

ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ В ПІСЛЯАВАРІЙНОМУ РЕЖИМІ

А. О. Омельчук, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Заколюдажний, асистент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

E-mail: omelchuk_anatoli@ukr.net, zakolodyazhny@ukr.net

Анотація. Пункти АВР використовуються для підвищення надійності електропостачання споживачів, які доцільно встановлювати у розподільних електричних мережах та мережах споживачів при електропостачанні виробничих процесів, технологія яких не допускає навіть короточасних перерв в електропостачанні.

Мета дослідження: обґрунтування місця встановлення пункту АВР для взаємного резервування ліній електропередавання; визначення впливу поздовжньої ємнісної компенсації на пропускну спроможність електропередавання в післяаварійному режимі; визначення впливу компенсації реактивної потужності на економічність післяаварійного режиму електропередавання.

В статті розглядається спосіб підвищення пропускну спроможності електропередавання в післяаварійному режимі, внаслідок якого до однієї з працюючих ліній електропередавання напругою 10 кВ за допомогою пункту автоматичного вмикання резерву (АВР) підключається суміжна (резервована) лінія.

Однак ефективність такого резервування в більшості випадків виявляється низькою через обмежену пропускну спроможність магістральних ділянок взаєморезервованих ліній з меншими перерізами проводів на кінцевих ділянках обох взаєморезервованих ліній, що споруджувалися як радіальні. У результаті такого резервування є підвищені втрати активної потужності і напруги, і, як наслідок, недопустиме відхилення напруги у віддалених вузлах навантаження резервованої лінії електропередавання.

З метою покращення параметрів режиму роботи електропередавання пропонується застосування в схемі пункту АВР пристроїв поздовжньої ємнісної компенсації і компенсації реактивної потужності.

Ключові слова: резервування, відхилення напруги, конденсаторні батареї, лінії електропередавання, пропускну здатність

Актуальність. Пункти АВР використовуються для підвищення надійності електропостачання споживачів, які доцільно встановлювати у розподільних

електричних мережах та мережах споживачів при електропостачанні виробничих процесів, технологія яких не допускає навіть короточасних перерв в електропостачанні.

Оскільки пристрій АВР вмикає резервне джерело живлення (або обладнання) при пошкодженні основного, ефективність його не залежить від стійкості пошкодження, а успішність (90...95 %) значно перевищує кількість успішних АПВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Неуспішним АВР може бути лише при стійких коротких замиканнях (к.з.) на шинах підстанції або в резервних лініях, тобто, щоб уникнути вмикання резервної напруги живлення на стійке к.з. основного джерела, пристрій АВР спрацьовує лише після повного вимикання основного (робочого) джерела від резервного об'єкту [1].

Схеми пристроїв АВР вибирають залежно від схеми електричної мережі, типу електрообладнання тощо. У цих мережах порушення електропостачання частини споживачів чи окремих електроприймачів відновлюється дією АВР, завдяки чому вмикається розімкнений комутаційний апарат в лінії електропередавання і живлення при цьому переводиться на суміжну лінію.

Місце встановлення пункту АВР (місце розмикання лінії) вибирається із умов мінімальних втрат електроенергії в нормальному режимі роботи, коли суміжні лінії працюють як дві радіальні. Для цього визначається точка потужностей на ділянках: точка, яка отримує живлення від двох джерел при двосторонньому живленні лінії.

Пункт АВР встановлюється на ділянці лінії з меншим навантаженням, прилеглий до точки поділу потужностей, тоді навантаження цієї ділянки переноситься на ділянки лінії, що живить цю точку в нормальному режимі роботи, тому ця лінія довантажувється навантаженням розімкнутої ділянки і це призводить до певних додаткових втрат напруги і електроенергії.

Розвиток розподільних мереж 10 кВ як радіальних у період інтенсивної електрифікації в подальших заходах щодо підвищення надійності призвів до широкого застосування в таких мережах резервних зв'язків між магістралями ліній, приєднаних до суміжних підстанцій 35...110/10 кВ. Наявність таких зв'язків дозволяє в післяаварійних і ремонтних режимах приєднати обидві взаєморезервовані лінії до

шин однієї з підстанцій, що може істотно скоротити число і тривалість відключень споживачів [2].

Метою дослідження є:

- обґрунтування місця встановлення пункту АВР для взаємного резервування ліній електропередавання;
- визначення впливу поздовжньої ємнісної компенсації на пропускну спроможність електропередавання в післяаварійному режимі;
- визначення впливу компенсації реактивної потужності на економічність післяаварійного режиму електропередавання.

Матеріали і методи дослідження. Для збільшення пропускну спроможності резервних зв'язків, а саме - покращити режими напруги, доцільно застосувати установку поздовжньої ємнісної компенсації (ПЄК). Особливо ефективно застосування ПЄК на перевантажених радіальних мережах, в мережах надмірної довжини та в мережах з різкозмінним навантаженням, або таким, що має низький $\cos\phi$.

Головною перевагою пристроїв ПЄК є автоматичність та безінерційність регулювання напруги: відсутність механічних рухомих частин і контактів робить ці пристрої простими і надійними в експлуатації. При однаковому регулюючому ефекті потужність конденсаторів ПЄК в 4-5 разів менша, ніж потужність конденсаторів паралельного вмикання КУ, вибраних виключно для регулювання напруги.

До недоліків ПЄК можна віднести:

- можливість появи при певних умовах резонансних явищ, які викликають гойдання роторів двигунів, миготіння світла ламп розжарювання тощо.;
- небезпеку появи на затискачах конденсаторів недопустимо високої напруги при наскрізних к.з. в лінії, що може призвести до пошкодження конденсаторів;
- підвищення загального рівня струмів к.з.

Вплив вказаних недоліків у значній мірі усувається застосуванням швидкодіючих обмежувачів перенапруги (ОПН), які шунтують батарею ПЄК при появи на ній високих напруг при надструмах, а також застосуванням для ПЄК

спеціальних конденсаторів, що допускають короткочасні п'ятикратні перенапруги.

Установки ПЄК, призначені для використання тільки в післяаварійних та ремонтних режимах, доцільно розміщувати спільно з пунктом АВР, який з'єднує взаєморезервовані лінії в точці нормального розриву мережі. При цьому можливість виникнення гармонійних коливань струму і напруги практично виключена, бо установка ПЄК використовується тільки в режимі максимальних навантажень, коли ємнісна перекомпенсація опору мережі неможлива.

У нормальному режимі роботи електричної мережі установку ПЄК можна самостійно використовувати для компенсації реактивної потужності або спільно з конденсаторними установками паралельного включення (КУ), а після спрацювання пункту АВР працювати в режимі ПЄК.

Реактивну потужність базової частини графіка навантаження електричної системи доцільно компенсувати саме в розподільчих мережах 10 кВ, що сприяє розвантаженню цих мереж і покращенню режимів напруги в них.

Ефективність цього пристрою досліджувалася в повітряних лініях (ПЛ) 10 кВ "Іванків", що живиться від однойменної РТП-1 і "Обуховичі", що живиться від однойменної РТП-2 ДТЕК Київські регіональні електромережі (рис.1).

З метою підвищення надійності і зменшення вартості пристрою АВР доцільно застосовувати спрощену схему щоголової конструкції пристрою без встановлення додаткового вимикача.

У нормальному режимі конденсатори ПЄК включені послідовно з конденсаторами КУ, приєднаними в кінці однієї з двох взаєморезервованих ліній. При цьому загальна потужність конденсаторів може бути рівною реактивній потужності мінімального режиму лінії 10 кВ «Іванків».

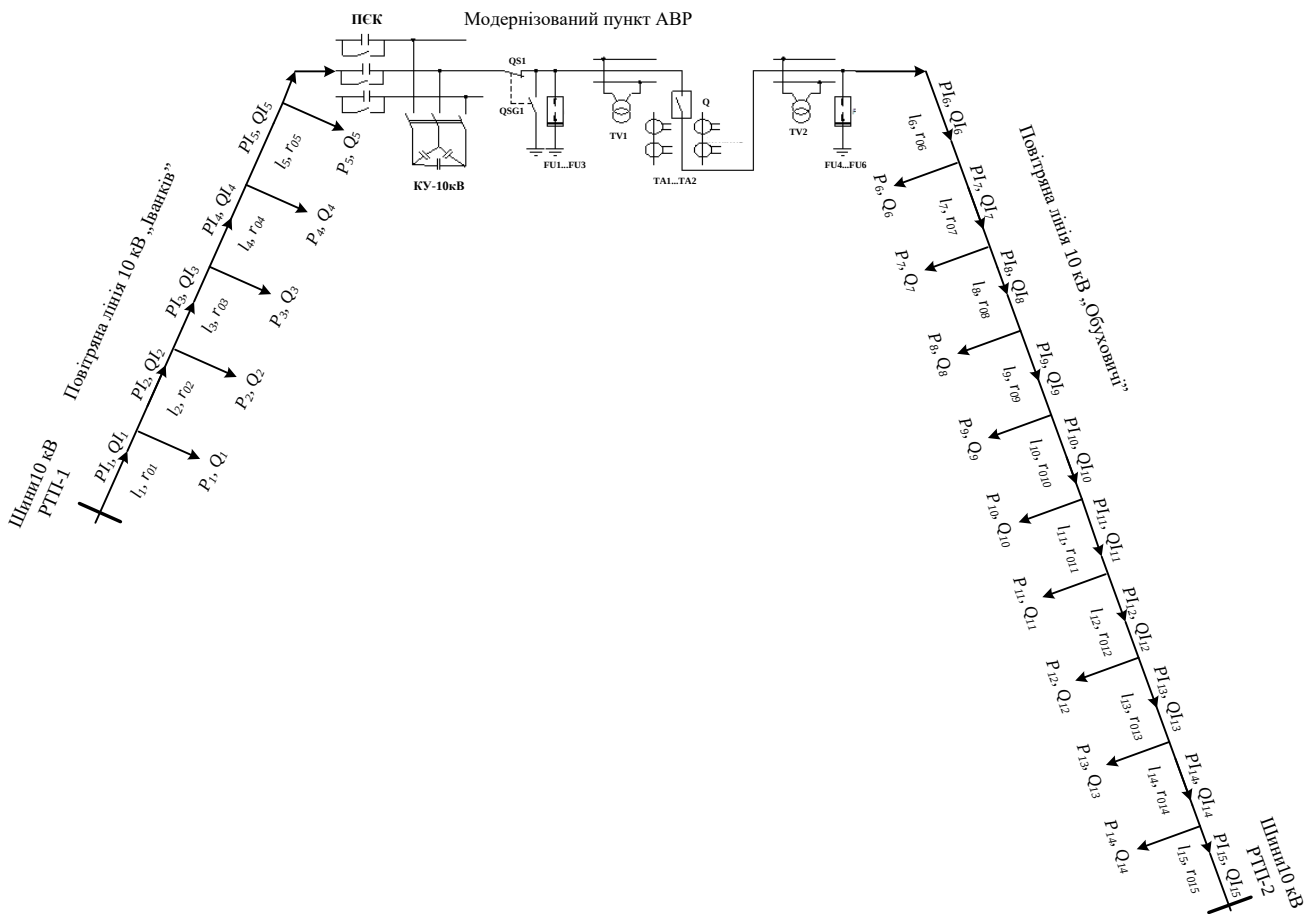


Рис.1. Пояснювальна схема мережі з модернізованим пунктом АВР (АВР включений, від РТП-1 живиться дві лінії)

У післяаварійному режимі спрацьовує АВР і конденсатори ПСК перемикаються з паралельного кола послідовно в фази взаєморезервованих ліній, що суттєво збільшує їх пропускну спроможність - напруга за ПСК стає практично рівною напрузі джерела живлення [3].

Характеристика навантаження та параметри ліній наведено в табл.1. Питомий реактивний опір прийнято однаковим $x_{0i}=0,39$ Ом/км.

Результати розрахунку проводів за допустимою втратою напруги показують, що пропускну здатність може забезпечити провід перерізом $67,9 \text{ мм}^2$ (прийmemo 70 мм^2), в той час як існуючий провід на ділянках обох ліній має переріз від 70 мм^2 (на головних ділянках) до 25 мм^2 (в кінці кожної з радіальних ліній).

Втрати напруги на ділянках лінії при живленні від РТП-1 визначені за (1) і наведені на рис.2 (суцільна лінія):

$$\delta U\%_i = \frac{P I_i \cdot \frac{R_i}{U_n} + Q I_i \cdot X_0 \cdot \frac{l_i}{U_n}}{100}, \quad (1)$$

де U_n – номінальна напруга лінії 10 кВ, кВ; R_i – активний опір ділянки лінії 10 кВ, Ом.

Сумарні втрати від шин РТП-1 до вузлів навантаження в післяварійному режимі без ПЄК, визначені за (2), наведені на рис.2 (пунктирна лінія)

$$\delta U\%_{\text{сум } i} = \sum_k (\delta U\%_k \cdot \Phi(i - k)), \quad (2)$$

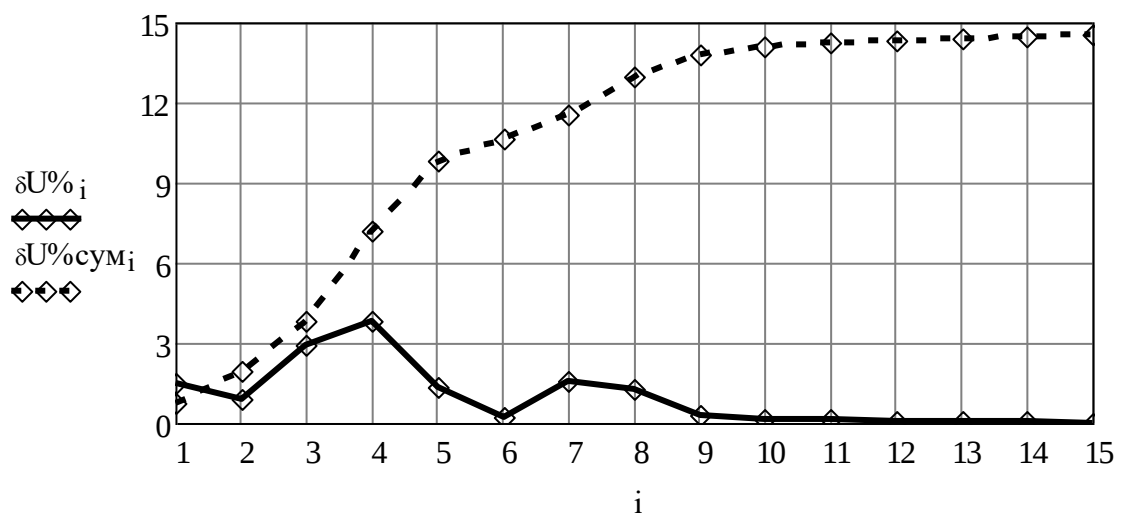


Рис.2. Втрати напруги на ділянках лінії $\delta U\%_i$ (суцільна лінія) та сумарні втрати напруги $\delta U\%_{\text{сум } i}$ (пунктирна лінія) від шин РТП-1 в післяварійному режимі без ПЄК: i – номер ділянки ліній електропередавання.

Як видно з табл.1, при живленні ліній від двох РТП в точці між ділянками 6 і 7 змінюється напрямок передавання активної і реактивної потужності, то на суміжній до цієї точки ділянці 6 (як ділянці з меншим активним і реактивним навантаженням) доцільно розмикати лінію, тобто встановлювати пункт АВР, модернізований установкою ПЄК та КУ, що дозволяє покращити режими напруги на наступних за ним ділянках лінії 10 кВ (рис.3).

Тоді напруги у вузлах навантаження в післяварійному режимі без ПЄК, визначені за (3), наведені на рис.3 (пунктирна лінія)

$$U_{l_i} = U_n - \left[\sum_{i=1}^{15} \left(P_{l_i} \cdot \frac{R_i \cdot 10^{-3}}{U_n} \right) + \sum_{i=1}^{15} \left(Q_{l_i} \cdot \frac{X_i \cdot 10^{-3}}{U_n} \right) \right], \quad (3)$$

1. Параметри взаємо резервованих ліній та їх навантаження

Ділянки лінії	Довжина ділянки l_i , км	Питомий активний опір r_{0i} , Ом/км	Потужність навантаження		Навантаження ділянок (живлення від РТП-1)		Навантаження ділянок (живлення від обох РТП)	
			активна P_i , кВт	реактивна Q_i , кВАр	активна P_{l_i} , кВт	реактивна Q_{l_i} , кВАр	активна P_i , кВт	реактивна Q_i , кВАр
1	1,25	0,43	231	191,41	1672	1386	930,7	771,2
2	0,8	0,43	77	63,8	1518	1258	815,2	675,5
3	2,3	0,6	48,51	40,2	1456	1206	661,2	547,8
4	3,5	0,6	369,6	306,26	1247	1033	598,4	495,8
5	1,4	0,78	246,4	204,17	938,6	777,8	389,3	322,6
6	0,3	0,78	123,2	102,1	753,8	624,6	81,3	67,43
7	1,58	1,26	48,51	40,2	668	553,5	-103,4	-85,7
8	1,35	1,26	30,8	25,5	628,3	520,6	-189,3	-156,8
9	0,38	1,26	48,52	40,2	588,6	487,7	-228,9	-189,7
10	0,38	0,78	192,5	159,5	468,1	387,9	-268,6	-222,5
11	0,38	0,78	77	63,8	333,4	276,3	-389,1	-322,4
12	0,53	0,6	123,2	102,1	233,3	193,3	-523,8	-434,1
13	0,53	0,6	123,2	102,1	171,1	142,3	-623,9	-517,0
14	3,7	0,43	48,51	40,2	48,5	40,2	-747,1	619,1
15	2,5	0,43	-	-	-	-	-833,0	-690,2

Результати досліджень та їх обговорення.

Як впливає з рис.3, напруга в кінці резервованої лінії 10 кВ зменшується до 90 % номінальної, що є негативним наслідком резервування, тому застосувавши ПСК в схемі пункту АВР, напруга у вузлах навантаження двох ліній 10 кВ при живленні їх від РТП-1, визначена за (4), отримає «добавку» і зросте у вузлах навантаження після місця встановлення ПСК (суцільна лінія).

$$U_k = U_n - \left[\sum_i \left(P_{l_i} \cdot \frac{R_i \cdot 10^{-3}}{U_n} \right) + \sum_i \left(Q_{l_i} \cdot \frac{X_i \cdot 10^{-3}}{U_n} \right) \right] - \frac{Q_{l_6} \cdot X_{\text{ПСК}} \cdot 10^{-3}}{U_n}, \quad (4)$$

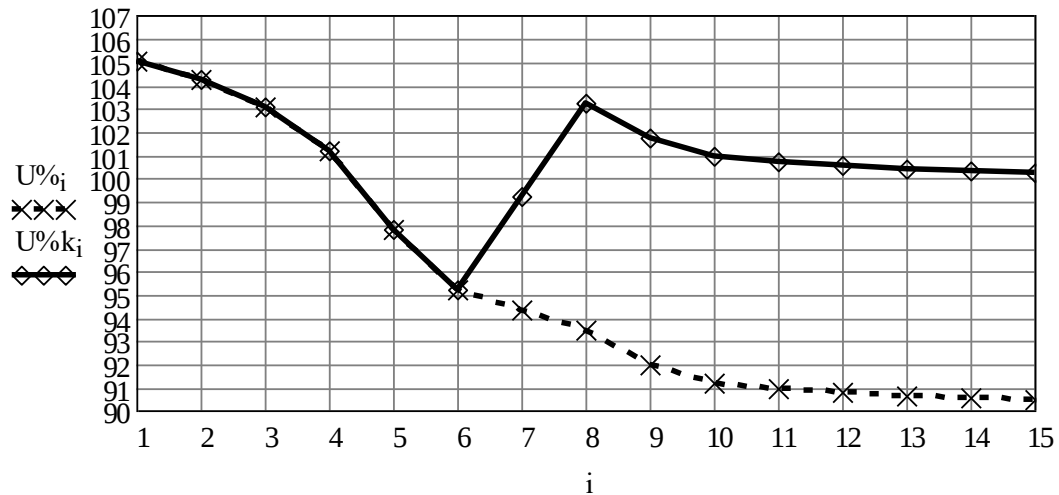


Рис.3. Відхилення напруги у вузлах навантаження після аварійного режиму (дві ЛЕП включені через пункт АВР) без ПЄК U% (пунктирна лінія) і при включенні ПЄК U%_k (суцільна лінія):

i – номер ділянки ЛЕП

Ємнісний опір конденсаторів ПЄК залежить від реактивної потужності навантаження ділянки її вмикання та параметрів режиму навантаження обох ліній 10 кВ (5) [4]:

$$X_{\text{пек}} = \left[U_k - U_n + \sum_i \left(P_{I_i} \cdot \frac{R_i \cdot 10^{-3}}{U_n} \right) + \sum_i \left(Q_{I_i} \cdot \frac{X_i \cdot 10^{-3}}{U_n} \right) \right] \cdot \frac{U_n}{Q_{I_6} \cdot 10^{-3}}, \quad (5)$$

Втрати активної потужності на ділянках з'єднаних обох ліній без застосування ПЄК і КУ при живленні від підстанції «Іванків», визначені за (6) і ці ж втрати при застосуванні ПЄК і КУ, визначені за (7), наведені на рис.4.

$$\delta P_{I_i} = \frac{(P_{I_i})^2 + (Q_{I_i})^2}{U_n^2 \cdot 10^3} \cdot R_i, \quad (6)$$

$$\delta P_{Ik_i} = \frac{(P_{I_i})^2 + (Q_{Ik_i})^2}{U_n^2 \cdot 10^3} \cdot R_i, \quad (7)$$

Зниження втрат активної потужності ΔP (8) в результаті компенсації реактивної потужності в місці встановлення пункту АВР та кількість заощадженої

електроенергії протягом доби $\Delta W_{\text{доб}}$ (9) складають, відповідно, 47,73 кВт і 1146 кВт·год [4].

$$\Delta P = \delta P I_{\text{сум}} - \delta P I_{\text{к сум}}, \quad (8)$$

$$\Delta W_{\text{доб}} = 24 \cdot \Delta P, \quad (9)$$

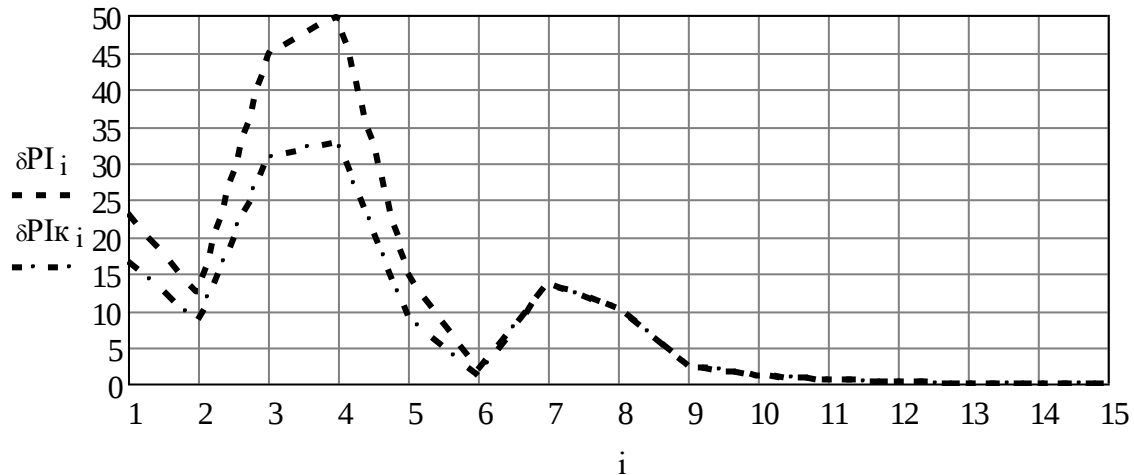


Рис.4. Втрати активної потужності на ділянках з'єднаної лінії без КУ $\delta P I$ (кВт) і при застосуванні КУ $\delta P I_k$ (кВт):

i – номер ділянки ЛЕП

Висновки і перспективи. Як видно з результатів розрахунків, відображених на рис. 3, в післяаварійному режимі після спрацювання АВР напруга в кінці резервованої лінії 10 кВ знизиться до 90 % номінальної, що негативно впливатиме на роботу електроприймачів а, іноді, до їх відключення задля уникнення пошкодження та порушення технологічних процесів виробництва.

Для підвищення пропускної спроможності двох з'єднаних ліній і покращення рівнів напруги у вузлах електричного навантаження доцільно доповнити схему АВР пристроєм ПЄК. Це створить «добавку» напруги на ємності ПЄК і підвищення напруги в наступних вузлах навантаження: напруга в кінці резервованої лінії 10 кВ зросте до номінальної.

Список використаних джерел

1. Правила улаштування електроустановок. Х.: Форт, 2017. 760 с.
2. Омельчук А.О. Енергозберігаючі режими в системах електропостачання. К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 257 с.
3. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). К.:

Держстандарт України, 2014. 27 с.

4. Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між електричними мережами електропередавальної організації та споживача. СОУ–Н МПЕ 40.1.20.510.:2006. Мінпаливенерго, наказ № 1 від 05.01.2006.

References

1. Pravyla ulashtuvannya elektroustanovok (2017) [Rules for arranging electrical installations]. Kharkiv: Fort, 760.

2. Omel'chuk, A. O. (2016). Enerhozberihayuchi rezhymy v systemakh elektropostachannya: Navch. posibnyk [Energy-saving modes in power supply systems: Study. Manual]. Kyiv: CP "COMPRINT", 257.

3. Kharakterystyky napruhy elektropostachannya v elektrychnykh merezhakh zahal'noyi pryznachenosti (2014) [Characteristics of power supply voltage in general purpose electrical networks]: DSTU EN 50160:2014. Kyiv: Derzhstandard of Ukraine, 27.

4. Metodyka vyznachennya ekonomichno dotsil'nykh obsyakhiv kompensatsiyi reaktivnoyi enerhiyi, yaka peretikaye mizh elektrychnymy merezhamy elektropередaval'noyi orhanizatsiyi ta spozhyvacha (2006) [Methodology for determining economically feasible amounts of reactive energy compensation that flows between the electric networks of the power transmission organization and the consumer]. SOU–N MPE 40.1.20.510.:2006. Ministry of Fuel and Energy, order No. 1 dated 05.01.2006.

INCREASING THE CAPACITY OF ELECTRICAL TRANSMISSION LINES IN THE POST-EMERGENCY MODE

A. Omelchuk, V. Zakolodyazhnyi

Abstract. Automatic switching on of the reserve (AVR) points are used to increase the reliability of power supply to consumers, which are advisable to install in distribution power networks and consumer networks for the power supply of production processes, the technology of which does not allow even short-term interruptions in power supply.

The purpose of the research: substantiating the location of the AVR point for mutual redundancy of power transmission lines; determination of the effect of longitudinal capacitive compensation on the transmission capacity in the post-emergency mode; determining the impact of reactive power compensation on the economy of the post-emergency power transmission mode.

The article considers a method of increasing the capacity of power transmission in the post-emergency mode, as a result of which an adjacent (reserved) line is connected to one of the working power transmission lines with a voltage of 10 kV using the point of automatic switching on of the reserve (AVR).

However, the effectiveness of such redundancy in most cases turns out to be low due to the limited capacity of trunk sections of mutual-reserved lines with smaller cross-sections of wires at the end sections of both mutually-reserved lines, which were built as radials. As a result of such redundancy, there are increased losses of active power and voltage, and, as a result, unacceptable deviation of the voltage in remote nodes of the load of the redundant power transmission line.

In order to improve the parameters of the operation mode of power transmission, it is proposed to use devices of longitudinal capacitive compensation and reactive power compensation in the scheme of the AVR point.

Key words: *redundancy, voltage deviation, capacitor banks, power transmission lines, bandwidth*