

## ЗМЕНШЕННЯ ДОДАТКОВИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В НЕОДНОРІДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

*Розглянуто математичні моделі й алгоритми визначення втрат електроенергії в неоднорідних електричних мережах, викликаних їх взаємовпливом. Показано спосіб зменшення цих втрат за допомогою лінійних регуляторів, встановлених в мережі нижчої напруги. Запропоновано метод визначення оптимального місця встановлення цих пристроїв.*

*Ключові слова: взаємовплив електричних мереж, додаткові втрати електроенергії, керування потоками потужності, лінійні регулятори.*

P.D. LEZHNYUK, A.V. KYLYMCHUK, A.E. RUBANENKO

Vinnitsia national technical university

### ADDITIONAL REDUCTION OF ENERGY LOSSES IN NONUNIFORM ELECTRIC NETWORKS

*Abstract – The aim of the research is compensation of interaction of nonuniform electric networks.*

*It has been considered the mathematical models and algorithms for determining energy losses in electric networks caused by their interaction. It has been proposed the method of energy losses reduction by means of linear regulators installed in the networks of lower voltage. A method of determining the optimal installation location of linear regulators has been proposed.*

*Thus, to decrease such losses boosting transformer or cross transformer can be installed in the networks of lower voltage. The place of installation of the linear controller is advisable to determine according to the results of the most effective compensation of the negative influence of the nonuniform electric networks. To do this one can use the mathematical models and software to determine the losses from transit power flow and to determine the branches of network that influence the nonuniformity of parallel working electrical networks the most.*

*Keywords: electric network interaction, additional energy losses, power flow control, linear regulator.*

### Вступ

Режими електричних мереж, які об'єднанні в електричну систему силовими трансформаторами та автотрансформаторами є взаємопов'язаними і будь-які зміни режиму в одній мережі впливають на стан в інших, тобто у електроенергетичних системах (ЕЕС) об'єднаних на паралельну роботу міжсистемними зв'язками, спостерігається взаємовплив їх режимів. Однією з першопричин неоптимальності режиму є неоднорідність ЕЕС. Через неоднорідність електричних мереж ЕЕС взаємовплив режимів негативно відображається на перетоках потужностей між сусідніми системами (взаємні зовнішні перетоки), на перетоках між електричними мережами різної напруги окремих систем (взаємні власні перетоки), а також на транзитних перетоках потужності електричними мережами розглядуваної системи. Наслідком взаємовпливу режимів електричних мереж ЕЕС є додаткові втрати електроенергії, які зменшують їх економічну ефективність [1–3].

В більшості випадків системоутворюючі мережі існуючих енергооб'єднань працюють паралельно із зв'язками на нижчих рівнях напруги енергопостачальних компаній. Паралельна робота ліній електропередачі (ЛЕП) різної напруги через високу міру неоднорідності викликає ускладнення при транспортуванні та розподілі електроенергії. Між електричними мережами ЕЕС через неоднорідність виникають взаємні перетоки потужності, які завантажують мережі суміжних енергопостачальних компаній. При чому відомо, що мережі вищої напруги розвантажуються на паралельно працюючі мережі нижчої напруги [4]. Наслідком цього є додаткові втрати електроенергії, а також перевантаження комутаційних апаратів та ЛЕП нижчої напруги.

Наведені випадки взаємовпливу електричних мереж змінюють поточкорозподіл та призводять до збільшення втрат потужності при транспортуванні та розподілі електроенергії порівняно з їх нормативним значенням.

Дослідження міри впливу взаємних і транзитних перетоків потужності на рівень втрат електроенергії є актуальною задачею. Її розв'язання дозволить контролювати та оцінювати вплив перетоків потужності магістральних електричних мереж на додаткові втрати в розподільних мережах обласних енергетичних компаній, а також аналізувати наслідки взаємовпливу електричних мереж. В даній статті розглядаються можливості компенсації додаткових втрат електроенергії в неоднорідних електричних мережах, викликаних їх взаємовпливом, введенням в контури е.р.с. лінійними регуляторами типу вольто-додаткових трансформаторів (ВДТ) або крос-трансформаторів (КТ).

### Постановка задачі

У зв'язку з взаємовпливом електричних мереж і транзитними потоками потужності через них виникають задачі визначення додаткових втрат потужності й електроенергії. Результати розв'язання цих задач використовуються для аналізу та оцінювання взаємовпливу електричних мереж і впливу транзитних перетоків на режими, зокрема на втрати в мережах вищої напруги (ВН) і нижчої напруги (НН). У відповідності до значення цих втрат розробляються заходи по їх оптимізації в мережах ВН і НН. Одним із результатів реформ в електроенергетиці відбувся розподіл електричних мереж енергосистем на магістральні

та розподільні як технічно, так і економічно. Магістральні електричні мережі (МЕМ) являються транзитерами, тобто передають своїми мережами електроенергію як суміжним електроенергетичним системам (ЕЕС), так і розподільним електричним мережам (РЕМ) обласних енергетичних компаній. При цьому МЕМ і РЕМ як окремі суб'єкти господарювання вирішують свої технічні й економічні проблеми самостійно у відповідності до ринкових умов [5].

За паралельної роботи мереж ВН і НН втрати збільшуються тільки в мережі НН, тому постає необхідність "витіснення" наведених транзитних перетоків потужності з мережі НН у мережу ВН. Тобто розв'язується така задача:

$$\min(DP_{НН}), \quad (1)$$

де  $DP_{НН}$  – втрати потужності в мережі НН.

Складність реалізації результатів розв'язання задачі (1) полягає в тому, що засоби, якими вони можуть практично досягнуті (трансформатори і автотрансформатори зв'язку), знаходяться на балансі МЕМ і доступ до них з боку РЕМ обмежений. Отже, з позиції РЕМ залишається єдиний вихід – встановлювати ВДТ в своїх мережах. При цьому виникають такі задачі: визначення найефективнішого місця встановлення ВДТ в мережі НН та його потужності; оцінка доцільності яким має бути ВДТ – з регульованим чи ні коефіцієнтом трансформації.

Першопричиною додаткових втрат потужності та електроенергії є неоднорідність мереж, тобто спостерігається негативний вплив мережі ВН на мережу НН. Неоднорідність це конструктивний параметр, тому доцільно дослідити можливість встановлення ВДТ з нерегульованим коефіцієнтом трансформації. За допомогою такого ВДТ (значно дешевше ніж з ВДТ з РПН) буде скомпенсована постійна складова додаткових втрат, яка залежить виключно від неоднорідності мереж.

В електричних мережах РФ, наприклад, ефективно використовуються ВДТ, якими зсувається кут вектора вторинної напруги трансформатора відносно первинної на постійну величину [6]. Такі трансформатори названі крос-трансформаторами (КТ), а сам процес корегування потоків потужності з метою зменшення втрат від транзитних перетоків – крос-трансформаторною технологією. Перевагою крос-трансформаторів є те, що вони не мають пристроїв РПН, але допускають ступінчате перемикання за допомогою допоміжних вимикачів. Встановлюються вони в електричних мережах вищої напруги, тобто в магістральних мережах. Виходячи з приведених вище міркувань, доцільно також дослідити можливість і ефективність встановлення ВДТ типу крос-трансформаторів в розподільних електричних мережах.

#### Математична модель для виділення з сумарних втрат в електричній мережі НН втрат від наведених транзитних перетоків

В [7] показано, що втрати потужності у вітках електричних мереж можна визначити:

$$\Delta S_{\text{в}} = \mathbf{F}_{\text{к}} \mathbf{S} + \mathbf{V}_{\text{нб}}, \quad (2)$$

де  $\Delta S_{\text{в}} = \Delta P_{\text{в}} + \Delta Q_{\text{в}}$  – вектор втрат активної і реактивної потужностей у вітках;

$\mathbf{S} = \mathbf{P} + j\mathbf{Q}$  – вектор потужностей у вузлах;

$\mathbf{F}_{\text{к}}$  – матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності у вітках заступної схеми залежно від потужностей у її вузлах з врахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторних зв'язків;

$\mathbf{V}_{\text{нб}}$  – вектор-стовпець втрат потужності у вітках заступної схеми від незбалансованих коефіцієнтів трансформації.

Кожний рядок матриці  $\mathbf{F}_{\text{к}}$ , який містить коефіцієнти розподілу втрат потужності для  $i$ -ї вітки заступної схеми від потужності у її вузлах, визначається за формулою:

$$\mathbf{F}_{\text{ki}} = (\mathbf{E}_{\text{t}} \mathbf{M}_{\text{ki}}) \mathbf{C}_{\text{ki}} \mathbf{E}_{\text{d}}^{-1}, \quad (3)$$

де  $\mathbf{E}_{\text{t}}$ ,  $\mathbf{E}_{\text{d}}$  – транспонований вектор і діагональна матриця напруг у вузлах включаючи і базисний;

$\mathbf{M}_{\text{ki}}$  –  $i$ -й стовпець матриці з'єднань віток у вузлах  $\mathbf{M}_{\text{к}}$ , в якій для віток з трансформаторами замість значень "–1" містяться значення їх коефіцієнтів трансформації;

$\mathbf{C}_{\text{ki}}$  –  $i$ -й рядок матриці струморозподілу  $\mathbf{E}_{\text{к}} = \mathbf{z}_{\text{в}}^{-1} \mathbf{M}_{\text{kt}} (\mathbf{M}_{\text{к}} \mathbf{z}_{\text{в}}^{-1} \mathbf{M}_{\text{kt}})^{-1}$  з врахуванням трансформаторних зв'язків;  $\mathbf{z}_{\text{в}} = \mathbf{r}_{\text{в}} + j\mathbf{x}_{\text{в}}$  – діагональна матриця опорів віток (тут і далі знак  $\wedge$  означає, що матриця або вектор спряжені,  $t$  – транспоновані).

Значення втрат в  $i$ -й вітці від незбалансованих коефіцієнтів трансформації трансформаторних зв'язків визначаються за формулою:

$$\mathbf{V}_{\text{нб}i} = (\mathbf{E}_{\text{t}} \mathbf{M}_{\text{ki}}) \mathbf{D}_{\text{б}i} \mathbf{U}_{\text{б}} \quad (4)$$

де  $\mathbf{E}_{\text{б}}$  – вектор-стовпець напруг у балансуєчих вузлах;

$\mathbf{D}_{\text{б}i}$  –  $i$ -й рядок матриці провідностей  $\mathbf{B}_{\text{б}} = \mathbf{z}_{\text{в}}^{-1} (\mathbf{M}_{\text{б}kt} - \mathbf{M}_{\text{kt}} (\mathbf{M}_{\text{к}} \mathbf{z}_{\text{в}}^{-1} \mathbf{M}_{\text{kt}})^{-1} \mathbf{Y}_{\text{б}})$ , що обмежують струми від незбалансованих коефіцієнтів трансформації у замкнених контурах електричної мережі (у

випадку розімкненої електричної мережі або збалансованих коефіцієнтів трансформації  $\mathbf{B}_6$  перетворюється в нульову матрицю);  $\mathbf{M}_{6kt}$  – підматриця з'єднань балансуєчих вузлів, яка виділена з транспонованої матриці з'єднань  $\mathbf{M}_{kt}$ ;  $\mathbf{Y}_6 = \mathbf{M}_k \mathbf{z}_B^{-1} \mathbf{M}_{6kt}$  – фрагмент матриці вузлових провідностей, що відповідає балансуєчим вузлам.

Якщо коефіцієнти розподілу втрат потужності для  $i$ -ї вітки  $\mathbf{f}_{ki}$  і вектор потужностей вузлів  $\mathcal{S}$  згрупувати окремо для мереж ВН і НН, то втрати потужності в будь-якій  $i$ -й вітці мережі НН можна визначити як дві складові – втрати від власних перетоків, які визначаються потужностями власних вузлів,  $\Delta \mathcal{S}_{ННi}^{НН}$ , і втрати від перетоків, які викликані впливом мережі ВН,  $\Delta \mathcal{S}_{ННi}^{ВН}$  :

$$\Delta \mathcal{S}_{ННi} = \Delta \mathcal{S}_{ННi}^{НН} + \Delta \mathcal{S}_{ННi}^{ВН} = \begin{vmatrix} \mathbf{f}_{ki}^{НН} & \mathbf{f}_{ki}^{ВН} \\ \mathcal{S}_{НН} & \mathcal{S}_{ВН} \end{vmatrix} = \mathbf{f}_{ki}^{НН} \mathcal{S}_{НН} + \mathbf{f}_{ki}^{ВН} \mathcal{S}_{ВН}, \quad (5)$$

де  $\mathbf{f}_{ki}^{НН}$ ,  $\mathbf{f}_{ki}^{ВН}$  – відповідно коефіцієнти розподілу втрат потужності для  $i$ -ї вітки мережі НН від потужностей вузлів мереж НН і ВН;  $\mathcal{S}_{НН}$ ,  $\mathcal{S}_{ВН}$  – відповідно вектори потужностей вузлів мереж НН і ВН.

Знаючи втрати потужності, які викликані впливом мережі ВН в кожній вітці мережі НН, можна визначити сумарні втрати в мережі НН, які викликаються впливом мережі ВН:

$$\Delta \mathcal{S}_{НН}^{ВН} = \sum_{i \in M_{НН}} \Delta \mathcal{S}_{ННi}^{ВН},$$

або з врахуванням (5)

$$\Delta \mathcal{S}_{НН}^{ВН} = \sum_{i \in M_{НН}} \mathbf{f}_{ki}^{ВН} \mathcal{S}_{ВН}, \quad (6)$$

де  $M_{НН}$  – множина номерів віток мережі НН.

#### Місце встановлення ВДТ (КТ) в мережі НН за результатами аналізу чутливості

В [8] показано, що неоднорідність складнозамкнених електричних мереж оцінюється загальносистемним показником:

$$\gamma = \mathbf{M}_{kt} \mathbf{x} \mathbf{r}^{-1} - \mathbf{x}_B \mathbf{r}_B^{-1} \mathbf{M}_{kt}, \quad (7)$$

де  $\mathbf{r}$ ,  $\mathbf{x}$  – активна і реактивна складові матриці вузлових опорів.

Виразимо як залежить загальносистемний показник неоднорідності від коефіцієнтів трансформації трансформаторів. Для цього матрицю  $\mathbf{M}_{kt}$  запишемо як

$$\mathbf{M}_{kt} = \mathbf{M}_t^+ + \mathbf{k} \mathbf{M}_t^-, \quad (8)$$

де  $\mathbf{M}_t^+$  – матриця, яка містить фрагмент матриці з'єднань, елементами якої є нулі та одиниці зі знаком “+”;

$\mathbf{M}_t^-$  – та ж матриця, але її елементами є нулі та одиниці зі знаком “-”;

$\mathbf{k}$  – діагональна матриця комплексних коефіцієнтів трансформації (якщо в  $i$ -й вітці трансформатор відсутній, то  $i$ -й діагональний елемент  $k_{i,i} = 1$ ).

Підставивши (7) у (8), отримаємо

$$\gamma = (\mathbf{M}_t^+ + \mathbf{k} \mathbf{M}_t^-) \mathbf{x} \mathbf{r}^{-1} - \mathbf{x}_B \mathbf{r}_B^{-1} (\mathbf{M}_t^+ + \mathbf{k} \mathbf{M}_t^-). \quad (9)$$

Після перетворення (9) матимемо:

$$\gamma = (\mathbf{k} \mathbf{M}_t^- \mathbf{x} \mathbf{r}^{-1} - \mathbf{x}_B \mathbf{r}_B^{-1} \mathbf{k} \mathbf{M}_t^-) + (\mathbf{M}_t^+ \mathbf{x} \mathbf{r}^{-1} - \mathbf{x}_B \mathbf{r}_B^{-1} \mathbf{M}_t^+)$$

або

$$\gamma = \mathbf{k} (\mathbf{M}_t^- \mathbf{x} \mathbf{r}^{-1} - \mathbf{x}_B \mathbf{r}_B^{-1} \mathbf{M}_t^-) + (\mathbf{M}_t^+ \mathbf{x} \mathbf{r}^{-1} - \mathbf{x}_B \mathbf{r}_B^{-1} \mathbf{M}_t^+). \quad (10)$$

Оскільки матриця  $\mathbf{k}$  містить усі коефіцієнти трансформації електричної мережі, включаючи і коефіцієнт трансформації розглядуваного лінійного регулятора, то необхідно з матриці  $\gamma$ , сформованої згідно з (10), вибрати ті елементи, які найбільше змінюються при регулюванні коефіцієнтів трансформації ВДТ. Для цього можна скористатися одним з методів аналізу чутливості оптимальних рішень.

З множини віток, яким відповідають вибрані елементи  $\gamma_{ij}$ , необхідно призначити ту вітку, в якій максимальне  $\gamma_{ij}$ .

#### Експериментальна частина

Розглянемо оптимізацію потоків активної потужності на прикладі фрагменту схеми 110 – 750 кВ Південно-Західної ЕЕС (ПЗЕС), що подана на рис.1. З метою оцінки впливу міжсистемного перетоку в розрахункову схему введено транзит потужності між вузлами 599 та 945, також в схему введено крос-трансформатор між вузлами 811 та 819 вузлом.

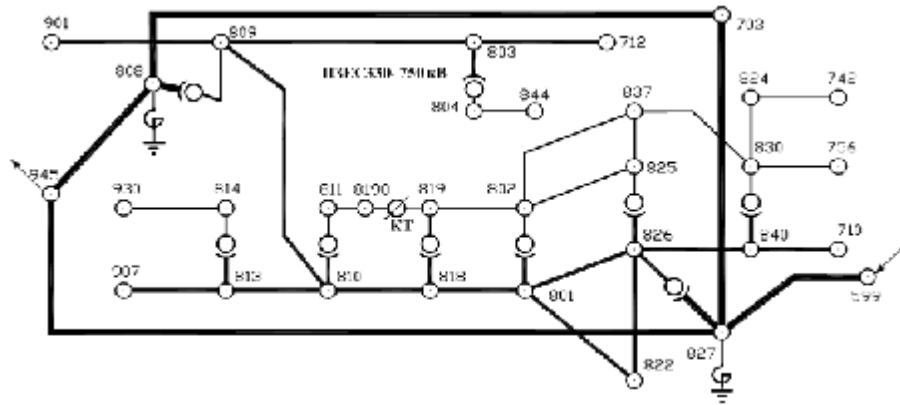


Рис. 1. Фрагмент схеми ПЗЕС 110-750 кВ

Для порівняння розглянемо спочатку як змінюються втрати потужності в мережах в залежності від значення транзитного перетоку потужності до встановлення лінійного регулятора. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Зміна втрат в ЕЕС залежно від значення транзитної потужності до встановлення КТ

Транзит, МВт	Втрати активної потужності в лініях, МВт			
	110	330	750	$\Sigma$
0	2,588	24,059	10,350	36,997
500	2,899	24,94	13,924	41,763
1000	3,312	26,289	26,634	56,235

Встановлення лінійного регулятора в ЕС, а саме крос-трансформатора, дає змогу перерозподілити перетік потужності зміною його поперечної складової коефіцієнта трансформації і тим самим зменшити додаткові втрати активної потужності. Визначимо оптимальний кут КТ, при якому втрати активної потужності для режиму мінімального навантаження будуть найменші. На рис. 2 наведено залежність загальносистемних втрат активної потужності від коефіцієнта трансформації КТ без транзитів та з транзитом 500 і 1000 МВт.

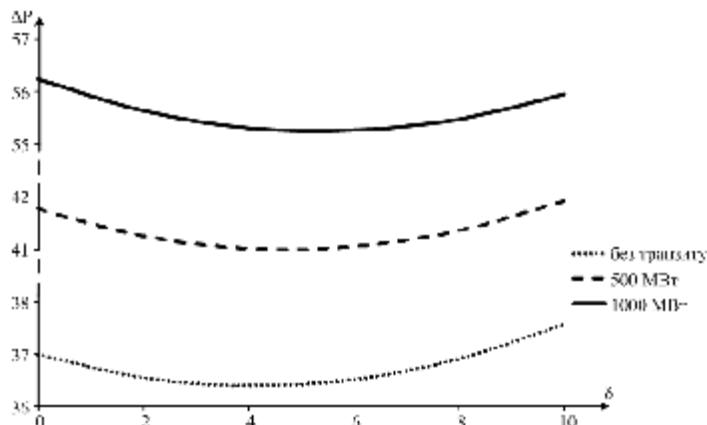


Рис. 2. Залежність загальносистемних втрат активної потужності від коефіцієнта трансформації КТ без транзитів та з транзитом 500 та 1000 МВт

З рис. 2 видно, що мінімальні сумарні втрати активної потужності в мережі будуть в режимах без транзитів потужності та з транзитом 500 МВт і 1000 МВт найменші тоді, коли кут КТ складатиме 4 електричних градусів.

На рис. 3–5 наведені залежності втрат активної потужності від коефіцієнта трансформації КТ відповідно в мережах 110 кВ, 330 та 750 кВ. Так само розглянуто режими без транзитів та з транзитом 500 і 1000 МВт.

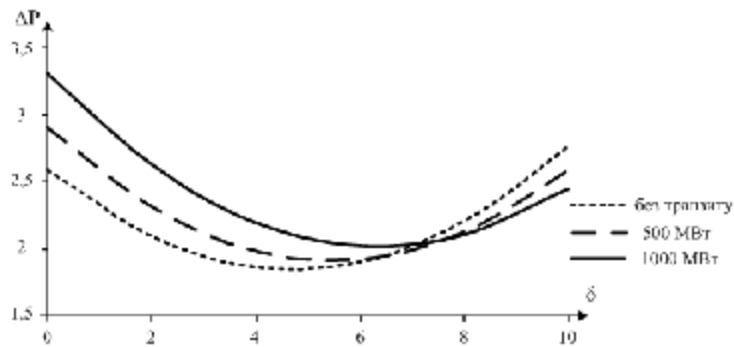


Рис. 3. Залежність втрат активної потужності в мережі 110 кВ від коефіцієнта трансформації КТ без транзиту та з транзитом 500 і 1000 МВт

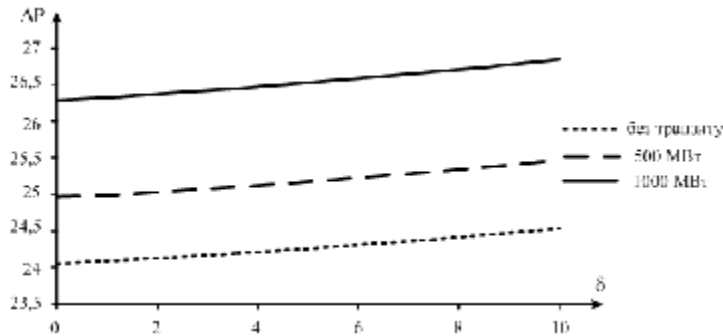


Рис. 4. Залежність втрат активної потужності в мережі 330 кВ від коефіцієнта трансформації КТ без транзиту та з транзитом 500 і 1000 МВт

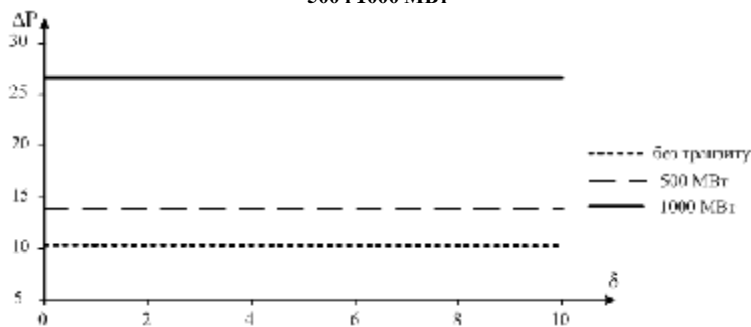


Рис. 5. Залежність втрат активної потужності в мережі 750 кВ від коефіцієнта трансформації КТ без транзиту та з транзитом 500 і 1000 МВт

Як видно з рис. 3, за відсутності транзиту і коефіцієнту трансформації, який відповідає 4-ом електричним градусам, втрати в мережі 110 кВ є найменшими і становлять 1,867 МВт, що значно менше порівняно з втратами, які виникають при розрахунку тієї ж самої електричної схеми без використання КТ. При цьому втрати становили 2,588 МВт (див. таблиця 1). Отже, вдалося знизити втрати приблизно на 0,721 МВт. При збільшенні транзиту до 500 МВт зміна коефіцієнта трансформації дала змогу зменшити втрати в мережі. І як видно з графіка (рис. 3), ці втрати найменші, коли коефіцієнт трансформації відповідає куту 6 електричних градусів. Вони становлять 1,922 МВт, що на 1 МВт менше при невикористанні КТ. При транзиті 1000 МВт та при регулюванні крос-трансформатором, тобто зміні його поперечної складової коефіцієнту трансформації, втрати вдалося знизити на 1,291 МВт. При даному транзиті найефективніше встановити коефіцієнт трансформації 6 електричних градусів.

В мережі 330 кВ, Як і в мережі 110 кВ, при збільшенні транзиту потужності спостерігається зміна втрат в лініях. Зміна коефіцієнта трансформації КТ призвела до збільшення втрат в мережі 330 кВ. Це пояснюється тим, що за допомогою лінійного регулятора, а саме КТ, потужність в мережах нижчої напруги витісняється, шляхи перетоку потужності змінюються і в мережах з більшим перерізом ЛЕП протікає більша потужність і внаслідок цього збільшуються втрати активної потужності.

В мережі ВН 750 кВ зміна коефіцієнта трансформації КТ не суттєво вплинула на значення втрат в лініях даного класу напруги.

Як видно для цього прикладу, щоб зменшувати втрати електроенергії в мережі НН, коефіцієнт трансформації КТ залежно від режиму необхідно змінювати. Оскільки КТ знаходиться в мережі НН, то така можливість є.

Використання крос-трансформаторних технологій дозволяє зменшити додаткові втрати, викликані розвантаженням магістральних мереж на мережі нижчої напруги. Застосування крос-трансформаторів дозволяє розширити можливості щодо керування потоками активної потужності в ЕЕС. При цьому суттєво покращуються умови для роботи автотрансформаторів зв'язку на електростанціях і в системах.

Розрахункові дані зміни втрат в ЕЕС залежно від значення транзиту потужності до та під час встановлення КТ в режимі максимального навантаження наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Зміна втрат в ЕЕС в залежності від значення транзиту потужності до та під час встановлення КТ в режимі максимального навантаження**

Кут КТ, ел. гр.	Втрати активної потужності в ЕЕС 110 кВ, МВт	Втрати активної потужності в ЕЕС 330 кВ, МВт	Втрати активної потужності в ЕЕС 750 кВ, МВт	Загальносистемні втрати активної потужності, МВт
Без транзиту активної потужності				
Без КТ	4,475	37,024	10,267	51,766
2	3,74	37,082	10,265	51,087
4	3,263	37,163	10,261	50,687
6	3,039	37,266	10,256	50,561
8	3,068	37,391	10,249	50,708
10	3,344	37,537	10,241	51,122
Транзит 500 МВт				
Без КТ	5,079	39,872	15,284	60,235
2	4,249	39,951	15,284	59,484
4	3,669	40,048	15,286	59,003
6	3,336	40,162	15,287	58,785
8	3,249	40,295	15,289	58,833
10	3,404	40,444	15,292	59,14
Транзит 1000 МВт				
Без КТ	5,744	43,381	31,555	80,68
2	4,805	43,461	31,565	79,831
4	4,112	43,561	31,577	79,25
6	3,661	43,68	31,591	78,932
8	3,451	43,818	31,608	78,877
10	3,479	43,975	31,626	79,08

З таблиці 2 видно, що компенсація взаємовпливу неоднорідних електричних мереж з використанням КТ оптимізує режими ЕЕС, а саме зменшуються втрати активної потужності.

Аналізуючи характерні режими максимального та мінімального навантаження мережі 110 кВ, найефективніше встановити кут на КТ 6 електричних градусів, при цьому втрати в мережі будуть найменшими.

### Висновки

1. Під час паралельної роботи магістральних і розподільних електричних мереж через їх неоднорідність в мережах нижчої напруги виникають додаткові втрати потужності. Для зменшення цих втрат може бути встановлено ВДТ або крос-трансформатор. Він може бути встановлений з боку мережі нижчої напруги.

2. Місце встановлення лінійного регулятора в мережі нижчої напруги доцільно визначати за результатами найефективнішої компенсації негативного впливу неоднорідності електричних мереж. Для цього можуть бути використані математичні моделі і програмне забезпечення визначення втрат від транзитних перетоків потужності та визначення віток мережі, які найбільше впливають на неоднорідність паралельно працюючих електричних мереж.

### Література

1. Железко Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. – М. : ЭНАС, 2003. – 280 с.
2. Таласов А. Г. Потери на транзит электроэнергии и их распределение между участниками энергообмена / А. Г. Таласов // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 20–25.
3. Стогний Б.В. Определение транзитных потерь мощности во фрагментированных электрических сетях областных энергоснабжающих компаний / Б.В. Стогний, В.В. Павловский // Энергетическая политика Украины. – 2004. – № 5. – С. 60–65.
4. Идельчик В. И. Электрические системы и сети / Виталий Исаакович Идельчик – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
5. Кириленко О. В. Энергетика стаłego розвитку: виклики та шляхи побудови / О. В. Кириленко, А. В. Праховник // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. – К., – 2010. –

С. 10–16.

6. Ольшванг М.В. Особенности кросс-трансформаторной технологии транспортирования энергии по сетям 110–765 кВ/ Михаил Вульфович Ольшванг // Электро. – 2004. – №2. – С. 6–12.

7. Лежнюк П.Д. Оцінка взаємовпливу електричних мереж енергосистем з трансформаторними зв'язками / П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, О.Б. Бурикін // Технічна електродинаміка: Тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”. Ч. 7. – 2006. – С. 27–30.

8. Лежнюк П.Д. Моделирование и компенсация влияния неоднородности электрических сетей на экономичность их режимов / П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, Д.И. Оболонский // Электричество. – 2007. – № 11.– С. 2–8.

#### References

1. Zhelezko Yu.S., Artem'ev A.V., Savchenko O.V. Raschet, analiz i normirovanie poter' e'lektroe'nergii v e'lektricheskix setyax. Moscow, E'NAS, 2003, 280 p.

2. Talasov A.G. Poteri na transit e'lektroe'nergii i ix raspredelenie mezhdru uchastnikami e'nergoobmena, *E'lektricheskie stancii*, 2002, No.1, pp 20-25.

3. Stognij B.V., Pavlovskiy V.V. Opredelenie tranzitny'x poter' moshhnosti vo fragmentirovanny'x e'lektricheskix setyax oblastny'x e'nergosnabzhayushhix kompaniy, *E'nergeticheskaya politika Ukrainy'*, 2004, No.5, pp 60-65.

4. Idel'chik V.I. E'lektricheskie sistemy' i seti. Moscow, E'nergoatomizdat, 1989, 592 p.

5. Kyrylenko O.V., Praxovnyk A.V. Energetyka staloho rozvytku: vyklyky ta shliakhy pobudovy, *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. Spetsialnyi vypusk*, Kyiv, 2010, pp 10-16.

6. Ol'shvang M.V. Osobennosti kross-transformatornoj tehnologii transportirovaniya e'nergii po setyam 110-765 kV, *E'lektro*, 2004, No.2, pp 6-12.

7. Lezhniuk P.D., Kulyk V.V., Burykin O.B. Otsinka vzaiemovplyvu elektrychnykh merezh enerhosystem z transformatornymy zviazkamy, *Tekhnichna elektrodynamika: Tematychnyi vypusk “Problemy suchasnoi elektrotekhniki”*, Vol. 7, 2006, pp 27-30.

8. Lezhnyuk P.D., Kulik V.V., Obolonskij D.I. Modelirovanie i kompensaciya vliyaniya neodnorodnosti e'lektricheskix setej na e'konomichnost' ix reghimov, *E'lektrichestvo*, 2007, No.11, pp 2-8.

Рецензія/Peer review : 27.6.2013 р.

Надрукована/Printed :29.9.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. кафедри Електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету Кутін В.М.