

# ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ АПК

УДК 631.371.621

## ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТА МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ КОНДЕНСАТОРІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10 - 0,38 кВ

Гончар М. І., Попадченко С. А.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*Наведено теоретичне обґрунтування та розробку методу визначення місця установки ємнісного пристрою компенсації реактивного навантаження в мережі 10 - 0,38 кВ.*

**Постановка проблеми.** Задача знаходження оптимального рішення, пов'язаного із зменшенням технічних втрат електроенергії, шляхом установки в електропередавальній мережі 10 – 0,38 кВ конденсаторних установок, компенсації реактивного навантаження, включає питання наукові, експлуатаційні, техніко – економічні. Задачі є актуальними завжди, що пов'язано з раціональним використанням первинного палива, необхідністю забезпечення енергетичного і економічного балансу, підтримання напруги на рівні номінальних та інше.

Установка конденсаторів для компенсації реактивного навантаження може бути індивідуальною для окремих електроприймачів з малим коефіцієнтом навантаження ( $\cos \varphi$ ), групою на напругу 0,38 кВ з установкою в розподільних щитках будівель; на окремих лініях 0,38 кВ; на споживчих підстанціях 10/0,4 кВ; в лініях 10 кВ або на підстанціях 110-35/10 кВ.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Рішенню задач зменшення технічних втрат електричної енергії шляхом компенсації реактивного навантаження завжди приділялась увага і присвячена значна кількість науково-пошукових робіт [ 1, 2, 3, 4 ], розроблені нормативні документи. Із аналізу літературних джерел поставили мету досліджень. В статті зосереджена увага на комплексне рішення задачі компенсації реактивної потужності з урахуванням факторів впливу на вибір економічної доцільності і експлуатаційних можливостей.

**Мета статті.** Теоретичне обґрунтування та розробка методу визначення місця установки ємнісного пристрою компенсації реактивного навантаження в мережі 10 - 0,38 кВ.

**Основні матеріали дослідження.** Згідно [ 5 ] розташування конденсаторів і режими їх роботи повинні задовольняти умови найбільшого зменшення втрат активної потужності від реактивних навантажень з урахуванням вимог щодо експлуатації та підтримання рівня напруг на затискачах приймачів. Експлуатація конденсаторних установок (КУ) вимагає кваліфікованого підходу і не завжди можлива в мережах 0,38 кВ. Відмітимо, що експлуатація забороняється за умови [ 5 ]:

- якщо напруга на шинах, до яких приєднані батареї конденсаторні батареї (БК), відхиляється від номінальної напруги конденсаторів в межах 10 %;

- при температурі навколишнього середовища, яка перевищує найвищу або найнижчу температуру, допустиму для конденсаторів даного типу, відповідно до паспортних даних КУ;

- при нерівномірності навантаження фаз КУ, яка становить понад 30 % від номінального значення;

- при крапельній течі просочувальної рідини та інше.

КУ доцільно відключати від електромереж в неробочі години підприємства з метою недопущення перетікання реактивних потужностей. Вимоги [ 5 ], щодо експлуатації КУ, спонукають споживачів відмовлятися від установок БК і вибирати альтернативний підхід, проводити оплату за перетікання реактивної енергії згідно [4].

Відмітимо особливості сільських розподільних мереж 10(6) – 0,38 кВ:

лінії 10 кВ розгалужені, мають великі відстані між вузлами приєднання ТП 10/0,4 кВ в порівнянні з промисловими,

нерівномірності графіків навантаження, що приводить до складності використання стосовно нерегульованої потужності БК,

великий рівень відхилень напруги в режимах максимальних і мінімальних навантажень.

Для ефективного використання компенсації реактивного навантаження в мережах 10-0,38 кВ і прийняття рішення доцільно дотримуватись послідовності рішення задачі:

- потрібно зібрати інформацію щодо змін навантаження і -х ТП, приєднаних до лінії;

- розрахувати активне і реактивне навантаження на ділянках лінії;

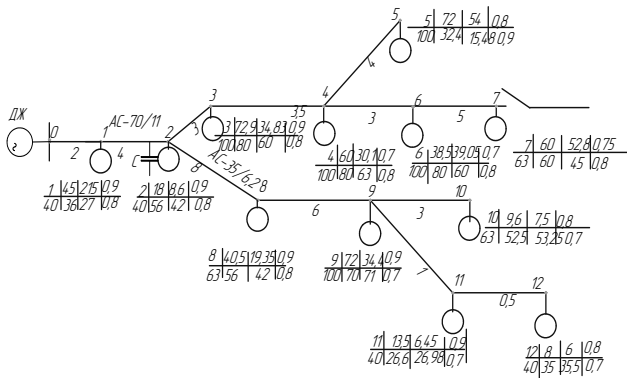
- визначити потужність, місце встановлення, спосіб регулювання по тужності БК.

В якості прикладу на рис.1 наведена схема лінії 10 кВ з відповідною інформацією, розрахункові величини навантаження на ділянках лінії наведені в табл.1.

Із аналізу даних, рис.1, табл.1 слідує, що можна встановлювати КУ на ТП №7, 10, 12 в яких  $\cos \varphi_{0,6}$  0,7/0,8 та на ділянках лінії 0 – 1, 1 – 2, 4 – 6.

На рис. 2 наведена епюра величин потоку реактивного навантаження максимуму і мінімуму на ділянках лінії магістральної частини.

Критеріями вибору потужності конденсаторних батарей БК і місць установки вважаємо величини зменшення втрат активної енергії і її вартості.



Умовні позначки:

$\frac{№_д P_д Q_д \cos \varphi_д}{№_в P_в Q_в \cos \varphi_в}$ , № - диспетчерський номер ТП;

$\frac{P_д, P_в; Q_д, Q_в}{S_д, S_в; \cos \varphi_д, \cos \varphi_в}$  - відповідно денне і вечірнє активне і реактивне навантаження;

$\cos \varphi_д, \cos \varphi_в$  - коефіцієнти потужностей.

Рисунок 1 - Схема мережі 10 кВ з навантаженням і -х ТП

Величину зменшення активної складової втрат енергії визначимо за формулою:

$$\Delta W = \Delta W_1 - \Delta W_2 = 10^{-3} \cdot \left[ R_e \cdot \tau \left( \frac{P^2 + Q^2}{U^2} - \frac{P^2 + (Q - Q_{к.б.})^2}{U^2} \right)^2 \right] = 10^{-3} \cdot \frac{R_e \cdot \tau \cdot Q_{к.б.}}{U^2} \cdot (2Q - Q_{к.б.}), \quad (1)$$

де  $\Delta W_1$  - втрати електричної енергії до використання КУ;

$\Delta W_2$  - втрати електричної енергії після використання КУ;

$P$  - активне навантаження, кВт;

$Q$  - реактивне навантаження, кВАр;

$Q_{к.б.}$  - номінальна потужність конденсаторної батареї;

$R_e$  - еквівалентний опір до місця встановлення КУ;

КУ;

$\tau$  - число годин втрат електричної енергії за рік, год.

Таблиця 1 - Відомості навантаження на ділянках лінії 10 кВ. Приклад

№ п/п	Код розрахункової ділянки	Коефіцієнт потужності денного і вечірнього максимумів $\cos \varphi_д / \cos \varphi_в$	Розрахункове навантаження на ділянках лінії					
			Денне			Вечірнє		
			$P_д, кВт$	$Q_д, кВАр$	$S_д, кВА$	$P_в, кВт$	$Q_в, кВАр$	$S_в, кВА$
1.	0-1	0,85/0,78	405,1	240,6	471,16	476,84	376,26	607,41
2.	1-2	0,86/0,78	372,7	226,6	432,17	451,64	359,4	577,18
3.	2-3	0,81/0,87	231,62	164,7	284,2	265,32	190,4	303,03
4.	3-4	0,8/0,8	179,45	140,3	227,78	205,82	146,4	252,57
5.	4-5	0,8/0,9	72	54	90	32,4	15,48	35,9
6.	4-6	0,73/0,8	87,2	80,4	118,6	124	92,4	154,64
7.	6-7	0,75/0,8	60	52,8	79,92	60	45	75
8.	2-8	0,9/0,8	168,07	76,39	184,61	187,89	179,02	259,52
9.	8-9	0,9/0,7	139,67	63,39	153,38	146,89	149,02	209,24
10.	9-10	0,8/0,7	9,6	7,5	12,18	52,5	53,25	74,77
11.	9-11	0,9/0,7	80,8	34,72	87,94	52,7	53,56	75,13
12.	11-12	0,8/0,7	8	6	10	35	35,5	49,85

Зменшення грошових витрат від технічних втрат активної складової електричної енергії при передаванні, активна складова якої визначається за формулою:

$$B_y = \beta \cdot \Delta W, \quad (2)$$

де  $\beta$  - вартість одиниці енергії, грн/кВт. год.

Ефективність використання визначається при виконанні умови:

$$E \geq B_e - Z_{КУ} - \beta \Delta W_{к.б.}, \quad (3)$$

де  $Z_{КУ}$  - додаткові затрати при використанні КУ;

$\beta \Delta W_{к.б.}$  - втрати електричної енергії в конденсаторах БК.

На рис. 2 наведена епора потоку реактивної потужності в магістральній частині в режимах денного і вечірнього максимумів.

Маємо максимальну і мінімальну величини змін потужності за добу.

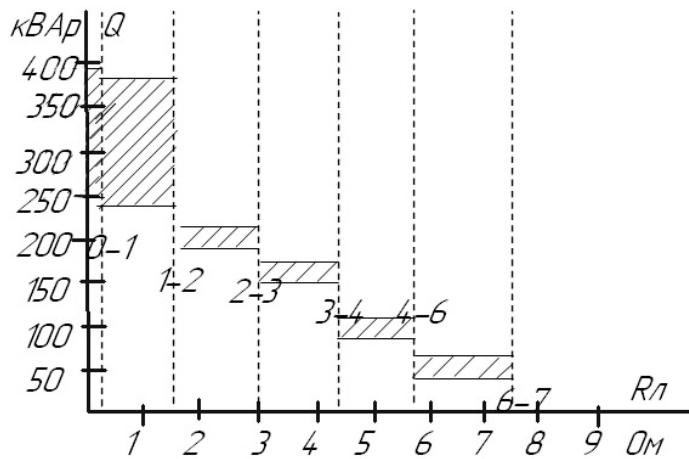


Рисунок 2 - Епюра зміни передавання реактивного навантаження на ділянках 0-7 магістральної частини лінії в режимі максимальних і мінімальних навантажень, де 0 – 1 – відстань між вузлами навантажень з опором  $R_{л}$

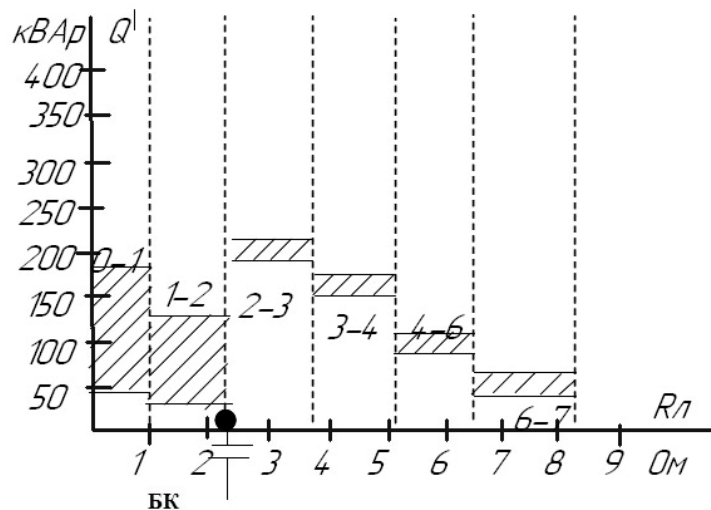


Рисунок 3 - Епюра зміни передавання реактивного навантаження на ділянках магістральної частини лінії після встановлення БК у вузлі 2 (див. рис.1)

Якщо прийняти умову встановлення КУ, що при передачі мінімальної реактивної потужності  $\cos \varphi_k = 1$ , а  $\operatorname{tg} \varphi_k = 0$ , то будемо мати мінімальну величину зменшення втрат електричної енергії.

Втрати електричної енергії в лінії найменші [ 4 ], але може з'явитись резонанс струмів чи напруг.

Запобігання резонансу струмів чи напруг полягає в створенні режиму, щоб коефіцієнт потужності був би в межах не більше 0,98...0,99.

За умови, що втрати електричної енергії в лінії будуть найменші, а різниця втрат максимальна, ( 2 ) запишемо у вигляді:

$$\delta W_{\max} = \frac{10^{-3} \cdot R_e \cdot \tau \cdot Q_{к.б.}}{U^2} = \frac{10^{-3} \cdot R_e \cdot \tau \cdot P_{\min}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi}{U^2} \quad (4)$$

Доцільно відмітити, що при зростанні величини коефіцієнта потужності зростають затрати конденсаторної установки (КУ), а при збільшенні потужності

реактивного навантаження коефіцієнт навантаження буде зменшуватись, а ефективність зростати.

Вище наведене є важливим висновком щодо вибору нерегульованої потужності конденсаторної батареї, яка встановлюється в лінії електропередавання.

Розрахункова потужність БК при мінімальному навантаженні:

$$Q_{к.б.} = P_{\min} (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_k) = P_{\min} \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_k = 0$  при  $\cos \varphi = 1$ .

Приведемо пояснюючі розрахунки для лінії рис.1.

Визначимо потужність батареї конденсаторів для вузла 2 за формулою ( 5 ):

$$Q_{к.б.} = P_{\min} \operatorname{tg} \varphi = 372,7 \cdot 0,59 = 220 \text{ кВар.}$$

Мінімальне реактивне навантаження на ділянці 1 - 2 – 226 кВАр; на ділянці 0 - 1 – 240 кВАр.

Максимальне навантаження 240 і 376 кВАр.

За формулою ( 1 ) визначимо на ділянках 1 – 2 і 0 – 1 зменшення втрат електричної енергії.

Приймаємо річне число годин втрат  $\tau = 2000$  та максимальне реактивне навантаження ділянок, табл. 1,

- на ділянці 1 – 2

$$\delta W_{1-2} = 10^{-3} \cdot \frac{R_{1-2} \cdot \tau \cdot Q_{к.б.}}{U^2} \cdot (2Q - Q_{к.б.})$$

$$\delta W_{1-2} = \frac{10^{-3} \cdot 4 \cdot 0,412 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 220}{10,5^2} \cdot (2 \cdot 220 - 220) = 1710$$

кВт·год.

- на ділянці 0 – 1

$$\delta W_{0-1} = 10^{-3} \cdot \frac{R_{0-1} \cdot \tau \cdot Q_{к.б.}}{U^2} \cdot (2Q - Q_{к.б.})$$

$$\delta W_{0-1} = \frac{10^{-3} \cdot 2 \cdot 0,412 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 220}{10,5^2} \cdot (2 \cdot 376 - 220) = 1749$$

кВт·год.

$$\delta W_{\Sigma} = 1710 + 1749 = 3459 \text{ кВт. год.}$$

Якщо прийняти вартість втрат, наприклад 0,2 грн/кВт. год, то скорочення грошових витрат буде становити

$$B_e = \beta \cdot \delta W_{\Sigma} = 0,2 \cdot 3459 = 692 \text{ грн. /рік.}$$

Важливим питанням є конструктивне рішення по установці конденсаторних батарей БК та виконання вимог захисту БК.

Доцільно мати на увазі, що при зниженні напруги потужність БК знижується пропорційно квадрату напруги.

Ефект регулювання напруги при включенні однієї ступені БК визначається за формулою [2, 6] :

$$\Delta E = \frac{Q_{к.б.} \cdot x_L}{10 \cdot U^2}, \% \quad (6)$$

де  $Q_{к.б.}$  - потужність БК, кВАр;

$U$  - лінійна напруга, кВ;

$x_L$  - індуктивний опір елементів лінії електропередавання до вузла приєднання БК, Ом.

З виробництвом малих за габаритами вакуумних вимикачів типу ВВ/TEL, здатністю їх установки на опорі повітряної лінії 10 кВ, дистанційного управління, сигналізації з'являється можливість монтажу конденсаторних установок (КУ) в будь якій вигідній за

економічними і експлуатаційними можливостями точці.

**Висновки.** 1. Групова установка БК в мережах 10( 6 ) – 0,38 кВ доцільна і при виконанні економічних , експлуатаційних вимог може дати позитивний ефект.

2. Розроблена методика ведення розрахунків по вибору місць та визначенню потужності БК дозволяє досягти позитивного ефекту від компенсації реактивної потужності.

#### Список використаних джерел

1. Зниження втрат електроенергії у сільському господарств / [Бєбко В. Г., Меженний С. Я., Стафійчук В. Г., Юрчук В. Ф.]. - К.: Урожай, 1987 – 128 с.

2. Ильшов В. П. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок / В. П. Ильшов – М.: Энергия, 1977. – 104 с.

3. Наказ № 19 від 17.01.2002 р. Мінпалива та енергетики України. Реєстр № 03/6381 від 1.02.02, Київ. – 10 с.

4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів / Установки конденсаторні /. – Х.: Індустрія, 2007. – 271 с.

5. Розенберг Б. И. Выбор типа, местоположения и мощности компенсирующих устройств в энергосистемах. Труды научно - технического совещания по повышению коэффициента мощности. М.: - Л.: Госэнергоиздат, 1953, С. 42-73.

6. Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров. – М.: Энергия, 1967. – 416 с.

#### Аннотация

### ВЫБОР МОЩНОСТИ И МЕСТА УСТАНОВКИ КОНДЕНСАТОРОВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10 - 0,38 КВ

Гончар М. И., Попадченко С. А

*Приведено теоретическое обоснование и разработка метода определения места установки емкостного устройства компенсации реактивной нагрузки в сети 10 – 0,38 кВ.*

#### Abstract

### SITE SELECTION AND POWER PLANTS CAPACITOR COMPENSATION REACTIVE LOAD IN THE DISTRIBUTION NETWORK 10 - 0.38 KV

M. Gonchar, S. Popadchenko

*Given a theoretical basis and develop a method for determining the place of installation of capacitive reactive compensation devices on the network load 10 – 0,38 kV.*