

Сас Віталій Михайлович

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЕРЖАВНОГО
ПІДПРИЄМСТВА „45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ
МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД”, МІСТО ВІННИЦЯ

Магістерська кваліфікаційна робота

Керівник:

Терешкевич Леонід Борисович

Кандидат технічних наук, професор

Актуальність теми

В діючій системі електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» до цього часу використовується морально застаріле електрообладнання, а технічні параметри електроапаратів, та електричних мереж в багатьох випадках не відповідають електричним навантаженням, та параметрам як нормальних, так і аварійних режимів. Для промислових мереж підприємства, як і для багатьох інших виробництв, характерним є незадовільний стан якості електроенергії, в наслідок чого виникають збитки, різноманітної природи.

Тому для ДП «45 Експериментальний механічний завод» актуальною технічною задачею є оптимізація системи електропостачання шляхом вибору:

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

Об'єкт дослідження – система електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод».

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

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» шляхом автоматизованого вибору оптимальних потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій, а також розрахунком оптимальних потужностей батарей статичних конденсаторів та прийняття оптимальних рішень з компенсації реактивної потужності.

Визначення оптимальної кількості та потужності цехових ТП

$$\left\{ \begin{array}{l} 3(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + \left[\Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot \frac{S_{ТП}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min \\ S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{ТП} c_M \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{Па} \geq S_{ТП} p \cdot k_{нпа} \\ S_T \in S_{сТ} \end{array} \right.$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		№ ТП	Номер цеху	Розрахункова активна потужність Pp, кВт	Розрахункова реактивна потужність Qp, квар	Повна розрахункова потужність Sp, кВА	Середня активна потужність Ps, кВт	Середня реактивна потужність Qs, квар	Повна середня потужність Sc, кВА	Кількість трансформаторів в ТП
3		ТП1	9	28,77	26,77	39,30	16,77	14,53	22,19	2
4			10	56,22	33,27	65,33	38,72	22,43	44,75	
5			11	135,86	99,23	168,24	90,86	65,48	111,99	
6			12	106,16	76,88	131,07	34,16	22,88	41,11	
7			13	133,04	81,47	156,00	77,04	46,76	90,12	
8			14	128,34	95,63	160,05	47,34	34,88	58,80	
9			Всього по ТП1	588,39	413,25	719,01	304,89	206,95	368,49	
10		ТП2	1	143,07	144,30	203,21	43,07	42,28	60,36	2
11			2	41,42	47,45	62,98	21,42	24,06	32,21	
12			3	199,41	149,18	249,03	111,41	83,18	139,03	
13			4	151,68	73,46	168,53	89,18	43,19	99,09	
14				Всього по ТП2	535,58	414,38	677,17	265,08	192,71	
15		ТП3	5	173,51	126,49	214,72	123,51	88,99	152,23	2
16			6	244,21	150,76	287,00	154,21	94,98	181,12	
17			7	45,47	33,16	56,28	30,47	21,91	37,53	
18			8	83,79	59,66	102,86	95,79	68,66	117,85	
19			Всього по ТП3	546,98	370,07	660,41	403,98	274,54	488,44	

Визначення оптимальної потужності цехових ТП

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
2	Економічні характеристики														
3	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo =	560,895			
4	Коефіцієнт ефективності капітоловкладень										Ee =	0,1			
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea =	0,036			
6	ТП1														
7	Дані нормального режиму														
8	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	719,01			
9	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	368,49			
10	Кількість трансформаторів										kt=	2			
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Kn=	1			
12	Дані післяаварійного режиму														
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі										Kпа =	1,3			
14	Доля навантаження в післяаварійному режимі										Kнпа =	0,8			
15															
16	*	St кВА	ΔPкз кВт	ΔPxx кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔPзм кВт	ΔPпс кВт	ΔP кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кт*кн*St >=Sc	кпа*St>= кнпа*Sp	*
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	83,36199	0,48	83,84199	47,02655	-	-	-	-	
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	50,922	0,66	51,582	28,93208	-	-	-	-	
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	31,3012	1,02	32,3212	18,1288	-	-	-	-	
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	17,37035	1,48	18,85035	10,57306	-	+	-	-	
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	9,531719	1,9	11,43172	6,411994	-	+	-	-	
22	V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	5,535757	2,62	8,155757	4,574523	26,2706	630	+	+	V
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,714117	4,2	6,914117	3,878093	29,47737	1000	+	+	
24		1600	18	2,8	234	31,824	1,817489	5,6	7,417489	4,160432	35,98443	1600	+	+	
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,971912	7,7	8,671912	4,864032	41,27531	2500	+	+	
26															
27	Мінімальні затрати, грн										Зmin=	26,2706			
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА										St*=	630			
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора										кз*=	0,570642			

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

Вибір оптимального перерізу кабельних ліній виконувався за математичною моделлю

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

Критеріальна функція математичної моделі описує річні приведені затрати

Керована змінна: переріз кабельних ліній (мм²).

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

Результати розрахунку оптимальних перерізів

6

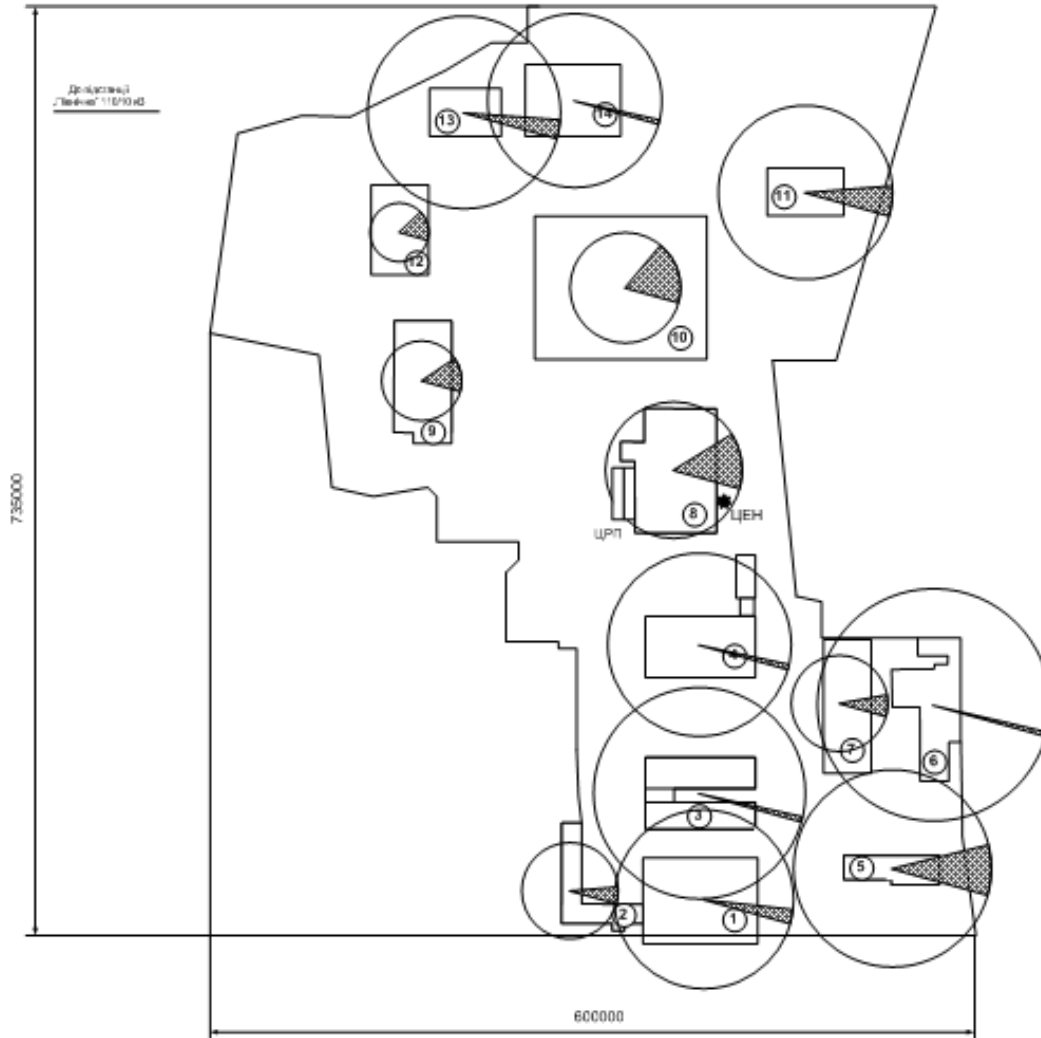
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Вибір оптимального перерізу зовнішньої живлячої КЛ																	
2	Економічні характеристики																	
3	Питома вартість втрат, грн/кВт															Bo=	560,895	
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень															Ee=	0,1	
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію															Ea=	0,04	
6	Дані нормального режиму																	
7	Напруга, кВ															U =	10	
8	Активна розрахункова потужність споживача, кВт															P =	1693,9229	
9	Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр															Q =	1334,9167	
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А															Ip =	62,26	
11	Коефіцієнт допустимого навантаження															Kдоп =	1,00	
12	Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUдоп =	5	
13	Кількість кабелів															k =	2	
14	Довжина лінії, км															L =	3,2	
15	Дані аварійного режиму																	
16	Струм КЗ на початку лінії, кА															Iкз =	3,0386856	
17	Приведений час КЗ, с															tp =	1,5	
18	Тепловий коефіцієнт C, [A*c^(1/2)]/мм^2															C =	90	
19	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2															Fкз =	41,35	
20	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =	1,25	
21	Доля навантаження в післяаварійному режимі															Kнап =	0,8	
22	Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUпадоп =	5	
23																		
24																		
25	F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	ko, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*к, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	n*Iдоп >= Kнап*k*	dUn <= dUдоп	dUpa <= dUpaдоп	F >= Fкз
26	10	3,1	0,122	9,5381	65	8,66	13,86	230,71	61,04	8,55	129,40	-	-----	+	-	-	-	-
27	16	1,94	0,113	13,784	75	5,50	8,80	144,38	88,22	12,35	80,98	-	-----	+	-	-	-	-
28	25	1,24	0,099	19,854	90	3,57	5,72	92,28	127,07	17,79	51,76	-	-----	+	+	+	-	-
29	35	0,89	0,095	25,953	115	2,62	4,18	66,24	166,10	23,25	37,15	-	-----	+	+	+	+	+
30	v 50	0,62	0,09	36,927	140	1,87	3,00	46,14	236,33	33,09	25,88	58,97	50	+	+	+	+	+
31	70	0,443	0,086	50,501	165	1,38	2,21	32,97	323,21	45,25	18,49	63,74	70	+	+	+	+	+
32	95	0,326	0,083	65,451	205	1,06	1,70	24,26	418,89	58,64	13,61	72,25	95	+	+	+	+	+
33	120	0,258	0,081	82,823	240	0,87	1,40	19,20	530,07	74,21	10,77	84,98	120	+	+	+	+	+
34	150	0,206	0,079	102,11	275	0,73	1,16	15,33	653,50	91,49	8,60	100,09	150	+	+	+	+	+
35	185	0,167	0,077	137,48	310	0,62	0,99	12,43	879,87	123,18	6,97	130,15	185	+	+	+	+	+
36	Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	58,97						
37	Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Xопт	50						

ЦРП-ТП1	ЦРП-ТП2	ЦРП-ТП3
ААБ(3*35)	ААБ(3*35)	ААБ(3*35)

Оптимальне місце розташування ЦРП підприємства

$$\frac{\sum_{i=1}^{14} (P_{p,i} + P_{p.o,i}) X_i}{\sum_{i=1}^{14} (P_{p,i} + P_{p.o,i})}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{14} (P_{p,i} + P_{p.o,i}) Y_i}{\sum_{i=1}^{14} (P_{p,i} + P_{p.o,i})}$$



Оптимальна компенсація реактивних навантажень підприємства

8

Математична модель вибору оптимальної потужності БСК

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{\Sigma} = \frac{10^{-3}}{U_{\text{н}}^2} \sum_{i=1}^N Q_{ei} * R_{ei} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^N Q_{ei} = Q_e \\ Q_{pi} = Q_{ei} \end{array} \right.$$

$Q_e = 300$ квар

КТП1:

2×ККУ-0,4-200/10-25-21У3

2×ККУ-0,4-15/6-2,5-21У3

На КТП2:

2×ККУ-0,4-120/12-10-21У3

2×ККУ-0,4-15/6-2,5-21У3

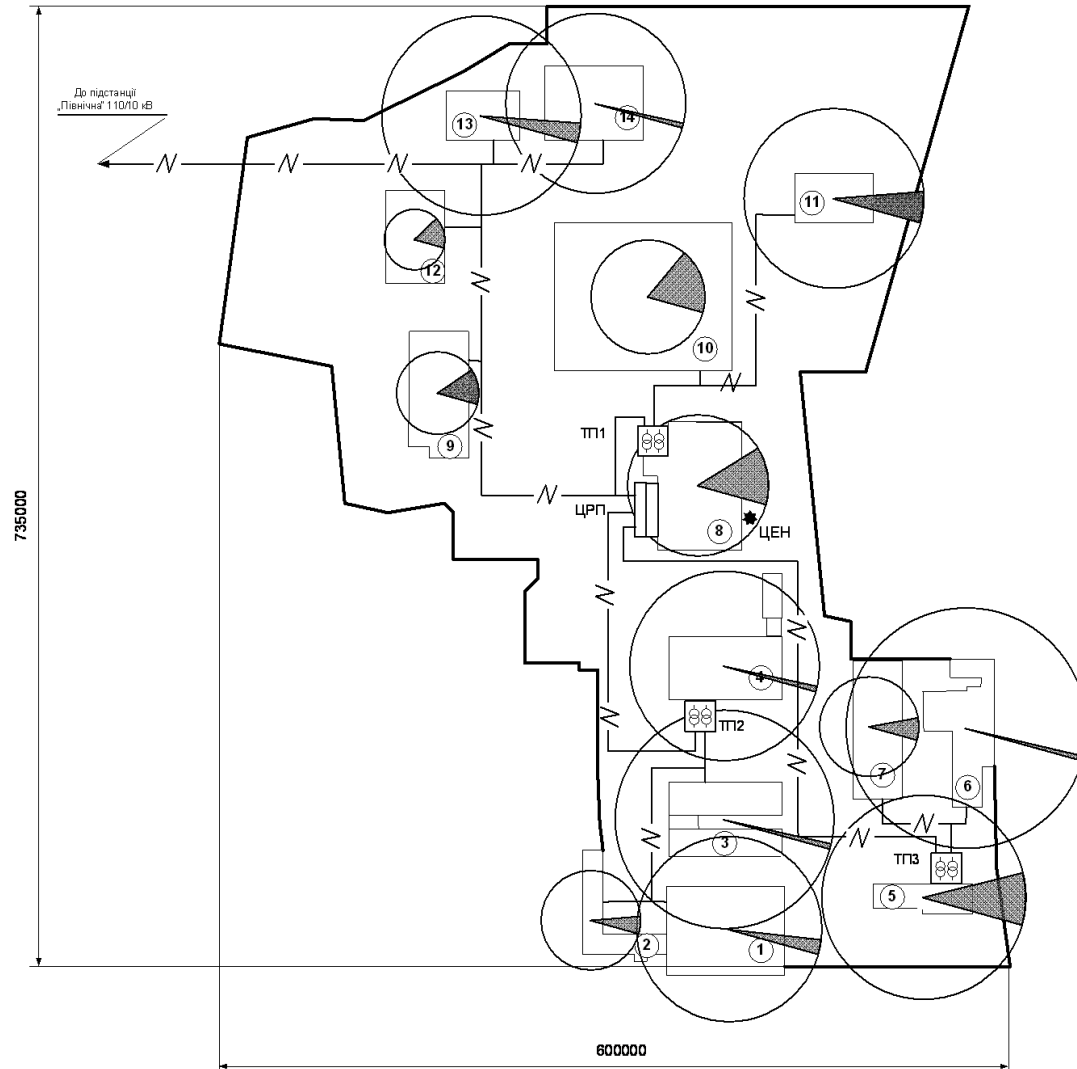
На КТП3:

2×ККУ-0,4-150/8-10-21У3

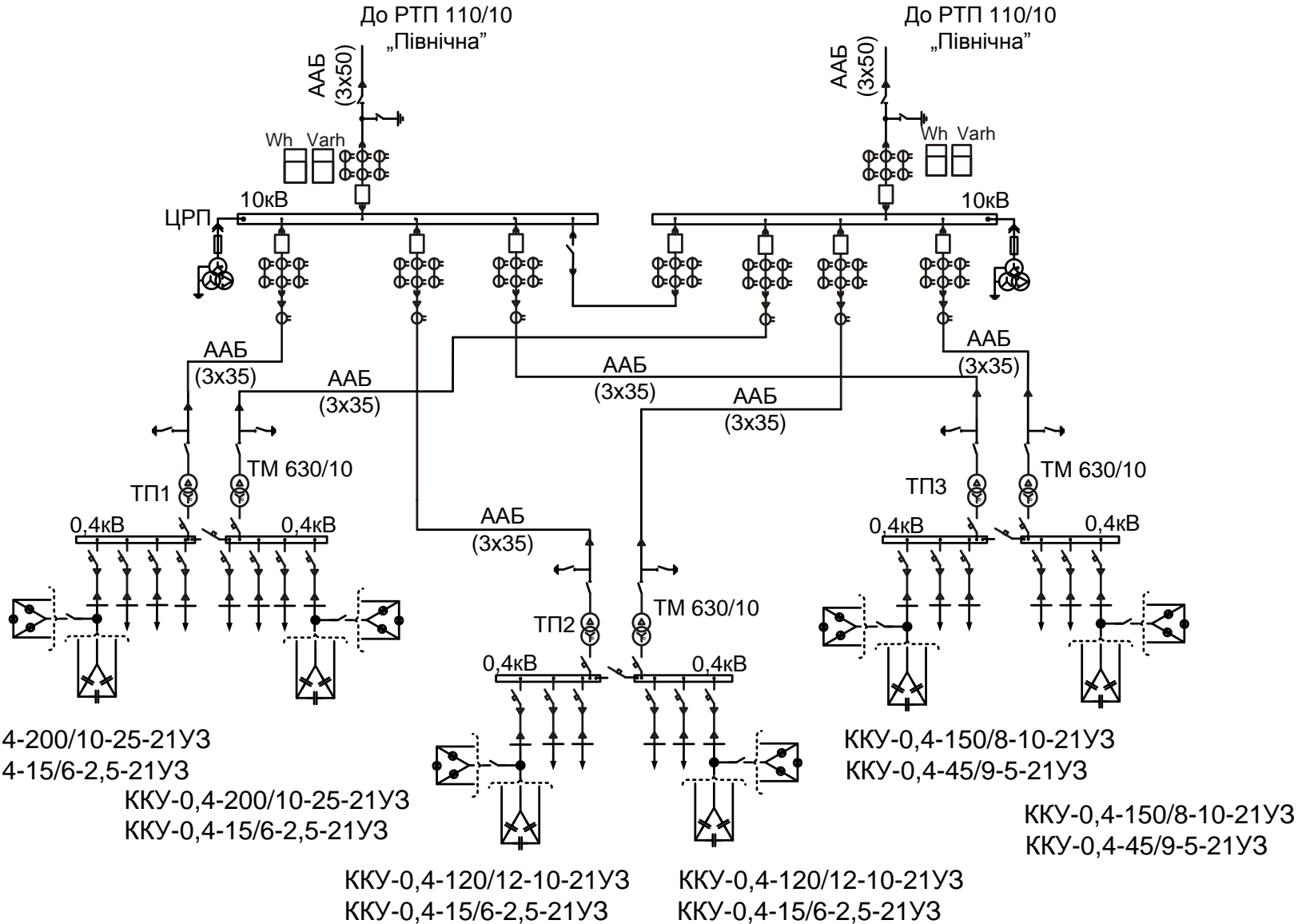
2×ККУ-0,4-45/9-5-21У3

План підприємства з електричними мережами

9



Однолінійна схема електропостачання підприємства



Залежність потужності БСК від фактичних значень напруги.

$$Q_K = Q_H \cdot \left(\frac{U_\phi}{U_H} \right)^2$$

При спадах напруги мережі реактивна потужність БСК, яка генерується, знижується, що призводить до додаткового зниження напруги, при підвищенні напруги – навпаки. В цьому виявляється від’ємний регулюючий ефект БСК

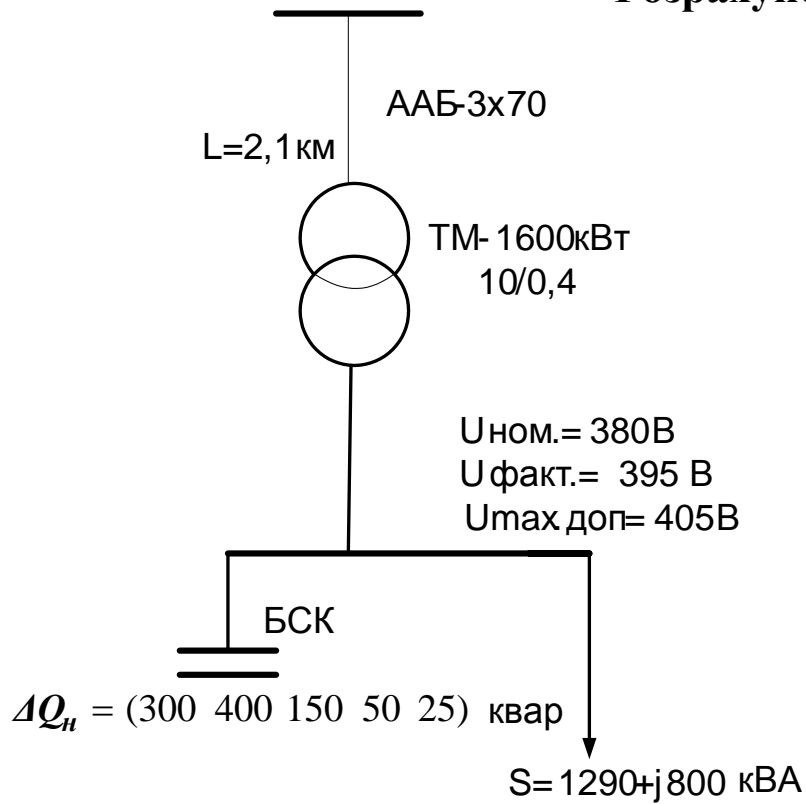
Аналіз наведеного співвідношення свідчить, що вже при відхиленнях напруги в межах $\pm 5\%$, що регламентовано ГОСТ 13109-97 потужність ступенів БСК зміниться на $\pm 10\%$. Це може призвести до суттєвих неточностей, і, як наслідок, до прийняття недопустимих рішень або до зниження ефективності управління.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q' - \Delta Q(U) \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ Q' - \Delta Q(U) \cdot X \geq Q_{\text{доп}} . \\ U' + \Delta U(U) \cdot X \leq U_{\text{max}} . \text{доп.} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right.$$

Математична модель відрізняється від моделей управління БСК тим, що містить коефіцієнти (елементи матриць ΔQ та ΔU), що функціонально залежать від рівнів напруги, які в свою чергу залежать від реалізації результатів розв'язування задачі.

Ця обставина потребує розробки алгоритму аналізу для даної математичної моделі.

Розрахунок тестової задачі



$U_{\text{мах.доп}} = 405 \text{ В}$

$Q_{\text{доп}} = 0 \text{ квар}$

$$\begin{cases} 800 - (324 \ 432 \ 162 \ 54 \ 27) \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ 800 - (324 \ 432 \ 162 \ 54 \ 27) \geq 0 \\ 395 + (5,88 \ 7,84 \ 2,94 \ 0,98 \ 0,49) \cdot X \leq 405 \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{cases}$$

Алг. №	Оптимальный вектор управления	Сумарна потужність секцій БСК, квар		Реактивна потужність вводу, квар		Напруга на збірних шинах, В		Висновок
		Номинальна	Реальна	Що відповідає ном. потужності секцій БСК	Що відповідає реальним потужностям БСК	Що відповідає ном. потужності секцій БСК	Що відповідає реальним потужностям БСК	
1	(0 1 1 0 0)	550	629	250	171	404,9	406,4	Керування недопустиме
2	(0 1 0 1 1)	475	539	325	261	не визначалась	404,8	Керування допустиме

Наукова новизна одержаних результатів

Удосконалено електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» шляхом автоматизованого вибору оптимальних потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій, а також розрахунком оптимальних потужностей батарей статичних конденсаторів та прийняття оптимальних рішень з компенсації реактивної потужності.

Практичне значення одержаних результатів

в тому, що практична реалізація отриманих рішень дозволить оптимізувати електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод»: забезпечити відповідність характеристик елементів системи електропостачання нормальним та аварійним електричним режимам, зменшити втрати електроенергії, та поліпшити роботу БСК за рахунок прийняття рішень з компенсації реактивної потужності із врахуванням реальних напруг в мережі.

1. Система електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод» розроблена з використанням сучасних проектних методик і відповідає вимогам ПУЕ.
2. Система електропостачання, що спроектована, забезпечує вимоги надійності електропостачання споживачів другої категорії.
3. Обрана схема електропостачання забезпечує надійне та безперебійне живлення електроенергією всіх електроприймачів підприємства, що підтверджено відповідними розрахунками.
4. В системі електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод» можуть мати місце випадки, коли рішення по управлінню БСК, отримане за їх номінальними параметрами, виявляється недопустимим. Тому рішення по визначенню керуючого впливу необхідно приймати виходячи з реальних потужностей ступенів БСК (потужностей, що відповідають реальній напрузі на БСК) та ефекту післядії ввімкненої потужності.

Апробація результатів роботи

Результати роботи доповідались на обласних наукових конференціях в 2019 та 2020р., а тези доповідей опубліковані в матеріалах цих конференцій :

1. В. М. Сас, Л. Б. Терешкевич Дослідження умов доцільності врахування залежності потужності конденсаторної установки від напруги // XLVIII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2019) Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2019/paper/view/7280>

2. В. М. Сас Критерій ефективності для вирішення оптимізаційної задачі під'єднання однофазних електроприймачів до чотирипровідної мережі // XLIX Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2020) Режим доступу: <file:///C:/Users/MyPC/Downloads/10092-35972-1-PB.pdf>