

## РОЗДІЛ 3

# КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ З ВРАХУВАННЯМ ОБМЕЖЕНЬ ЗА ТЕРМІНОМ ОКУПНОСТІ

### 3.1. Математична модель врахування обмежень за терміном окупності

Для задачі оптимізації реактивних потужностей використаємо метод спрощення матриці Гессе, що детально представлено в електронному конспекті і за допомогою якого виконано оптимізацію реактивних потужностей у вузлах 204, 9, 2 учбової схеми рис.2.4. Суть методу полягає в апроксимації функції втрат активної потужності квадратичною функцією рис.3.1.

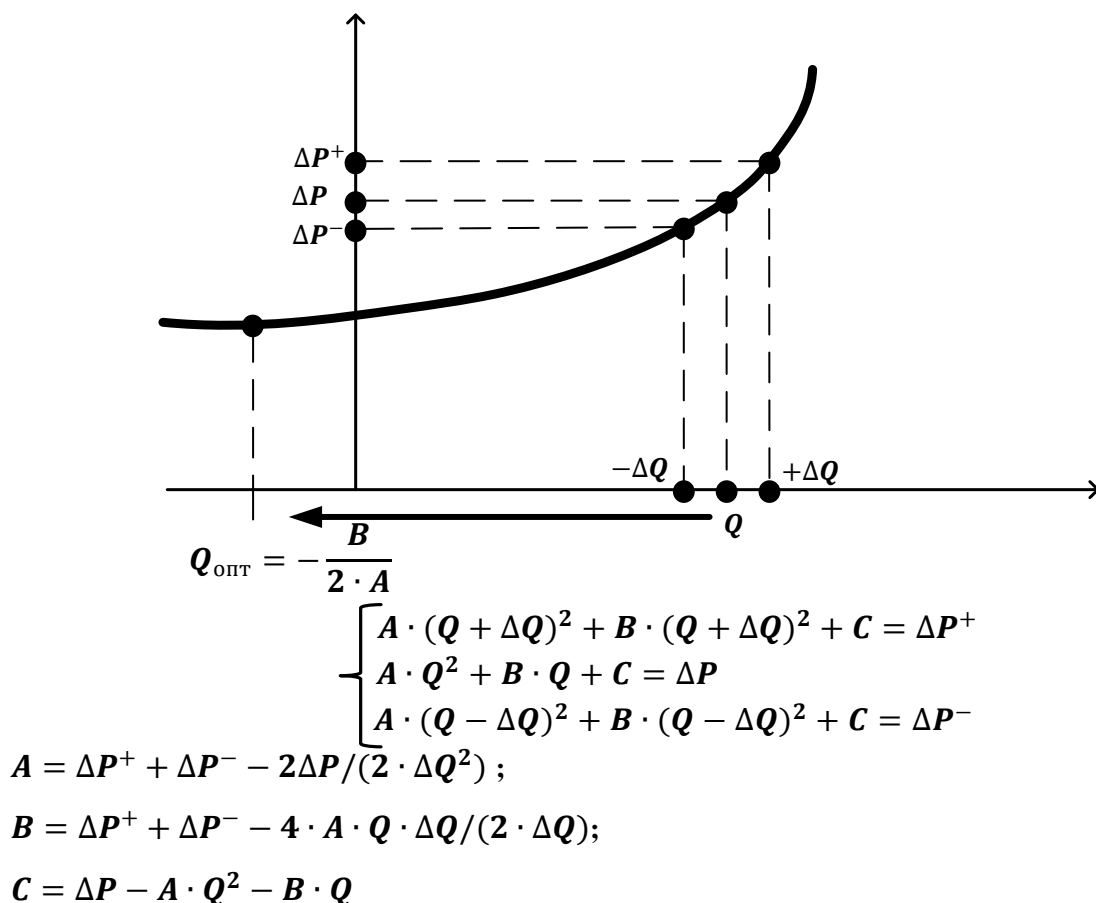


Рисунок 3.1 - Апроксимація функції втрат квадратичною функцією

<b>6.050701.4113.042.ДБ</b>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Пляс О.В.			
Перевір.	Банін М.Д.			
Реценз.				
Н. Контр.	Настенко Д.В.			
Затверд.	Толочко О.І.			
Компенсація реактивної потужності з урахуванням обмежень за $t_{ок}$				
		Літера	Лист	Листів
			50	61
КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-41				

На рис.3.1 показано формули розрахунку коефіцієнтів квадратичної функції А, В, С. За допомогою апроксимованої функції легко визначається точка оптимуму  $Q_{\text{опт}}$  і, відповідно, крок оптимізації  $\Delta Q = Q - Q_{\text{опт}}$ .

Але крім задачі дослідження глобального мінімуму втрат слід також враховувати складову грошових витрат на пристрої компенсації реактивної потужності. Річ у тім, що чим ближче точка Q до оптимуму  $Q_{\text{опт}}$ , тим більш пологою стає функція, і тим меншим стає зниження втрат на одиницю реактивної потужності. Тобто досягнення абсолютного мінімуму втрат може бути не доцільним з точки зору капіталовкладень.

Для врахування цього аспекту пропонується ввести обмеження кроку  $\Delta Q$  за бажаним терміном окупності - рис.3.2.

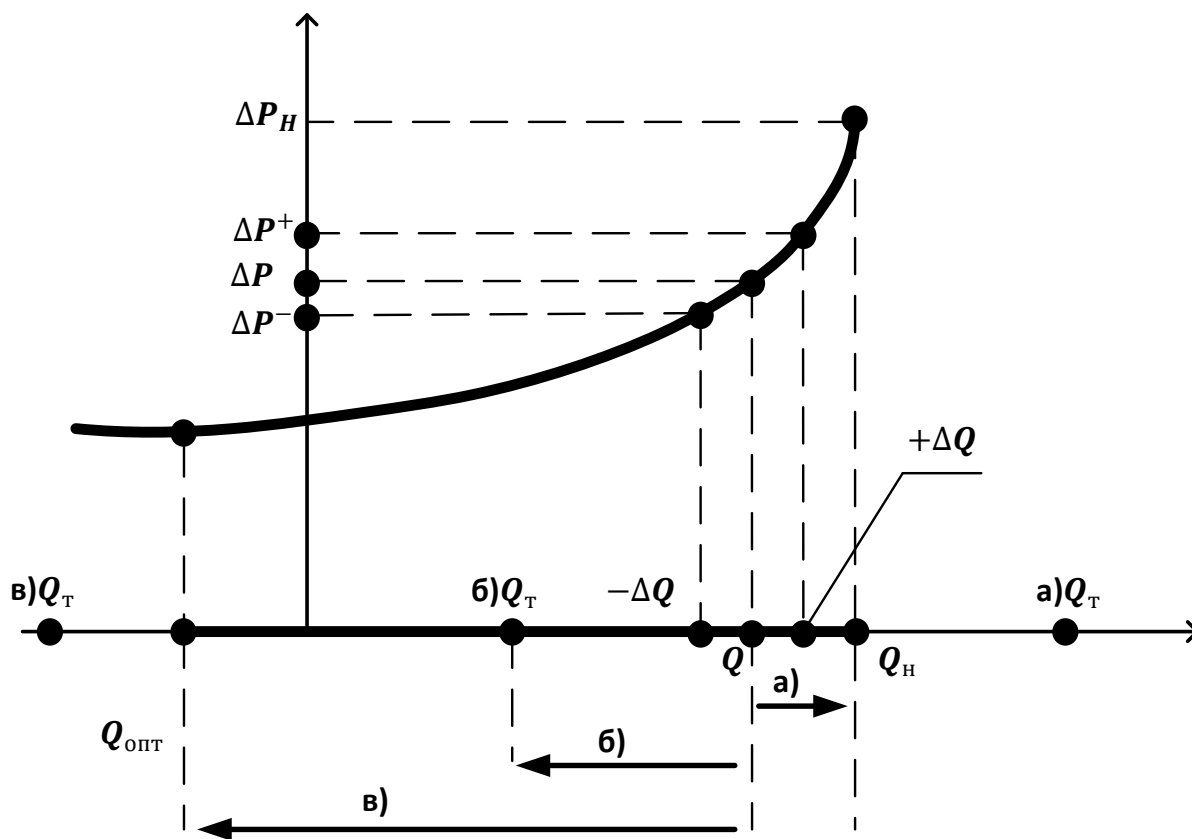


Рисунок 3.2 - Врахування обмежень за терміном окупності

Рис.3.2 показує три можливі варіанти кроку від поточної точки Q з урахуванням значення  $Q_T$ , що відповідає заданому терміну окупності. Варіант а) повертає значення Q у вихідне значення  $Q_H$  оскільки значення  $Q_T > Q_H$ . У

варіанті б) відбувається крок  $Q \rightarrow Q_T$  оскільки  $Q_{\text{опт}} < Q_T < Q_H$ . У варіанті в) відбувається крок без обмежень  $Q \rightarrow Q_{\text{опт}}$  оскільки  $Q_T < Q_{\text{опт}}$ .

Для розрахунку граничного  $Q_T$  використаємо спрощену формулу розрахунку терміну окупності:

$$t_{\text{ок}} = K/E, K = (Q_H - Q_T) \cdot k, E = (\Delta P_H - A \cdot Q_T^2 - B \cdot Q_T - C) \cdot t \cdot T \quad (3.1),$$

де  $t_{\text{ок}}$  – термін окупності, рік;

$K$  – капіталовкладення, грн.;

$E$  – річна економія, грн./рік;

$Q_H, Q_T$  – початкове і граничне значення  $Q$ , кВАр;

$k$  – питома вартість компенсуючих пристроїв, грн./кВАр;

$\Delta P_H$  – початкові втрати, кВт;

$A, B, C$  – коефіцієнти апроксимованої функції втрат, що розраховані за формулами рис.3.1;

$t$  – кількість годин використання максимуму, год.;

$T$  – тариф на активну електроенергію, грн./кВт·год.

Для експериментальних розрахунків використаємо наступні значення  $k = 500$  грн./кВАр,  $t = 0.5 \cdot 8760 = 4380$  год,  $T = 1.7$  грн./кВт·год.

При заданому значення  $t_{\text{ок}}$  у формулах (3.1) невідомою величиною є граничне значення  $Q_T$ :

$$t_{\text{ок}} = ((Q_H - Q_T) \cdot k) / (\Delta P_H - A \cdot Q_T^2 - B \cdot Q_T - C) \cdot t \cdot T \quad (3.2)$$

Звідки виконавши відповідні перетворення отримаємо квадратне рівняння:

$$t_{\text{ок}} \cdot t \cdot T = N$$

$$Q_T^2 \cdot \frac{(A \cdot N)}{A^*} + Q_T \cdot \frac{(B \cdot N - k)}{B^*} + \frac{(C - \Delta P_H) \cdot N + k \cdot Q_H}{C^*} = 0$$

$$D = B^{*2} - 4 \cdot A^* \cdot C^*$$

$$Q_T = (-B^* \mp \sqrt{D}) / (2 \cdot A^*)$$

### 3.2. Алгоритм визначення граничного значення $Q_T$

Алгоритм визначення  $Q_T$  реалізовано в процедурі RangeTok. Вихідними даними для розрахунку є:

					<b>6.050701.4113.042.ДБ</b>	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$Q_H, Q, \Delta Q$  – початкове і поточне значення  $Q$ , а також значення приросту  $\Delta Q$ ;

$\Delta P^+, \Delta P^-, \Delta P, \Delta P_H$  – три точки втрат при значеннях  $Q + \Delta Q, Q, Q - \Delta Q$  і початкові втрати;

$t_{ок}$  – термін окупності.

На виході алгоритму розраховується значення  $Q_T$ . Наведемо спочатку алгоритм процедури CalcTok ( $A, B, C, Q_H, Q_K$ ), де  $Q_K$  – кінцеве значення  $Q$ .

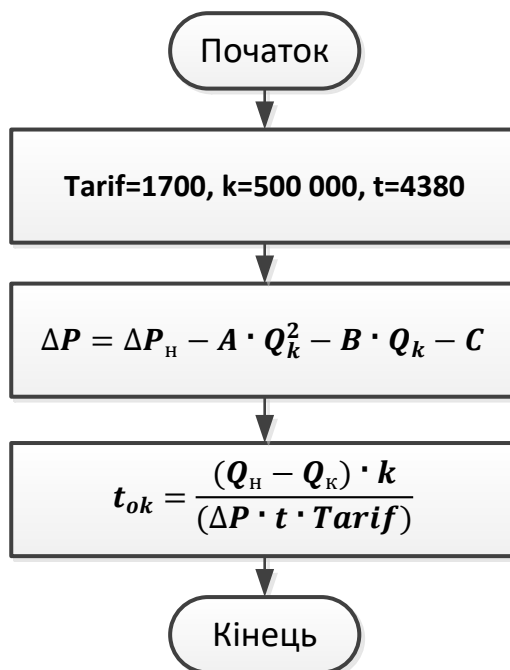


Рисунок 3.3 - Алгоритм процедури CalcTok

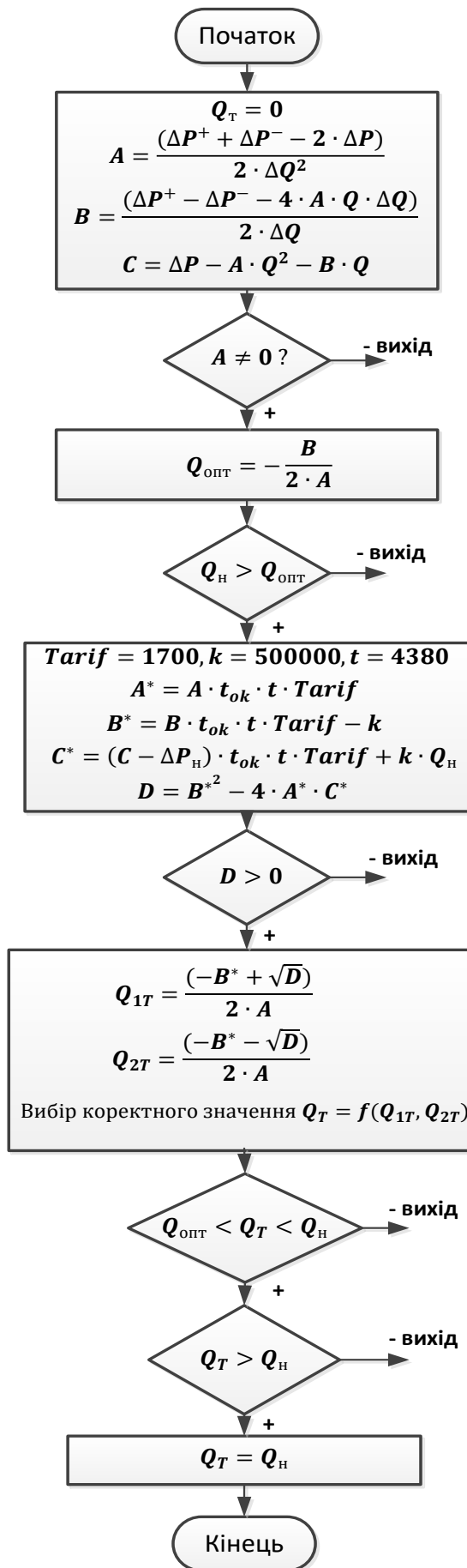


Рисунок 3.4 - Алгоритм процедури RangeTok

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.050701.4113.042.ДБ

Арк.

54

В алгоритмі рис.3.4 необхідно обрати коректне значення  $Q_T$  з поміж двох коренів  $Q_{1T}$  та  $Q_{2T}$ . Практичні розрахунки показують два критерії відсіву:

1. На першому кроці: корінь, що відкидається, практично дорівнює початковому значенню  $Q_H$ .
2. На інших кроках відкидається значення, яке при підстановці у процедуру CalcTok дає від'ємне значення  $t_{ок}$ .

Наприклад, при оптимізації реактивних потужностей у вузлі 9 розрахункової схеми рис.2.4 отримано наступні значення коренів ( $t_{ок} = 2$  роки):

1 крок:  $Q_H = 10, Q_{опт} = -11.6$

$Q_{1T} = 9.99999975 (t_{ок} = 1.999\dots)$

**$Q_{2T} = 4.5 (t_{ок} = 2) \rightarrow Q_T$**

2 крок:  $Q_H = 10, Q_{опт} = -13.3$

$Q_{1T} = 10.2 (t_{ок} = -2)$

**$Q_{2T} = 4.4 (t_{ок} = 2) \rightarrow Q_T$**

### 3.3 Оптимізація реактивної потужності з урахування терміну окупності на експериментальній схемі

Експериментальні розрахунки проведені для вузла 110 кВ (вузол 9) і термінів окупності 1.5, 2, 2.5, 3, 4 роки. Результати розрахунку показані на рис.3.5. В таблиці 3.1 і графіку рис.3.6 показано функцію  $t_{ок}$  для апроксимованої функції втрат на першому кроці.

					<b>6.050701.4113.042.ДБ</b>	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

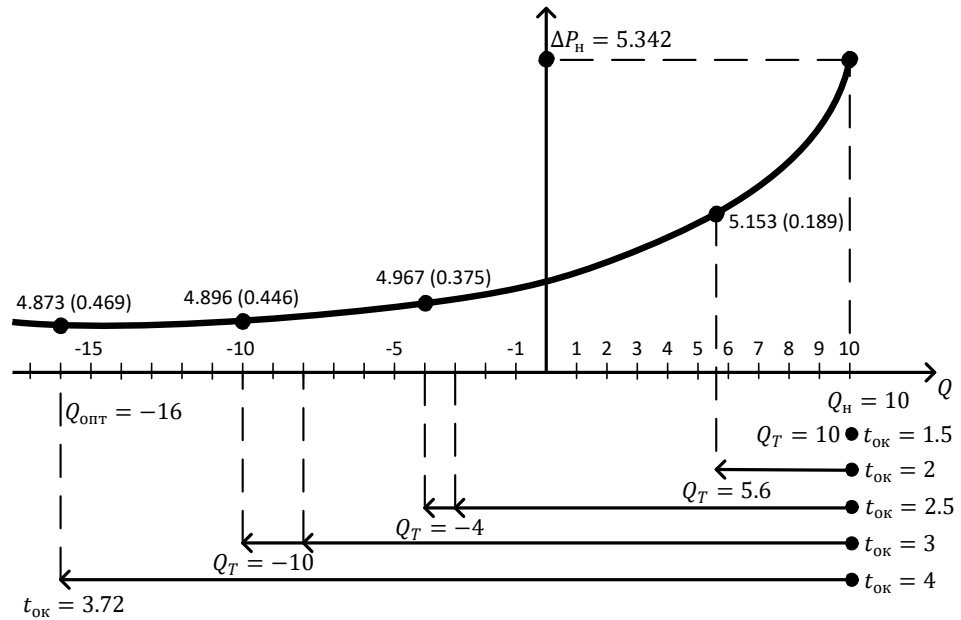


Рисунок 3.5 - Оптимізація реактивної потужності з різними термінами окупності

Таблиця 3.1 - Значення функції  $t_{ок}$

Q	10	9	8	7	6	5	4	3	2
$t_{ок}$	0	0.812	1.189	1.418	1.581	1.709	1.817	1.912	1.999
Q	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
$t_{ок}$	2.081	2.160	2.238	2.316	2.394	2.473	2.555	2.638	2.724
Q	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16
$t_{ок}$	2.814	2.907	3.005	3.108	3.217	3.331	3.453	3.583	3.721
Q	-17	-18	-19	-20	-21	-22			
$t_{ок}$	3.869	4.028	4.2	4.385	4.587	4.807			

Для розрахунку значень приведених в табл. 3.1 були використані наступні значення: ( $A=0.000816$ ,  $B=0.019787$ ,  $C=5.031090$ ),

$$\Delta P_H = 5.342 \text{ мВт}, k = 500\,000 \frac{\text{грн.}}{\text{МВАр}}, t = 4380 \text{ год}, T = 1700 \frac{\text{грн.}}{\text{МВт} \cdot \text{год}}$$

					6.050701.4113.042.ДБ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Висновки

У розділі були розглянуті наступні питання:

1. Математична модель врахування обмежень за терміном окупності;
2. Алгоритм визначення граничного значення  $Q_T$ ;
3. Оптимізація реактивної потужності з урахування терміну окупності на експериментальній схемі;
4. Проведена оптимізація реактивної потужності з різними термінами окупності.

					<b>6.050701.4113.042.ДБ</b>	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Основною метою даного дипломного проекту було отримання програмної реалізації компенсації реактивної потужності з врахуванням обмежень за терміном окупності. Для досягнення цієї цілі було проведено дослідження впливу різних термінів окупності  $t_{ok}$  на оптимальне значення реактивної потужності. Розрахунки даного розділу були виконані за допомогою процедур RangeTok та CalcTok. Згідно наведених графіків мету роботи можна вважати досягнутою.

Окремою задачею проекту був розрахунок уставок спрацювання релейного захисту двохобмоткового трансформатору та кабельної лінії 10 кВ, який ґрунтувався на розрахунках струму трифазного короткого замикання. Порівнюючи ручний та програмний розрахунок струму КЗ можна зауважити, що різниця відповідних значень складає близько 2%. Це пояснюється різною методологією розрахунку, але, в свою чергу, підтверджує правильність виконаних дій.

Також в проекті наведено розрахунок з моделювання, аналізу та оптимізації режиму електричної мережі. Відповідно до перерахованих задач відбувався розрахунок усталеного режиму методом Ньютона та за допомогою ПК РАОТВ. Для оцінки правильності розрахунків використовувалося значення втрат активної потужності, при чому різниця у відповідних значень складає 0.165%, що пояснюється округленням деяких значень при експорті вихідного файлу з ПК РАОТВ в комплекс по розрахунку методом Ньютона. Оптимізація режиму по реактивній потужності відбувалася розрахунком значень компенсуючих пристроїв у трьох вузлах мережі. Ручні результати оптимізації співпадають з програмними, що свідчить про правильність виконання роботи.

					<b>6.050701.4113.042.ДБ</b>	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		