

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕНЕРГОСИСТЕМ**

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи



Київ – 2014

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕНЕРГОСИСТЕМ**

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи
для студентів всіх форм навчання
освітньо-кваліфікаційних рівнів
«спеціаліст» (7.05070102) і «магістр» (8.05070102)
спеціальності «Електричні системи і мережі»

*Рекомендовано Вченою радою факультету
електроенерготехніки та автоматики НТУУ «КПІ»*

Київ
НТУУ «КПІ»
2014

Автоматизовані системи керування та оптимізація режимів енергосистем: Метод. вказівки до викон. розрахунково-графічної роботи для студентів всіх форм навчання освітньо-кваліфікаційних рівнів «спеціаліст» (7.05070102) і «магістр» (8.05070102) спеціальності «Електричні системи і мережі» / Уклад.: С.В. Казанський, О.М. Паненко. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 63 с.

*Рекомендовано Вченою радою факультету
електроенерготехніки та автоматики НТУУ «КПІ»
(Протокол № 9 від 28.04.2014 р.)*

Навчальне видання

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕНЕРГОСИСТЕМ**

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи
для студентів всіх форм навчання
освітньо-кваліфікаційних рівнів
«спеціаліст» (7.05070102) і «магістр» (8.05070102)
спеціальності «Електричні системи і мережі»

Укладачі: *Казанський Сергій Володимирович
Паненко Олена Миколаївна*

Відповідальний
редактор *Т.Л. Кацадзе, канд. техн. наук, доц.*

Рецензент *Ю.П. Матєєнко, канд. техн. наук, доц.*

© С.В. Казанський, О.М. Паненко 2014
© НТУУ «КПІ» (ФЕА), 2014

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ.....	5
2. ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ФОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ.....	9
3.СКЛАДАННЯ РОБОЧОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ.....	14
4. ОТРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ	22
5. ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ.....	24
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	63

ВСТУП

Методичні вказівки призначено для виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Автоматизовані системи керування та оптимізація режимів енергосистем» для студентів всіх форм навчання освітньо-кваліфікаційних рівнів «спеціаліст» (7.05070102) і «магістр» (8.05070102) спеціальності «Електричні системи і мережі».

Матеріали цих методичних вказівок також можна використовувати для моделювання та виконання розрахунків режимів електричних систем у процесі курсового та дипломного проектування студентами електроенергетичних спеціальностей.

Тема розрахунково-графічної роботи: «Моделювання режиму роботи електричної мережі з джерелами розподіленої генерації».

Основною метою розрахунково-графічної роботи є закріплення теоретичних знань, отриманих студентами під час вивчення лекційного матеріалу з дисципліни «Автоматизовані системи керування та оптимізація режимів енергосистем», а також перевірка здатності студентів застосовувати отримані теоретичні знання для вирішення практичних завдань з розрахунків режимів електричних систем.

У процесі виконання розрахунково-графічної роботи студенти вчаться формувати розрахункову модель електричної мережі з джерелами розподіленої генерації, вибирати обладнання для встановлення в пунктах електричної мережі, розраховувати та задавати вхідні параметри моделі електричної мережі, здійснювати моделювання режиму роботи електричної мережі з джерелами розподіленої генерації і аналізувати отримані результати.

Теоретичні відомості, які наведено в методичних вказівках, доповнено прикладом моделювання режиму роботи електричної мережі з двома джерелами розподіленої генерації, що буде корисним при виконанні розрахунково-графічної роботи.

1 ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Основною метою впровадження в структуру електроенергетичної системи джерел розподіленої генерації (РГ) є підвищення надійності електропостачання, зменшення технологічних втрат електроенергії та екологічного навантаження на довкілля. Проте поява джерел РГ призводить до виникнення технічних проблем щодо організації їх роботи в енергосистемі – забезпечення надійності та стійкості роботи, якості електроенергії, організації диспетчерського керування, у тому числі виведення джерел РГ на паралельну роботу з енергосистемою та контролю відокремлення РГ від енергосистеми. При цьому в електричних мережах середньої та низької напруги виникають технічні проблеми, пов'язані з появою двоспрямованих перетікань електроенергії, необхідністю обмеження струмів короткого замикання за забезпечення регулювання рівнів напруги.

Як приклад на рис. 1.1 наведено фактичні добові графіки навантажень однієї з вітрових електростанцій (ВЕС) в Україні.

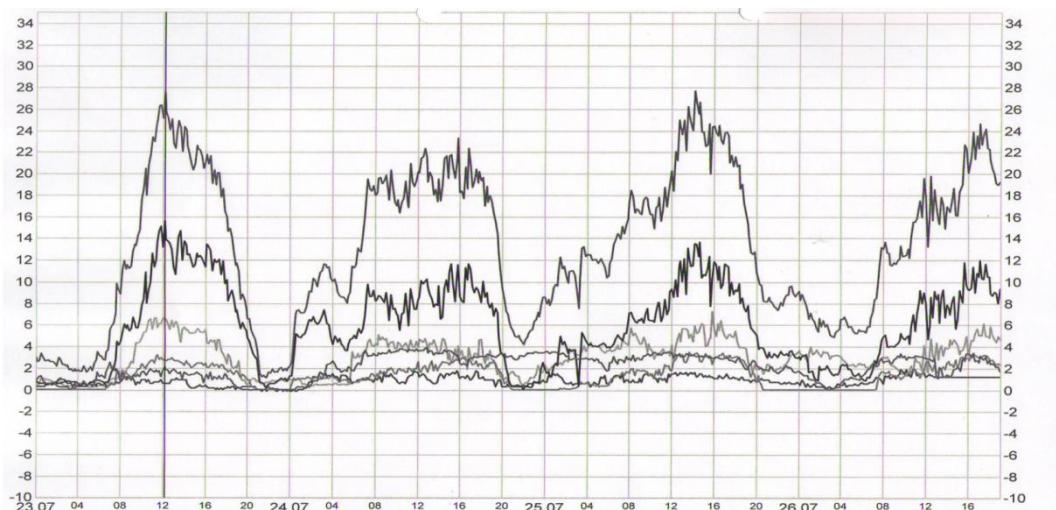


Рис. 1.1. Фактичні добові графіки зміни навантажень ВЕС

Такі графіки мають типову форму для всіх характерних сезонів – зими, літа, міжсезоння. Нерівномірність значень добових робочих потужностей характеризується максимальними відхиленнями потужності, які досягають понад 90 %. При цьому істотне зниження потужності вночі є позитивним фактором за умови паралельної роботи ВЕС в енергосистемі.

Будівництво перших сонячних електростанцій (СЕС) в Україні було розпочато в 2010 р. Станом на 1 вересня 2012 р. введено в експлуатацію СЕС сумарною потужністю 229,5 МВт.

Досвід упровадження СЕС в Україні підтвердив певне погіршення якості електроенергії в енергосистемах, в яких вони працюють. Детальний аналіз ситуації показав необхідність модернізації систем керування та необхідність застосування додаткових заходів щодо компенсації реактивної потужності та регулювання напруги.

Добові зміни потужності СЕС протягом року мають нестабільний характер та є ймовірною функцією зміни погодних умов (рис. 1.2 – 1.4). Незначна хмарність знижує генерувальну потужність СЕС на 70 %, значна хмарність – на 90 %.

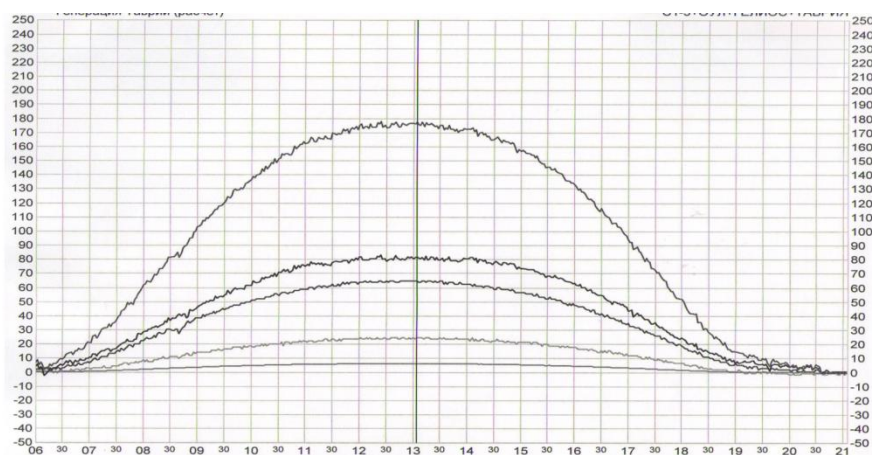


Рис. 1.2. Фактична генерація СЕС у безхмарну погоду

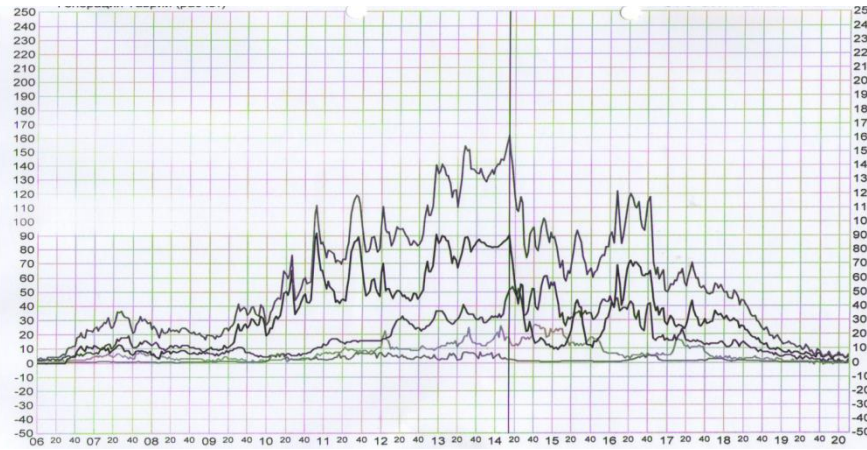


Рис. 1.3. Фактична генерація СЕС при змінній хмарності

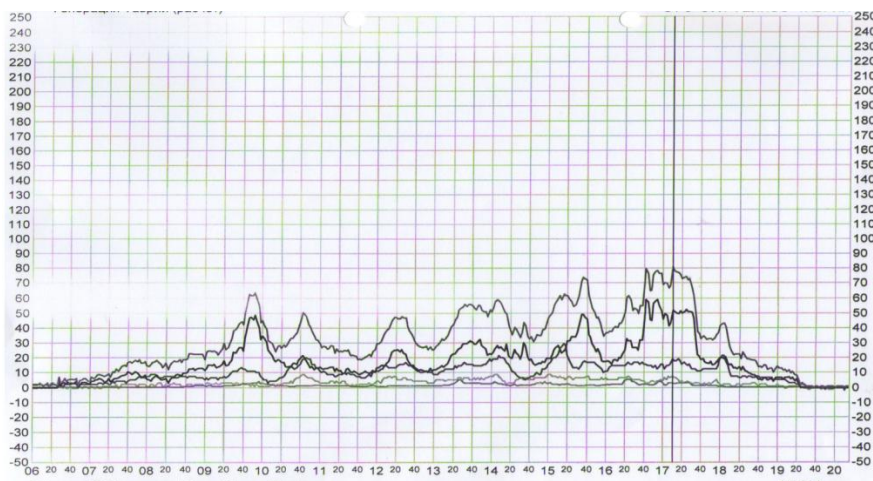


Рис. 1.4. Фактична генерація СЕС при значній хмарності

Ще одним негативним моментом є той факт, що, у разі коли СЕС має відносно незначну потужність (5 – 10 МВт) та займає незначну територію, перепади потужності до 70 % від встановленої потужності можуть відбуватися протягом десятків секунд.

Середньорічний коефіцієнт використання встановленої потужності ($K_{\text{ввп}}$) СЕС становить близько 15 – 16 % (максимально можливий добовий $K_{\text{ввп}}$, враховуючи тривалість світлового дня та синусоїдальний графік генерації, може становити близько 25 – 30 %). При цьому величина $K_{\text{ввп}}$ СЕС із квітня по вересень коливається в межах 19 – 25 %.

Введення потужностей СЕС певною мірою позитивно впливає на роботу електричних мереж, у тому числі при проведенні ремонтної кампанії в магістральних мережах 220 – 330 кВ. Проте труднощі також існують, оскільки погіршується якість електроенергії за рахунок появи вищих гармонічних складових, близьких до максимального завантаження мереж 110 кВ, суттєво обмежуючи можливості виконання ремонтних робіт на ПЛ 110 кВ протягом світлого часу доби.

Досвід країн ЄС показав, що загалом впровадження розподіленої генерації здійснюється в три етапи. Перший етап – підключення джерел РГ до діючих енергосистем. Другий етап – створення децентралізованої електромережі, яка працює разом з основною енергосистемою. Джерела РГ і основна енергосистема стають рівноправними учасниками процесу забезпечення споживача електроенергією. Вступають у дію процеси організації взаємодії між основною енергосистемою і РГ під час здійснення керування роботою енергосистеми. Вирішуються проблеми спільної підтримки параметрів напруги у споживача, оптимізації втрат. Третій етап (перспективний) – створення дисперсної енергосистеми, де більша частина енергії виробляється системами розподіленої генерації.

При істотному збільшенні частки ВЕС та СЕС постає завдання розвитку надійних і гнучких електромереж, стимулювання створення гнучких і надійних електричних мереж, що відповідають новим архітектурним рішенням із використанням інноваційних технологій.

2 ОПИС СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ТА ФОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Структурну схему електричної мережі, що моделюється, наведено на рис. 2.1.

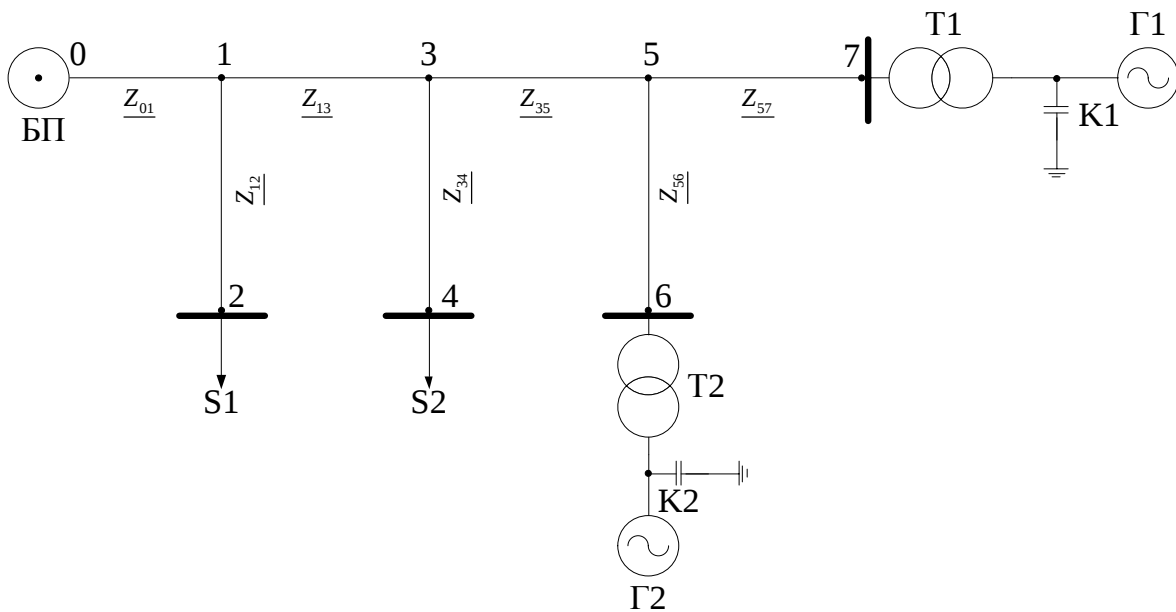


Рис. 2.1. Структурна схема об'єкта дослідження

Для моделювання режиму роботи електричної мережі з джерелами розподіленої генерації позначено такі елементи:

Г1, Г2 – асинхронні генератори вітроагрегатів;

К1, К2 – компенсатори реактивної потужності;

Т1, Т2 – підвищувальні силові трансформатори;

БП – балансуєчий пункт;

С1, С2 – навантаження споживачів.

0-1, 1-3, 1-2, 3-4, 3-5, 5-6, 5-7 – лінії електропередачі.

Для дослідження розглядається мережа, яка містить два джерела розподіленої генерації. Вітроагрегати Г1, Г2 встановлено в пунктах 6 та 7 схеми електричної мережі. Як джерела розподіленої генерації обрано ВЕС з асинхронними генераторами. ВЕС знаходяться на відстані одна від одної і характеризуються різними графіками зміни швидкості вітру, а отже і різними графіками видачі потужності.

Треба зазначити, що у більшості тихохідних вітроагрегатів потужність, яка відбирається вітроколесом з потоку повітря, фіксується на деякому сталому рівні. Якщо генерована енергія менша, ніж цей рівень, то перетворення не відбувається, і установка знаходиться в режимі очікування. Зважаючи на те, що швидкість постійно діючих вітрів може бути доволі високою, то номінальну потужність потрібно встановлювати на такому рівні, щоб забезпечити роботу установки в верхньому діапазоні зміни швидкостей вітру. Це забезпечує практично постійну працездатність, але понижує ефективність використання вітроустановки за нижчих швидкостей вітру, коли потенційно можна отримати потужності вищі за встановлений рівень. З іншого боку, підвищення рівня потужності може бути обмежено максимальними струмами заряду накопичувальних елементів (акумуляторів) і призвести до недовикористання установки при низьких швидкостях вітру. Інакше кажучи, при проектуванні автономної тихохідної вітроустановки постають два завдання. По-перше, забезпечення умов роботи електричного генератора під час великих швидкостей або поривах вітру при малому або відсутньому відборі генерованої потужності. По-друге, підтримання енергозабезпечення за умови малої швидкості вітру або штилю. Одним із найперспективніших напрямків розв'язання цих завдань є зміна кута встановлення лопатей відносно набігаючого потоку повітря, що дає змогу регулювати силу лобового тиску на вітроколесо і так

змінювати відбір потужності з потоку повітря, стабілізувати частоту обертання вітроколеса та запобігти виходу з ладу установки. Поворот лопатей використовується не тільки як засіб стабілізації частоти обертання вітроколеса, але й як засіб його гальмування чи розгону, або пошуку оптимального кута встановлення лопатей.

Для компенсації реактивної потужності і відповідно регулювання рівня напруги паралельно підключені статичні компенсатори реактивної потужності K1, K2. Відомо, що споживання реактивної потужності вітроустановки з асинхронними генераторами носить стохастичний характер, обумовлений пульсаціями швидкості вітру і змінами моменту на валу ротора. Надмірне споживання реактивної електроенергії з електросистеми ВЕС з асинхронними генераторами і штатними конденсаторними батареями обумовлено наявністю перенапруг величиною до 15 % номінального значення в навантажувальних режимах роботи і насиченням магнітного ланцюга генератора, що викликає збільшення споживаної реактивної потужності.

Для формування розрахункової схеми електричної мережі необхідно виконати такі розрахунки.

1. Розрахувати для кожного споживача величини модулів заданих сумарних потужностей навантаження S , МВА, за наступним виразом:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (2.1)$$

де P , Q – активні та реактивні потужності навантажень на шинах споживачів. Реактивні потужності навантажень на шинах споживачів розраховують за наступним виразом:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (2.2)$$

2. Визначити марку та переріз проводів, що будуть використовуватись в схемі електричної мережі, що моделюється.

Для цього розрахувати потоки потужності по ділянках електричної мережі за умови, що ВЕС працюють на максимальну потужність.

Критерієм для вибору перерізів проводів повітряних і кабельних ліній є мінімум функції сумарних дисконтованих витрат. На сьогодні вибір перерізів ПЛ 35...750 кВ рекомендують проводити за методом визначення оптимального перерізу, який відбиває дійсні значення технічних та економічних параметрів. З цією метою виконують розрахунок оптимальної величини перерізу $PLF_{\text{опт}}, \text{мм}^2$, за виразом:

$$F_{\text{опт}} = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot I_5^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot C_{\text{вх}} \cdot 10^{-5}}{\kappa_{\text{нзм}} \cdot (0.01 \cdot H_e + E)}}, \quad (2.3)$$

де n – кількість ланцюгів на опорі ПЛ;

I_5 – сила струму на п'ятий рік експлуатації проектованої лінії у нормальному режимі, А;

ρ – питомий опір матеріалу проводу, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{км}$;

τ – час максимальних втрат, $\text{год} / \text{рік}$;

$C_{\text{вх}}$ – тариф на вході до мережі, $\text{коп} / \text{кВт} \cdot \text{год}$;

H_e – нормативний показник витрат на експлуатацію ПЛ, %;

$\kappa_{\text{нзм}}$ – питома величина умовно змінних витрат на спорудження ПЛ, $\text{грн.} / (\text{мм}^2 \cdot \text{км})$.

Сила струму на п'ятий рік експлуатації обчислюється за співвідношенням:

$$I_i = \frac{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_l}, \quad (2.4)$$

де P_i, Q_i – значення активної та реактивної потужностей, МВт, МВАр, що протікають i -ю ділянкою; U_n – номінальна напруга мережі, кВ.

Згідно варіанта завдання на розрахунково-графічну роботу розраховуються для кожного споживача величини модулів заданих сумарних потужностей навантаження. Дані про потужність навантаження споживачів наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Потужність навантаження споживачів

№ варіанта	Споживач 1 P_1 , МВт	Коефіцієнт потужності $\cos \varphi_1$	Споживач 2 P_2 , МВт	Коефіцієнт потужності $\cos \varphi_2$
0	1,3	0,85	1,5	0,87
1	1,1	0,86	1,6	0,83
2	1,4	0,84	1,2	0,85
3	1,2	0,83	1,7	0,88
4	1,5	0,87	1,3	0,83
5	1,8	0,84	1,4	0,85
6	1,5	0,89	1,9	0,86
7	1,2	0,87	1,8	0,89
8	1,6	0,89	1,4	0,85
9	1,7	0,87	1,2	0,88

Для моделювання вітроагрегатів обираємо асинхронний двигун марки ДВДА 215/64-16-20. Параметри двигуна наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Параметри асинхронного двигуна

Тип	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$\eta, \%$	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/хв}$	Пускові характеристики			$J, \text{кг} \cdot \text{м}^3$	Маса, кг
						$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{i_{\text{п}}}{i_{\text{ном}}}$		
ДВДА 215/64- 16-20	1400	173	94	0,828	371	1,9	0,7	3,9	2750	19200

З СКЛАДАННЯ РОБОЧОЇ МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ MATLAB

Робоча модель електричної мережі складається з наступних блоків.

Блок, що використовується для моделювання ВЕС – блок WindTurbineInductionGenerator (рис. 3.1), в якому враховуються параметри асинхронного генератора:

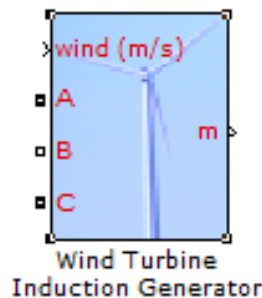


Рис. 3.1. Блок, що використовується для моделювання ВЕС

В блоці вказуються параметри генератора, параметри турбіни ВЕС, потужність ВЕС, а також номінал швидкості вітру при якій досягається максимальна потужність вітрової станції. На вхід wind(m/s) – подається швидкість вітрового потоку, який діє на лопаті вітроагрегата.

У блоці, що використовується для моделювання швидкості вітру (рис. 3.2) необхідно задавати швидкість вітру залежно від часу моделювання.

Вихід m дозволяє вивести параметри вітроагрегата, які досліджуються. Для цього використовується блок BusSelector.

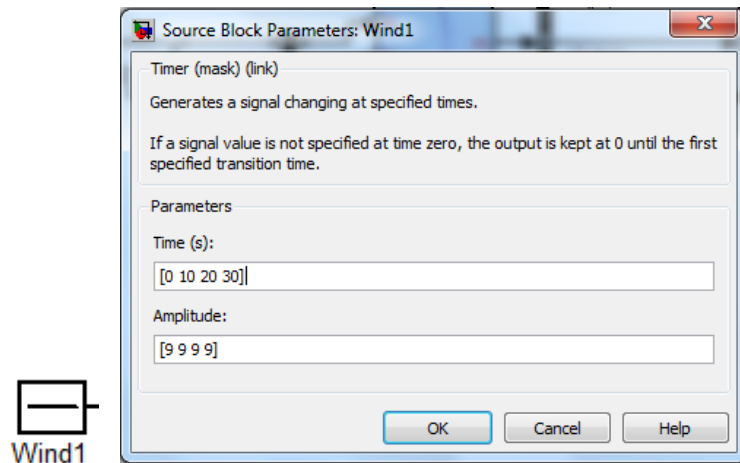


Рис. 3.2. Блок, що використовується для моделювання швидкості вітру

Блок, що моделює трансформатор, наведено на рис. 3.3.

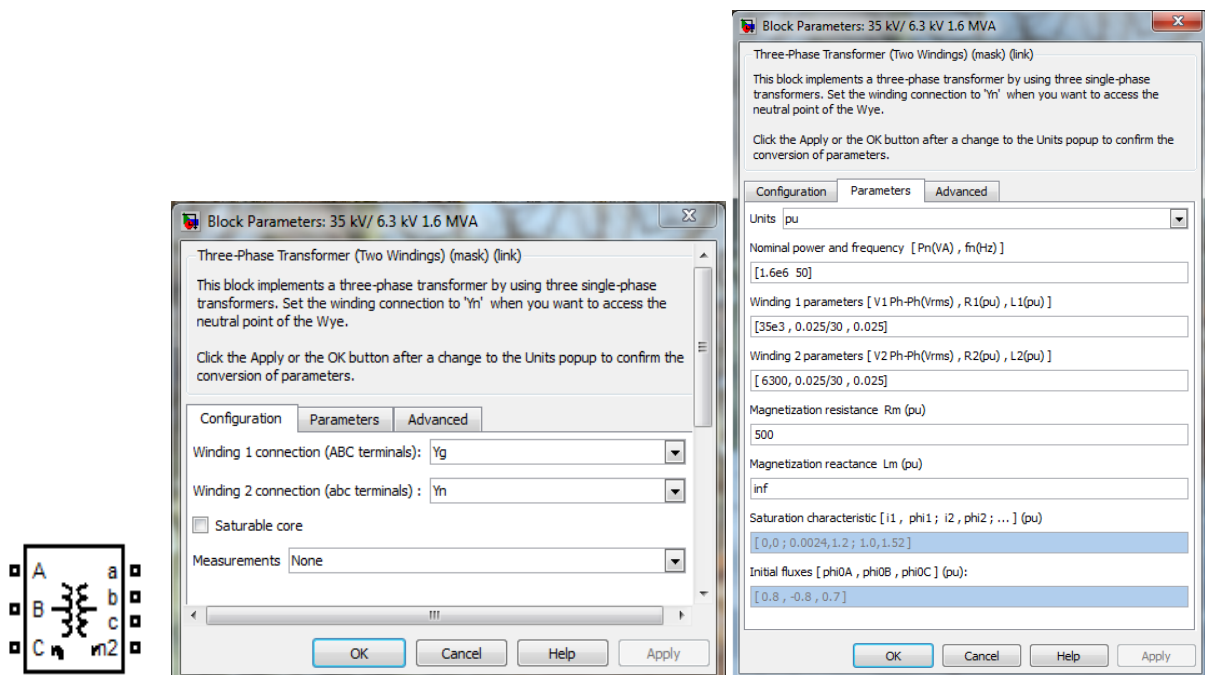


Рис. 3.3. Параметри трансформатора

Блок вимірювання параметрів режиму роботи електричної мережі – в схемі встановлено трифазні вимірювачі струму і напруги. Дані з вимірювачів передаються на дисплеї.

Блок PISectionLine (рис. 3.4) моделює кожну фазу лінії електропередачі з розосередженими параметрами.

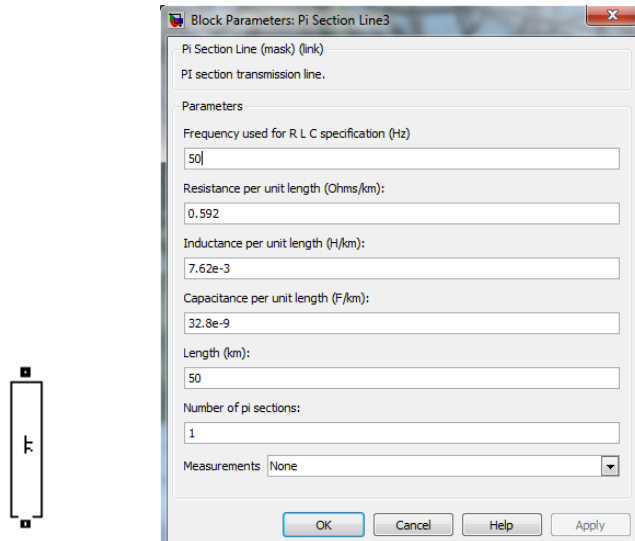


Рис. 3.4. Параметри лінії електропередачі

Блок, що моделює навантаження у вузлах (рис. 3.5) – трифазне послідовне RLC-навантаження.

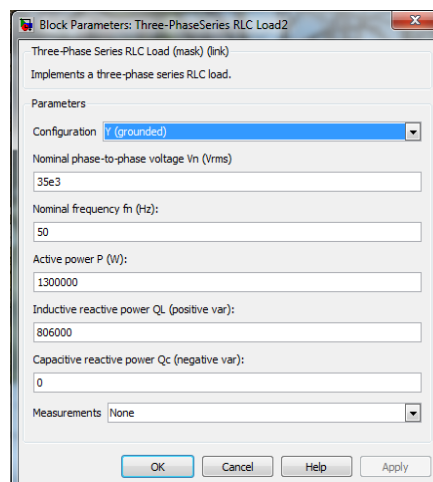


Рис. 3.5. Параметри навантаження у вузлі

Характеристики моделі електричної мережі для виконання розрахунково-графічної роботи.

1. Номінальна напруга електричної мережі – 35 кВ.
2. Напруга балансуєчого пункту- 35 кВ.
3. Номінальна швидкість вітру – дані з табл. 3.1, згідно з варіантом завдання на виконання розрахунково-графічної роботи.
4. Дані про довжину ділянок електричної мережі зведено в табл.3.2.
5. В моделі встановлено два однакові трансформатори ТМН-1600/35 біля ВЕС-1 і ВЕС-2. Параметри трансформаторів наведено – в табл.3.3.
6. Дані про зміну швидкості вітру за добу наведено в табл. 3.4.
7. Параметри вітроагрегата, які виводяться за період моделювання: значення активної і реактивної потужностей, яку генерує ВЕС, графік зміни кута лопаті (в градусах), якщо швидкість вітру буде перевищувати номінальне значення.
8. В моделі встановлено два статичних компенсатора реактивної потужності 750 кВАр біля ВЕС-1 і ВЕС-2.

Таблиця 3.1. Номінальна швидкість вітру для вітроагрегатів

Номер варіанту	Номінальна швидкість вітру	
	ВЕС-1	ВЕС-2
0	7	11
1	8	12
2	9	13
3	10	14
4	11	15
5	9	14
6	8	13
7	10	8
8	12	9
9	13	7

Таблиця 3.2. Довжина ділянок в розрахунковій схемі електричної мережі:

Ділянка	0-1	1-2	1-3	3-4	3-5	5-6	5-7
Довжина, км	50	5	15	5	70	50	50

Таблиця 3.3. Параметри трансформатора ТМН-1600/35

Тип	$S_{ном}, МВА$	Напруга обмотки			Втрати, кВт		$u_k, \%$			$I_x, \%$
		ВН	СН	НН	P_x	P_k	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
ТМН-1600/35	1,6	35	-	6,3	2,75	16,5	-	6,5	-	1,3

Таблиця 3.4. Значення швидкості вітру по годинам за добу. Вітроагрегат 1.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0:00–1:00	3	4	4	5	6	4	3	3	7	8
1:00–2:00	3	4	4	5	6	4	3	4	7	8
2:00–3:00	5	4	4	5	8	6	4	4	8	9
3:00–4:00	5	6	5	7	8	6	4	5	8	9
4:00–5:00	6	7	5	7	9	8	6	5	6	10
5:00–6:00	6	7	7	8	9	9	6	7	6	10
6:00–7:00	7	5	7	10	10	7	7	7	5	8
7:00–8:00	7	5	9	11	10	7	8	9	5	8
8:00–9:00	8	6	9	11	11	5	9	10	7	7
9:00–10:00	8	8	9	10	11	5	9	10	7	9
10:00–11:00	9	8	5	8	12	8	11	10	9	9
11:00–12:00	7	9	5	8	14	9	11	8	9	11
12:00–13:00	7	10	7	6	14	10	12	8	10	11
13:00–14:00	7	10	8	6	14	10	12	6	10	12
14:00–15:00	6	8	10	9	13	12	10	9	11	13
15:00–16:00	6	6	11	10	13	12	10	9	13	14
16:00–17:00	6	5	11	12	11	9	8	10	14	15
17:00–18:00	4	7	8	13	11	9	8	11	14	16
18:00–19:00	4	8	7	14	8	6	7	11	12	16
19:00–20:00	4	9	9	11	8	8	8	10	12	13
20:00–21:00	5	9	9	11	9	8	6	7	10	11
21:00–22:00	5	7	7	8	9	9	6	6	8	11
22:00–23:00	3	5	6	7	6	7	4	6	8	10
23:00–24:00	3	5	6	7	6	6	4	5	7	8

Вітроагрегат 2.

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0:00–1:00	6	7	8	8	8	7	6	4	5	4
1:00–2:00	6	7	8	8	8	7	6	4	7	4
2:00–3:00	7	8	9	7	9	7	6	6	7	4
3:00–4:00	8	8	9	7	9	8	8	7	9	5
4:00–5:00	8	10	11	9	7	10	9	9	8	5
5:00–6:00	7	10	11	9	8	10	9	9	7	7
6:00–7:00	9	11	9	11	8	8	7	9	9	8
7:00–8:00	9	12	9	11	6	7	7	10	6	8
8:00–9:00	10	9	10	14	8	7	10	11	6	5
9:00–10:00	11	9	10	14	10	9	10	8	7	5
10:00–11:00	11	8	11	15	10	9	12	8	7	7
11:00–12:00	13	8	11	15	12	10	13	6	9	7
12:00–13:00	15	10	13	11	14	12	13	6	9	8
13:00–14:00	15	12	13	11	16	14	16	4	9	9
14:00–15:00	12	12	15	8	18	11	15	7	11	10
15:00–16:00	9	13	12	8	18	11	16	7	11	10
16:00–17:00	9	15	9	10	17	13	13	10	9	11
17:00–18:00	11	15	9	10	15	13	13	10	8	9
18:00–19:00	11	12	11	14	13	15	15	9	8	8
19:00–20:00	8	12	12	14	12	15	11	11	6	8
20:00–21:00	8	9	12	10	10	12	11	12	5	6
21:00–22:00	7	9	11	10	8	10	9	9	5	5
22:00–23:00	7	8	10	8	10	10	7	7	4	5
23:00–24:00	9	8	9	7	10	8	6	7	4	6

Для моделювання режиму роботи електричної мережі з двома джерелами розподіленої генерації необхідно ввести параметри для кожного з елементів моделі, згідно з заданим варіантом розрахунково-графічної роботи.

Виконати моделювання режиму роботи вітроагрегатів, змінюючи швидкість вітру на кожному вітроагрегаті відповідно до часу доби.

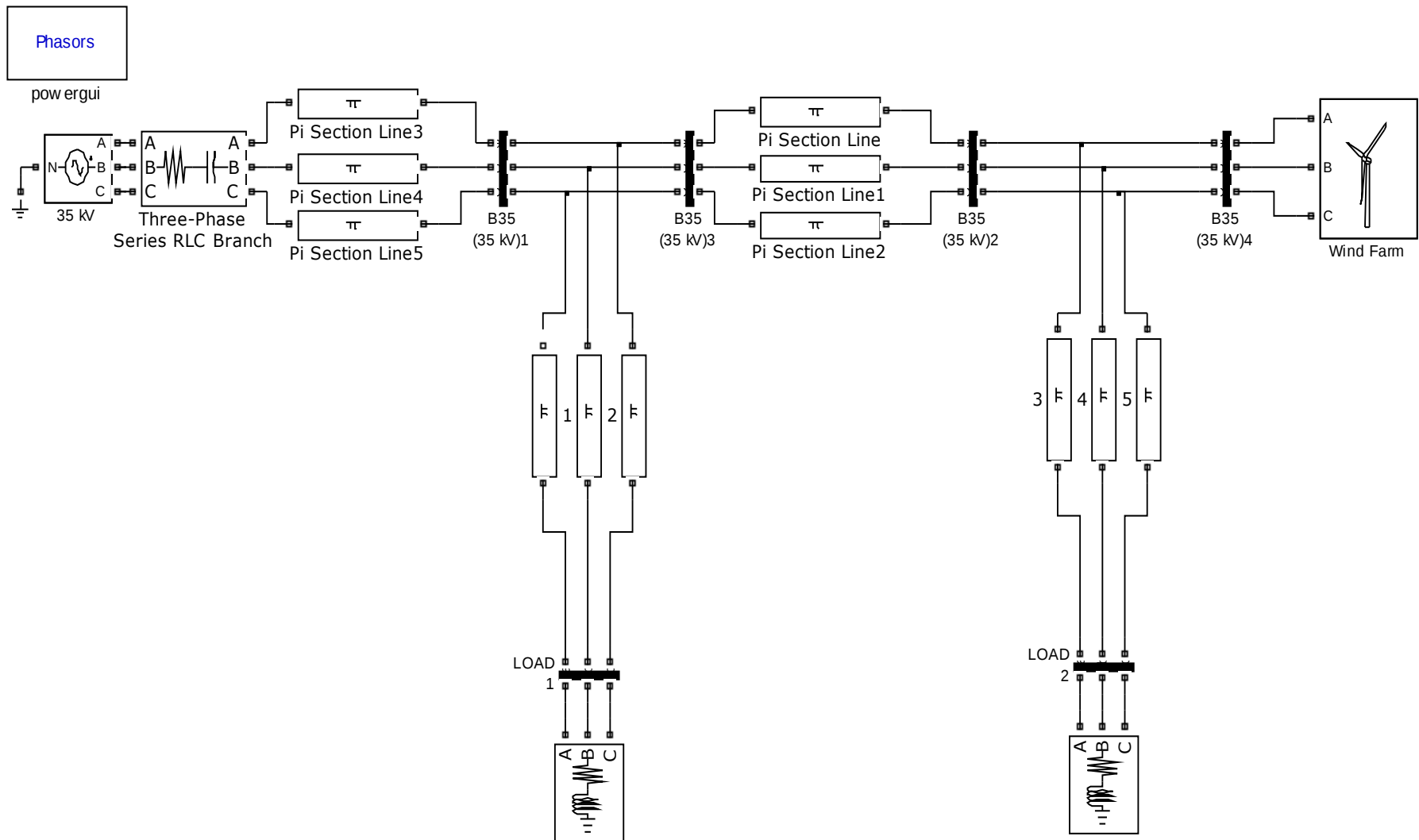


Рис.3.6 –Робоча модель

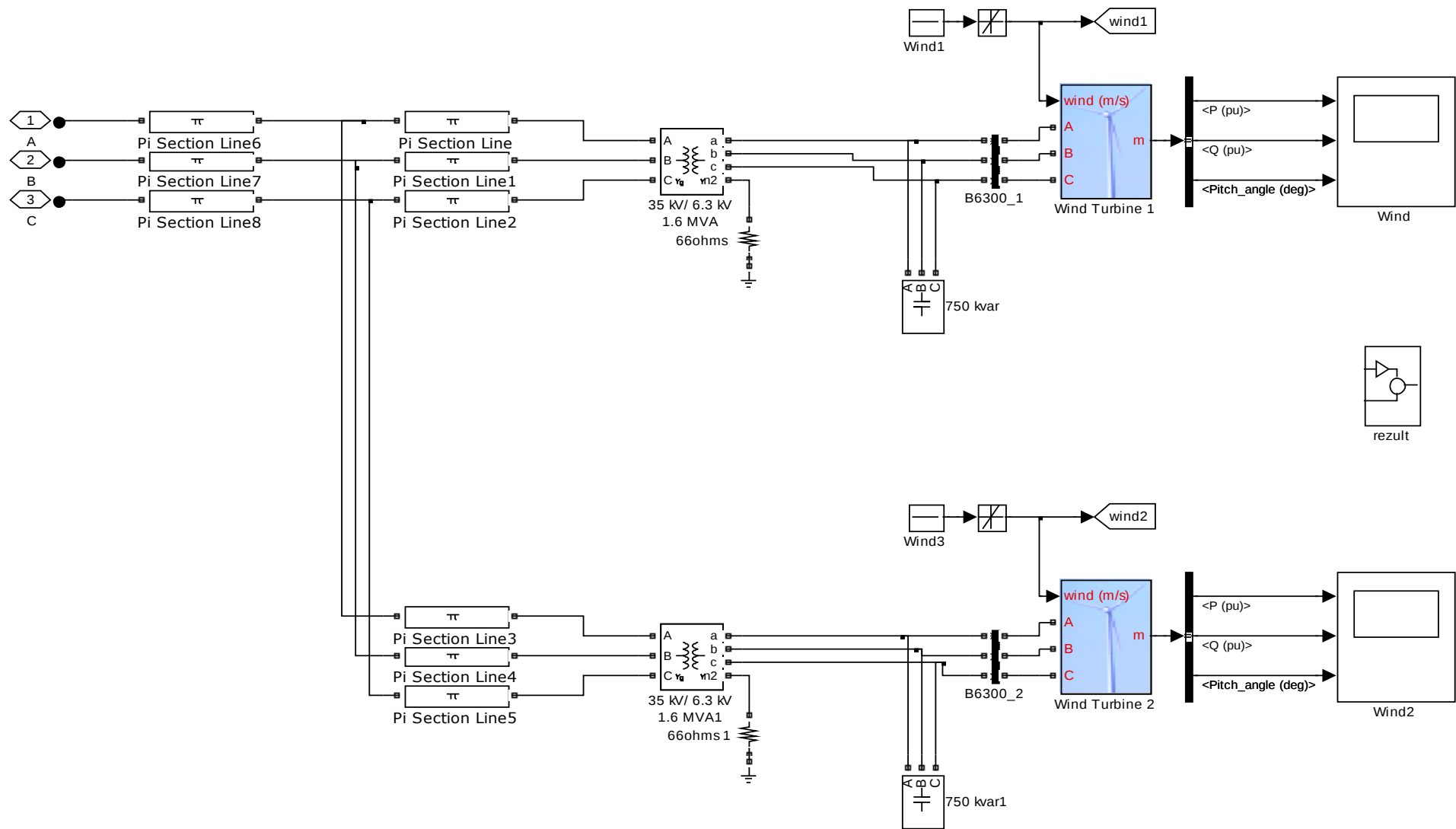


Рис.3.7 –Робоча модель(блок WindFarm)

4 ОТРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Модель електричної мережі з двома джерелами розподіленої генерації дозволяє дослідити залежності зміни параметрів режиму роботи електричної мережі від зміни швидкості вітру.

При зміні швидкості вітру відповідно до часу доби, змінюється видача потужності на вітроагрегатах, режим напруги на затискачах генератора, а також параметри електричної мережі.

Результати моделювання звести в таблиці і показати залежності на графіках. По завершенню процесу моделювання отримаємо наступні результати.

1. Параметри на виході першого вітрового агрегату: швидкість вітру; напруга на затискачах генератора, видача активної потужності, видача реактивної потужності.
2. Параметри на виході другого вітрового агрегату: швидкість вітру; напруга на затискачах генератора, видача активної потужності, видача реактивної потужності.
3. Графік видачі активної потужності на вітроагрегатах.
4. Графік видачі реактивної потужності на вітроагрегатах.
5. Графік напруги на затискачах генератора.
6. Параметри електричної мережі по ділянках.
7. Потокорозподіл активної потужності по ділянках.
7. Потокорозподіл реактивної потужності по ділянках.
8. Графік напруги по ділянках.
9. Параметри на шинах споживачів: напруга на затискачах генератора; видача активної потужності; видача реактивної потужності.
10. Графік напруги на шинах споживачів.

11. Графіки споживання активної потужності на споживачах.

12. Графіки споживання реактивної потужності на споживачах.

Виконати аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

Результати виконання розрахунково-графічної роботи мають бути оформлені у надрукованому вигляді на аркушах формату А4. В пояснювальній записці надати опис моделі для дослідження режиму роботи електричної мережі з двома джерелами розподіленої генерації. Виконати розрахунки потужності навантаження у вузлах електричної мережі, розрахунки для вибору марки та перерізів проводів по ділянках схеми електричної мережі. Показати скріншоти блоків вихідних параметрів для кожного елементу робочої моделі електричної мережі. Результати моделювання режиму роботи електричної мережі з розподіленою генерацією за заданими графіками добової зміни швидкості вітру необхідно оформити у вигляді таблиць та графіків.

Пояснювальна записка повинна бути написана грамотно, чіткою інженерною технічною мовою. Розрахунки повинні супроводжуватися короткими поясненнями і посиланнями на літературу.

5 ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДВОМА ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Для дослідження електричної мережі з двома джерелами розподіленої генерації побудовано модель, яку показано на рис. 3.6 та рис. 3.7.

За генератори для ВЕС приймемо асинхронні двигуни, на які подається момент з від'ємним значенням. Для моделювання використаємо асинхронний двигун ДВДА 215/64-16-20.

Таблиця 5.1. Параметри асинхронного двигуна:

Тип	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$\eta, \%$	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/хв}$	Пускові Характеристики			$J, \text{кг} \cdot \text{м}^3$	Маса, кг
						$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}}$		
ДВДА 215/64-16- 20	1400	173	94	0,828	371	1,9	0,7	3,9	2750	19200

У блоці Wind Turbine Induction Generator задаються параметри генератора, параметри турбіни ВЕС-1 та параметри турбіни ВЕС-2.

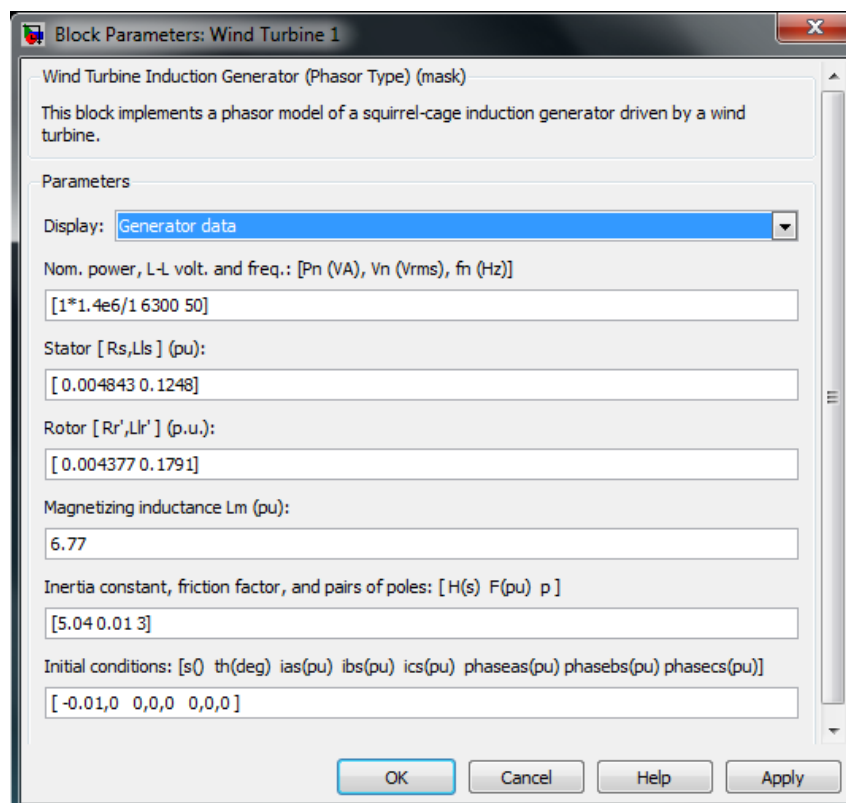


Рис. 5.1 – Параметри генератора

Block Parameters: Wind Turbine 1

Wind Turbine Induction Generator (Phasor Type) (mask)
This block implements a phasor model of a squirrel-cage induction generator driven by a wind turbine.

Parameters

Display: **Turbine data**

☐ External mechanical torque:

☐ Display wind turbine power characteristics:

Pitch angle beta to display wind turbine power characteristics (beta >=0) (deg):
0

Nominal wind turbine mechanical output power (W):
1*1.4e6

Base wind speed (m/s):
9

Maximum power at base wind speed (pu of nominal mechanical power):
1

Base rotational speed (pu of base generator speed):
1

Pitch angle controller gain: [Kp K]
[5 25]

Maximum pitch angle (deg):
45

Maximum rate of change of pitch angle (deg/s):
2

OK Cancel Help Apply

Рис. 5.2 – Параметри турбіни ВЕС №1

Block Parameters: Wind Turbine 2

Wind Turbine Induction Generator (Phasor Type) (mask)
This block implements a phasor model of a squirrel-cage induction generator driven by a wind turbine.

Parameters

Display: **Turbine data**

☐ External mechanical torque:

☐ Display wind turbine power characteristics:

Pitch angle beta to display wind turbine power characteristics (beta >=0) (deg):
0

Nominal wind turbine mechanical output power (W):
1*1.4e6

Base wind speed (m/s):
13

Maximum power at base wind speed (pu of nominal mechanical power):
1

Base rotational speed (pu of base generator speed):
1

Pitch angle controller gain: [Kp K]
[5 25]

Maximum pitch angle (deg):
45

Maximum rate of change of pitch angle (deg/s):
2

OK Cancel Help Apply

Рис. 5.3 – Параметри турбіни ВЕС №2

В блоці ми вказуємо потужність ВЕС, а також номінал швидкості вітру при якій досягається максимальна потужність вітрової станції.

В моделі задамо номінальну швидкість вітру, яка вказана в графі Base Windspeed. Для вітроагрегата №1 - 9 м/с, і для вітроагрегата №2 – 13 м/с.

В графі Maximum pitchangle вказуємо, що кут лопаті може змінюватись до 45° з кроком в 2°.

На вхід wind(m/s) – подається швидкість вітрового потоку який діє на лопатей вітроагрегату. В цьому блоці ми задаємо швидкість вітру залежно від часу моделювання.

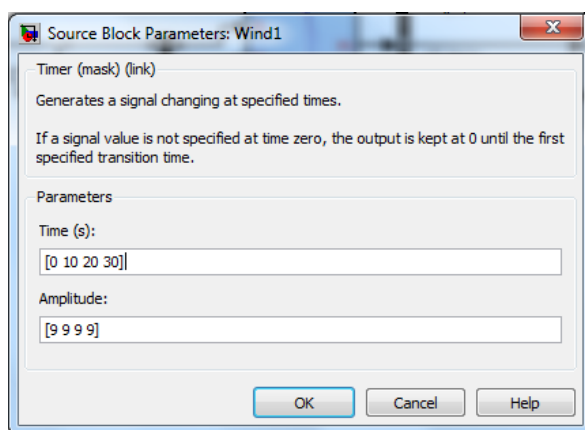


Рис. 5.4 – Блок моделювання швидкості вітру

Для моделі виберемо параметри які будемо виводити за час моделювання. Для цього використовується блок Bus Selector.

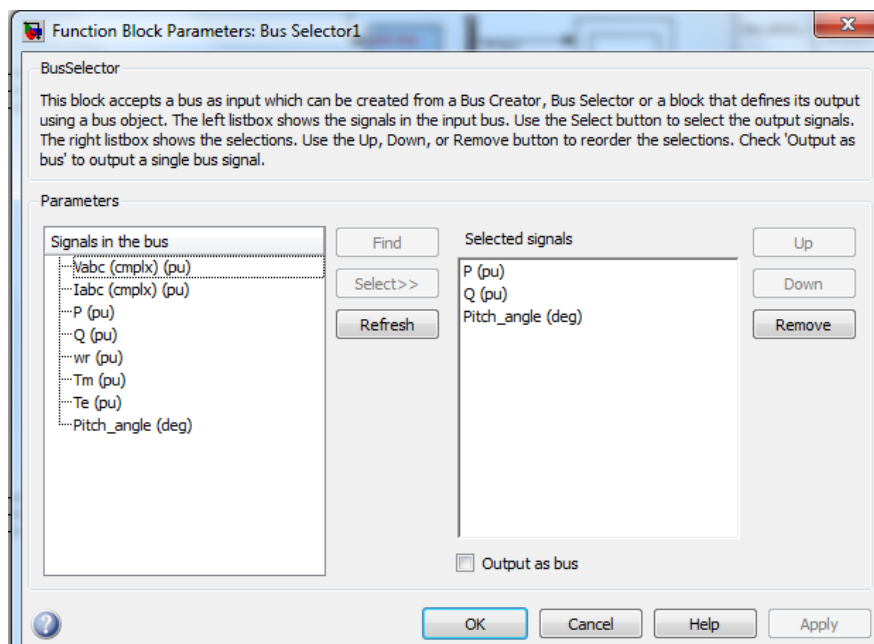


Рис. 5.5 – Параметри вітроагрегата, які виводяться за період моделювання

Параметри, що виводяться: значення активної і реактивної потужності, яку генерує ВЕС в у.о.; графік зміни кута лопасті (в градусах), якщо швидкість вітру буде перевищувати номінальне значення вказане в блоці Wind Turbine Induction Generator.

Для моделі приймемо паралельне підключення статичного компенсатора реактивної потужності біля ВЕС для компенсації реактивної потужності і відповідно регулювання рівня напруги. З врахуванням характеристик мережі і вітроагрегата приймемо, що для забезпечення номінальної видачі потужності і номінального режиму напруги на затискачах генератора в 6,3 кВ потрібно встановлення статичного компенсатора реактивної потужності 750 кВАр. До встановлення приймається два компенсатора, по одному біля кожної ВЕС.

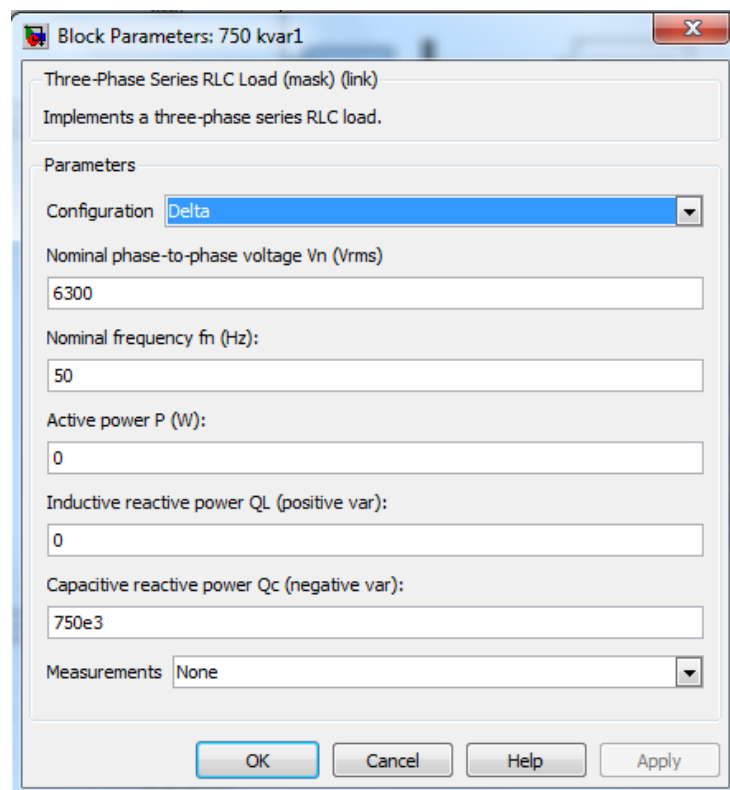


Рис. 5.6 – Параметри статичного компенсатора реактивної потужності

Оскільки мережа напругою 35 кВ, то потрібно прийняти до встановлення трансформатори які будуть перетворювати напругу 6,3 кВ в напругу величиною 35 кВ. Тому потрібно вибрати до встановлення трансформатори на обох ВЕС.

Визначаємо потужність трансформаторів.

Максимально можлива отримана активна потужність:

$$P = 1378000 \text{ Вт.}$$

Максимально можлива отримана реактивна потужність:

$$Q = 637600 \text{ Вт.}$$

Повна потужність буде складати:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1378000^2 + 637600^2} = 1518000 \text{ Вт.}$$

До встановлення приймемо трансформатор ТМН-1600/35.

Таблиця 5.2 – Параметри трансформатора ТМН-1600/35

Тип	$S_{ном}, \text{MVA}$	Напряга обмотки			Втрати, кВт		$u_k, \%$			$I_x, \%$
		ВН	СН	НН	P_x	P_k	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
ТМН - 1600/35	1,6	35	-	6,3	2,75	16,5	-	6,5	-	1,3

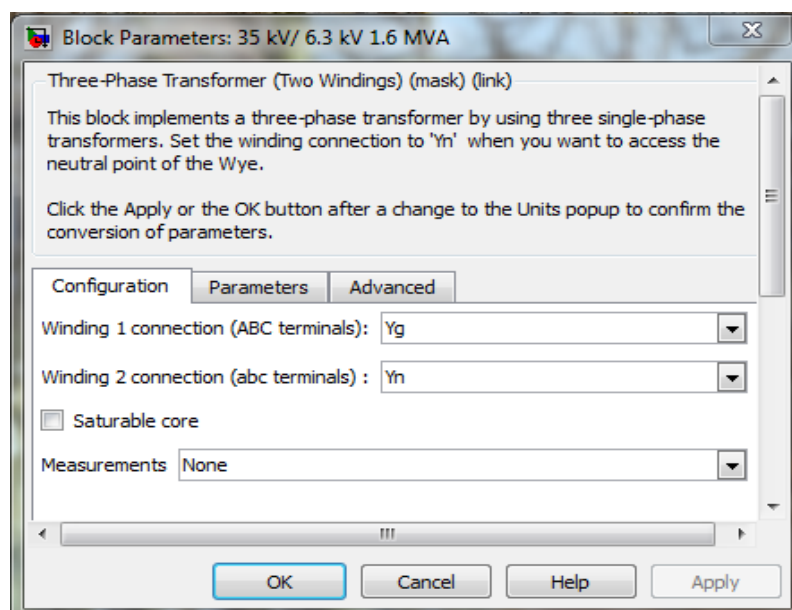


Рис. 5.7 – Параметри трансформатора

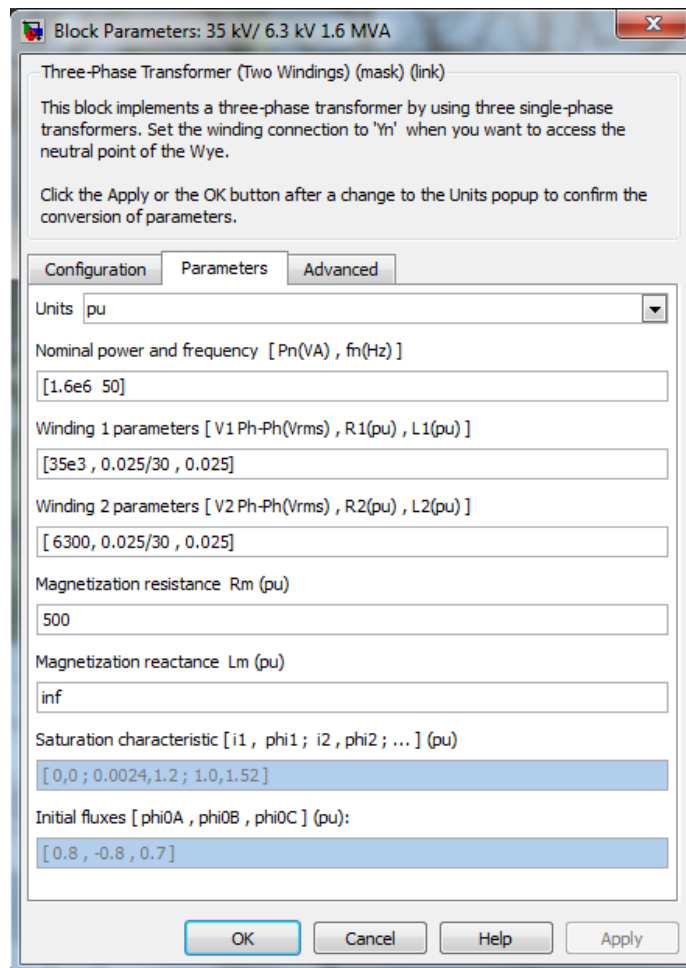


Рис. 5.8 – Параметри трансформатора

Зазначимо, що приймаються два однакові трансформатори біля ВЕС-1 і ВЕС-2.

Для вимірювання параметрів, які нас цікавлять приймемо до встановлення по всіх схемі трифазні вимірювачі струму і напруги.

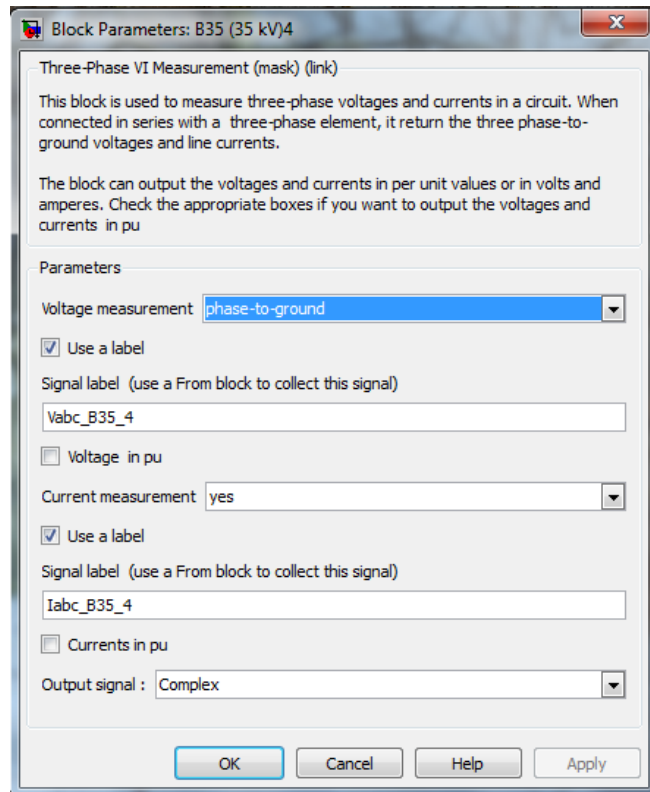


Рис. 5.9 – Параметри трифазного вимірювача струму і напруги

Дані з вимірювачів будемо виводити на дисплеї.

Балансуючий пункт моделюються трьохфазним джерелом живлення.

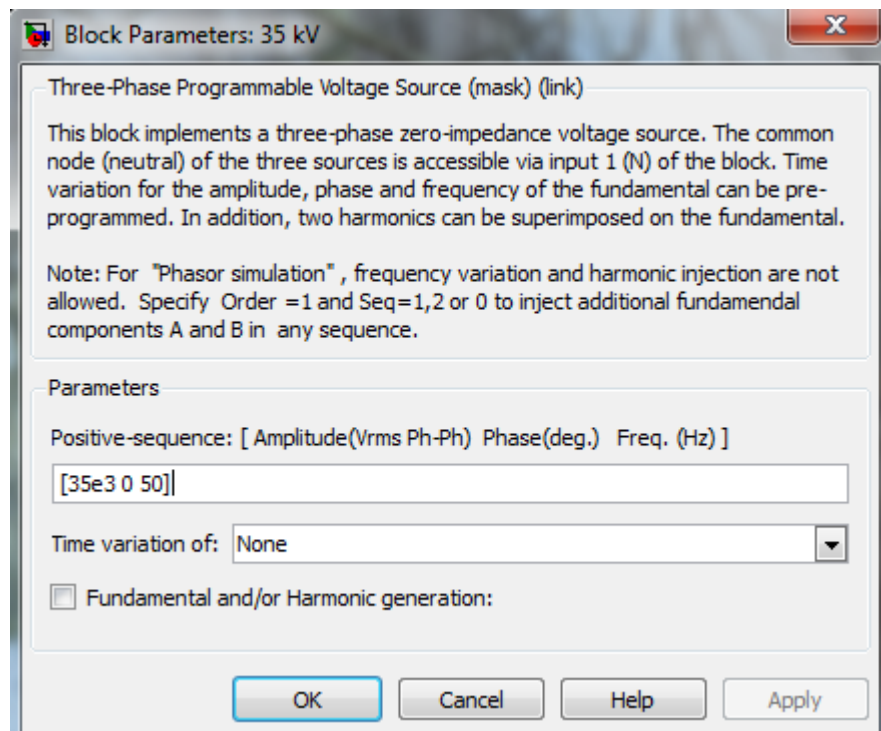


Рис. 5.10 – Параметри трифазного джерела живлення

Навантаження у вузлах 2 та 4 моделюється трифазним послідовним RLC-навантаженням. З'єднання трифазного ланцюга – “зірка з заземленою нейтраллю”. Відповідні вікна завдання параметрів наведено на Рис. 5.11 – 5.12.

Зазначимо значення активного навантаження споживачів:

Споживач №1 – 1,3 МВт.

Споживач №2 – 1,5 МВт.

Зазначимо значення коефіцієнта потужності на споживачах:

Споживач №1 : $\cos \varphi = 0,85$

Споживач №2 : $\cos \varphi = 0,87$

Далі необхідно розрахувати величини модулів заданих сумарних потужностей споживачів S , для кожного конкретного споживача за виразом (2.1).

Реактивні потужності навантажень на шинах споживачів розраховують за виразом (2.2).

Реактивні потужності навантажень на шинах споживача №1:

$$Q_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi = -1,3 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,85)) = -0,806(\text{МВАр}).$$

Модуль сумарної потужності споживача №1:

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = \sqrt{1,3^2 + (-0,806)^2} = 1,529(\text{МВА}).$$

Реактивні потужності навантажень на шинах споживача №2:

$$Q_2 = P_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi = -1,5 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,87)) = -0,85(\text{МВАр}).$$

Модуль сумарної потужності споживача №2:

$$S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2} = \sqrt{1,5^2 + (-0,85)^2} = 1,724(\text{МВА}).$$

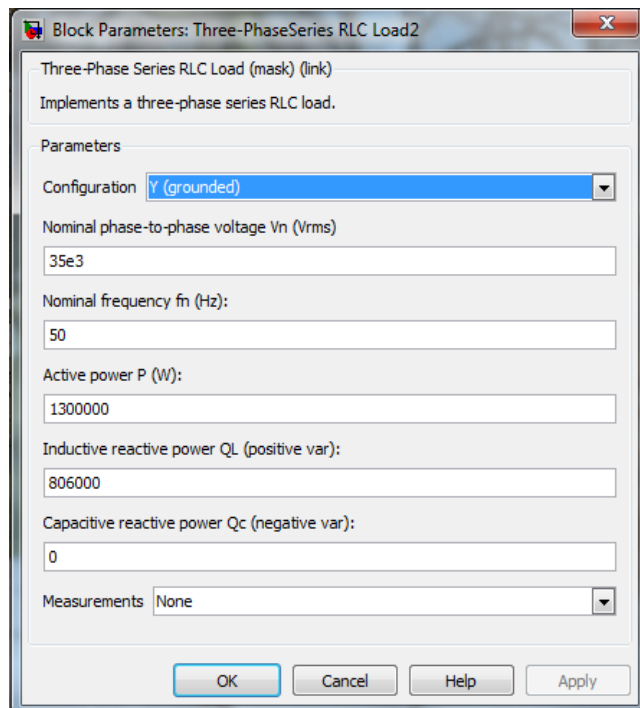


Рис. 5.11 – Навантаження в вузлі №2

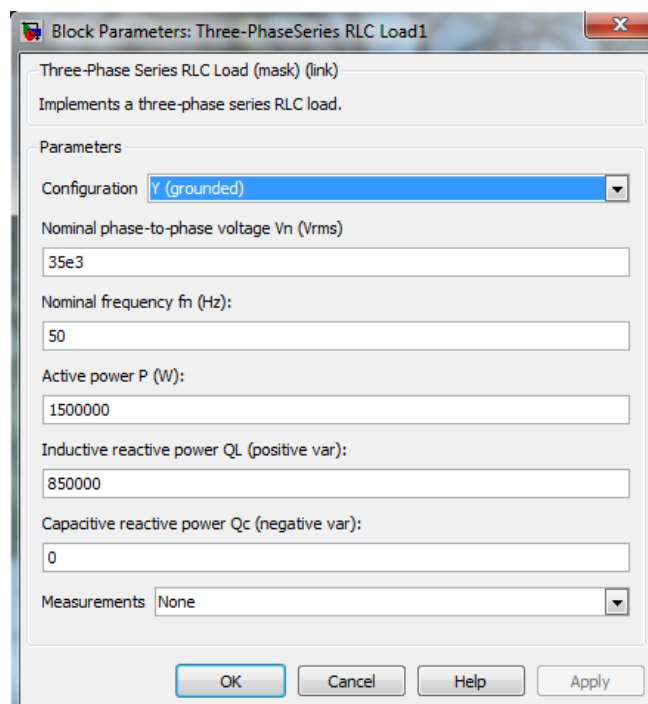


Рис. 5.12 – Навантаження в вузлі №4

Для моделювання потрібно визначити проводи якої марки та перерізу будуть використовуватись в даній схемі.

Для цього розрахуємо потоки потужності по ділянках електричної мережі за умови, що ВЕС працюють на максимальну потужність.

$$S_{57} = 1379000 - j637800 - j750000 = 1379000 - j1387800 \text{ BA};$$

$$S_{65} = 1378000 - j637700 - j750000 = 1378000 - j1387700 \text{ BA};$$

$$S_{43} = 1500000 - j850000 \text{ BA};$$

$$S_{21} = 1300000 - j806000 \text{ MBA};$$

$$S_{53} = S_{65} + S_{75} = 1379000 - j1387800 + 1378000 - j1387700 = \\ = 2757000 - j2776000 \text{ BA};$$

$$S_{31} = S_{53} - S_{43} = 2757000 - j2776000 - (1500000 - j850000) = \\ = 1257000 - j1925000 \text{ BA};$$

$$S_{10} = S_{31} - S_{21} = 1257000 - j1925000 - (1300000 - j806000) = \\ = -43000 - j1119000 \text{ BA}.$$

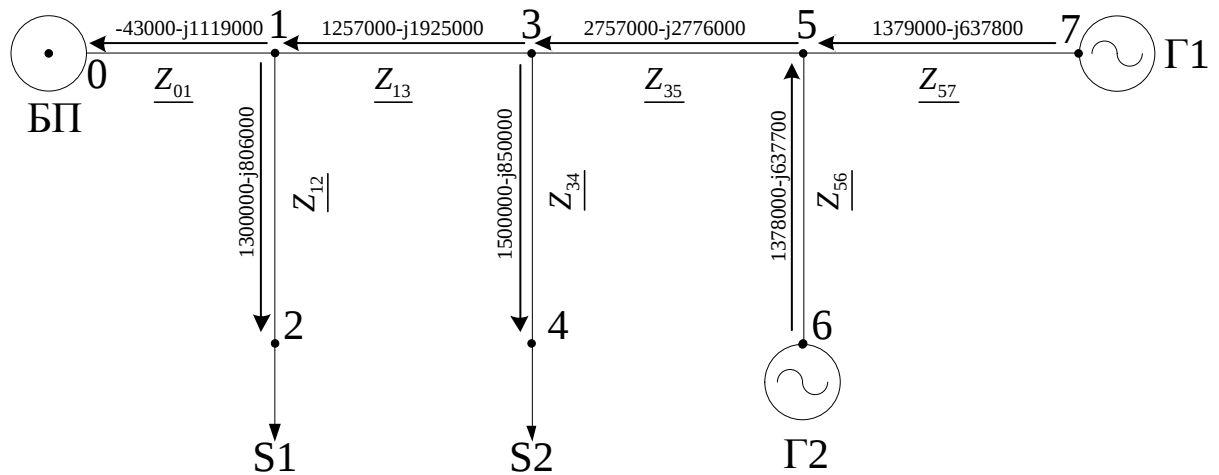


Рис. 5.13 – Потокорозподіл по ділянках мережі

Відповідно до виразів (2.3) та (2.4) Визначимо струми по ділянках:

Визначимо струми по ділянках схеми :

$$I_{10} = \frac{\sqrt{P_{10}^2 + Q_{10}^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_l} = \frac{\sqrt{(-0,043)^2 + (-1,119)^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1} = 18,481 \text{ (A)};$$

$$I_{21} = \frac{\sqrt{P_{21}^2 + Q_{21}^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_l} = \frac{\sqrt{(1,3)^2 + (-0,806)^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1} = 25,232 \text{ (A)};$$

$$I_{31} = \frac{\sqrt{P_{31}^2 + Q_{31}^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_l} = \frac{\sqrt{(1,257)^2 + (-1,925)^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1} = 37,932 \text{ (A)};$$

$$I_{43} = \frac{\sqrt{P_{43}^2 + Q_{43}^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_l} = \frac{\sqrt{(1,5)^2 + (-0,85)^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1} = 28,44 \text{ (A)};$$

$$I_{53} = \frac{\sqrt{P_{53}^2 + Q_{53}^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_l} = \frac{\sqrt{(2,757)^2 + (-2,776)^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1} = 64,533 \text{ (A)};$$

$$I_{65} = \frac{\sqrt{P_{65}^2 + Q_{65}^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_l} = \frac{\sqrt{(1,379)^2 + (-1,388)^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1} = 32,273 \text{ (A)};$$

$$I_{75} = \frac{\sqrt{P_{75}^2 + Q_{75}^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_l} = \frac{\sqrt{(1,378)^2 + (-1,388)^2} \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1} = 32,26 \text{ (A)}.$$

Розрахунок величини оптимального перерізу проводів ліній.

Час максимальних втрат τ , год/рік, обчислюється по наступній емпіричній формулі: $\tau = (0,124 + T_{\max} \times 10^{-4})^2 \cdot 8760$, де $T_{\max}$ – кількість годин використання максимального навантаження, год/рік. (задана величина). $\tau = (0,124 + T_{\max} \times 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 3500 \times 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 1968 \text{ (год/рік)}$.

Приведемо складові компоненти функції для обчислення оптимальної площі поперечного перерізу.

Норма дисконту: $E=0,1$ в.о. Тариф на вході до мережі: $C_{\text{ex}} = 42,5 \text{ (коп/кВт}\cdot\text{год)}$.

Нормативний показник витрат на експлуатацію ПЛ: $H_e = 1,2\%$;

Питома величина умовно змінних витрат на спорудження ПЛ:

$$k_{\text{нумзм}} = 450 \text{ (грн / мм}^2 \cdot \text{км)}.$$

Питомий опір матеріалу проводу: $\rho = 28,5 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{км)}$.

Розрахуємо оптимальний переріз для кожної ділянки схеми №1:

$$F_{\text{онм}_{10}} = \frac{1}{n_l} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot I_{10}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot C_{\text{ex}} \cdot 10^{-5}}{k_{\text{нумзм}} \cdot (0,01 \cdot H_e + E)}} = \frac{1}{1} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 18,48^2 \cdot 28,5 \cdot 1968 \cdot 42,5 \cdot 10^{-5}}{450 \cdot (0,01 \cdot 1,2 + 0,1)}} = 22,014 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$F_{\text{онм}_{21}} = \frac{1}{n_l} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot I_{21}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot C_{\text{ex}} \cdot 10^{-5}}{k_{\text{нумзм}} \cdot (0,01 \cdot H_e + E)}} = \frac{1}{1} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 25,23^2 \cdot 28,5 \cdot 1968 \cdot 42,5 \cdot 10^{-5}}{450 \cdot (0,01 \cdot 1,2 + 0,1)}} = 30,055 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$F_{\text{онм}_{31}} = \frac{1}{n_l} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot I_{31}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot C_{\text{ex}} \cdot 10^{-5}}{k_{\text{нумзм}} \cdot (0,01 \cdot H_e + E)}} = \frac{1}{1} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 37,93^2 \cdot 28,5 \cdot 1968 \cdot 42,5 \cdot 10^{-5}}{450 \cdot (0,01 \cdot 1,2 + 0,1)}} = 45,183 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$F_{\text{онм}_{43}} = \frac{1}{n_l} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot I_{43}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot C_{\text{ex}} \cdot 10^{-5}}{k_{\text{нумзм}} \cdot (0,01 \cdot H_e + E)}} = \frac{1}{1} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 28,44^2 \cdot 28,5 \cdot 1968 \cdot 42,5 \cdot 10^{-5}}{450 \cdot (0,01 \cdot 1,2 + 0,1)}} = 33,877 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$F_{\text{онм}_{53}} = \frac{1}{n_l} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot I_{53}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot C_{\text{ex}} \cdot 10^{-5}}{k_{\text{нумзм}} \cdot (0,01 \cdot H_e + E)}} = \frac{1}{1} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 64,532^2 \cdot 28,5 \cdot 1968 \cdot 42,5 \cdot 10^{-5}}{450 \cdot (0,01 \cdot 1,2 + 0,1)}} = 76,87 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$F_{opt_65} = \frac{1}{n_l} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot I_{65}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot C_{ex} \cdot 10^{-5}}{k_{nutzm} \cdot (0,01 \cdot H_e + E)}} = \frac{1}{1} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 32,27^2 \cdot 28,5 \cdot 1968 \cdot 42,5 \cdot 10^{-5}}{450 \cdot (0,01 \cdot 1,2 + 0,1)}} = 38,442 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$F_{opt_75} = \frac{1}{n_l} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot I_{75}^2 \cdot \rho \cdot \tau \cdot C_{ex} \cdot 10^{-5}}{k_{nutzm} \cdot (0,01 \cdot H_e + E)}} = \frac{1}{1} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 32,26^2 \cdot 28,5 \cdot 1968 \cdot 42,5 \cdot 10^{-5}}{450 \cdot (0,01 \cdot 1,2 + 0,1)}} = 38,43 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Струмові навантаження і оптимальні перерізи по ділянках наведемо в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Струмові навантаження і оптимальні перерізи

Ділянка	Активна потужність, Р, МВт	Реактивна потужність, Q, МВАр	Струмове навантаження, I, А	Оптимальний переріз проводу, F _{опт} , мм ²
1-0	-0,043	-1,119	18,481	22,014
3-1	1,257	-1,925	37,932	45,183
2-1	1,3	-0,806	25,232	30,055
4-3	1,5	-0,85	28,44	33,877
5-3	2,757	-2,776	64,533	76,87
6-5	1,379	-1,388	32,273	38,442
7-5	1,378	-1,388	32,26	38,427

Для моделі буде використовуватись провід марки АСК. Для цього виберемо з каталогу проводу відповідних перерізів. Зведемо в Табл. 5.4 дані проводів які нас цікавлять.

Таблиця 5.4 – Характеристика проводів АСК

Переріз, мм ²	Діаметр, мм		Електричний опір 1км проводу постійному струму при 20°C, Ом	Ємність Гн 10^{-3} /к м	Індуктивність Ф 10^{-9} /км	Допустимий струм
	проводу	сталого сердечника				
35/6,2	8,4	2,8	0,7897	7,62	31,5	135
50/8	9,6	3,2	0,592	7,34	33	165
70/11	11,4	3,8	0,46	7,02	30,02	210
95/16	13,5	4,5	0,30599	6,86	29,5	260

Таким чином, провівши розрахунки, зазначимо проводи по ділянкам:

Провід :АСК-35/6,2 на ділянках: 1-2, 3-4.

АСК-50/8 на ділянках: 0-1, 5-6, 5-7.

АСК-70/11 на ділянках: 1-3.

АСК-95/16 на ділянках: 3-5.

Скріншот блоку, в якому вказуються параметри лінії покажемо на рис. 5.14.

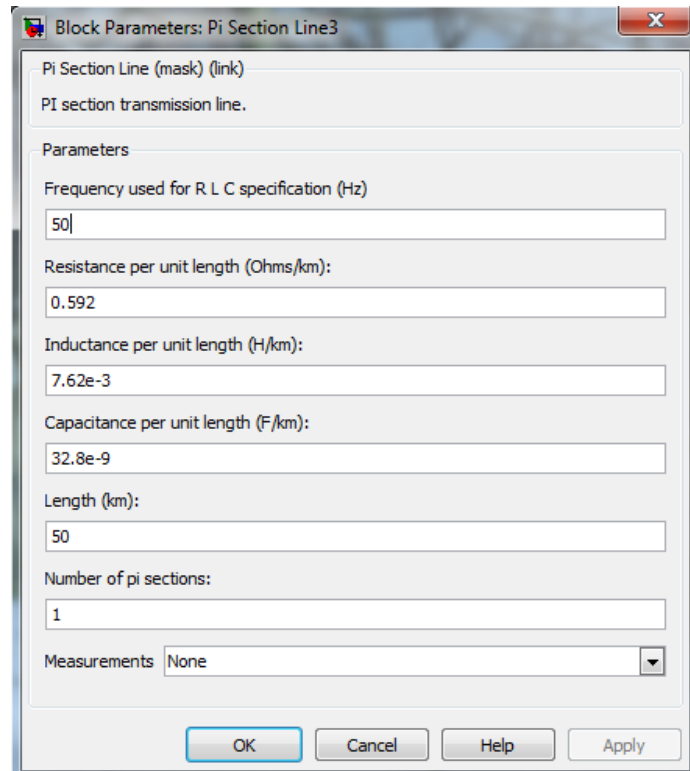


Рис. 5.14 – Параметри лінії 1-2

Виконаємо моделювання електричної мережі, змінюючи швидкість вітру на вітроагрегатах, згідно графіку, що показаний на рис. 5.15. Скріншот розрахованої схеми наведено на рис. 5.16 – 5.17.

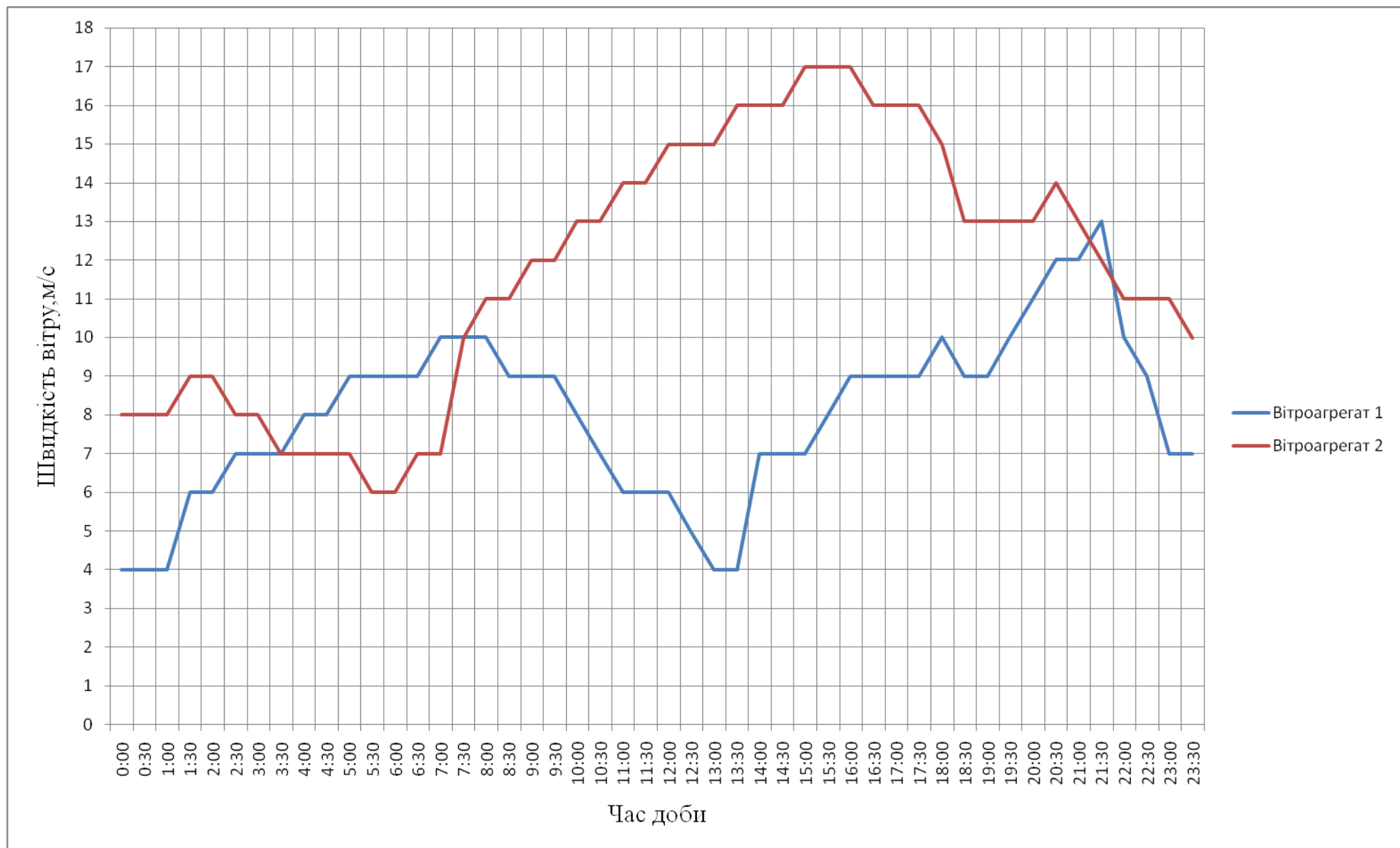


Рис. 5.15 – Графік зміни швидкості вітру

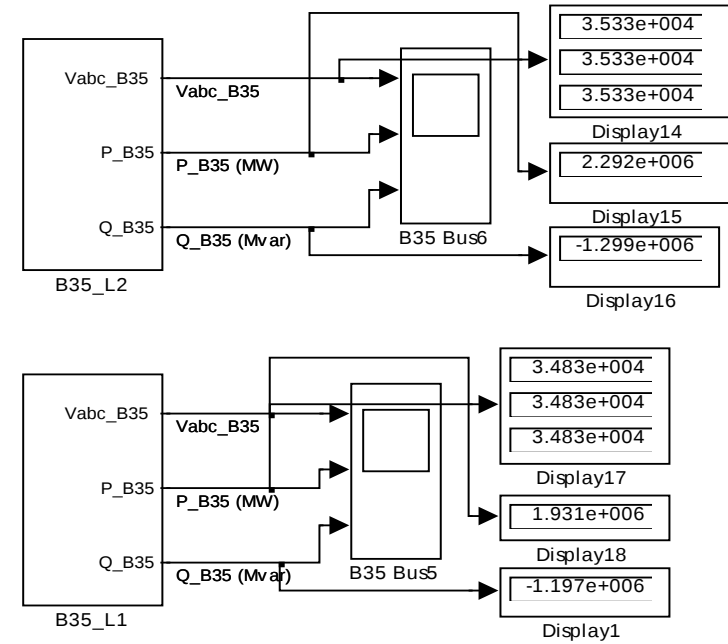
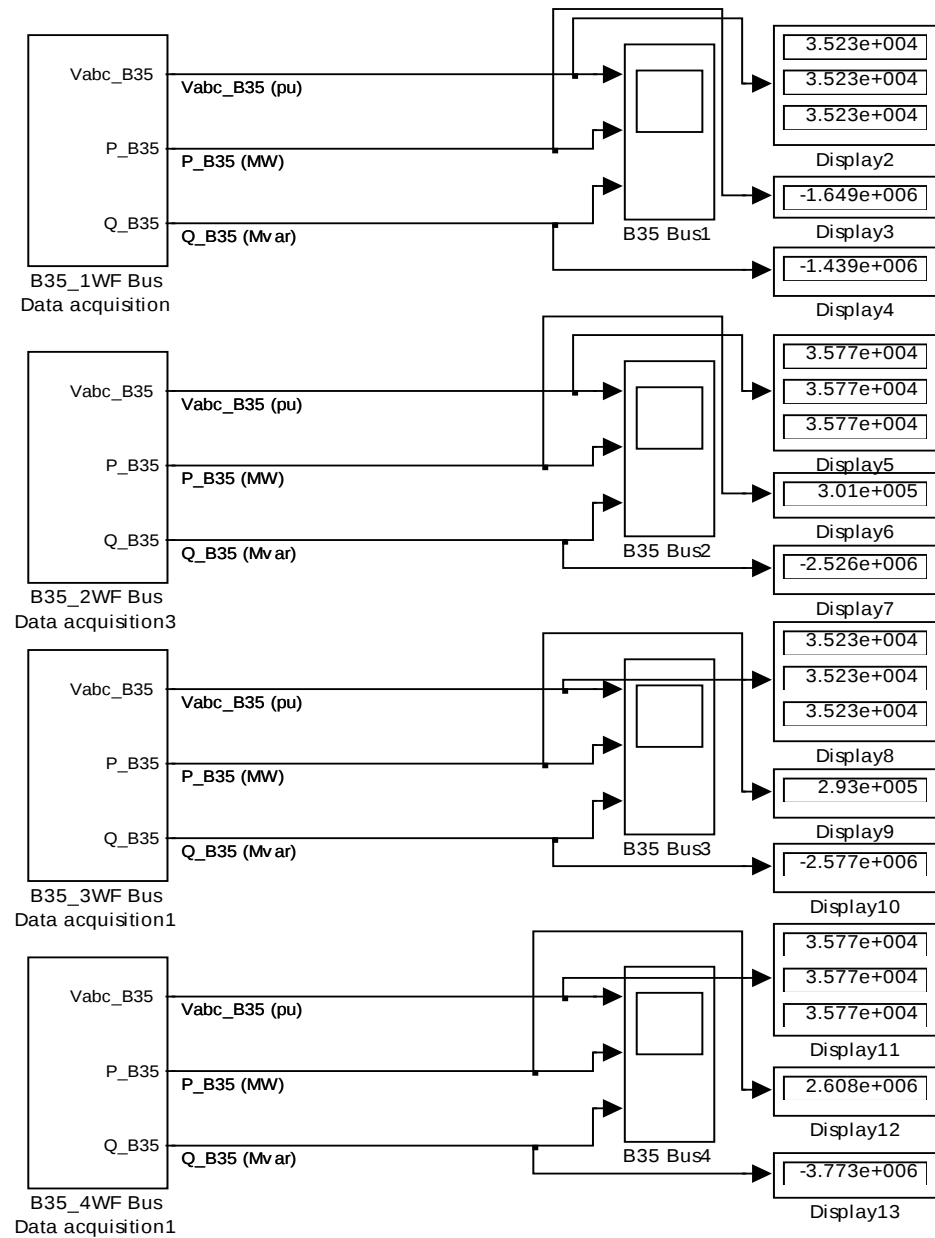


Рис. 5.16 – Робоча модель(результати)

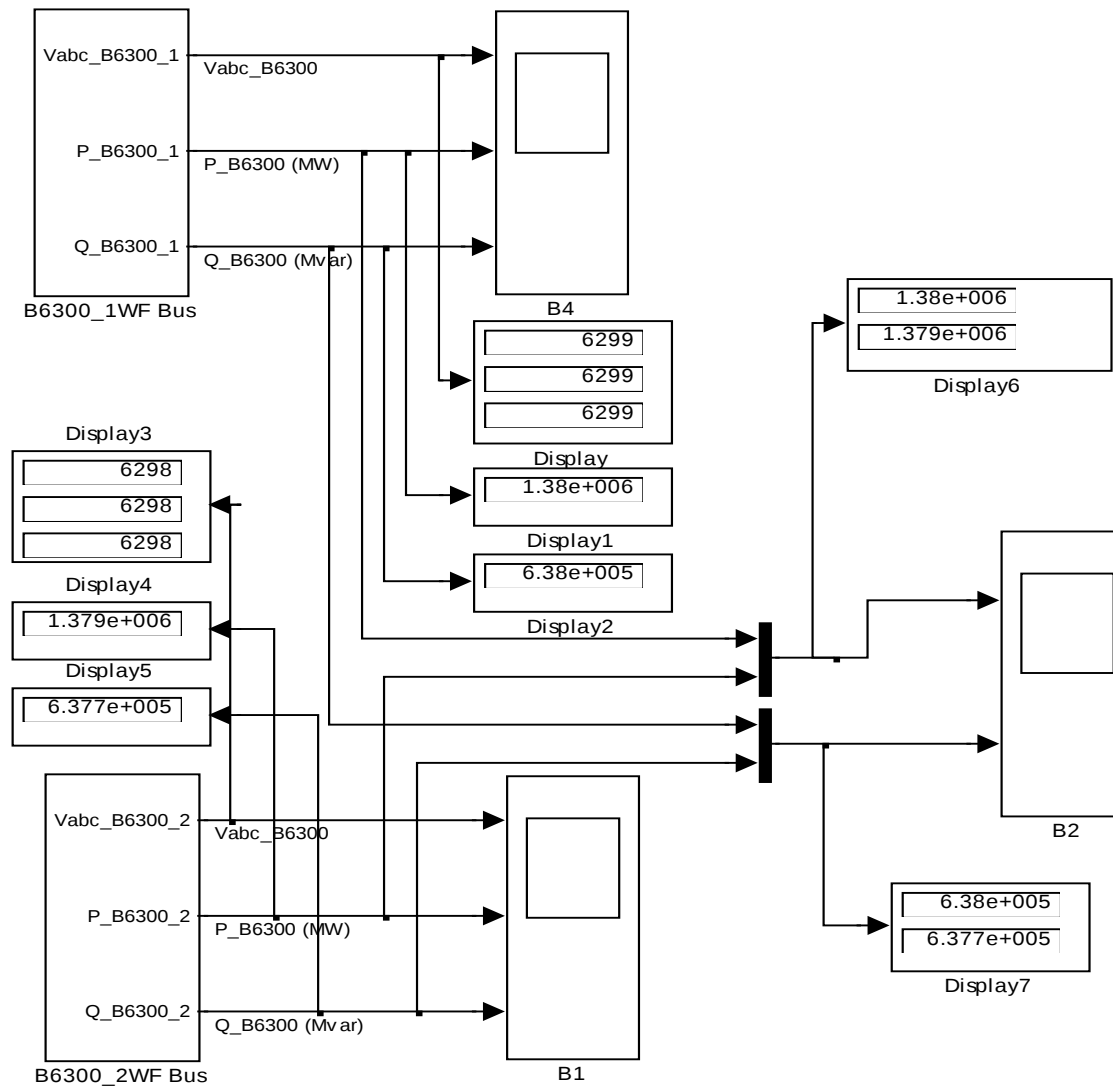


Рис. 5.17 – Робоча модель(результати блок WindFarm)

Змінюючи швидкість відповідно до часу доби, змінюється видача потужності на вітроагрегатах, режим напруги на затискачах генератора, а також параметри електричної мережі 35 кВ.

Промодельовавши мережу, змінюючи швидкість вітру на кожному вітроагрегаті, отримуємо дані які зведемо в таблиці і покажемо залежності на графіках.

Параметри на виході першого вітрового агрегату наведемо на табл. 5.5.

Параметри на виході другого вітрового агрегату наведемо на табл. 5.6.

Графік видачі активної потужності показано на рис. 5.18.

Графік видачі реактивної потужності показано на рис. 5.19.

Графік напруги на затискачах генератора показано на рис. 5.20.

Параметри електричної мережі по ділянках вказано в табл. 5.7 – 5.8.

Потокорозподіл потужностей показано на рис. 5.21 – 5.22.

Графік напруги по ділянкам показано на рис. 5.23.

Параметри на шинах споживачів вказано в табл. 5.9.

Графік напруги на шинах споживачів показано на рис. 5.24.

Графіки споживання активної потужності показано на рис. 5.25.

Графіки споживання реактивної потужності показано на рис. 5.26.

Таблиця 5.5 – Параметри на виході першого вітроагрегату

Час доби, год	Швидкість вітру, м/с	Напруга на затискачах генератора, В	Видача активної потужності, Вт	Видача реактивної потужності, Вар
0.00	4	4960	-219400	277400
0.30	4	4960	-219400	277400
1.00	4	4960	-219400	277400
1.30	6	5446	139500	326400
2.00	6	5446	139500	326400
2.30	7	5543	483100	362900
3.00	7	5543	483100	362900
3.30	7	5439	499200	363000
4.00	8	5634	913300	456300
4.30	8	5634	913300	456300
5.00	9	5716	1374000	605700
5.30	9	5656	1378000	605900
6.00	9	5656	1378000	605900
6.30	9	5716	1374000	605700
7.00	10	5716	1398000	616100
7.30	10	6060	1405000	630900
8.00	10	6171	1401000	636300
8.30	9	6171	1379000	629700
9.00	9	6255	1381000	635200
9.30	9	6255	1381000	635200
10.00	8	6246	919700	517500
10.30	7	6101	492700	432900
11.00	6	5915	138000	382700
11.30	6	5915	138000	382700
12.00	6	5915	139000	383200
12.30	5	5742	-105600	359500
13.00	4	5647	-216700	352500
13.30	4	5647	-216200	352700
14.00	7	6104	489200	432400
14.30	7	6104	489200	432400
15.00	7	6104	483800	431700
15.30	8	6249	916100	516600
16.00	9	6300	1380000	638300
16.30	9	6300	1375000	637200
17.00	9	6300	1375000	637200
17.30	9	6300	1375000	637200
18.00	10	6299	1410000	646400
18.30	9	6299	1377000	637500
19.00	9	6299	1377000	637500
19.30	10	6298	1406000	645200
20.00	11	6298	1387000	642000
20.30	12	6299	1403000	644700
21.00	12	6298	1399000	643500
21.30	13	6255	1415000	642900
22.00	10	6171	1401000	636300
22.30	9	6171	1379000	629700
23.00	7	5934	490300	411800
23.30	7	5808	490200	397000

Таблиця 5.6 – Параметри на виході другого вітроагрегату

Час доби, год	Швидкість вітру, м/с	Напруга на затискачах генератора, В	Видача активної потужності, Вт	Видача реактивної потужності, Вар
0.00	8	4991	8641	272600
0.30	8	4991	8641	272600
1.00	8	4991	8641	272600
1.30	9	5441	212500	330600
2.00	9	5441	212500	330600
2.30	8	5514	2502	326300
3.00	8	5514	2502	326300
3.30	7	5395	-122600	325100
4.00	7	5597	-135700	339600
4.30	7	5597	-135700	339600
5.00	7	5718	-135700	355300
5.30	6	5652	-209200	353100
6.00	6	5652	-209200	353100
6.30	7	5718	-135700	355300
7.00	7	5721	-130800	357800
7.30	10	6090	457000	427200
8.00	11	6201	747000	480100
8.30	11	6199	748300	480100
9.00	12	6275	1057000	549800
9.30	12	6275	1057000	549800
10.00	13	6222	1380000	632800
10.30	13	6073	1380000	624400
11.00	14	5894	1399000	622300
11.30	14	5894	1399000	622300
12.00	15	5894	1397000	622200
12.30	15	5735	1399000	616700
13.00	15	5649	1396000	613700
13.30	16	5649	1398000	614700
14.00	16	6073	1403000	631500
14.30	16	6073	1403000	631500
15.00	17	6073	1409000	632000
15.30	17	6222	1403000	639600
16.00	17	6298	1406000	645500
16.30	16	6298	1409000	646400
17.00	16	6298	1409000	646400
17.30	16	6298	1409000	646400
18.00	15	6299	1394000	643300
18.30	13	6299	1377000	637500
19.00	13	6299	1377000	637500
19.30	13	6300	1375000	637500
20.00	13	6300	1389000	639400
20.30	14	6299	1395000	643600
21.00	13	6299	1373000	636500
21.30	12	6277	1051000	550100
22.00	11	6201	747000	480100
22.30	11	6199	748300	480100
23.00	11	5936	746700	450400
23.30	10	5807	459900	393300

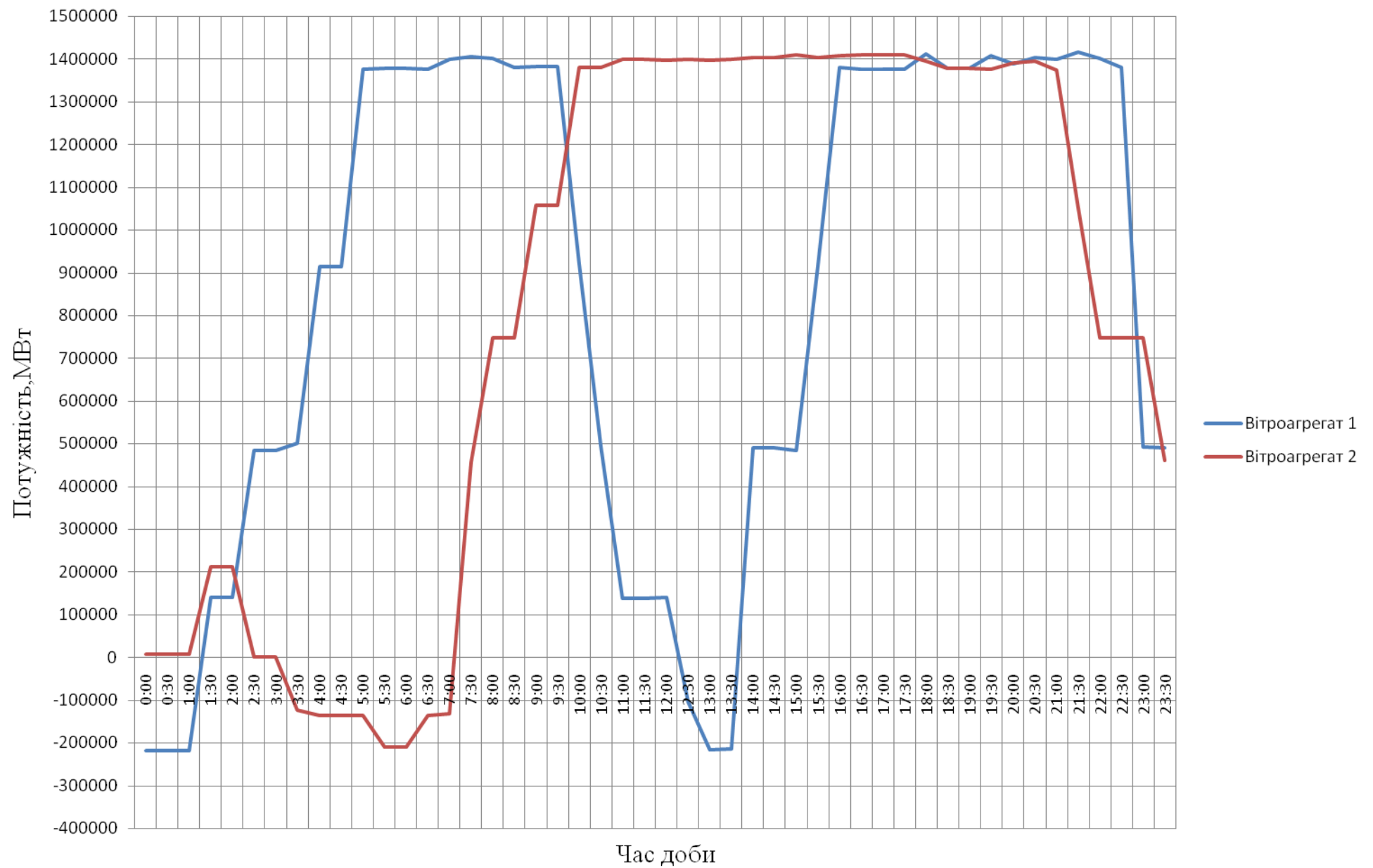


Рис. 5.18 – Графік видачі активної потужності на вітроагрегатах

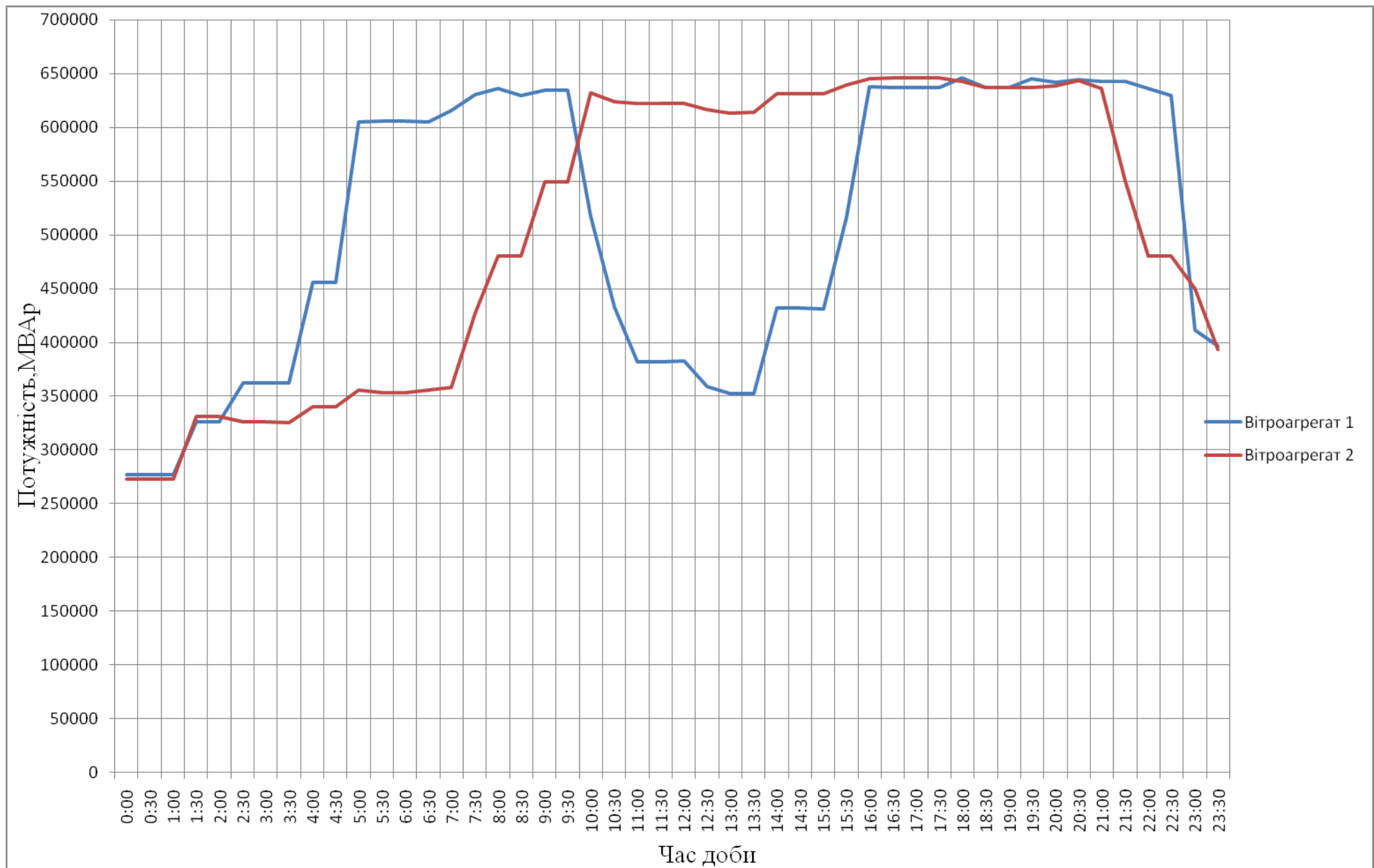


Рис. 5.19 – Графік видачі реактивної потужності на вітроагрегатах

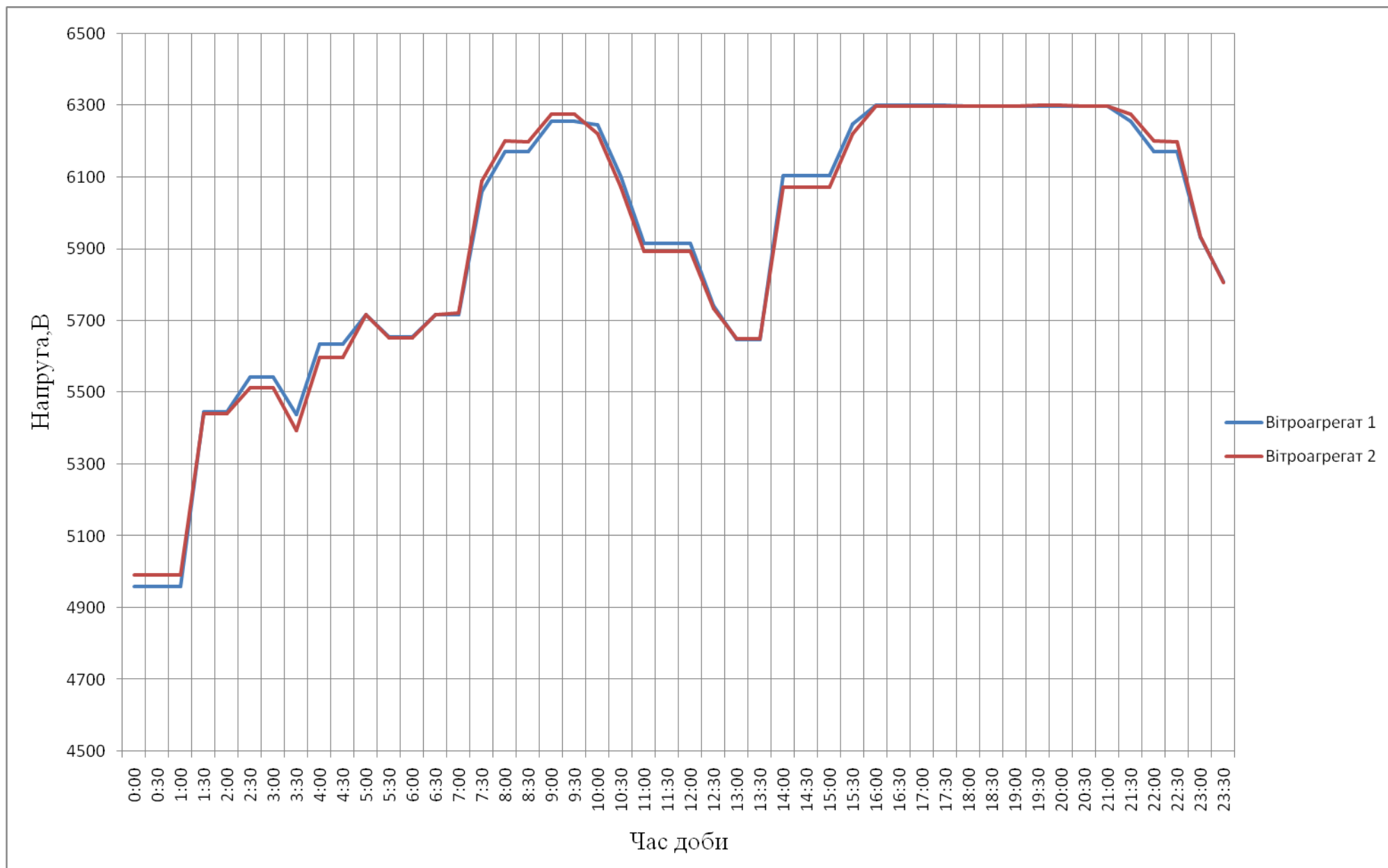


Рис. 5.20 – Графік напруги на затискачах генератора

Таблиця 5.7 – Параметри на шинах 1,2

Час доби, год	Шина 1			Шина 2		
	Напруга на затискачах генератора, В	Потік активної потужності, Вт	Потік реактивної потужності, Вар	Напруга на затискачах генератора, В	Потік активної потужності, Вт	Потік реактивної потужності, Вар
0.00	27960	-2967000	-1196000	28370	-1733000	-1917000
0.30	27960	-2967000	-1196000	28370	-1733000	-1917000
1.00	27960	-2967000	-1196000	28370	-1733000	-1917000
1.30	30350	-2908000	-1476000	30840	-1453000	-2313000
2.00	30350	-2908000	-1476000	30840	-1453000	-2313000
2.30	30800	-2865000	-1498000	31300	-1371000	-2355000
3.00	30800	-2865000	-1498000	31300	-1371000	-2355000
3.30	30250	-2865000	-1414000	30730	-1418000	-2245000
4.00	31400	-2709000	-1444000	31890	-1156000	-2360000
4.30	31400	-2709000	-1444000	31890	-1156000	-2360000
5.00	32160	-2420000	-1318000	32630	-794100	-2231000
5.30	31870	-2423000	-1265000	32330	-826700	-2162000
6.00	31870	-2423000	-1265000	32330	-826700	-2162000
6.30	32160	-2420000	-1318000	32630	-794100	-2231000
7.00	32180	-2379000	-1305000	32650	-768200	-2219000
7.30	33910	-2214000	-1528000	34450	-406200	-2542000
8.00	34500	-2074000	-1556000	35050	-202500	-2604000
8.30	34480	-2090000	-1564000	35030	-220100	-2611000
9.00	34950	-1897000	-1537000	35500	22870	-2610000
9.30	34950	-1897000	-1537000	35500	22870	-2610000
10.00	34760	-1988000	-1556000	35320	-88110	-2619000
10.30	33960	-2217000	-1542000	34500	-402300	-2560000
11.00	33070	-2335000	-1437000	33570	-615700	-2402000
11.30	33070	-2335000	-1437000	33570	-615700	-2402000
12.00	33070	-2335000	-1437000	33570	-615600	-2402000
12.30	32270	-2392000	-1320000	32750	-754200	-2239000
13.00	31850	-2409000	-1250000	32310	-813900	-2146000
13.30	31850	-2408000	-1249000	32310	-812000	-2144000
14.00	33980	-2201000	-1533000	34520	-385500	-2551000
14.30	33980	-2201000	-1533000	34520	-385500	-2551000
15.00	33980	-2200000	-1532000	34520	-384500	-2550000
15.30	34780	-1973000	-1549000	35330	-71320	-2612000
16.00	35240	-1625000	-1428000	35780	326000	-2515000
16.30	35240	-1625600	-1428000	35780	324800	-2515000
17.00	35240	-1626000	-1428000	35780	324800	-2515000
17.30	35240	-1609000	-1428000	35780	324800	-2515000
18.00	35250	-1652000	-1419000	35790	343100	-2507000
18.30	35230	-1652000	-1440000	35770	297800	-2526000
19.00	35230	-1652000	-1440000	35770	297800	-2526000
19.30	35240	-1659000	-1429000	35780	322000	-2517000
20.00	35240	-1633000	-1431000	35780	317700	-2518000
20.30	35250	-1613000	-1421000	35790	338600	-2508000
21.00	35240	-1637000	-1433000	35780	313500	-2520000
21.30	34970	-1875000	-1527000	35520	46800	-2601000
22.00	34500	-2704000	-1556000	35050	-202500	-2604000
22.30	34480	-2709000	-1564000	35030	-220100	-2611000
23.00	32950	-2709000	-1658000	33500	-898900	-2627000
23.30	32250	-2731000	-1632000	32780	-1093000	-2565000

Таблиця 5.8 – Параметри на шинах 3,4

Час доби, год	Шина 3			Шина 4		
	Напруга на затискачах генератора, В	Потік активної потужності, Вт	Потік реактивної потужності, Вар	Напруга на затискачах генератора, В	Потік активної потужності, Вт	Потік реактивної потужності, Вар
0.00	27960	-1746000	-1911000	28370	-285700	-2700000
0.30	27960	-1746000	-1911000	28370	-285700	-2700000
1.00	27960	-1746000	-1911000	28370	-285700	-2700000
1.30	30350	-1466000	-2321000	30840	261600	-3241000
2.00	30350	-1466000	-2321000	30840	261600	-3241000
2.30	30800	-1383000	-2367000	31300	391000	-3308000
3.00	30800	-1383000	-2367000	31300	391000	-3308000
3.30	30250	-1143000	-2255000	30730	286300	-3166000
4.00	31400	-1167000	-2347000	31890	675600	-3317000
4.30	31400	-1167000	-2347000	31890	676000	-3317000
5.00	32160	-802400	-2266000	32630	1124000	-3269000
5.30	31870	-834800	-2196000	32330	1057000	-3180000
6.00	31870	-834800	-2196000	32330	1057000	-3180000
6.30	32160	-802400	-2266000	32630	1124000	-3269000
7.00	32180	-776400	-2254000	32650	1154000	-3258000
7.30	33910	-415000	-2582000	34450	1733000	-3698000
8.00	34500	-211300	-2648000	35050	2021000	-3801000
8.30	34480	-228900	-2655000	35030	1992000	-3808000
9.00	34950	14300	-2657000	35500	2295000	-3839000
9.30	34950	14300	-2657000	35500	2295000	-3839000
10.00	34760	-96840	-2664000	35320	2160000	-3834000
10.30	33960	-411200	-2600000	34500	1744000	-3720000
11.00	33070	-624300	-2440000	33570	1416000	-3501000
11.30	33070	-624300	-2440000	33570	1416000	-3501000
12.00	33070	-624200	-2440000	33570	1416000	-3501000
12.30	32270	-762400	-2275000	32750	1179000	-3285000
13.00	31850	-821900	-2181000	32310	1068000	-3163000
13.30	31850	-820000	-2179000	32310	1070000	-3162000
14.00	33980	-394300	-2592000	34520	1762000	-3712000
14.30	33980	-394300	-2592000	34520	1762000	-3712000
15.00	33980	-393300	-2591000	34520	1763000	-3712000
15.30	34780	-8000	-2658000	35330	2179000	-3828000
16.00	35240	316800	-2567000	35780	2634000	-3763000
16.30	35240	316800	-2566000	35780	2633000	-3763000
17.00	35240	316800	-2566000	35780	2633000	-3763000
17.30	35240	316800	-2566000	35780	2633000	-3763000
18.00	35250	335100	-2558000	35790	2652000	-3755000
18.30	35230	289700	-2578000	35770	2604000	-3773000
19.00	35230	289700	-2578000	35770	2604000	-3773000
19.30	35240	314000	-2568000	35780	2630000	-3764000
20.00	35240	309700	-2569000	35780	2625000	-3766000
20.30	35250	330600	-2560000	35790	2647000	-3756000
21.00	35240	305500	-2571000	35780	2621000	-3767000
21.30	34970	383000	-2648000	35520	2321000	-3830000
22.00	34500	-212300	-2648000	35050	2012000	-3801000
22.30	34480	-228900	-2655000	35030	1992000	-3808000
23.00	32950	-909700	-2654000	33500	1124000	-3721000
23.30	32250	-1104000	-2585000	32780	844000	-3612000

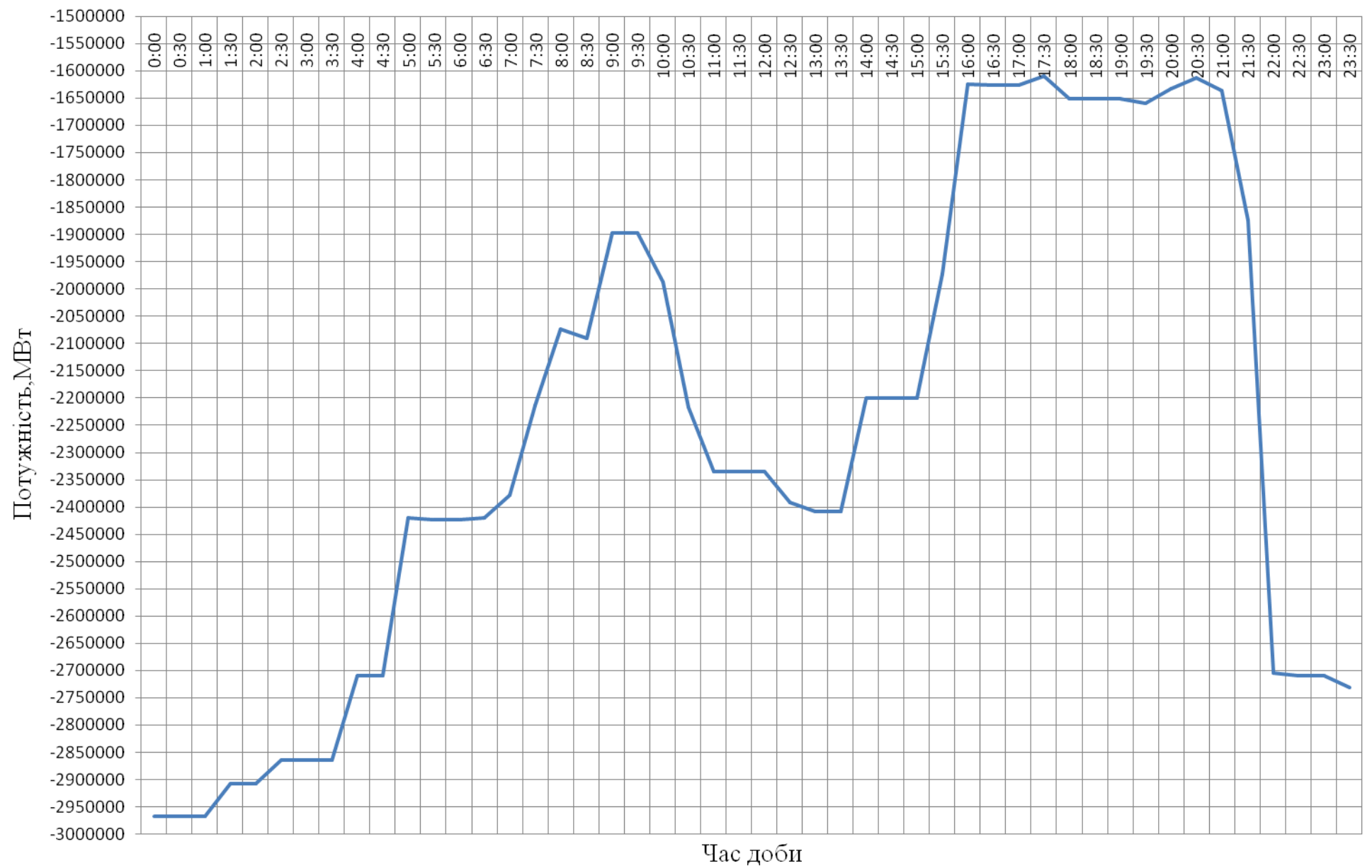


Рис. 5.21 – Потокорозподіл активної потужності на ділянці 0-1

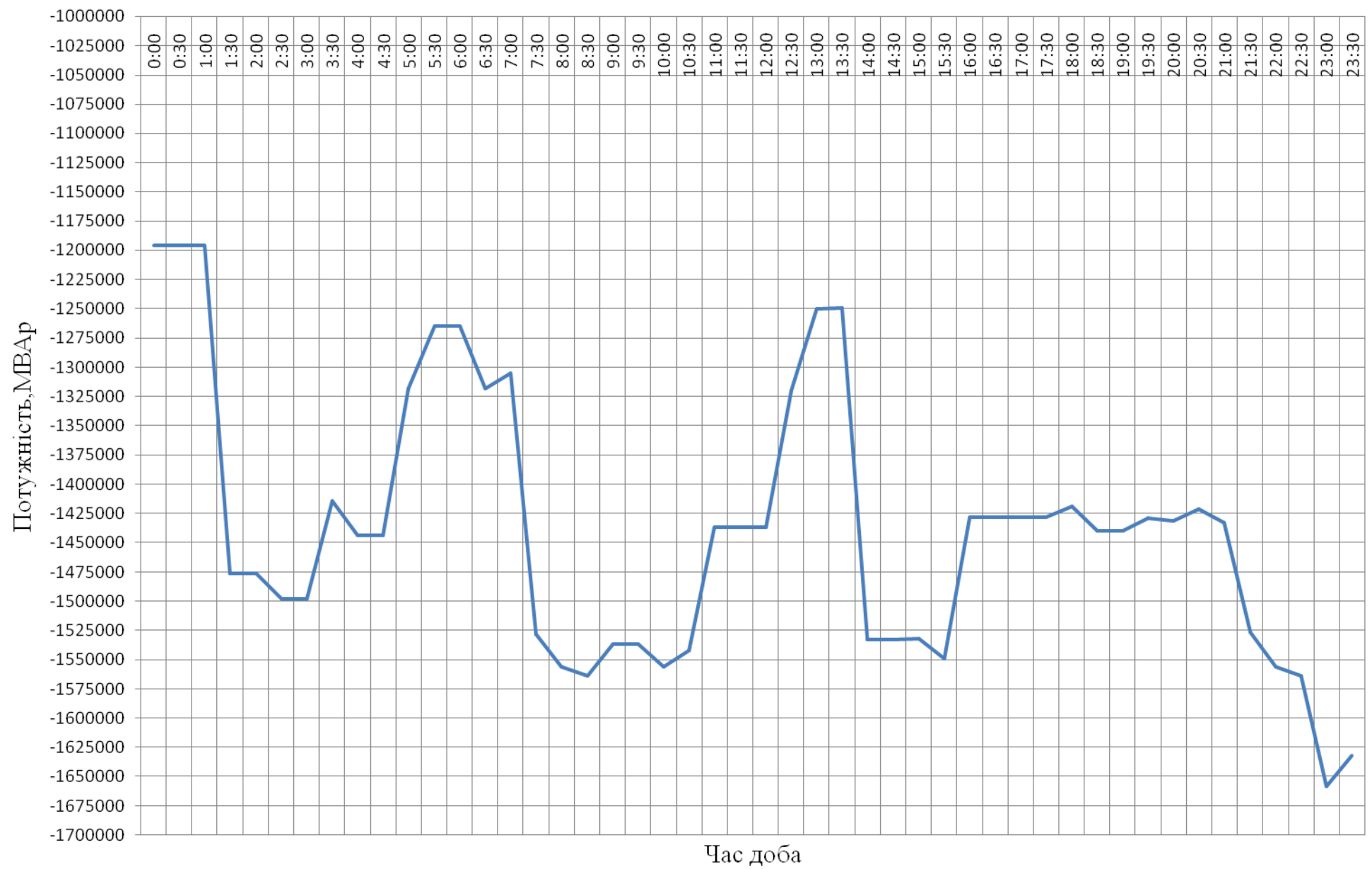


Рис. 5.22 – Потокорозподіл реактивної потужності на ділянці 0-1

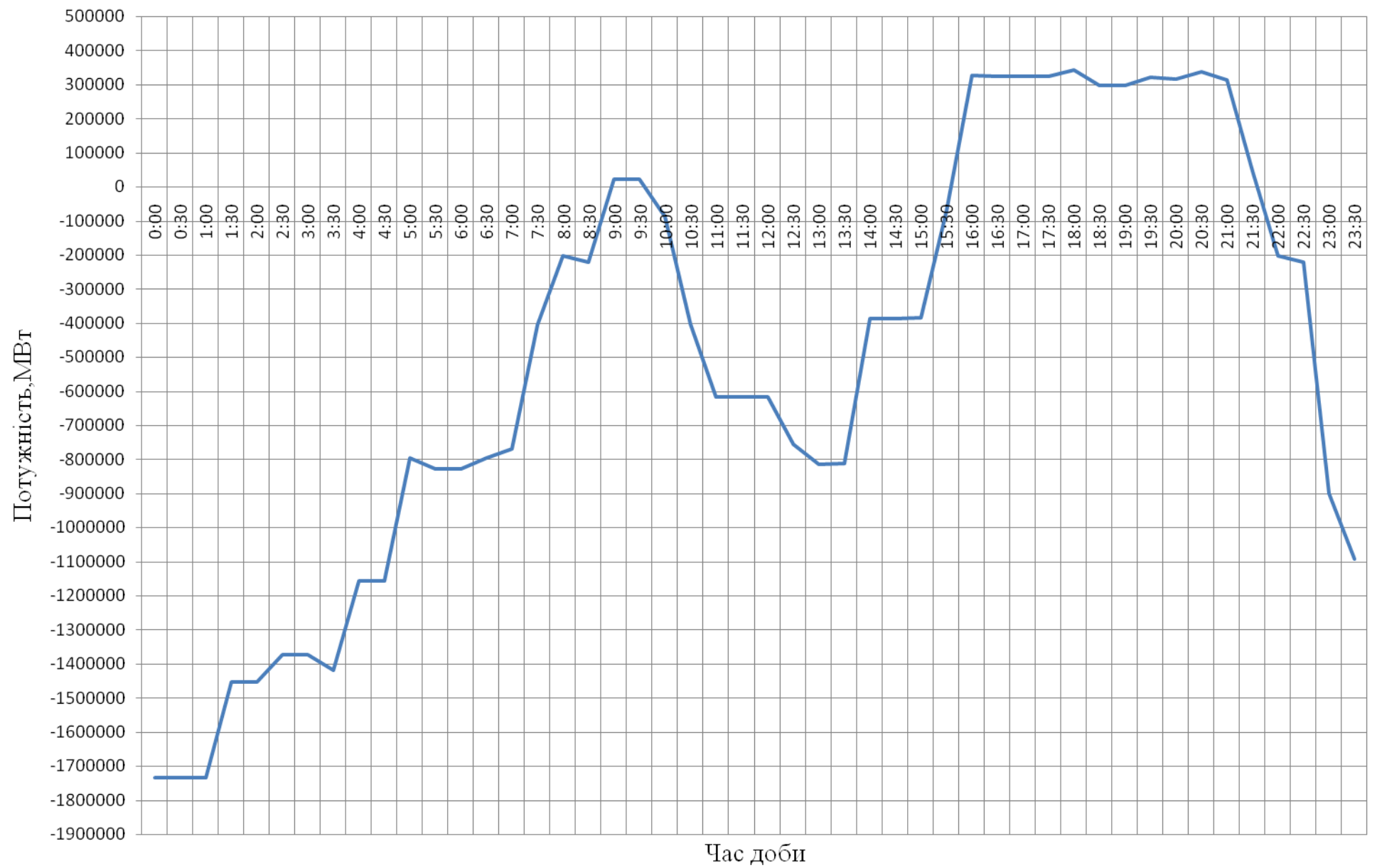


Рис. 5.23 – Потокорозподіл активної потужності на ділянці 1-3(зі сторони БП)

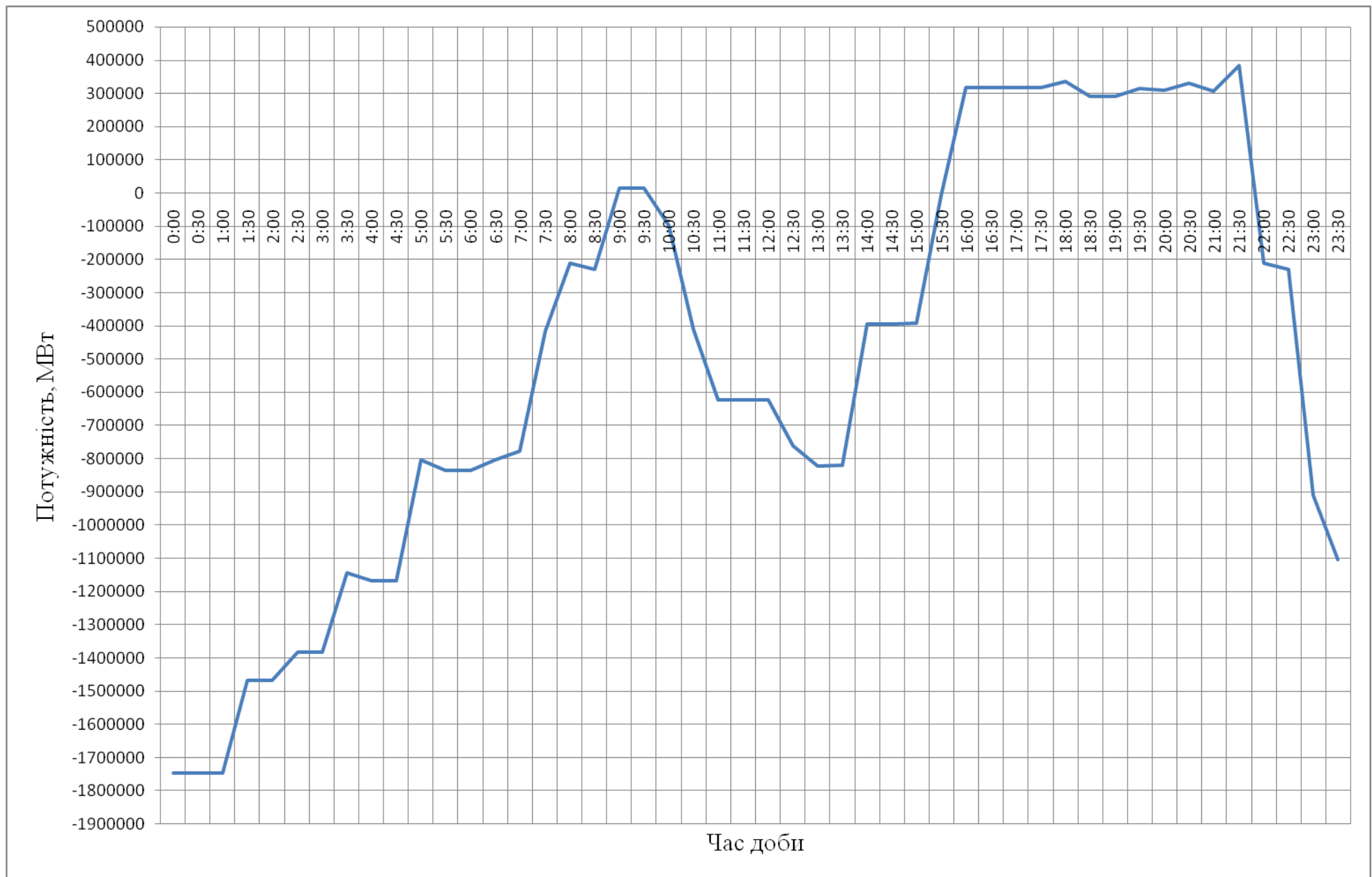


Рис. 5.24 – Потокорозподіл активної потужності на ділянці 1-3(зі сторони вітрової ферми)

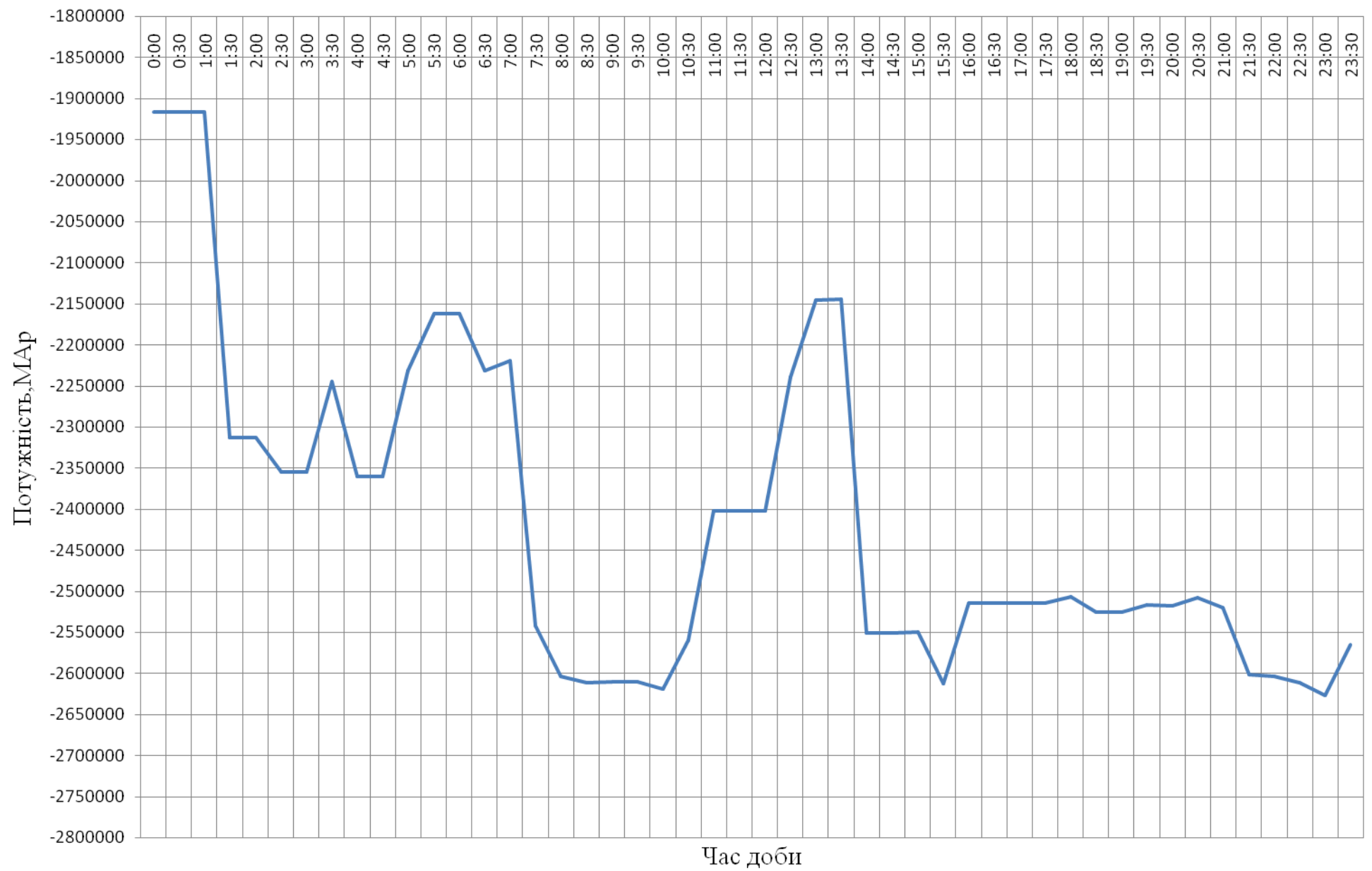


Рис. 5.25 – Потокорозподіл реактивної потужності на ділянці 1-3(зі сторони БП)

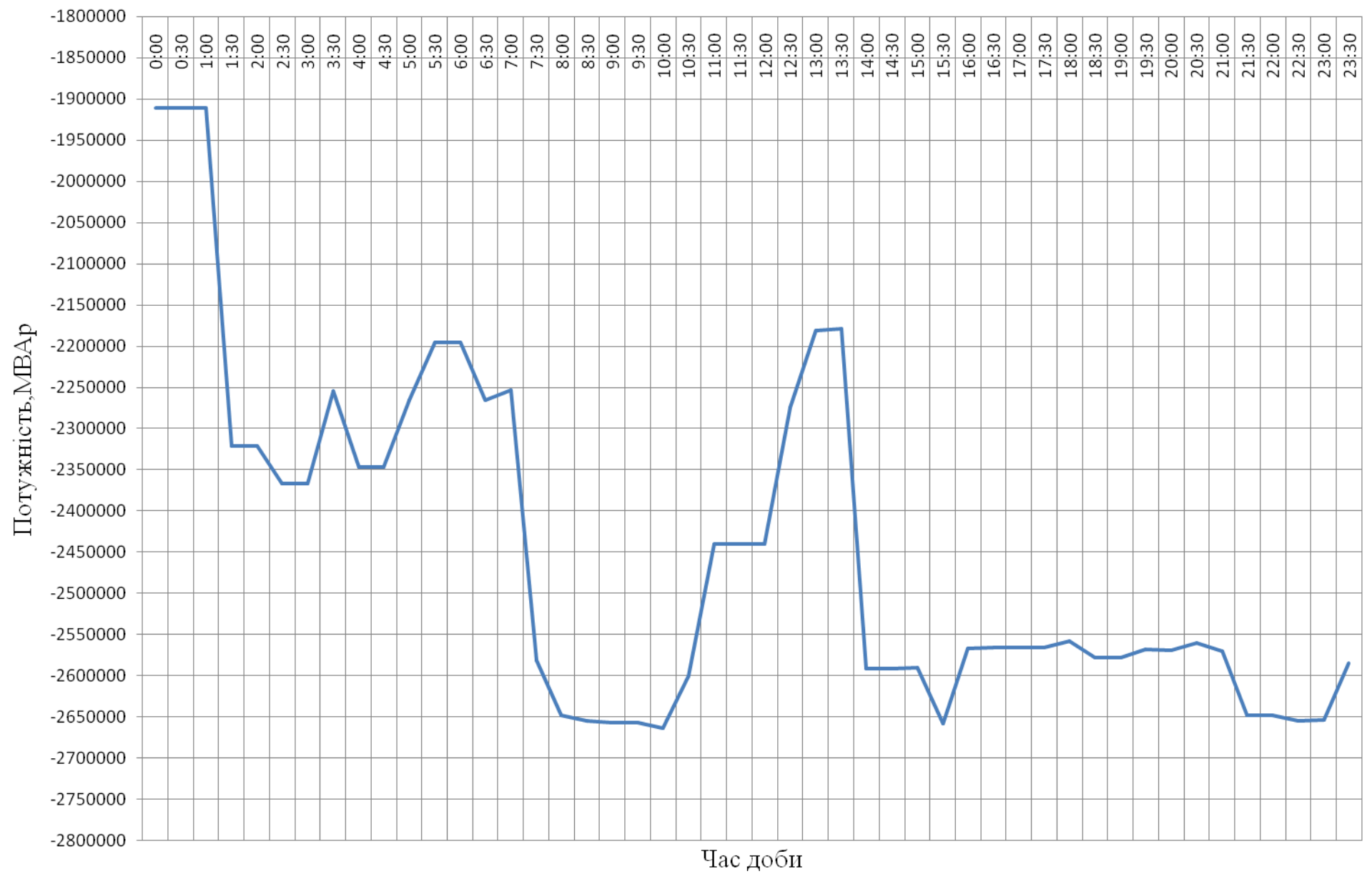


Рис. 5.26 – Потокорозподіл реактивної потужності на ділянці 1-3(зі сторони вітрової ферми)

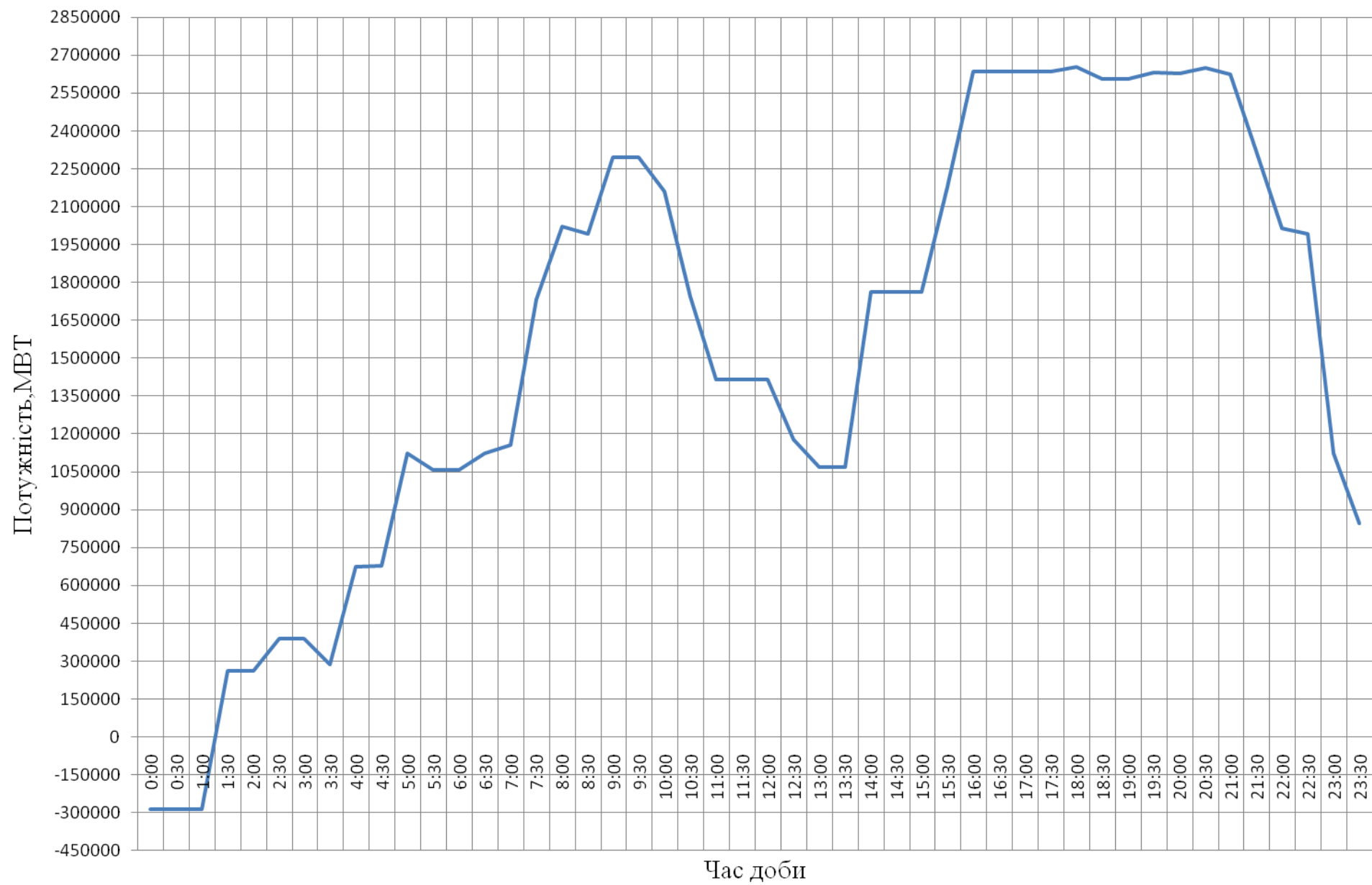


Рис. 5.27 – Потокорозподіл активної потужності на ділянці 3-5

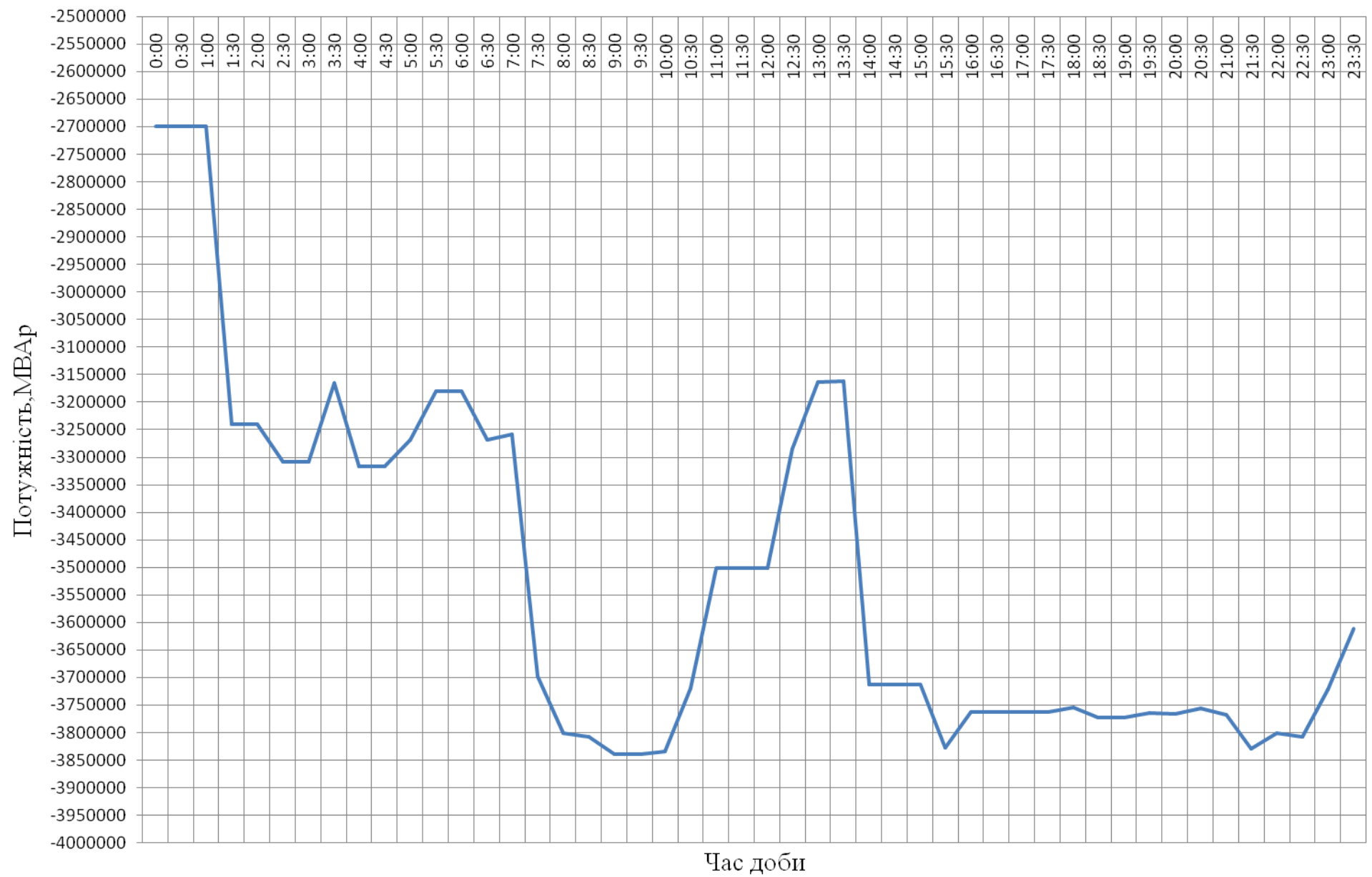


Рис. 5.28 – Потокорозподіл реактивної потужності на ділянці 3-5

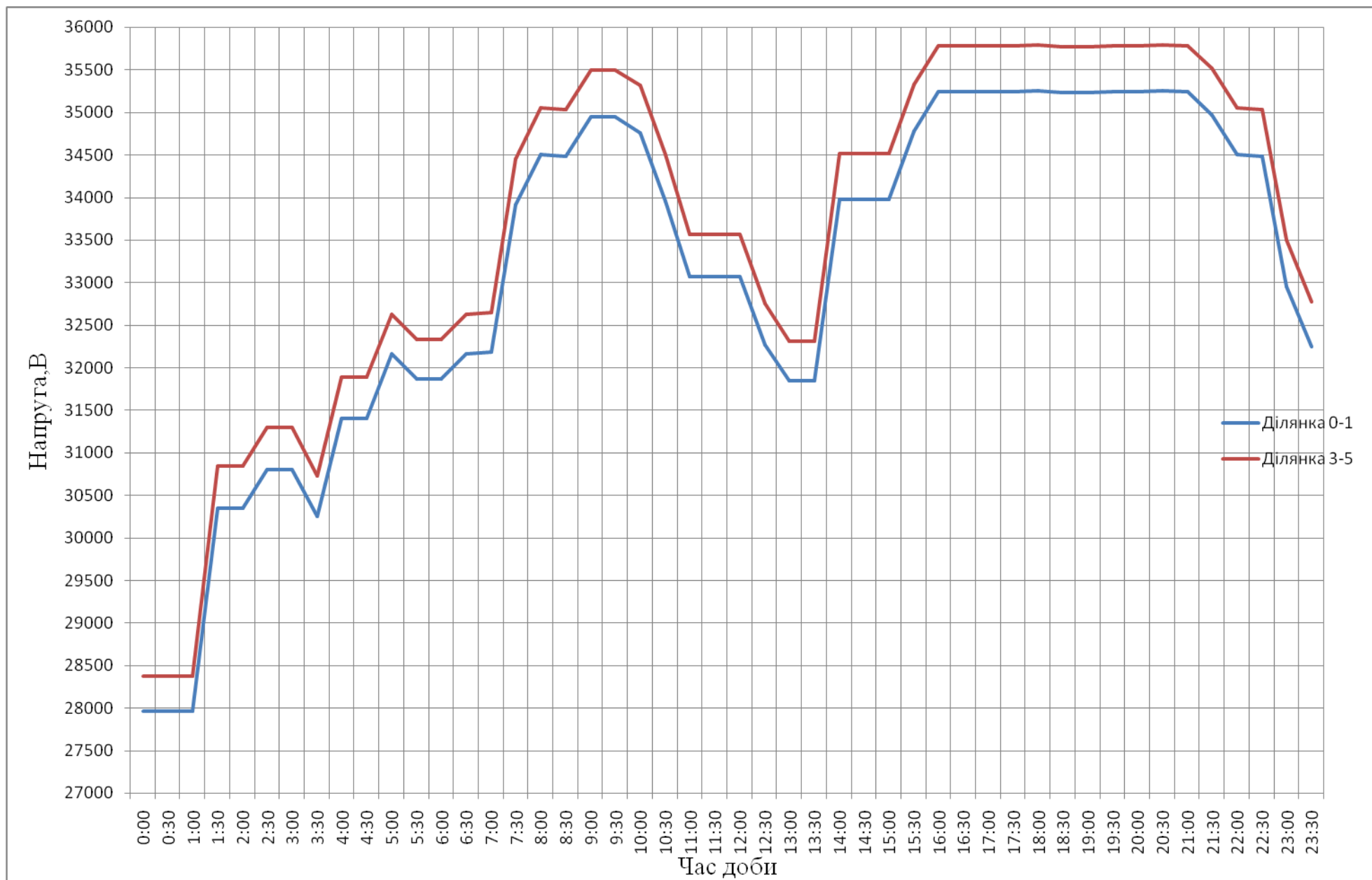


Рис. 5.29 – Рівень напруги на ділянках 0-1 та 3-5

Таблиця 5.9 – Параметри на шинах споживачів

Час доби, год	Споживач 1			Споживач 2		
	Напруга на затискачах генератора, В	Видача активної потужності, Вт	Видача реактивної потужності, Вар	Напруга на затискачах генератора, В	Видача активної потужності, Вт	Видача реактивної потужності, Вар
0.00	27650	1214000	-752700	28020	1439000	-815200
0.30	27650	1214000	-752700	28020	1439000	-815200
1.00	27650	1214000	-752700	28020	1439000	-815200
1.30	30010	1434000	-889100	30450	1704000	-965700
2.00	30010	1434000	-889100	30450	1704000	-965700
2.30	30450	1474000	-913600	30910	1751000	-992400
3.00	30450	1474000	-913600	30910	1751000	-992400
3.30	29910	1427000	-884500	30340	1694000	-960000
4.00	31040	1533000	-950600	31490	1820000	-1032000
4.30	31040	1533000	-950600	31490	1820000	-1032000
5.00	31790	1608000	-997000	32220	1906000	-1080000
5.30	31500	1580000	-979500	31920	1872000	-1061000
6.00	31500	1580000	-979500	31920	1872000	-1061000
6.30	31790	1608000	-997000	32220	1906000	-1080000
7.00	31810	1611000	-998900	32240	1910000	-1082000
7.30	33530	1789000	-1109000	34020	2125000	-1204000
8.00	34110	1852000	-1148000	34610	2200000	-1247000
8.30	34090	1850000	-1147000	34600	2198000	-1246000
9.00	34560	1901000	-1178000	35060	2258000	-1280000
9.30	34560	1901000	-1178000	35060	2258000	-1280000
10.00	34370	1880000	-1166000	34880	2234000	-1266000
10.30	33580	1795500	-1113000	34070	2133000	-1208000
11.00	32690	1701000	-1055000	33150	2019000	-1144000
11.30	32690	1701000	-1055000	33150	2019000	-1144000
12.00	32690	1701000	-1055000	33150	2019000	-1144000
12.30	31910	1621000	-1005000	32340	1921000	-1089000
13.00	31490	1579000	-978700	31910	1870000	-1060000
13.30	31490	1579000	-978800	31910	1870000	-1060000
14.00	33600	1797000	-1114000	34090	2134000	-1209000
14.30	33600	1797000	-1114000	34090	2134000	-1209000
15.00	33600	1797000	-1114000	34090	2134000	-1209000
15.30	34380	1882000	-1167000	34890	2236000	-1267000
16.00	34840	1933000	-1198000	35330	2294000	-1300000
16.30	34840	1932000	-1198000	35330	2293000	-1300000
17.00	34840	1932000	-1198000	35330	2293000	-1300000
17.30	34840	1932000	-1198000	35330	2293000	-1300000
18.00	34850	1933000	-1199000	35340	2294000	-1300000
18.30	34830	1930000	-1197000	35330	2292000	-1299000
19.00	34830	1932000	-1197000	35330	2292000	-1299000
19.30	34840	1932000	-1198000	35330	2293000	-1300000
20.00	34840	1932000	-1198000	35330	2293000	-1299000
20.30	34850	1933000	-1198000	35340	2294000	-1300000
21.00	34840	1932000	-1198000	35330	2293000	-1299000
21.30	34570	1903000	-1180000	35080	2260000	-1281000
22.00	34110	1852000	-1148000	34610	2200000	-1247000
22.30	34090	1850000	-1147000	34600	2198000	-1246000
23.00	32580	1689000	-1047000	33080	2010000	-1139000
23.30	31880	1618000	-1003000	32370	1924000	-1090000

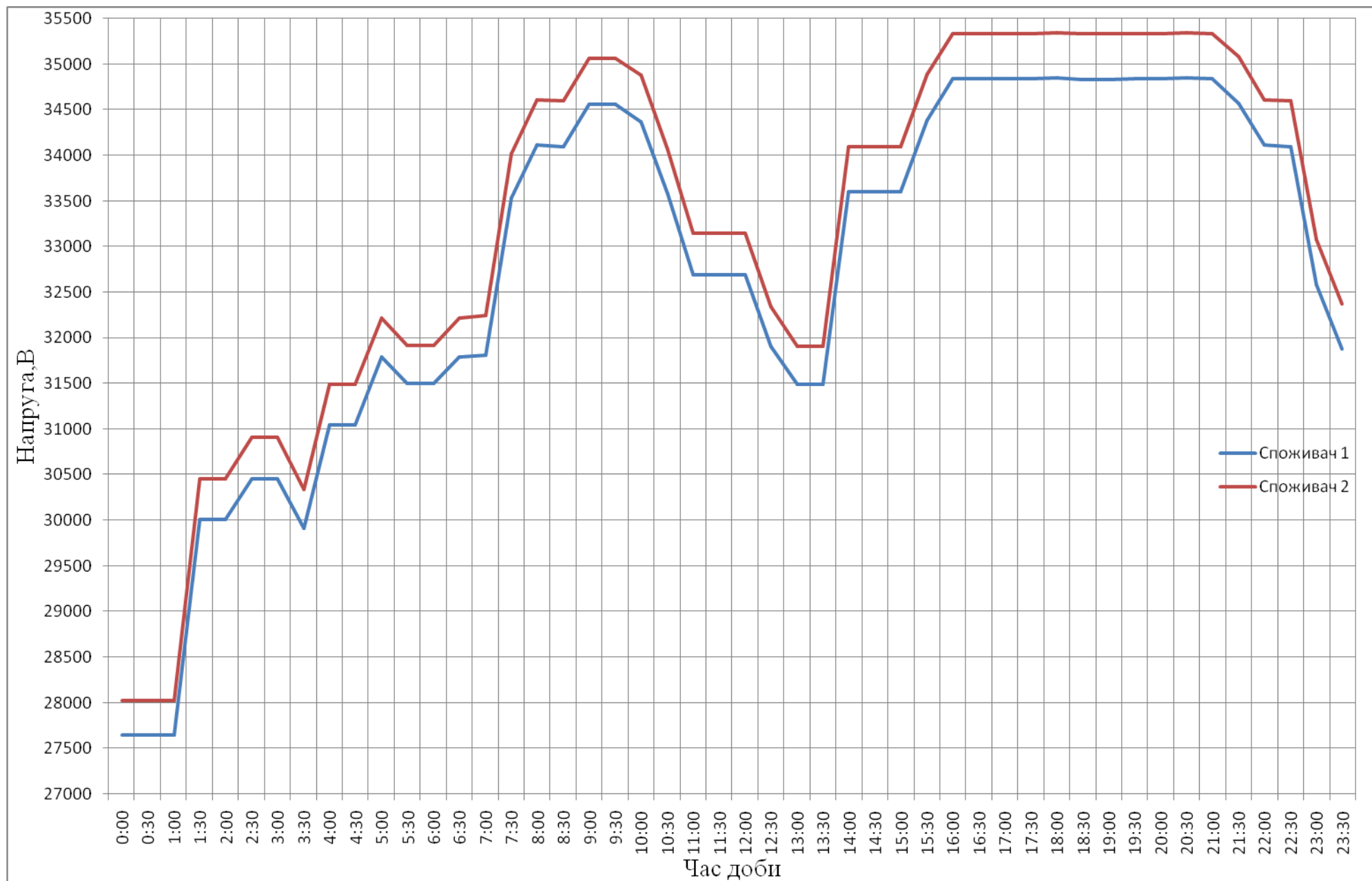


Рис. 5.30 – Рівень напруги на споживачах

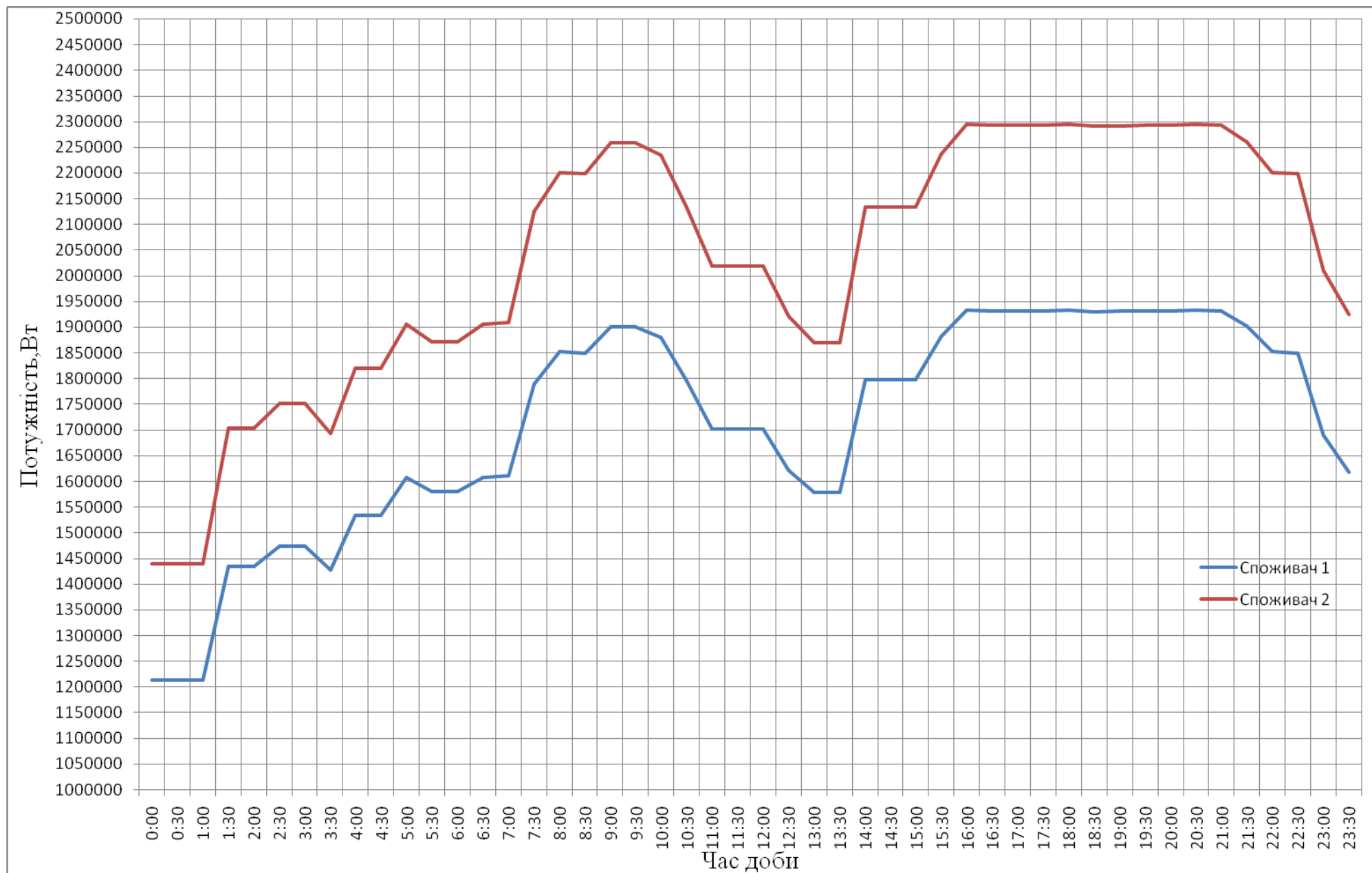


Рис. 5.31 – Активна потужність на споживачах

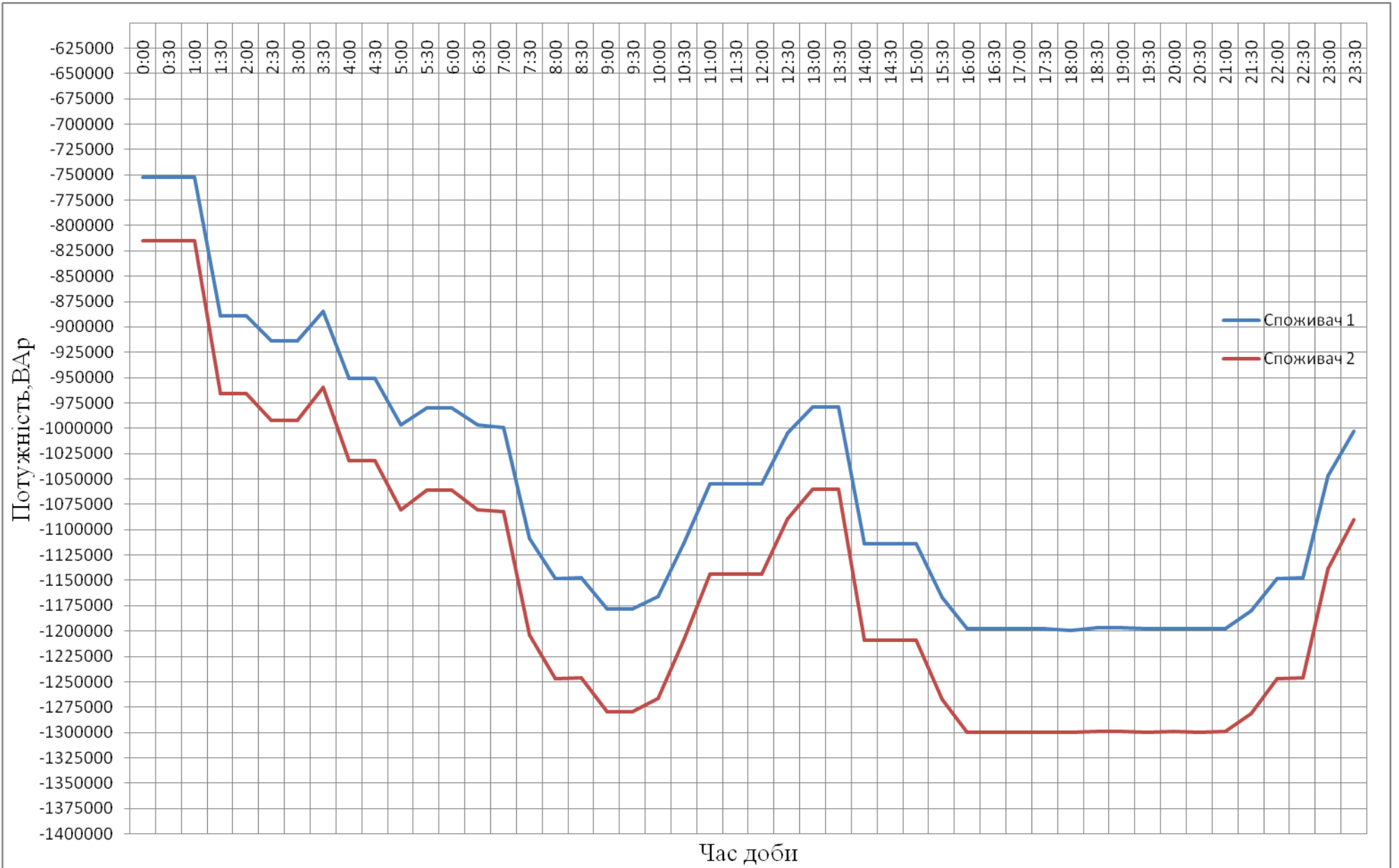


Рис. 5.32 – Реактивна потужність на споживачах

Висновки. Отримавши результати моделювання можна зробити такі висновки.

По-перше, це те що джерела РГ впливають по-різному на режим роботи мережі залежно від того, де саме їх буде під'єднано, а також вони можуть повністю змінити напрямок потоків потужності.

Проаналізувавши дану модель, ми бачимо, що оптимальні параметри мережі ми будемо мати тільки тоді, коли обидві ВЕС будуть працювати в оптимальному режимі, тобто коли вони будуть видавати номінальне значення активної і реактивної потужності. Це в свою чергу можливо тільки тоді, коли швидкість вітру, яка потрапляє на лопатей вітроагрегатів буде номінальна (в даному прикладі це 9 і 13 м/с відповідно) або більша за неї. Очевидно, що при швидкості вітру більшій за номінальне значення, потрібно приймати технічні заходи для обмеження по максимальній потужності генератора. В нашому випадку прийнято, що коли швидкість вітру перевищує значення номінальної швидкості, буде здійснюватись відкриття лопатей вітроагрегату на відповідний градус.

Для даного дослідження був обраний довільний графік зміни швидкості вітру і показано результати при його зміні як на першому джерелі розподіленої генерації так і на другому. Але маючи прогноз зміни швидкості вітру хоча б на добу, як це є в розвинутих країнах Європи, ми можемо за допомогою моделювання задаватись цими даними і спокійно прогнозувати видачу потужності на деякий час вперед.

Одним з основних завдань, які ставились було дослідження зміни напруги на споживачах відповідно до зміни видачі потужності на станціях. Як видно з результатів моделювання, напруга на затискачах споживачів при номінальній видачі потужності задовільна і не виходить за межі допустимих значень. Коли змінюється швидкість вітру, відповідно змінюється видача потужності, а відповідно і значення напруги на затискачах генераторів. Вище номінального значення потужність не може досягати, оскільки стоять обмеження по видачі потужності, тобто при вищій номінальній швидкості вітру будемо спостерігати ті ж самі значення що і при оптимальних даних. Рівень напруги залишається незмінним і задовільним для обох споживачів.

При падінні ж швидкості вітру буде спостерігатись різке падіння видачі потужності і відповідно рівня напруги на затискачах генераторів. Відповідно будемо мати зміну потоків потужності по ділянках мережі. Рівень напруги на застискачах споживачів почне падати.

По всіх ділянках мережі вимірювались значення напруги і активної та реактивної потужностей. Падіння напруги вздовж ділянок мережі є невеликим, що обумовлюється тільки втратами в лініях електропередачі.

Слід зазначити, що з протилежної сторони мережі знаходиться балансуєчий пункт, який виконує роль решти мережі 35 кВ. Балансуєчий пункт виконує також роль регулятора мережі за активною і реактивною потужностями. Таким чином потік потужності на ділянці мережі від БП може змінювати свій напрям.

Вітроагрегати знаходяться не в одному пункті а на відстані 50 км до точки приєднання до мережі. Реактивна потужність, яка споживається джерелами генерації компенсується конденсаторними батареями по 750 кВАр, які встановлені безпосередньо біля самих вітроагрегатів. Але при різних значеннях швидкості вітру значення реактивної потужності також потрібно різне. Проаналізувавши режими роботи джерел розосередженої генерації, вияснилось, що при недостатньому значенні реактивної потужності на конденсаторні установки, вітроагрегати компенсують це значення «тягнувши» реактивну потужність з самої електричної мережі. Також було встановлено, що блоки конденсаторних установок діють не локально (кожна батарея на окремий агрегат), а в загальному на значення реактивної потужності в мережі. Це є суттєвим недоліком діючої моделі. На практиці можна використати автоматичні конденсаторні установки. Вони комплектують мікропроцесорним регулятором (контролером), який відслідковує зміну споживання реактивної потужності і автоматично підключає необхідну потужність компенсації. Таким чином процес компенсації реактивної потужності цілком автоматичний і не потребує втручання обслуговуючого персоналу. Для керування ступенями конденсаторних батарей (КБ) використовують спеціальні електромеханічні контактори. Безпечна експлуатація автоматичних конденсаторних установок забезпечується застосуванням розмикачів з плавкими запобіжниками.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гульяев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: Учебный курс – СПб: Питер, 2000. - 432 с.
2. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002. - 528 с.
3. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник [Текст] / С.В. Казанський, Ю.П. Матєєнко, Б.М. Сердюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011.–216 с. – ISBN 978-966-622-453-1.
4. Специальный справочник. Математические пакеты расширения MATLAB. / Под. ред. Дьяконова В., Круглова В. – СПб.: Питер, 2001.-480 с.
5. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых схем в MATLAB 6.0: Уч. пособие. – СПб.: КОРОНА, 2001. - 320 с.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. - 736 с.
7. Потемкин В.Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB:- В 2-х т. – М.: Диалог-МИФИ, 1999. - 366 с.