток трансформатора «трикутник — зірка з нейтраллю» (Δ/Y_n) повний опір струму однофазного КЗ $Z_T^{(1)} = 42$ мОм.). Струм однофазного металевого КЗ в точці К1:

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{nom}}{\frac{z_T^1}{3}} = \frac{230}{\frac{42}{3}} = 16,4 \text{ кА.}$$

З таблиці Н7 додатка Н [2] повні питомі опори $z_{п.пт}$ ланцюга «фаза — нуль» для чотирижильних кабелів та проводів з мідними жилами такі: $z_{п.пт.кб1} = 1,054$ мОм/м; $z_{п.пт.кб2} = 4,34$ мОм/м; ; $z_{п.пт.кб3} = 17,46$ мОм/м.

Повний опір петлі «фаза — нуль» до точки К2 визначається за формулою:

$$Z_{nm.2} = Z_{nm.кб1};$$

$$Z_{nm.2} = 1,054 \cdot 250 = 263,5 \text{ мОм.}$$

Струм однофазного металевого КЗ у точці К2:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{nom}}{\frac{z_T^1}{3} + Z_{nm2}} = \frac{230}{\frac{42}{3} + 263,5} = 0,83 \text{ кА.}$$

Повний опір петлі «фаза — нуль» до точки К3 визначається за формулою:

$$Z_{nm.3} = Z_{nm.кб1} + Z_{nm.кб2};$$

$$Z_{nm.3} = 1,054 + 4,34 \cdot 20 = 87,85 \text{ мОм.}$$

За формулою (5.25) струм однофазного металевого КЗ у точці К3:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{nom}}{\frac{z_T^1}{3} + Z_{nm3}} = \frac{230}{\frac{42}{3} + 87,85} = 2,26 \text{ кА.}$$

Повний опір петлі «фаза — нуль» до точки К4 визначається за формулою:

$$Z_{nm.4} = Z_{nm.кб1} + Z_{nm.кб2} + Z_{nm.кб3};$$

$$Z_{nm.4} = 1,054 + 4,34 + 17,46 \cdot 5 = 92,7 \text{ мОм.}$$

Струм однофазного металевого КЗ у точці К4:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{nom}}{\frac{z_T^1}{3} + Z_{nm4}} = \frac{230}{\frac{42}{3} + 92,7} = 2,16 \text{ кА.}$$

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

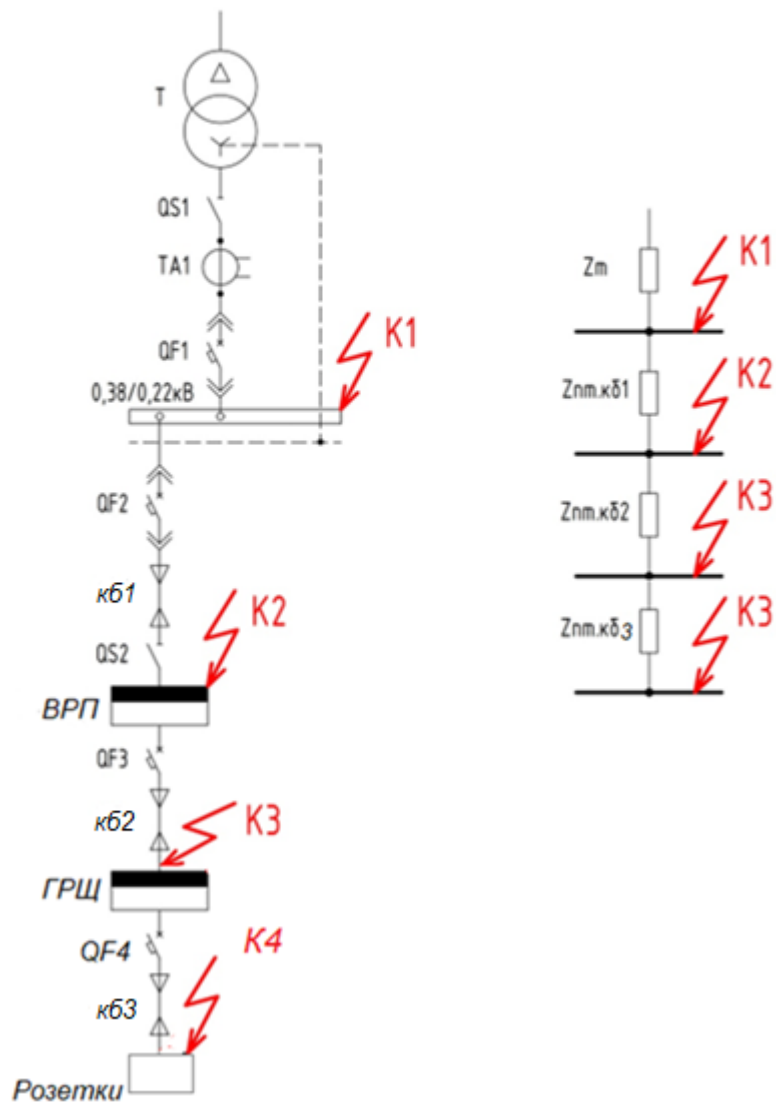


Рисунок 4.2 — Розрахункові схеми

Результати розрахунків струмів КЗ зведені в табл. 4.1.

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 4.1 — Результати розрахунку струмів КЗ у різних точках електричної мережі приватного будинку

	№ ЕП	Струм трифазного КЗ, кА					Струм однофазного КЗ, кА			
		КЗ	К2'	К2	К1'	К1	К4	К3	К2	К1
ГРЩ	Гр2	1,12	1,35	1,39	4,80	6,88	2,156	2,26	0,83	16,400
	Гр3						0,355			
	Гр4						0,655			
	Гр5						0,655			
	Гр6						1,624			
	Гр7						1,186			
	Гр8						0,223			
	Гр9						0,375			
	Гр10						0,328			
	Гр11						0,398			
	Гр12						0,193			
	Гр13						1,303			
	Гр14						0,746			
	Гр15						0,770			
	Гр16						0,486			
	Гр17						0,689			
	Гр18						0,437			
	Гр19						2,168			
	Гр20						2,168			
	Гр21						2,168			
	Гр22						2,168			
	Гр23						0,385			
	Гр24						1,037			
	Гр25						0,823			
	Гр26						0,405			
	Гр27						0,477			
	Гр28						0,385			
	Гр29						0,268			
	Гр30						0,223			
	Гр31						0,278			

5. Вибір автоматичних вимикачів

Вибір і перевірка всіх ЕА напругою до і понад 1 кВ мають відповідати таким умовам:

1) міцності ізоляції для роботи в тривалому режимі та при короткочасних перенапругах:

$$U_{ном.е.а} \geq U_{ном.м}, \quad (5.1)$$

де $U_{ном.е.а}$ і $U_{ном.м}$ — номінальна напруга ЕА і номінальна напруга електричної мережі (установки) відповідно, у якій застосовується ЕА;

2) допустимого нагрівання струмами в тривалому режимі:

$$I_{ном.е.а} \geq I_{ф}, \quad (5.2)$$

де $I_{ном.е.а}$ і $I_{ф}$ — номінальний струм ЕА і струм форсованого режиму відповідно, тобто тривалий максимальний робочий струм, який може через нього протікати;

3) відповідності навколишньому середовищу (нормальне, пожежонебезпечне, вибухонебезпечне та ін.), роду установки (внутрішня, зовнішня) і конструктивному виконанню (висувна, стаціонарна) та ін.;

4) параметрам основної функціональної характеристики: комутаційні ЕА - струм вимикання (вмикання) при КЗ (комутаційна здатність), ЕА захисту - номінальний струм плавкої вставки запобіжника чи уставки розчеплювача автомата.

Перевірку вибраних ЕА проводять за їх стійкістю та працездатністю при наскрізних струмах КЗ. Мають виконуватися такі умови:

5) струм електродинамічної стійкості EAd

$$i_{дин} \geq i_y, \quad (5.3)$$

де i_y — розрахунковий ударний струм;

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) допустимий струм термічної стійкості апарата I_T за допустимий час термічної стійкості t_T :

$$I_T^2 \cdot t_T \geq I_K^2 \cdot t, \quad (5.4)$$

де I_K і t — розрахункові параметри струму КЗ і дійсного часу вимикання КЗ відповідно [9].

Таким чином, номінальна напруга цих автоматів вибирається як:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}, \quad (5.5)$$

Номінальний струм автоматів і номінальні струми розчеплювачів не повинні бути меншими за струм форсованого режиму:

$$I_{ном.а} \geq I_\phi, \quad (5.6)$$

$$I_{ном.р} \geq I_\phi. \quad (5.7)$$

У формулах (5.6) і (5.7) беруться найближчі значення номінальних струмів автоматів і розчеплювачів. Автомати звичайно мають кілька номінальних струмів розчеплювача. Найбільше значення номінального струму розчеплювача дорівнює номінальному струму автомата, тому $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$

Струм форсованого режиму визначається за формулою:

$$I_\phi = K_{рез} \cdot I_p, \quad (5.8)$$

де $K_{рез}$ — коефіцієнт резервування;

I_p — розрахунковий струм (береться залежно від місця знаходження ЕА в схемі електропостачання).

Уставка струму спрацювання від перевантаження $I_{с.п}$ (уставка струму теплового розчеплювача $I_{у.т.р}$) вибирається за умови:

$$I_{с.п} = I_{у.т.р} \geq K \cdot I_p, \quad (5.9)$$

де K — коефіцієнт, який приймається 1,1 для автомата вводу QF, 1,25 - для автоматів QF1-QF31 або 1,0.

У формулі (5.9) для автомата вводу QF1 як розрахунковий струм приймається струм форсованого режиму трансформатора I_ϕ ; для автомата QF2 — розрахунковий струм першого рівня електропостачання $I_{р.2}$; для автомата QF3

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— розрахунковий струм другого рівня електропостачання одного ЕП $I_{p.1}$ (номінальний струм ЕП $I_{ном.ЕП}$ при $k_3 - 1$).

Автомати не повинні вимикати ділянки, які захищають, при короткочасних перевантаженнях (пускові струми, пікові струми та ін.).

Для автомата вводу QF1 спрацьовування відсічки розчеплювача миттєвої дії $I_{с.в}$ визначається за формулою:

$$I_{с.в} \geq (6 - 10)I_{ном.Т} \quad (5.10)$$

де $I_{ном.Т}$ — номінальний струм трансформатора на стороні НН.

Умова перевірки від пікових струмів для групи ЕП (автомат QF2) і від пускових струмів для одного ЕП (автомат QF3) полягає у виборі уставки струму спрацьовування відсічки розчеплювача миттєвої дії $I_{с.в}$ (уставки струму електромагнітного розчеплювача $I_{у.е.р}$) більше цих струмів відповідно не менш ніж на 25 %, тому що похибка від розкиду характеристик може досягати до 15 % [10]:

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25I_{пик}, \quad (5.11)$$

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} \geq 1,25I_{пуск}, \quad (5.12)$$

де $I_{пик}$ і $I_{пуск}$ — піковий струм групи ЕП за формулами (2.15), (2.5) відповідно (дані пускових і пікових струмів беруться з результатів розрахунків розділу 2).

Як комутаційний апарат автомати перевіряють щодо здатності вимикання за умови:

$$I_{ном.в.а} \geq I_{н.о} = I_k^{(3)}, \quad (5.13)$$

де $I_{ном.в.а}$ — номінальний струм вимикання автомата при нормованих умовах роботи;

$I_{н.о} = I_k^{(3)}$ — початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ, до того ж для автоматів вводу й секційних автоматів цей струм визначають для металевого КЗ без перехідних опорів, а для інших (автоматів QF2 і QF3) — з урахуванням опору контактів R_k .

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до пункту 4 (функціональне призначення) для чутливості захисту (надійного його спрацювання) мінімальний струм КЗ (звичайно це струм однофазного КЗ у найбільш віддаленій точці лінії, яка захищається) має перевищувати уставки розчеплювачів залежно від їх типів у таких співвідношеннях:

для розчеплювача миттєвої дії (електромагнітного або напівпровідникового) з номінальним струмом більше 100 А

$$I_K^{(1)} \geq 1,25I_{c.в}, \quad (5.14)$$

та при струмі до 100 А включно:

$$I_K^{(1)} \geq 1,4I_{c.в}, \quad (5.15)$$

— для розчеплювача уповільненої дії:

$$I_K^{(1)} \geq 3I_{c.в}, \quad (5.16)$$

Вибірковість дії послідовно встановлених автоматів забезпечується за умови, що їх захисні характеристики на карті селективності не повинні перетинатися, до того ж уставки струму розчеплювачів уповільненої й миттєвої дії в автомата, розташованого ближче до ЕП, мають бути в 1,5 рази менші, ніж у більш віддаленого автомата [11].

5.1. Вибір ввідного автомата ВРП

Вибираємо автомат Hager NCN650 C50A струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

За формулою (5.5) номінальна напруга автомата вибирається як:

$$400 \geq 380В.$$

Визначений раніше розрахунковий струм ВРП:

$$I_{номВРП} = 41,3А.$$

Тоді за формулою (5.6) номінальний струм автомата Hager NCN650 C50А:

$$I_{ном.а} = 50 > I_{\phi} = 41.3 А.$$

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для автомату Hager NCN650 C50A номінальний струм теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ 50 А. Тоді за формулою (5.7) номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{ном.т.р} = 50 \geq I_{\phi} = 41.3 \text{ А.}$$

Для автомату Hager NCN650 C50A кратність струму спрацьовування (уставки) теплового розчеплювача $I_{у.т.р}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{у.т.р} / I_{ном.т.р}$) відповідно до характеристики становить 5. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{у.т.р} = 5 \cdot I_{ном.т.р} = 5 \cdot 50 = 250 \text{ А.}$$

За формулою (5.9):

$$I_{у.т.р} = 250 \text{ А} > 1,1 \cdot 41.3 = 45.43 \text{ А.}$$

Для автомату Hager NCN650 C50A у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацьовування відсічки $I_{с.в}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{у.е.р}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{у.т.р} / I_{ном.т.р}$) становить 10. Таким чином, струм спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача):

$$I_{с.в} = I_{у.е.р} = 10 \cdot I_{ном.т.р} = 10 \cdot 50 = 500 \text{ А.}$$

За формулою (5.10):

$$I_{с.в} = 500 \text{ А} > 6 \cdot 45.43 = 272.58 \text{ А.}$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ автоматом вводу ВРП береться струм трифазного КЗ у точці К2 з таблиці 4.1 $I_{К1(0)} = 1,39$ кА. Для автоматів Hager NCN650 C50A вимикаюча гранична комутаційна здатність (ВГКЗ) при $I_{ном.а} = 50$ А становить $I_{ном.в.а} = 10$ кА. За формулою (5.14):

$$10 \text{ кА} > 1,39 \text{ кА.}$$

Для перевірки чутливості захисту з таблиці 4.1 струм однофазного КЗ на клемах ВРП $I_{к}^{(1)} = 0,83$ кА. За формулою (5.15) для електромагнітного розчеплювача з номінальним струмом до 100 А:

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_K^{(1)} = 0,83 \text{ кА} > 1,4 \cdot 500 = 0,75 \text{ кА}.$$

Остаточню вибирається автомат Hager NCN650 C50A з такими параметрами:

$$U_{\text{ном.а}} = 380\text{В}; I_{\text{ном.а}} = 50\text{А}; I_{\text{ном.т.р}} = 50\text{А}; I_{\text{у.т.р}} = 250\text{А}; I_{\text{у.е.}} = 500 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.в.а}} = 10\text{кА}.$$

Результати вибору ЕА зручно подати у вигляді таблиці: у першій колонці записують умови вибору, у другій — каталожні дані ЕА, у третій — розрахункові дані дивися табл. 5.1. У ВРП монтуються два автомати, один до лічильника другий після, відповідно ми розраховували автомат до лічильника, тоді після лічильника обирається аналогічний автомат.

Таблиця 5.1 – Каталожні та розрахункові дані автомата вводу QF для ВРП

Умови вибору	Каталожні дані автомата Hager NCN650 C50A	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.а}} = 380\text{В}$	$U_{\text{ном.м}} = 380\text{В}$
За номінальним струмом автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.а}} = 50\text{А}$	$I_{\phi} = 45,43\text{А}$
За номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{ном.р}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.р}} = 50\text{А}$	$I_{\phi} = 45,43\text{А}$
За номінальним струмом автомата та його розчеплювачів $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	$I_{\text{ном.а}} = 50\text{А}$	$I_{\text{ном.р}} = 50\text{А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1I_{\phi}$	$I_{\text{у.т.р}} = 250\text{А}$	$1,1I_{\phi} = 1,1 * 41,3 = 45,43\text{А}$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{\text{с.в}} \geq (6 - 10)I_{\text{ном.т}}$	$I_{\text{с.е}} = I_{\text{у.е.р}} = 500\text{А}$	$I_{\text{с.е}} = 6I_{\text{п.к}} = 272,58\text{А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_K^{(3)}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 10\text{кВ}$	$I_{\text{п.о}} = I_K^{(3)} = 1,39\text{кА}$
За умовою чутливості $I_K^{(1)} \geq 1,4I_{\text{с.в}}$	$I_K = 0,83 \text{ кА}$	$I_K^{(1)} = 0,75 \text{ кА}$

5.2. Вибір автоматів розподільної мережі

Аналогічно проводимо розрахунок для вибору лінійних автоматів і автоматів для ЕП. Крім того, на кожну групу окрім освітлення встановлений ПЗВ, які поєднують у собі функції захисту від струмів КЗ і перевантаження та захист від струму витоку з уставкою 30мА, що дозволяє вимкнути лінію при пошкодженні ізоляції технологічного обладнання та доторку мешканців до корпусу обладнання що перебуває під напругою [12].

Результати записуємо до табл. 5.2 та 5.3 відповідно.

Таблиця 5.2 — Результати вибору ввідних пристроїв

Лінія живлення	Тип апаратури	Uном, В	Iном, А	Iном.т.р, А	Iу.т.р, А	Iу.в.р, А	Iном.в.а, кА	Iном.диф, мА
ВРП	Hager NCN650 C50A	380	50	50	250	500	10	-
ГРЩ	Hager MC450	380	50	50	250	500	6	-
ГРЩ	Hager CP450J	380	50	50	250	500	6	300
ГРЩ	Zubr MF63	230	63	63	315	630	-	-
ГРЩ	ESC450	380	50	50	-	-	-	-
ІНВЕР.	Hager MC250	230	50	50	250	500	-	-
ІНВЕР.	Hager SFB140	230	40	40	-	-	-	-

Таблиця 5.3 — Результати вибору лінійних автоматів до ЕП

Автомат	Тип автомата (дифавтомата), ПЗВ	Uном, В	Iном, А	Iном.т.р, А	Iу.т.р, А	Iу.в.р, А	Iном.в.а, кА	Iном.диф, мА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гр1-QF	Hager MC425	380	25	25	125	250	6	-
Гр2-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр3-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр4-QF	Hager AD966j	230	16	16	80	160	6	30
Гр5-QF	Hager AD966j	230	16	16	80	160	6	30
Гр6-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр7-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гр8-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр9-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр10-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр11-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр12-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр13-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр14-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр15-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр16-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр17-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр18-QF	Hager MC116	230	16	16	80	160	6	-
Гр19-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр20-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр21-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр22-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр23-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр24-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр25-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр26-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр27-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр28-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр29-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр30-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
Гр31-QF	Hager MC110	230	10	10	50	100	6	-
QD1	Hager CD225J	230	25	25	125	250	7	30
QD2	Hager CD225J	230	25	25	125	250	8	30
QD3	Hager CD225J	230	25	25	125	250	9	30
QD4	Hager CD225J	230	25	25	125	250	10	30
QD5	Hager CD225J	230	25	25	125	250	11	30

Переходимо до проектування електрощитів та їх сценаріїв. Технічне завдання від замовника:

1. Захист від обладнання там кабельних ліній від короткого замикання.
2. Захист від току витоку (двохрівневий захист).
3. Захист від току виток на вводі (протипожежне селективне ПЗВ).
4. Захист від перенапруги.
5. Живлення від сонячних панелей резервованих ліній.
6. Вимикання при постановці на охоронну сигналізацію будинку неперіоритетних споживачів.

В першу чергу для захисту ПЗВ потрібно розподілити споживачі по групам.

При розподілу між фазами, потрібно враховувати перекеіс фаз, тому для зменшення перекоосу треба рівномірно розподілити навантаження на кожену фазу.

Вибираємо ПЗВ типу А, для захисту споживачів від току витоку як змінного синусоїдального струму, так і витоку пульсуючого постійного струму.

Для розрахунку кількості споживачів підключених до одного ПЗВ потрібно дотримуватись такої нерівності:

$$I_{\text{ном}} > I_{\text{р.н}}, \text{ А,}$$

де $I_{\text{р.н}}$ — це сума розрахункового струму кожного споживача, який під'єднаний до одного ПЗВ. [13,14]

Розрахуємо кількість під'єднаних споживачів до ПЗВ наведені в додатку F група №1 Н/Л.

$$I_{\text{р.н1}} = 0,74 + 0,16 + 0,16 = 1,09 \text{ А,}$$

$$25 > 1,09 \text{ А.}$$

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Умова виконується, тому ПЗВ та кількість підключених споживачів обране правильно. По аналогії розраховуємо до кожної групи ГРЩ. Всі дані по розподілу між фазами та на групи зведені до таблиці в додатку F.

При проектуванні ВРП, потрібно розраховувати вільне місце для переходу з СІП на кабельну лінію ВВГнг 5x10. На вводі потрібно встановити два ввідних автомата однакової потужності. Перший автомат встановлюється перед електролічильником, другий після, це забезпечить подальше обслуговування лічильника. ВРП закріплений на стовпі, тому СІП заходить з опори та переходить на кабельну лінію, яка прокладена в землі до ГРЩ. Перехід з СІП на ВВГнг виконаний опресуванням кожної жили зі спеціальними перехідними гільзами «алюміній — мідь». ВРП виконаний в металевому боксі з вологозахистом IP64. Однолінійні та візуальні схеми наведені у додатках.

Для вимикання неперіоритетних споживачів при постановці будинок на охоронну сигналізацію, потрібно використовувати контактор з нормально відкритими контактами. Через електромагнітне реле високої потужності JQX — 58F 60A від блоку управління охоронної сигналізації потрібно заживити котушку контактора ESC 450. Для більшого комфорту в житті замовника, ми передбачили невідключні лінії при уході з будинку, наприклад, холодильник, охоронна сигналізація, електрокотел для опалення. Для більш комфортного розподілення споживачів між фазами, ми встановили крос модулі, за допомогою них можна швидко перекинути споживач з однієї фази на іншу в разі потреби. Кожен гвинтовий контакт затягнутий динамометричним інструментом з силою = 2,5 Н.

При проектуванні електрощита потрібно залишати мінімум 2 DIN-рейки для можливої перекомутації та обслуговування. Для збільшення вентиляції в електрощиті потрібно залишати декілька вільних модулів на DIN-рейці. Кабельні лінії заходять в електрощит зверху, тому і розташовуємо ввідний автомат в правому верхньому кутку. Для зручності ми розташували резервовані лінії з однієї сторони, а не резервовані з іншої. Однолінійна та візуальна схема ГРЩ наведена у додатках.

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						58
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

6. Вибір альтернативних джерел живлення будинку

Розрахуємо навантаження змінного струму і вказуємо її номінальні потужності. Дані та розрахунки наведені в табл. 6.1 W.

Таблиця 6.1 — Резервоване навантаження споживачів

№ ЕП	Найменування	Електроприймач			
		Кіл-ть	U, В	P, Вт	I, А
1	Холодильник	1	230	100	0,48
2	Свердловина	1	230	1500	6,5
3	Водопідготовка	1	230	1500	6,5
4	Котел газовий	1	230	200	0,86
5	Розетки зал 1 поверх	1	230	2000	8,7
6	Світло кухня	1	230	200	0,86
7	Світло С/В+ спальня 1 поверх	1	230	200	0,86
8	Світло зал 1 поверх	1	230	200	0,86
9	Світло коридор 2 поверх	1	230	200	0,86
10	Світло С/В+ кухня 2 поверх	1	230	200	0,86
11	Світло спальня 2 поверх	1	230	200	0,86
12	Розумний будинок	1	230	100	0,48
	Разом:			6,6 кВт	

Загальна потужність електроспоживачів $W = 6,6$ кВт/год.

1. Визначення енергоспоживання й потужності інвертора.

1.1. Розрахунки проводиться для будинку споживання енергії при включенні всіх споживачів = 6,6 кВт. Будинок підключений до загальної енергомережі. Коли енергії, виробленої сонячними батареями, буде недостатньо, енергія буде споживатися з мережі. І навпаки, коли виробіток буде більше споживання, електроенергія передається в мережу.

1.2. Енергії постійного струму з урахуванням втрат в інверторі буде потрібно:

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{пот}} = W_{\text{змін}} * k = 6,6 * 1,2 = 7,92 \text{ кВт*год.}$$

Вибираємо інвертор Victron MultiPlus 48/8000/110-100 230V, номінальна напруга - 48В, номінальна потужність – 8000 Вт [15].

1.3. Число Ампер-годин, необхідне для покриття навантаження змінного струму:

$$q_{\text{доб}} = \frac{W_{\text{ном}}}{U_{\text{инв}}} = \frac{7,92 \cdot 10^3}{48} = 165 \text{ А*год.}$$

1.5. Ухвалюємо, що в будинку немає навантаження постійного струму $W_{\text{пост}} = 0$.

2. Визначення значення необхідної ємності акумуляторної батареї і їх кількості.

Приймаємо, що при аварійном вимиканні світла з графіком 3/1 (1 година є світло, 3 години немає), та протягом 3 місяців кожного дня, то $N_{\text{ав}}=3$ [16].

Сумарна ємність акумуляторів, що враховує кількість днів без сонця та без електроенергії:

$$q_n = q_{\text{доб}} * N_{\text{бс}} = 165 * 3 = 495 \text{ А*год.}$$

Задаємося величиною глибини припустимого розряду акумуляторної батареї 70%. Відповідно коефіцієнт використання $\gamma = 0,7$.

Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:

$$q_{\gamma} = \frac{q_n}{\gamma} = \frac{495}{0,7} = 707 \text{ А*год.}$$

2.1. Вибираємо з табл. 3.4 коефіцієнт, що враховує температуру навколишнього середовища в приміщенні, де встановлені акумуляторні батареї. Якщо акумуляторні батареї розташовуються в гаражі, то при 15,6С — $\alpha = 1,11$ [17].

2.2. Загальна необхідна ємність акумуляторних батарей:

$$q_{\text{заг}} = q_{\gamma} \cdot \alpha = 707 \cdot 1,11 = 785 \text{ А*год.}$$

2.3. Вибираємо акумуляторну батарею Аккумулятор літій — залізо-фосфатного типу PyLontech US5000 Номінальна напруга $U_{\text{ном}} = 48\text{В}$, ємність $q_{\text{ном}} = 1000 \text{ А/год}$ з запасом ємності в 20% [17].

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна кількість необхідних акумуляторних батарей: $N^{AKB} = 1 * 1 = 1$ шт.

3. Визначення необхідної кількості сонячних батарей.

Таблиця 6.2 — Кількість сонячного опромінення

Місяць	φ	β	ω_z	ω_{zn}	$K_{п}$	Пряме випро $Q_{пр}$, кВт·год/м ²	Розсіяване випром'я $Q_{д}$, кВт·год/м ²	Сумарне випром Q_{Σ} , кВт·год/м ²	ρ	K_{Σ}	i
січень	50,911	45	84,26	43,11	0,87	1,14	2,06	3,20	0,7	0,97	1,65
лютий	50,911	45	16,07	6,78	1,84	1,93	3,05	4,98	0,7	0,53	2,86
березень	50,911	45	11,47	5,73	0,48	3,05	3,86	6,91	0,7	1,52	4,60
квітень	50,911	45	18,19	8,89	0,48	3,98	4,11	8,09	0,2	1,33	6,28
травень	50,911	45	66,42	59,14	0,83	5,27	4,84	10,11	0,2	0,98	7,59
червень	50,911	45	11,47	89,89	4,50	5,32	4,60	9,92	0,2	2,18	7,58
липень	50,911	45	83,10	47,93	0,54	5,38	4,77	10,15	0,2	1,24	7,19
серпень	50,911	45	40,53	73,14	0,71	4,67	4,63	9,30	0,2	1,09	6,23
вересень	50,911	45	43,11	71,34	0,48	3,19	3,66	6,85	0,2	1,37	4,93
жовтень	50,911	45	38,74	21,57	0,40	1,98	2,74	4,72	0,7	1,66	3,25
листопад	50,911	45	8,11	4,44	0,89	1,1	1,83	2,93	0,7	0,95	1,94
грудень	0,911	45	47,93	68,90	0,69	0,86	1,65	2,51	0,7	1,30	1,31
										Середнє:	4,61

Таблиця 6.3 — Кут нахилу Сонця

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
δ , град	23.4	-6	18.6	9.06	-23.2	1,58	19,94	16.98	11.3	-22.72	0,17	-11.3

За результатами табл 6.2, вибираємо сонячну батарею Longi LR5 тобто 550 Вт, напруга = 48 В, струм у точці максимальної потужності $I_{mpp} = 13.12$ А. Площа сонячної батареї 2 м² [17, 18].

Враховуємо втрати на заряд-розряд акумуляторної батареї:

$$q_{з-р} = q_{доб} \cdot \zeta = 165 \cdot 1,2 = 198 \text{ А*год.}$$

Значення струму, який повинні генерувати сонячні батареї:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i} = \frac{198}{4,61} = 43 \text{ А.}$$

Загальна кількість необхідних сонячних батарей:

$$N^{CB} = \frac{W}{P_{ном}^{CB}} = \frac{6600}{550} = 12.$$

Число модулів, з'єднаних послідовно:

$$N_{посл}^{CB} = \frac{N^{CB}}{N_{посл}^{CB}} = \frac{12}{1} = 12.$$

Площа сонячних батарей:

$$S^{CB} = N^{CB} \cdot S_1^{CB} = 12 \cdot 2 = 24 \text{ м}^2.$$

					<i>БР 3.6.14.1.125. ПЗ</i>	Арк.
						62
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

7. Розрахунок заземлюючого контуру приватного будинку

Заземленням називають навмисне з'єднання металевих частин електроустановки з заземлюючим пристроєм [13].

Заземлюючий пристрій (ЗП) — це сукупність заземлювача та заземлюючих провідників [10].

Необхідно розрахувати заземлювальний пристрій будинку. Природних заземлювачів немає.

Вихідні дані:

Розмір будинку — $A \times B = 10 \times 14 \text{ м}^2$.

Ґрунт в місці будівлі — чорнозем; кліматична зона — I.

Вертикальний електрод — кругла сталь $\varnothing 16$ мм, довжина — $L_B = 5$ м. глибина закладання $t = 0,7$ м. Вид ЗП — контурне.

Горизонтальний електрод – смуга (40×4 мм²).

Прийmemo опір заземлювального пристрою на рівні $R_{ЗП} = 4$ Ом.

Питомий опір ґрунту за нормальної вологості = 50 Ом*м

Розрахунковий опір одного вертикального електрода визначається за виразом:

$$r_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{2p + \frac{l}{2}}{2p - \frac{l}{2}} \right), \quad (7.1)$$

де r_B — розрахунковий опір одного вертикального електрода;

$K_{СЕЗ.В}$ — коефіцієнт сезонності;

$\rho_{розр} = \rho \cdot K_{СЕЗ.В}$ — розрахунковий питомий опір ґрунту;

ρ — питомий опір ґрунту, виміряний при нормальній вологості, Ом*м, приймається по табл. 7.2.

$K_{СЕЗ.В} = 1,9$ (I кліматичний район) — значення взяте з табл. 7.1;

$K_{СЕЗ.Г} = 5,8$ значення взяте з табл. 7.1.

$$p = t + \frac{l}{2}. \quad (7.2)$$

Для визначення питомого опору землі за розрахункове варто приймати його сезонне значення, що відповідає найменш сприятливим умовам.

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.1 — Коефіцієнти сезонності

Кліматична зона	Вид заземлювача		Додаткові відомості
	вертикальний	горизонтальний	
1	2	3	4
I	1,9	5,8	Глибина закладення вертикальних заземлювачів від поверхні землі 0,5...0,7м
II	1,7	4,0	Глибина закладення горизонтальних заземлювачів 0,3...0,8 м
III	1,5	2,3	
IV	1,3	1,8	

Примітка. Зона I має найбільш холодний, IV – теплий клімат;

Таблиця 7.2 — Питомий опір ґрунту ρ

Ґрунт	Торф	Глина, земля садова	Чорнозем	Суглинок	Кам'янистий ґрунт	Супісок	Пісок з галькою
ρ , Ом·м	20	40	50	100	200	300	800

Таким чином приймаємо $\rho = 50$ Ом·м.

Розраховуємо опір одного вертикального електрода за формулою (7.1):

$$r_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{2p + \frac{l}{2}}{2p - \frac{l}{2}} \right) = \frac{50 \cdot 1,9}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{2 \cdot 3,2 + \frac{5}{2}}{2 \cdot 3,2 - \frac{5}{2}} \right) = 20,73 \text{ Ом.}$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів без урахування екранування (розрахункове):

$$N'_{B.P} = \frac{r_B}{R_{3У}} \quad (7.3)$$

де $N'_{B.P}$ — кількість вертикальних електродів без урахування екранування (розрахункове округлюємо до найбільшого кратного 2);

$R_{3У}$ — граничний опір сполученого ЗП.

За формулою (7.3):

$$N'_{B.P} = \frac{r_B}{R_{3П}} = \frac{20,73}{4} = 5,18 \approx 6 \text{ шт.}$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування:

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B} \quad (7.4)$$

де $N_{B.P}$ — кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування;
 η_B, η_G — коефіцієнти використання вертикального й горизонтального електродів, визначаються за табл. 10.3.

$$\eta = f(\text{тип ЗП, вид заземлювача}, \frac{a}{L}, N_B),$$

де a — відстань між вертикальними заземлювачами, м;
 L — довжина вертикального заземлювача, м;
 N_B — число вертикальних заземлювачів.

Таблиця 7.3 — Коефіцієнти використання вертикальних η_B і горизонтальних η_G електродів заземлювального пристрою

N_B	$\frac{a}{L}$						Додаткові відомості
	1		2		3		
	η_B	η_G	η_B	η_G	η_B	η_G	
4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,70	Чисельник для контурного ЗП, Знаменник — для рядного
	0,74	0,77	0,83	0,89	0,88	0,92	
6	0,62	0,40	0,73	0,48	0,80	0,64	
	0,63	0,71	0,77	0,83	0,83	0,88	
10	0,55	0,34	0,69	0,40	0,76	0,56	
	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82	
20	0,47	0,27	0,64	0,32	0,71	0,45	
	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68	
30	0,43	0,24	0,60	0,30	0,68	0,41	
	0,43	0,31	0,65	0,46	0,75	0,58	

Так як контурний ЗП закладається на відстані не менше 1 м до будівлі і закладення виконується з одної сторони будівлі, то довжина по закладання дорівнює:

$$L_n = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) = (14 + 2) + (10 + 2) = 16 + 12 = 28 \text{ м.}$$

де A — довжина будівлі;

B — ширина будівлі;

L_n — довжина закладання;

$A \times B = 14 \times 10 \text{ м}^2$ — параметри будівлі.

Визначаємо відстань між вертикальними електродами:

$$a = \frac{L_n}{N'_{B.P}} = \frac{28}{6} = 4,6 \text{ м};$$

$$\frac{a}{L_B} = \frac{4,6}{5} = 0,86.$$

Приймаємо як розрахункове значення $\frac{a}{L_B} = 1$.

Таким чином:

$$\eta = f(\text{контурний, вертикальний, 1, 6}) = 0,62.$$

За формулою (7.4):

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B} = \frac{6}{0,62} = 9,67 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_{B.P} = 10$ шт.

Далі відстань між електродами уточнюється з урахуванням форми об'єкта.

По кутах установлюють по одному вертикальному електроду, а ті що залишилися — між ними. Розміщуємо елементи ЗП на плані та уточнюємо відстані.

Для рівномірного розподілу електродів остаточно приймаємо, $N_B = 11$ (рис. 7.1).

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

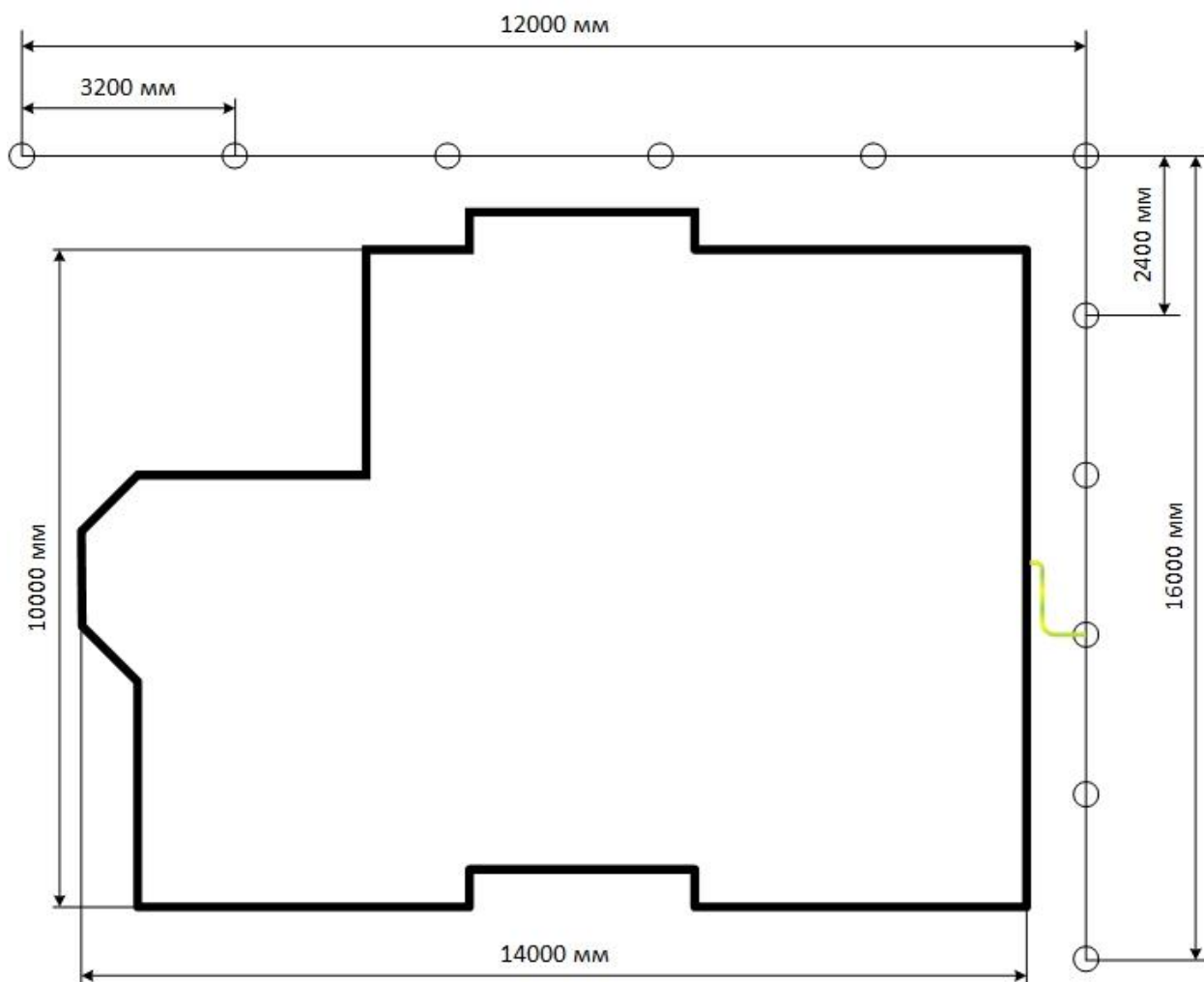


Рисунок 7.1 — План заземлювального контуру

Розрахуємо відстань між електродами:

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1}, \quad (7.5)$$

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1}, \quad (7.6)$$

a_B — відстань між електродами по ширині об'єкта, м;

a_A — відстань між електродами по довжині об'єкта, м;

n_A — кількість електродів по довжині об'єкта;

n_B — кількість електродів по ширині об'єкта.

За формулами (7.5) та (7.6):

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1} = \frac{16}{6 - 1} = 3,2 \text{ м,}$$

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1} = \frac{12}{6 - 1} = 2,4 \text{ м.}$$

Для уточнення приймається середнє значення відношення:

$$\left(\frac{a}{L_B}\right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_A + a_B}{L_B}\right). \quad (7.7)$$

де L_B — довжина вертикального заземлювача, м;

a — відстань між вертикальними заземлювачами, м.

За формулою (7.7):

$$\left(\frac{a}{L_B}\right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_A + a_B}{L_B}\right) = \frac{1}{2} \left(\frac{6 + 4}{5}\right) = 0,56.$$

За табл. 7.3 уточнюються коефіцієнти використання за допомогою апроксимації.

$$\eta_B = f(\text{контурний; вертикальний; 1; 11}) = 0,533.$$

$$\eta_\Gamma = f(\text{контурний; горизонтальний; 1; 11}) = 0,325.$$

Визначаються уточнені значення опорів вертикальних і горизонтальних електродів:

$$R_\Gamma = \frac{0,4}{L_\Pi \eta_\Gamma} \rho K_{CE3\Gamma} l g \frac{2L_\Pi^2}{bt}, \quad (7.8)$$

де R_Γ — уточнене значення опору горизонтальних електродів;

$t = 0,7$ — глибина закладання (м);

b — ширина смуги (м);

L_Π — довжина смуги (м).

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За формулою (7.8):

$$R_{\Gamma} = \frac{0,4}{L_{II}\eta_{\Gamma}} \rho K_{CE3,\Gamma} \lg \frac{2L_{II}^2}{bt} = \frac{0,4}{28 \cdot 0,325} \cdot 50 \cdot 5,8 \cdot \lg \frac{2 \cdot (28)^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 60.526 \text{ Ом.}$$
$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B}.$$

де R_B — уточнене значення опору вертикальних електродів.

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B} = \frac{20.73}{11 \cdot 0,533} = 3.536 \text{ Ом.}$$

Визначаємо $R_{3П,\Phi}$ фактичний опір ЗП:

$$R_{3П,\Phi} = \frac{R_B R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}} = \frac{3.536 \cdot 60.526}{3.536 + 60.526} = 3,341 \text{ Ом;}$$
$$(3,341)R_{3П,\Phi} < R_{3П}(4).$$

Отже, було розраховано параметри ЗП об'єкта, що складається з 11 вертикальних заземлювачів, довжиною 5 м, відстань між якими по довжині об'єкта — 12 м і 16 м — по ширині об'єкта. Довжина по периметру закладання 28 м. Опір заземлюючого пристрою становить 3,341 Ом. Вертикальний електрод — кругла сталь $\emptyset 16$, горизонтальний електрод — смуга з розмірами 40×4 мм.

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Розрахунок системи блискавкозахисту будинку

Зона блискавкозахисту будинку складається з чотирьох стрижнів блискавковідводу, які створюють зовнішні області зони захисту (напівконуси з габаритами h_0, r_0 , висотою і радіусом на рівні землі відповідно) [19,20].

Розміри внутрішніх областей визначаються параметрами h_0, r_0 , перший з яких задає максимальну висоту зони біля блискавковідводів, а другий — мінімальну висоту зони між стрижнями. Висота стрижневих блискавковідводів $h_{12} = 10$ м, $h_{34} = 20$ м.

Таблиця 8.1 — Вихідні дані для розрахунку блискавкозахисту

A, м	B, м	L2, м	L3, м	L4, м	h12, м	h34, м	h _x , м
50	45	18	7.5	13.5	12	12	7

Надійність захисту з $P = 0,999$.

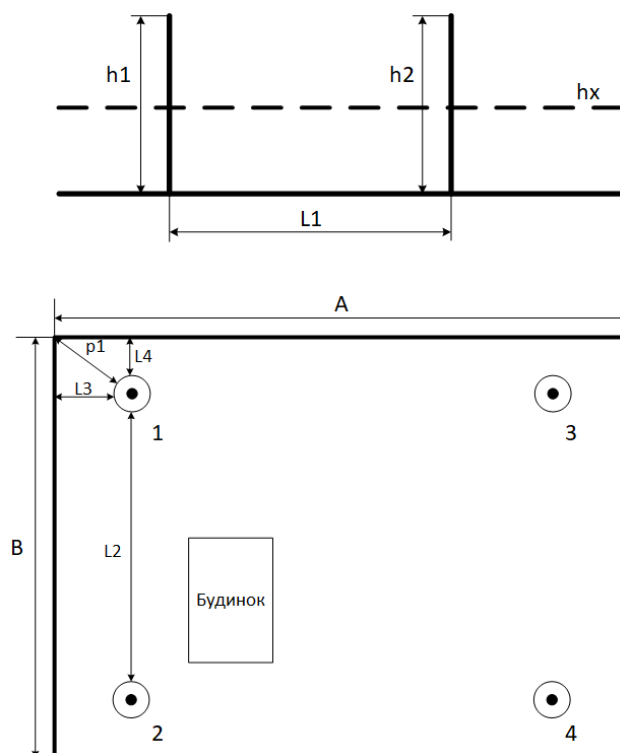


Рисунок 8.1 — Схема розміщення стрижневих блискавковідводів

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Знаходимо відстань L1 за формулою:

$$L1 = A - L3 * 2 = 50 - 7.5 * 2 = 35 \text{ м.}$$

1) Розрахуємо параметри зони захисту блискавковідводів 1 та 2.

Радіус конуса захисту на рівні землі r_{01} , м розраховуємо за формулою:

$$L12 = L2 = 18 \text{ м.}$$

$$r_{01} = r_{02} = 0,6 * h_{12} = 0,6 * 12 = 7,2 \text{ м.}$$

$$h_{01} = h_{02} = 0,7 * h_{12} = 0,7 * 12 = 8,4 \text{ м.}$$

Зона захисту блискавковідводів 1,2 r_{x1} , на заданій висоті розраховується за формулою:

$$r_{x1} = r_{x2} = r_{01} * \frac{(h_{01} - h_x)}{h_{01}} = 7.2 * \frac{(8.4 - 7)}{8.4} = 1.2 \text{ м.}$$

де h_x — задана висота, на рівні якої повинен бути забезпечений надійний блискавкозахист, м.

Граничну відстань між двома блискавковідводами L_{\max} , м розраховуємо за формулою:

$$L_{\max 12} = 4.25 * h_{12} = 4.25 * 12 = 51 \text{ м.}$$

Середня відстань між двома блискавковідводами L_c , м розраховуємо за формулою:

$$L_{c12} = 2.25 * h_{12} = 2.25 * 12 = 27 \text{ м}$$

Ширина горизонтального перерізу зони захисту між двома блискавковідводами r_{cx} , м розраховуємо за формулою:

$h_{c12} = h_{01} = 8,4$ м. — мінімальна висота зони блискавкозахисту.

$$r_{cx12} = \frac{r_{01}(h_{01} - h_x)}{h_{01}} = \frac{7,2 * (8,4 - 7)}{8,4} = 1.2 \text{ м.}$$

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$L_{12} \leq L_{c12}$, та $h_x < h_{c12}$ Умови виконуються

Аналогічний розрахунок і для блискавковідводів 3 та 4.

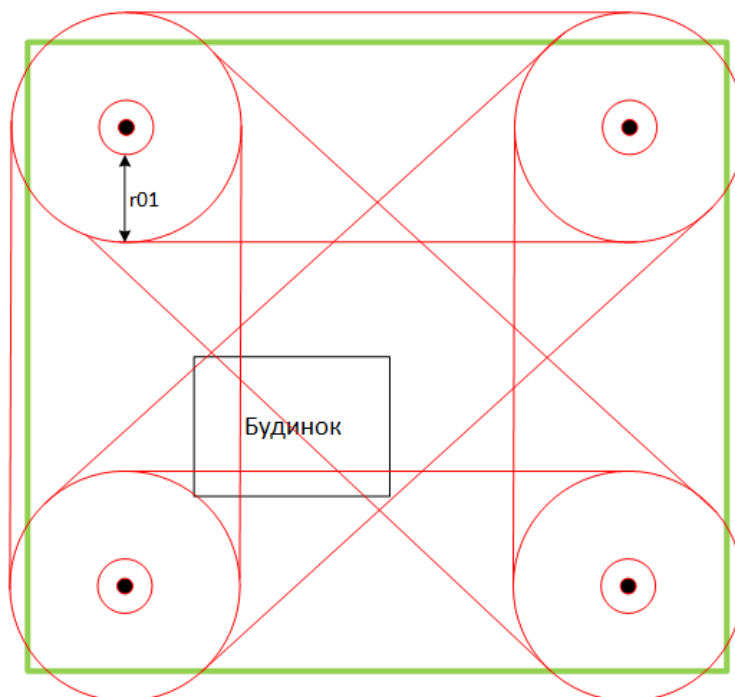
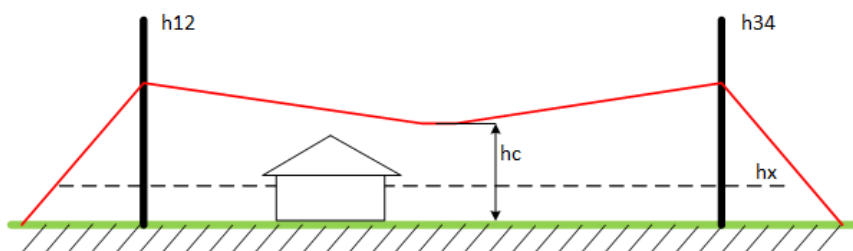


Рисунок 8.2 — Схема зони захисту блискавковідводів.

Оскільки для захисту від ураження будівлі та території блискавкою у проекті використано дві пари блискавковідводів однакової висоти, то параметри захисту для них однакові.

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Висновки

У кваліфікаційній роботі бакалавра було розглянуто питання по забезпеченню електропостачання приватного будинку в смт Велика Писарівка. За допомогою дизайн-проекту та відомого розташування електроспоживачів, було проведено такі розрахунки. На сам перед було розраховано активне, реактивне та повне навантаження всіх споживачів та їх режими роботи з урахуванням коефіцієнта споживання на різних рівнях електропостачання. На основі цих розрахунків було рівномірно розділено навантаження на кожен фазу, щоб уникнути перекосу фаз.

Після проведення аналізу технічних характеристик електроприймачів, було обрано на кожному рівні живлячі кабелі та проводи. Для забезпечення довготривалої та безпечної роботи системи електропостачання, було розраховано: номінальні струми, пікові струми, що виникають при запуску електроприймачів, струми короткого замикання, мінімальні струми уставок теплового та електромагнітного розчіплювачів модульних пристроїв та забезпечили захист від струму витоку, ураження людини електричним струмом та захист від перенапруги.

На основі вище перерахованих розрахунків ми перевірили модульну апаратуру компанії Hager та кабельні лінії ВВГнг від компанії «Інтерелектро» на здатність витримати електродинамічну та термічну дію струмів короткого замикання.

Для забезпечення захисту від ударів блискавки (імпульсних перенапруг), ми розрахували контур заземлення, та зони блискавкозахисту згідно з вимогами ПУЕ та габаритними розмірами території, що має захист.

					БР 3.6.141.125. ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми: ВТД "Університетська книга", 2007.-280 с.
2. Василега П.О. Електропостачання – Суми: Вид-во СумДУ, 2019. - 521 с
3. Козирський В.В, Волошин С.М. Основи електропостачання. Підручник 2021. - 527 с.
4. Михайлів М.І. Розрахунок електричних навантажень. Навчальній посібник. / Михайлів М.І., Соломчак О.В., Гоголюк П.Ф. - Івано-Франківськ : Факел, 2003. - 150 с.
5. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – Київ: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
6. ГОСТ 28249-89. Короткі замкнення в електроустановках. Методи розрахунку в електроустановках змінного струму напругою до 1кВ.
7. ДСТУ ІЕС 60909-0:2007. Струми короткого замикання у трифазних системах змінного струму. Частина 0. Обчислення сили струму (ІЕС 60909-0:2001, ІДТ).
8. ДСТУ ІЕС 60909-4:2008. Струми короткого замикання у трифазних системах змінного струму. Частина 4. Приклади обчислення сили струму короткого замикання (ІЕС TR 60909-4:2000, ІДТ).
9. Конспект лекцій для студентів спеціальності із дисципліни «Техніка високих напруг». 6.141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Укладачі: М.В. Петровський. – Суми: Вид-во СумДУ, 2022 – 135с.
10. Вільна енциклопедія «Вікіпедія» [Електронний ресурс]. – електронний. Журн. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/>

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 11.Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навч. посіб. - Л.: Вид-во Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2005. - 324 с.
12. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».
- 13.Електропостачання промислових підприємств. Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. — Харків: ФОП Панов А.М., 2016 – 272 с.
- 14.Релейний захист і автоматика: Навч. Посіник / С.В. Панченко, В.С. Блиндюк, В.М. Баженов та ін.; за ред. В.М. Баженова. — Харків: УкрДУЗТ, 2020. — Ч.1. —250 с.
- 15.Офіційний сайт Інтернет-магазину «Victron energy» [Електронний ресурс]. – електронний Журн. – Режим доступу: <https://victronenergy.com.ua/>
- 16.Офіційний сайт Інтернет-магазину «Pylontech» [Електронний ресурс]. – електронний Журн. – Режим доступу: <https://e-energy.in.ua/pylontech.html>
- 17.Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи із дисциплін «Електричні перетворювачі сонячної енергії» та «Відновлювальні джерела електричної енергії» / укладач: А. А. Костян. – Суми : Сумський державний університет, 2019.
- 18.Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. / С.О. Кудря. — К. : НТУУ «КПІ», 2012 — 492 с. Вінниця.
- 19.ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT).
- 20.ДСТУ Б В.2.5 -38:2008. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд.

					БР 3.6.14.1.125. ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		