

# **ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТІКАНЬ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

Підготував:  
ст.гр. ЕС-17м  
**Васьковець Р.М.**  
Науковий керівник:  
д.т.н., доц. **Кулик В.В.**

## Мета та задачі дослідження

**Метою** даної магістерської роботи є дослідження впливу розосереджених джерел енергії на підвищення ефективності функціонування електромереж шляхом оптимізації перетікань реактивної потужності.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

- аналіз стану компенсації реактивних навантажень в електричних мережах енергопостачальних компаній та її методичного забезпечення;
- аналіз існуючих методів обчислення економічних еквівалентів реактивної потужності в електричних мережах;
- вдосконалення ітераційного дискретного алгоритму для розв'язання задачі оптимізації рівнів компенсації реактивної потужності в ЕМ;
- оцінювання рентабельності та кумулятивного ефекту від впровадження засобів компенсації реактивної потужності для фрагменту ЕМ 110-35 кВ «Вінницяобленерго» з урахуванням РДЕ;
- розроблення заходів з охорони праці під час виконання робіт з експлуатації РДЕ.

# Проблеми компенсації реактивної потужності електричних мережах енергосистем

Закономірності збпечення реакт. потужності. Крива 1 характеризує залежність напруги у вузлі від величини реактивної потужності, яку треба отримати з системи. Кривими 2 зображені ці залежності для різних рівнів споживання. Баланс споживання і генерування реактивної потужності встановлюється в точці перетину характеристик 1 і 2. При зростанні навантаження баланс встановиться в новій точці перетину.

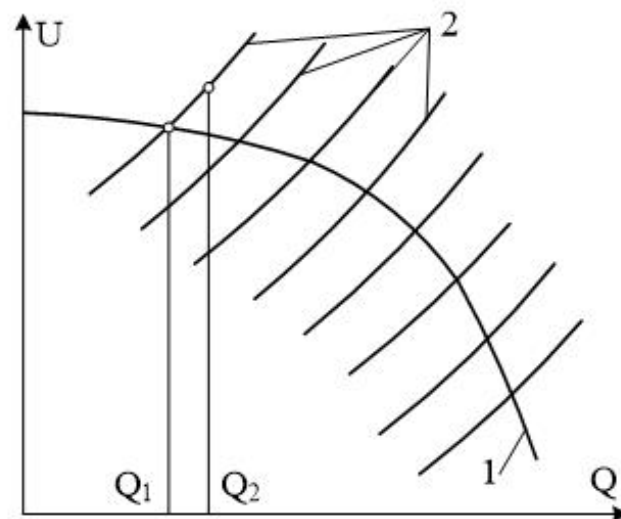


Рисунок 1.1 – Визначення балансу реактивної потужності навантажувального вузла на основі порівняння характеристик генерування 1 і навантаження 2 у вузлі електричної системи

Відповідно до вказаного нормативного документу інтегральний ефект за  $k$ -м варіантом улаштування КРП розраховують за формулою:

$$IE_{k,j} = \sum_{j=1}^t \frac{\Delta\Pi_k + (\Delta\Delta W_{Pk} - \Delta W_{КТk}) \cdot \Pi_{\text{прп}} - B_k}{(1 + E)^t} - K_k \quad (1.1)$$

## Визначення рівнів компенсації реактивної потужності за критерієм максимальної рентабельності (ітераційний метод дискретної оптимізації)

Для визначення оптимального рівня КРП у вузлах ЕМ, математичн модель:

$$B = \sum_{i \in N_{KY}} Q_{KYi} \cdot B_0 + \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i \in N_{СП}} [D_i (Q_{Hi} - Q_{KYi})] + \\ \sum_{i \in N_{РДЕ}} [D_i (Q_{РДЕi} - Q_{KYi})] + \\ \sum_{i \in N_{ТП}} [D_i (Q_{IIIi} - Q_{KYi})] \end{array} \right\} \cdot \psi_0 t \rightarrow \min. \quad (3.1)$$

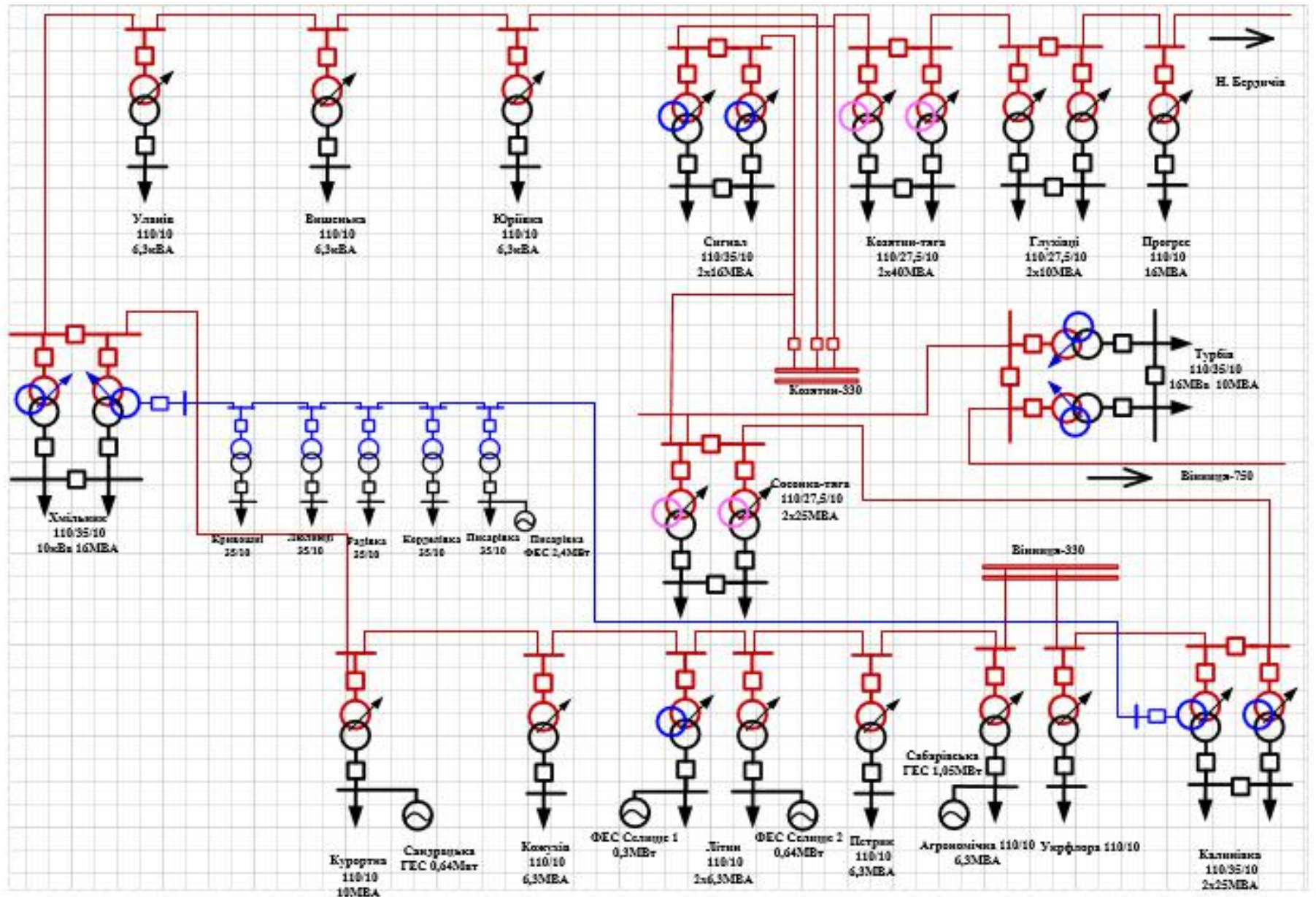
Виразивши залишкову реактивну потужність в вузлах ЕМ через відносну вхідну реактивну потужність вузлів  $\psi_i$  отримано:

$$B = \sum_{i \in N_{KY}} Q_i (1 - \psi_i) \cdot B_0 + \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i \in N_{СП}} D_i Q_{Hi} \psi_i + \sum_{i \in N_{РДЕ}} D_i Q_{РДЕi} \psi_i + \\ \sum_{i \in N_{ТП}} D_i Q_{IIIi} \psi_i \end{array} \right\} \cdot \psi_0 t \rightarrow \min \quad (3.2)$$

або після об'єднання множин вузлів споживання  $N_{СП}$ , приєднання РДЕ  $N_{РДЕ}$  та вузлів  $N_{ТП}$  у множину вузлів  $N$  цільова функція набуде вигляду:

$$B = \sum_{i \in N} [Q_i (B_0 + (D_i \psi_0 t - B_0) \psi_i)] \rightarrow \min; \quad (3.3)$$

## Фрагмент схеми ПАТ «Вінницяобленерго»



## Остаточний варіант розміщення БСК в ЕМ за методом оптимізованого перебору варіантів

Назва вузла	Sном, МВА	Uмод, кВ	Qн, Мвар	ЕЕРП (ddP/dQ), МВт/Мвар	(ddPr/dQ) , тис.грн/ Мвар	QКУор t, Мвар	Відпайка РПН/ПБ 3	Всього відп. РПН/ПБ 3
1С-ПС 110 кВ Літин	6,3	29,2		0,0178	-3194,6		4	4
1С-ПС 110 кВ Агрономічне	6,3	29	2,85	0,0161	-3202,81		4	4
1С-ПС 110 кВ Петрик	6,3	28,5	2,85	0,0228	-3171,24		4	4
2С-ПС 110 кВ Літин	6,3	29,2	3	0,0178	-3194,59		4	4
1С-ПС 110 кВ Кожухів	6,3	28,3	2,55	0,0205	-3182,21		4	4
1С-ПС 110 кВ Курортна	10	10,7	3,9	0,0034	-7,45	7,2	1	9
1С-ПС 110 кВ Хмільник	16	10,7	5,25	0,0032	-8,43	9,9	1	9
1С-ПС 110 кВ Уланів	6,3	28,6	2,1	0,0193	90		4	4
1С-ПС 110 кВ Вишенька	6,3	28,6	2,25	0,0211	98,56		4	4
1С-ПС 110 кВ Юрівка	6,3	28,4	2,85	0,0223	104,06		4	4
1С-ПС 110 кВ Козятин-Тяга	40	10,7	14,1	0,0033	-7,65	9	1	9
2С-ПС 110 кВ Козятин-Тяга	40	10,7		0,0034	15,79	9	1	9
1С-ПС 110 кВ Прогрес	16	10,6	5,1	0,0026	-11,24	9	2	9
1С-ПС 110 кВ Глухівці	10	10,7	4,05	0,003	-9,37	9,9	2	9
2С-ПС 110 кВ Глухівці	10	10,7		0,003	14,13		2	9
1С-ПС 110 кВ Сигнал	16	10,7	7,95	0,0034	-4,53			9
1С-ПС 110 кВ Сосонка-Тяга	25	10,7	10,5	0,0028	-10,07	9,9	1	9
2С-ПС 110 кВ Сосонка-Тяга	25	10,7		0,0028	13,24		1	9
1С-ПС 110 кВ Калинівка	16	10,6	5,85	0,0034	-7,44	4,5	-1	9
2С-ПС 110 кВ Калинівка	25	10,6		0,0035	16,12		2	9

## Техніко-економічні показники остаточного варіанту розміщення БСК в електричних мережах ПАТ «Вінницяобленерго»

Підсумкові результати:	
Сумарна потужність КУ (тис. квар):	68,4
Втрати електр енергії у початковій схемі (тис. кВт год):	38497,8
Втрати електр енергії після встановлення КУ (тис. кВт год):	33992,1
Зниження втрат електроенергії в ЕМ завдяки встановленню КУ (тис. кВт год):	5132,8
Додаткові втрати електроенергії в КУ (тис. кВт год):	587,1
Зниження втрат електроенергії в ЕМ з урахуванням втрат в КУ (тис. кВт год):	4545,7
Відносне зменшення втрат завдяки встановленню КУ(кВт/квар):	0,015
Сумарні капіталовкладення на КУ (тис. грн):	21437,1
Річні надходження від зменшення втрат електроенергії (тис. грн):	5942,6
Річні експлуатаційні видатки (тис. грн):	1090,3
Річні амортизаційні відрахування (тис. грн):	2043,8
Балансовий прибуток (тис. грн):	2811,5
Податок на прибуток (тис. грн):	450,6
Поточний річний чистий прибуток (тис. грн):	2360,9
Чистий грошовий потік у рік будівництва (тис. грн):	-17234,1
Чистий грошовий потік по завершенні будівництва (тис. грн):	4612,7
Розрахунковий період для визначення кумулятивного ефекту (рік):	10
Рентабельність капіталовкладень (в.о.):	0,22
Термін окупності капіталовкладень (рік):	4,5
Кумулятивний ефект (тис.грн):	27825

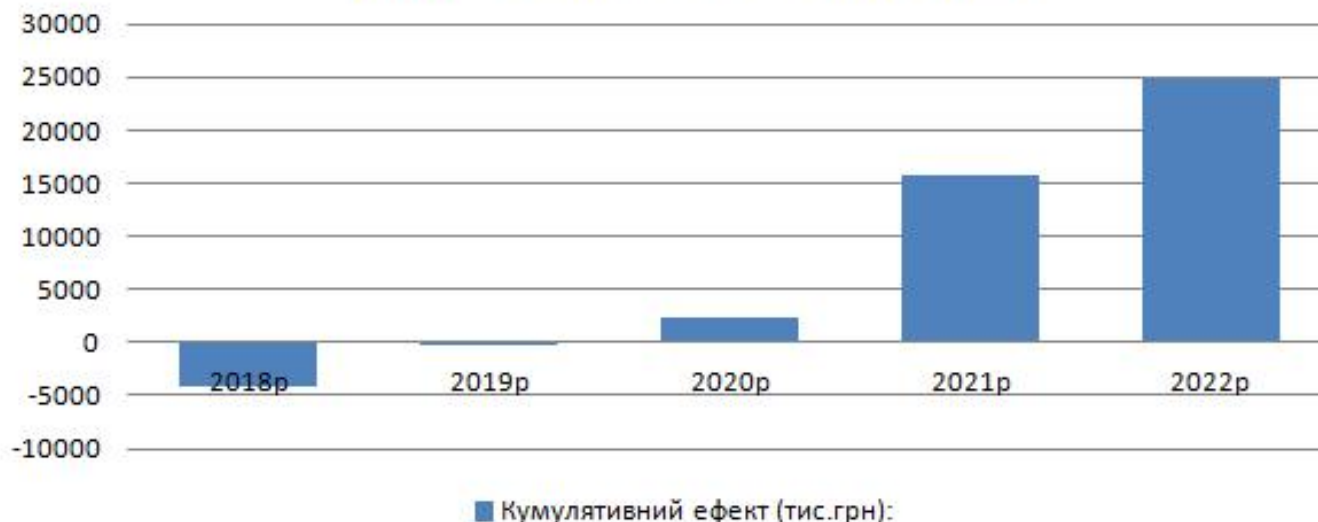


**Після узагальнення розрахунків, та оцінювання економічного ефекту оптимальна послідовність оснащення ЕМ засобами компенсації реактивної потужності**

Назва підстанції	2018	2019	2020	Тип конденсаторної установки
	Q <sub>КУ</sub> , Мвар	Q <sub>КУ</sub> , Мвар	Q <sub>КУ</sub> , Мвар	
1С-ПС 110 кВ Курортна			7,2	УКРЛ56-10,5-900-300 У3
1С-ПС 110 кВ Хмільник	9,9			УКРЛ56-10,5-1350-450У3
1С-ПС 110 кВ Козятин-Тяга	9			УКРЛ56-10,5-900-450 У3
2С-ПС 110 кВ Козятин-Тяга		9		УКРЛ56-10,5-900-450 У3
1С-ПС 110 кВ Прогрес	9			УКРЛ56-10,5-900-450 У3
1С-ПС 110 кВ Глухівці		9,9		УКРЛ56-10,5-1350-450У3
1С-ПС 110 кВ Сосонка-Тяга		9,9		УКРЛ56-10,5-1350-450У3
1С-ПС 110 кВ Калинівка			4,5	УКРЛ56-10,5-450-150 У3
<b>Разом, Мвар</b>				<b>68,4</b>



## Кумулятивний ефект (тис.грн):



За умови, що впровадження БСК у електромережах 110-35 кВ ПАТ «Вінницяобленерго» буде виконуватися згідно визначеної схеми, повна окупність проекту очікується протягом 3 років. Кумулятивний ефект від впровадження БСК очікується у межах 25 млн. грн протягом 5 років з моменту початку будівництва.

**Зміна оптимальних потужностей ДРП з урахуванням генерування реактивної потужності розосередженими джерелами**

Назва підстанції	Коефіцієнт потужності РДЕ				
	1	0,95	0,9	0,85	0,8
<b>1С-ПС 110 кВ Курортна</b>	<b>7,2</b>	<b>6,9</b>	<b>6,6</b>	<b>6,9</b>	<b>5,6</b>
<b>1С-ПС 110 кВ Хмільник</b>	<b>9,9</b>	<b>9,7</b>	<b>8,7</b>	<b>7,7</b>	<b>6,9</b>
1С-ПС 110 кВ Козятин-Тяга	18	17,8	17,2	16,8	16,1
1С-ПС 110 кВ Прогрес	9	8,9	8,7	8,3	8,1
1С-ПС 110 кВ Глухівці	9,9	9	8,5	8,3	8,1
1С-ПС 110 кВ Сосонка-Тяга	9,9	9,5	9,3	9,1	9,0
1С-ПС 110 кВ Калинівка	4,5	4,4	4,2	4,1	4,1

Зменшення коефіцієнта потужності РДЕ до 0.8 дозволило б зменшити сумарну потужність ДРП з 68.4 до 57.9 МВАр тобто на 15%. Це зменшує обсяг капіталовкладень та підвищує ефективність компенсації.

## Висновки

1. Показано, що питання взаємовпливу розосередженого генерування та електроспоживання в електромережах на сьогодні є мало дослідженими, що призводить до погіршення умов функціонування окремих суб'єктів енергетичного ринку. Невідповідність класичної постановки задачі та особливостей компенсації реактивної потужності в умовах розбудови засобів розосередженого генерування, не дозволяє формувати ефективні технічні рішення у даному напрямку.

2. За результатами аналізу втрат активної потужності в мережах 110-35 кВ ПАТ "Вінницяобленерго", обсягів споживання реактивної потужності, а також оцінювання рентабельності та кумулятивного ефекту від компенсації реактивної потужності на об'єктах 110-35 кВ мережі пропонується впровадження БСК на період 2018-2022 рр.: 8 установок, сумарна встановлена потужність 68,4 Мвар. Завдяки реалізації проекту (2018 рік) очікується повну окупність капіталовкладень вже у 2020 році, з прибутком на кінець року 2,4 млн. грн. Економічний ефект завдяки зниженню втрат електроенергії станом на 2023 рік очікується у розмірі 25,8 млн. грн.

3 У роботі досліджено залежність оптимальних рівнів компенсації реактивної потужності в електрормережах залежно від встановленої потужності РДЕ. Показано, що розширення можливостей РДЕ щодо генерування реактивної потужності знижує обсяг капіталовкладень у додаткові ДРП.

4 Працездатність та ефективність запропонованих у роботі алгоритмів перевірена шляхом виконання розрахунків з оптимізації рівнів компенсації реактивної потужності на прикладі фрагменту схеми 110-35 кВ ПАТ "Вінницяобленерго".

5 У розділі з охорони праці було розглянуто актуальність проблеми, що полягає у розвитку питань охорони праці при виконанні робіт пов'язаних з експлуатацією РДЕ, з урахуванням сучасних знань, системного та ризик-орієнтовного підходів про природу небезпеки. Розроблено організаційно- технічні рішення пов'язані з обслуговуванням електричних станцій, на прикладі ФЕС, та описно основні заходи протипожежного захисту.