

Пержар Андрій Миколайович

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРИВАТНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА
„МАЯК”, М. ВІННИЦЯ

Магістерська кваліфікаційна робота

Керівник:

Терешкевич Леонід Борисович

Кандидат технічних наук, професор

Актуальність теми. Діюча система електропостачання ПАТ «Маяк» була спроектована, змонтована та прийнята в експлуатацію ще в 80-тих роках минулого століття. Вона повністю задовольняла всім вимогам: було встановлено сучасне на той час електрообладнання, яке вибиралось по електричним навантаженням, сформованими технологічними процесами виробництва.

З того часу повністю змінились технології та номенклатура продукції, яка виготовляється на підприємстві. Частина виробничих площ передана іншим юридичним та фізичним особам, електроприймачі яких під'єднанні до мереж підприємства і отримують електроенергію на правах субабонентів. Зазначені обставини привели до зміни електричних навантажень, в даному випадку в сторону їх зниження. Технічні параметри електроапаратів, та електричних мереж в багатьох випадках не відповідають електричним навантаженням, та параметрам нормальних та аварійних режимів. Тому для ПАТ «Маяк» актуальною технічною задачею є підвищення якості електропостачання шляхом оптимізації самої системи електропостачання (вибором:

- оптимальної кількості та потужності трансформаторів,
- оптимальних перерізів провідників електричних мереж,
- оптимального розміщення трансформаторних підстанцій,
- оптимальних потужностей пристроїв, які оптимізують електричні режими в системі електропостачання)

та розробки методу керування БСК із врахуванням реальних напруг у вузлах їх під'єднання.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ПАТ «МАЯК».

Предмет дослідження – елементи схеми та електричні режими в системі електропостачання.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оптимізація електропостачання ПАТ «Маяк» шляхом прийняття оптимальних рішень з кількості та потужності трансформаторних підстанцій, оптимальних перерізів ліній мереж підприємства, визначення оптимальних координат місця установки трансформаторних підстанцій та розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок та розробка математичної моделі для їх керування в умовах несиметрії напруг.

Визначення оптимальної кількості та потужності цехових ТП

$$\left\{ \begin{array}{l} 3(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + \left[\Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot \frac{S_{ТП}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{СТ}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{шт\text{см}} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТП} \cdot p \cdot k_{ппа}, \\ S_T \in S_{СТ} \end{array} \right.$$

№ ТП	Номер цеху	Розрахункова активна потужність P _p , кВт	Розрахункова реактивна потужність Q _p , квар	Повна розрахункова потужність S _p , кВА	Середня активна потужність P _c , кВт	Середня реактивна потужність Q _c , квар	Повна середня потужність S _c , кВА	Кількість трансформаторів в ТП
ТП1	6	319,93	193,81	374,06	211,93	126,88	247,01	2
	7	188,37	124,44	225,76	143,37	90,69	169,65	
	8	174,67	109,76	206,29	190,67	121,76	226,23	
	9	85,82	54,16	101,48	73,82	41,91	84,89	
	13	48,42	28,27	56,07	32,42	18,36	37,25	
	14	274,71	165,88	320,90	193,71	105,13	220,40	
	Всього по ТП1	1091,91	676,32	1284,40	845,91	504,73	985,05	
ТП2	2	301,90	255,18	395,30	221,90	161,64	274,54	2
	10	138,51	79,06	159,49	103,51	57,37	118,35	
	11	199,41	110,84	228,14	179,41	95,84	203,40	
	12	621,62	438,78	760,88	231,62	146,28	273,94	
	Всього по ТП2	1261,44	883,85	1540,27	736,44	461,13	868,90	
ТП3	1	867,20	718,77	1126,35	467,20	310,69	561,07	2
	5	31,11	19,69	36,82	25,61	15,56	29,97	
	4	146,10	70,52	162,23	108,60	52,35	120,56	
	3	248,80	148,58	289,79	200,80	112,58	230,21	
	Всього по ТП3	1293,21	957,56	1609,13	802,21	491,19	940,64	

Показник ефективності вибору трансформаторів ТП - річні приведені затрати на підстанцію

Керована змінна - потужність трансформаторів – S_T

Множина доступних значень – всі стандартні потужності трансформаторів S_T.

цехових ТП

[illegible]

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

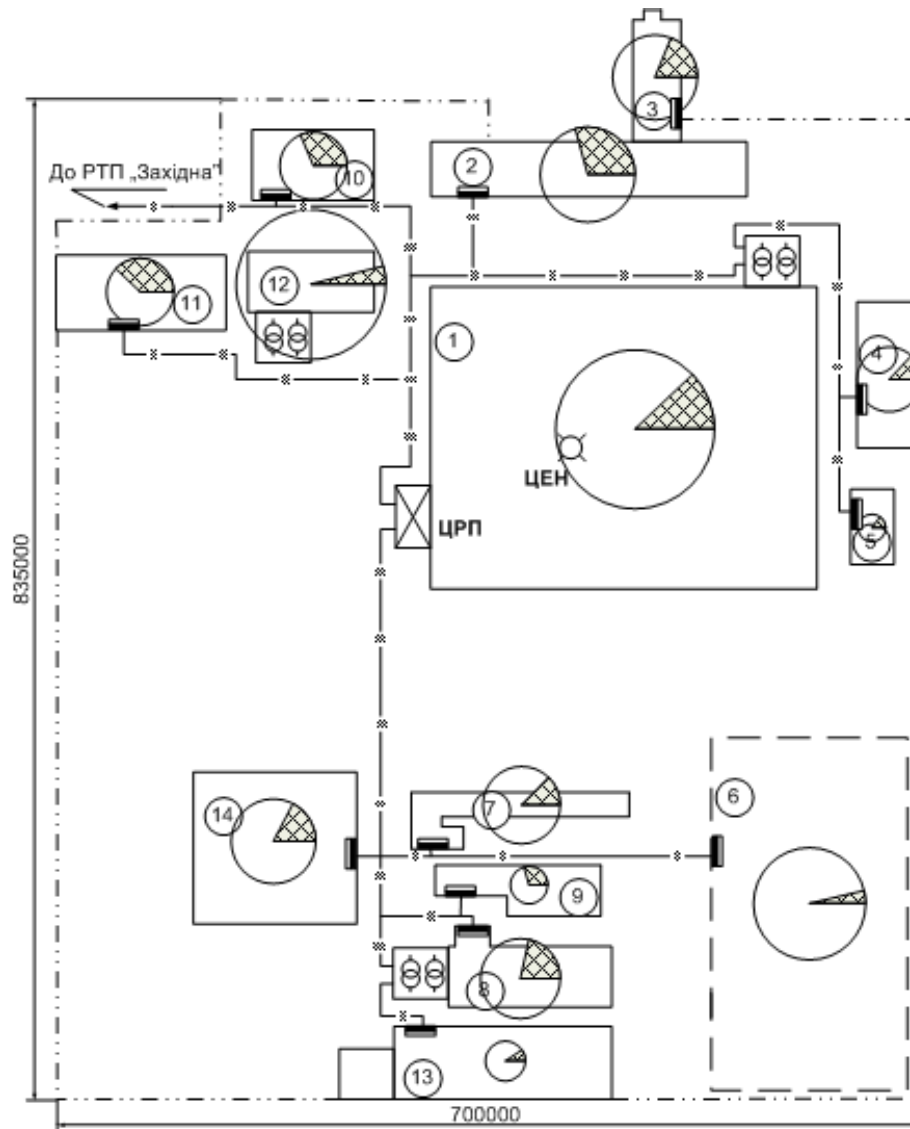
$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x) = \left[(E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_L^2 \cdot r_0(x) \cdot t \cdot \tau \right] \cdot L \cdot k_L \rightarrow \min_{x \in X_{cm}} \\ x \geq x_{don} \equiv k_{don} \cdot I_{don}(x) \geq I_L \\ x \geq x_{don} \equiv k_{na} \cdot I_{don}(x) \geq I_L \cdot k_L \cdot k_{nna} \\ \Delta U_n(x) \leq \Delta U_{don} \\ \Delta U_{na}(x) \leq \Delta U_{don} \\ x \geq x_{kz} = \frac{I_{kz} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \\ x \in X_{cm} \end{array} \right.$$

Критерій ефективності: річні приведені затрати в зовнішню лінію живлення

Керована змінна: переріз кабельних ліній (мм^2).

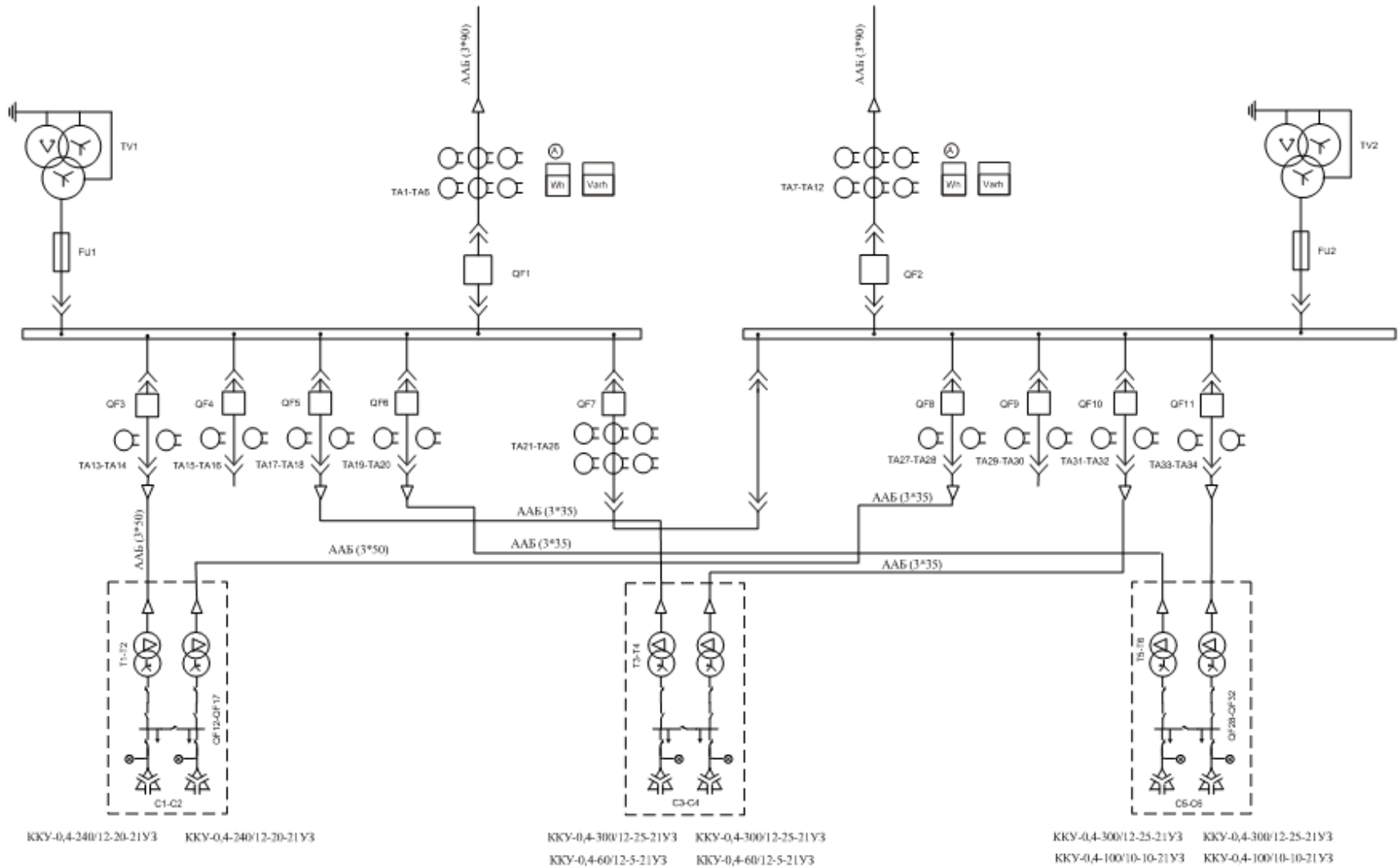
Множина доступних рішень: множина всіх стандартних перерізів кабельних ліній 10 кВ.

План підприємства з електричними мережами



№ п/п	Найменування цеху
1	Основні виробничі приміщення
2	Збирально-монтажний
3	Субабонент №1, Адмінкорпус
4	Ремонтно-механічний
5	Очисні споруди
6	Субабонент №2
7	Відділ випробувань
8	Нестандартного обладнання
9	Тарно-пакувальний
10	Субабонент №3
11	Друкарня
12	Термопластавтоматів
13	КСК „Маяк“
14	Субабонент №4

Однолінійна схема електропостачання



Робота БСК симетричного виконання в умовах несиметрії напруги

При несиметрії напруг реактивна потужність, генерована БСК, змінюється по відношенню до $Q_{\text{ном}}$ на:

$$\Delta Q = Q_{\text{ном}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2 - U_1^2 \cdot (1 + k_{2U}^2)}{U_{\text{ном}}^2}.$$

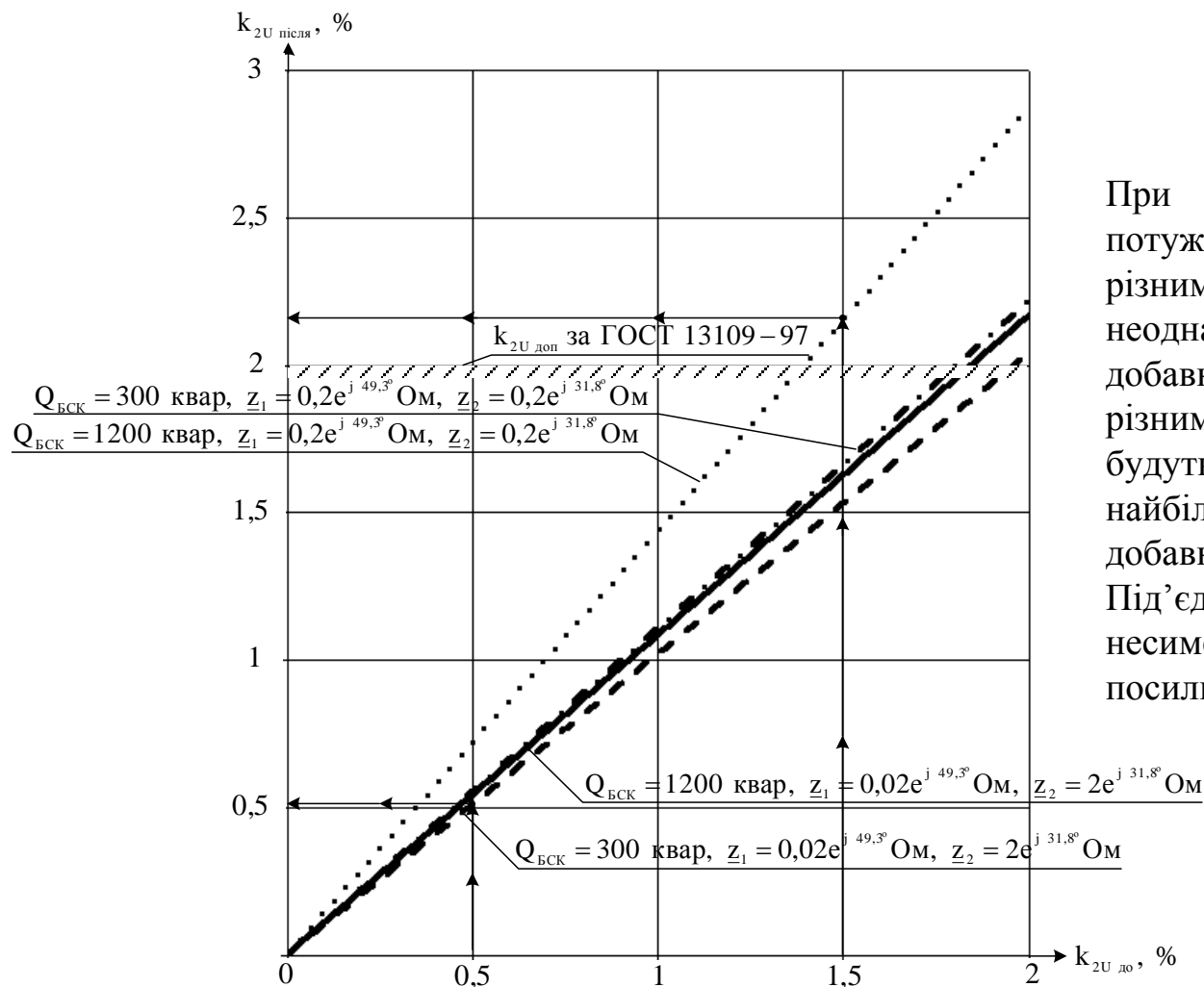
При несиметричному режимі в БСК виникають додаткові втрати активної потужності, які визначаються за формулою

$$\Delta P_{2\text{БК}} = Q_{\text{ном}} \cdot \text{tg} \delta \cdot k_{2U}^2$$

Якщо напруга зворотної послідовності до ввімкнення секцій БСК у вузлі їх під'єднання дорівнює $\dot{U}_{2\text{до}}$, а добавка напруги зворотної послідовності - $\Delta \dot{U}_2$, то напруга зворотної послідовності після ввімкнення секцій БСК становитиме:

$$\dot{U}_{2\text{після}} = \dot{U}_{2\text{до}} + \Delta \dot{U}_2$$

Графіки зміни значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності в функції різних факторів



При несиметричних режимах потужності плеч БСК, знаходячись під різними за величинами напруг, будуть неоднакових значень. В результаті добавки напруги, створені БСК по різним фазам трифазної системи, будуть різними. Причому для фази з найбільшої за модулем напруги добавка буде найбільшою і навпаки. Під'єднання такої БСК в умовах несиметрії напруги остання буде посилюватись

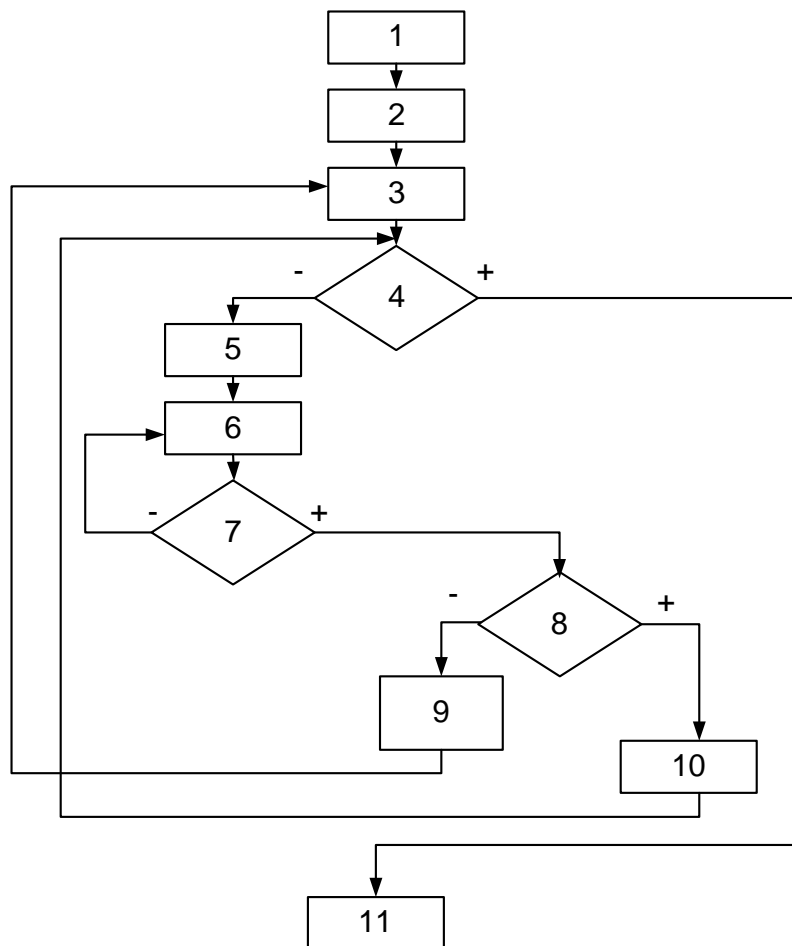
Математична модель, що забезпечує допустимі значення несиметрії напруги при керуванні БСК

$$\left\{ \begin{array}{l} Q' - \mathbf{X}^T \cdot \Delta Q(U) \rightarrow \min \\ Q' - \mathbf{X}^T \cdot \Delta Q(U) \geq Q_{\text{доп}} \\ \left| \left(\operatorname{Re} \dot{U}_2 + \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{A} \right) + j \cdot \left(\operatorname{Im} \dot{U}_2 + \mathbf{X}^T \cdot \mathbf{B} \right) \right| \leq U_{2\text{доп}} \\ \mathbf{X} + \bar{\mathbf{X}} = \mathbf{n} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0, \end{array} \right.$$

Цільова функція математичної моделі описує величину реактивної потужності в лінії живлення. Перше з обмежень контролює величину реактивної потужності, що буде мати місце в результаті реалізації вектора керування. Друге обмеження забезпечує для режиму, який буде в результаті реалізації вектора керування, напругу $U_2 \leq U_{2\text{доп}}$. Третє обмеження вказує, що для отримання ефекту в мережі кожна із секцій БСК може бути ввімкненою або вимкненою

Блок-схема алгоритму розрахунку оптимального вектора керування БСК з врахуванням реальних напруг

12



1 – отримання початкових даних;

2 – визначення потужностей секцій БСК і добавок напруги від їх ввімкнення за фактичною напругою на затискачах;

3 – знаходження попередньої множини допустимих до включення потужностей секцій БСК D_k^{Π} ;

4 – перевірка, чи D_k^{Π} – не пуста множина;

5 – прийняття попереднього рішення про ввімкнення чергової секції, на основі рекурентних співвідношень (3.11);

6 – уточнення стану системи з врахуванням післядії включення секції БСК;

7 – перевірка умови достатності наближення;

8 – формування на основі уточнених значень. Перевірка належності потужності секції БСК, що відповідає попередньо-прийнятому рішення, множині;

9 – виключення потужності секції БСК, що відповідає попередньо-отриманому рішення, з допустимих розв’язків;

10 – прийняття кінцевого рішення про ввімкнення чергової секції БСК;

Результати КРП з врахуванням несиметрії напруг та без її врахування

З врахуванням <u>несиметрії</u> напруги					Без врахуванням <u>несиметрії</u> напруги			
Етапи вирішення задачі	Вектор керування X	Q , квар	U_2 , В	k_{2U} , %	Вектор керування X	Q , ква р	U_2 , В	k_{2U} , %
Вих. стан	(0 0 0 0 0 0 0)	450	3,5	1,59	(1 0 0 0 0 0 0)	6,56	3,64	1,655
1	(0 1 0 0 0 0 0)	162,5	3,59	1,632				
2	(0 1 0 0 1 0 0)	54,4	3,63	1,648				

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено електропостачання ПАТ «Маяк» шляхом автоматизованого вибору оптимальних потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій, а розроблена математична модель на відміну від відомих моделей дозволяє виконати розрахунок керування БСК із врахуванням реальних напруг у вузлах їх під'єднання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що реалізація отриманих рішень дозволить поліпшити якість електропостачання ПАТ «Маяк»: забезпечити відповідність характеристик елементів системи електропостачання нормальним та аварійним електричним режимам, зменшити втрати електроенергії, та виключити можливість отримання на підприємстві технічно недопустимих керуючих рішень з компенсації реактивних навантажень за допомогою БСК.

1. Діюча система електропостачання не відповідає електричним навантаженням, які змінилися у зв'язку із зміною технології виробництва, номінклатури продукції, що виробляється на підприємстві.

2. В системі електропостачання ПАТ «Маяк» доцільно встановити три комплектних двотрансформаторних підстанції з трансформаторами потужністю 1000 кВА.

3. Для зниження втрат активної потужності в мережах 10 кВ підприємства, в лініях зовнішнього електропостачання і трансформаторах, а також для забезпечення вимог енергосистеми до шин 0,4 кВ ТП слід під'єднати комплектні БСК серії ККУ-0,4 загальною потужністю 2000 квар.

4. Ввімкнення БСК, яке здійснюється при керуванні реактивною потужністю, призводить до збільшення значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності та рівня відхилення напруги, а в деяких випадках може супроводжуватись порушенням вимог ГОСТ 13109-97 по відповідним параметрам.

5. Для практичного керування реактивною потужністю в реальному масштабі часу за допомогою БСК, недопускаючи негативних результатів, пов'язаних із несиметрією режиму, може бути використаною розроблена математична модель.

Апробація результатів роботи

Результати роботи доповідались на обласній науковій конференції в 2019 р., а тези доповідей опубліковані в матеріалах конференції:

Ю. А. Лобатюк, А. М. Пержар Основні тенденції розвитку системи smart grid
Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019) [Електронний ресурс].
Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/index/pages/view/zbirn2019> Дата звернення: Черв. 2019