

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОВЗДОВЖНЬОЇ КОМПЕНСАЦІЇ

Маківський О.А., магістрант, Марченко А.А., к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Загальна проблема передачі електроенергії пов'язана з тим, що споживачі електроенергії знаходяться на великих відстанях від електростанцій, які, в свою чергу, розташовані біля джерел сировини. Значні проблеми в ОЕС України виникають у зв'язку з недостатністю пропускної спроможності ЛЕП для передачі потужності АЕС до центрів споживання та некомпенсованістю електромережі по реактивній потужності, що створює складність забезпечення нормативної якості напруги. Передача енергії на великі відстані є досить складною проблемою. Зокрема, нерівномірність генерації та напруги в електричних мережах України призводить до значних втрат електроенергії при передачі на великі відстані. Нерівномірність генерації та споживання, перевантаження ЛЕП та інші фактори можуть призвести до перевантаження диспетчерських перерізів. В табл. 1 приведені втрати в електричних мережах.

Таблиця 1 – Втрати в електричних мережах

Клас мережі, кВ	Втрати енергії, %	Частка в загальному об'ємі, %
330-550	до 25	11
220	до 27	15
35-110	до 43	36
6-20	до 34	26
0,4	до 30	7

Проводи ліній електропередач нагріваються струмом. Згідно із законом Джоуля - Ленца теплоту, в яку перетворюється енергія, що йде на нагрів, можна розрахувати за формулою:

$$Q = I^2 R t,$$

де  $R$  – опір лінії (Ом),  $t$  – час (с),  $I$  – сила струму (А).

Якщо довжина лінії дуже велика, то передача енергії може бути не вигідна економічно. Звідси видно, що знизити втрати можна двома способами:

1. зменшуючи опір проводів  $R$ ;
2. зменшуючи силу струму  $I$ .

Зменшити опір проводів, що підводяться, при заданій відстані між електростанцією і споживачами можна тільки в результаті збільшення площі поперечного перерізу цих проводів, що очевидно, не вигідно і може бути здійснено лише в невеликих масштабах.

При заданій потужності струму, зменшити його силу в проводах можливо лише при одночасному підвищенні напруги. Чим вища напруга лінії, по якій

передається електроенергія, тим це вигідніше, адже при цьому зменшується сила струму і зменшуються втрати, що пропорційні квадрату сили струму.

Відомо, що в останні роки більшість великих міст стикається з проблемою обмеженої пропускної здатності ЛЕП. Для задоволення все більш зростаючих потреб, електромережеві компанії змушені постійно модифікувати існуючі мережі, застосовуючи такі класичні методи:

1. побудова додаткових ЛЕП;
2. заміна проводів на інші, з більшим поперечним перерізом;
3. підвищення напруги;
4. розщеплення фази.

Незважаючи на те, що ці методи можна застосовувати, у всіх них є істотні недоліки.

Перше рішення вимагає значних вкладень, часу і отримання дозволів на установку нових ліній. Змінюється топологія місцевості, що не завжди позитивно впливає на навколишнє середовище. Маршрут побудови додаткових ЛЕП може проходити через населені пункти. Це означає, що побудова додаткових ЛЕП потребує додаткового часу на складання запасного маршруту, що в свою чергу призводить до великих матеріальних затрат.

Другий метод виявляється не завжди можливим, оскільки сталевалюмінієвий провід більшого поперечного перетину має таку масу, на яку старі опори часто не розраховані, що в кінцевому результаті призводить до необхідності установки нових опор ЛЕП більшого розміру. Організація будівництва нових опор може обернутися серйозними проблемами в густонаселених районах, районах приватних земель, в національних парках, заповідниках та інших зонах з заборонаю на будівництво.

Третій та четвертий методи майже завжди потребують перебудовувати всієї ЛЕП.

Звідси виникає актуальна необхідність істотного підвищення потужності повітряних ліній, що перевантажуються, по можливості уникаючи будівництва нових ліній, повної перебудови існуючих ліній, підвіски нових ланцюгів і т.д.

Також на практиці застосовуються гнучкі системи передачі на змінному струмі для повздовжньої компенсації реактивного опору ЛЕП [1].

**Мета роботи.** Дослідження впливу компенсації реактивної складової опору ЛЕП на режим енергосистеми.

**Матеріали і результати досліджень.** В якості досліджуваної моделі для моделювання режиму вибираємо тестову схему IEEE 14Bus та використовуємо програмне забезпечення PowerFactory [3]. Для дослідження впливу зміни сальдо перетоків по зовнішньому перерізу при зміні реактивного опору лінії виберемо схему (рис. 1) з наступними складовими:

- 5 генераторів, загальною потужністю 1895 МВА;
- 12 шин підстанцій;
- 16 ЛЕП;
- 12 навантажень, загальною потужністю;

- 2 3-фазних 2х-обмоткових трансформатора 230/115 кВ;
- 1 3-фазний 3х-обмотковий трансформатор 230/115/10 кВ;

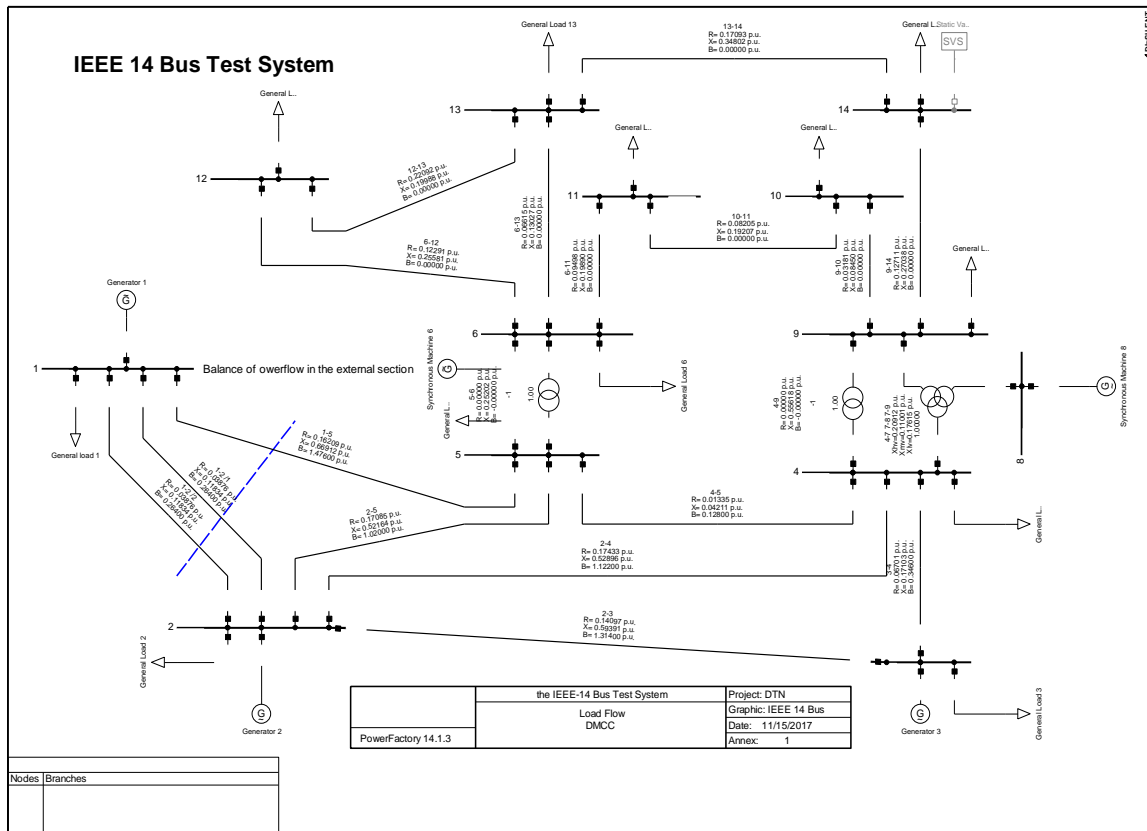


Рисунок 1 – Загальна схема

Проведемо розрахунок режиму роботи при збуренні у випадку відключення генераторі Г2 для подальшого аналізу отриманих результатів та пошуку шляхів відновлення параметрів (рис. 2).

Аналізуючи отримані розрахунки можна сказати:

1. Шини підстанцій №2, №4 та №5 перевантажені в 1.11в.о., 1.06в.о. та 1.07в.о. разів ( $U_2=254.5кВ$ ,  $U_4=242.28кВ$ ,  $U_5=244.72кВ$ );
2. Сальдо перетоків по зовнішньому перерізу складає 363.74 МВт;
3. ЛЕП, що з'єднують шини підстанцій №1 та №2 завантажені на 84%.

Для зменшення напруги на шинах до допустимого значення виконаємо моделювання роботи пристрою повздовжньої компенсації, який встановлений на ЛЕП 1-2 [2]. Моделюємо 60% компенсацію реактивної потужності ЛЕП для дослідження впливу на параметри схеми (рис. 3).

Аналізуючи отримані розрахунки можна сказати:

1. Шини підстанцій №2, №4 та №5 перевантажені на допустимі  $\pm 5\%$  ( $U_2=241.04кВ$ ,  $U_4=238.47 кВ$ ,  $U_5=240.53кВ$ );
2. Сальдо перетоків по зовнішньому перерізу складає 353.19МВт;
3. Завантаженість ЛЕП 1-2 зросла на 4% і становить 88.4%.

Як один із головних показників успішності проведеного моделювання можна вважати зменшення дельта сальдо перетоків по зовнішньому перерізу на 10.55 МВт. Це можна пояснити тим, що при зменшенні реактивного опору лінії

jX збільшується генерація реактивної потужності самою ЛЕП. В результаті втрати в лінії зростають.

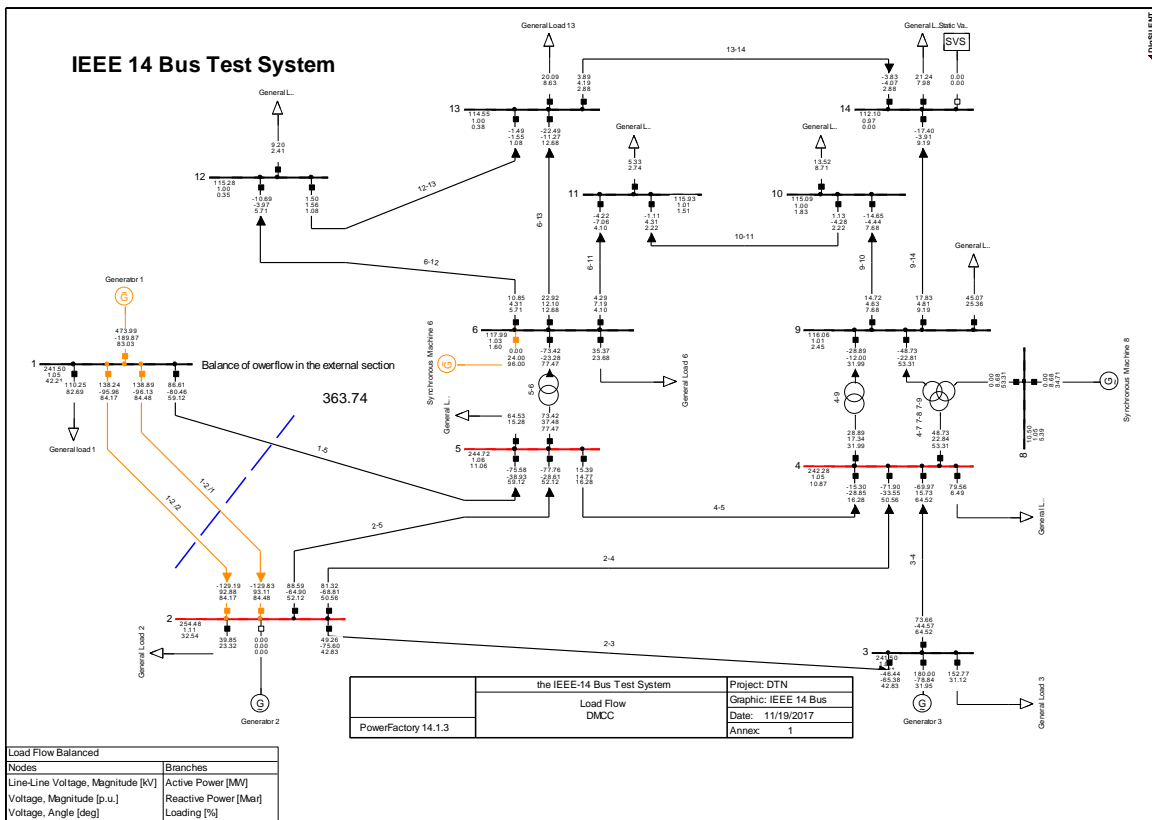


Рисунок 2 – Результати моделювання режиму при відключеному Г2

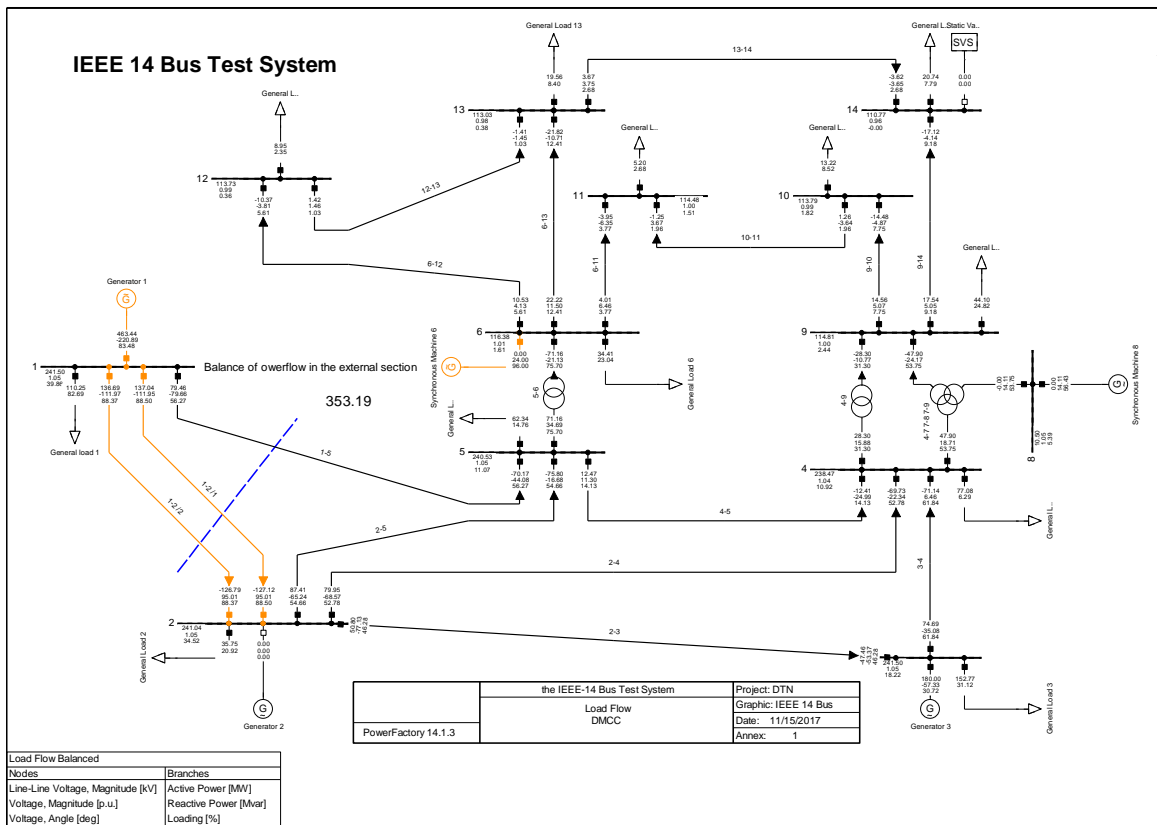


Рисунок 3 – Результати моделювання режиму при компенсації реактивної потужності на 60% при відключеному Г2

Проведемо ще одне дослідження. Початкові умови – лінії 1-2 скомпенсовані на 60% по реактивній потужності, Г2 – відключений. Моделюємо режим, при якому додатково відключається генератор Г3 (рис. 4).

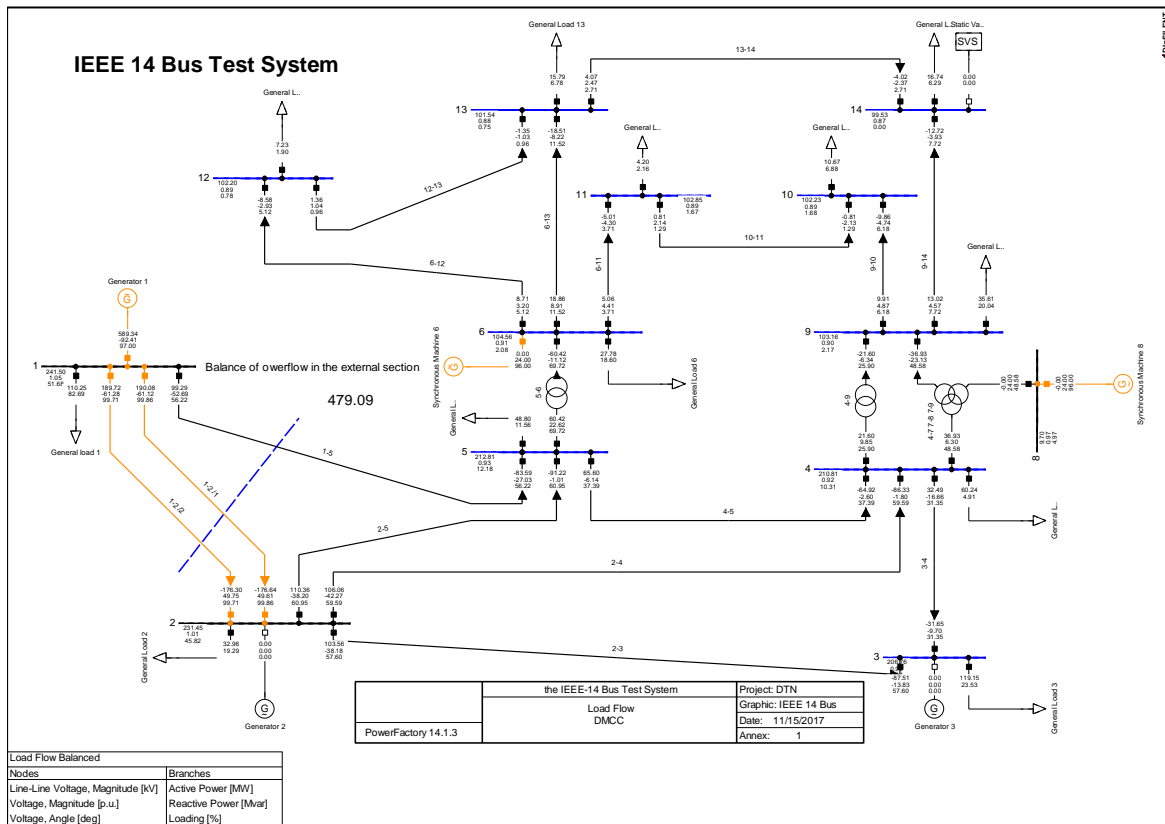


Рисунок 4 – Результати моделювання режиму при компенсації реактивної потужності на 60% при відключеному Г2 та Г3

Аналізуючи отримані розрахунки можна сказати:

1. Шини підстанцій, окрім шин №1 та №2 мають занижений, але в допустимих рівнях (-10%) рівень напруги.;
2. Сальдо перетоків по зовнішньому перерізу зросло на 35% і становить 479.09 МВт;
3. Завантаженість ЛЕП зростає на 10% і становить 99%.

В якості експерименту, збільшимо компенсацію реактивної потужності ЛЕП до 70% (рис. 5). Надалі збільшувати – не рекомендується – це призведе до перевантаження лінії, що не є являється успішним критерієм роботи системи.

По результатам моделювання можемо зробити наступні висновки:

1. Напруга на шинах суттєво не змінилась (у межах 1%);
2. Сальдо перетоків по зовнішньому перерізу зменшилось на 1% і складає 475.48 МВт;
3. Завантаженість ЛЕП 1-2 складає 99%.

В результаті моделювання дельта сальдо перетоків по зовнішньому перерізу зменшилася на 3.61МВт.

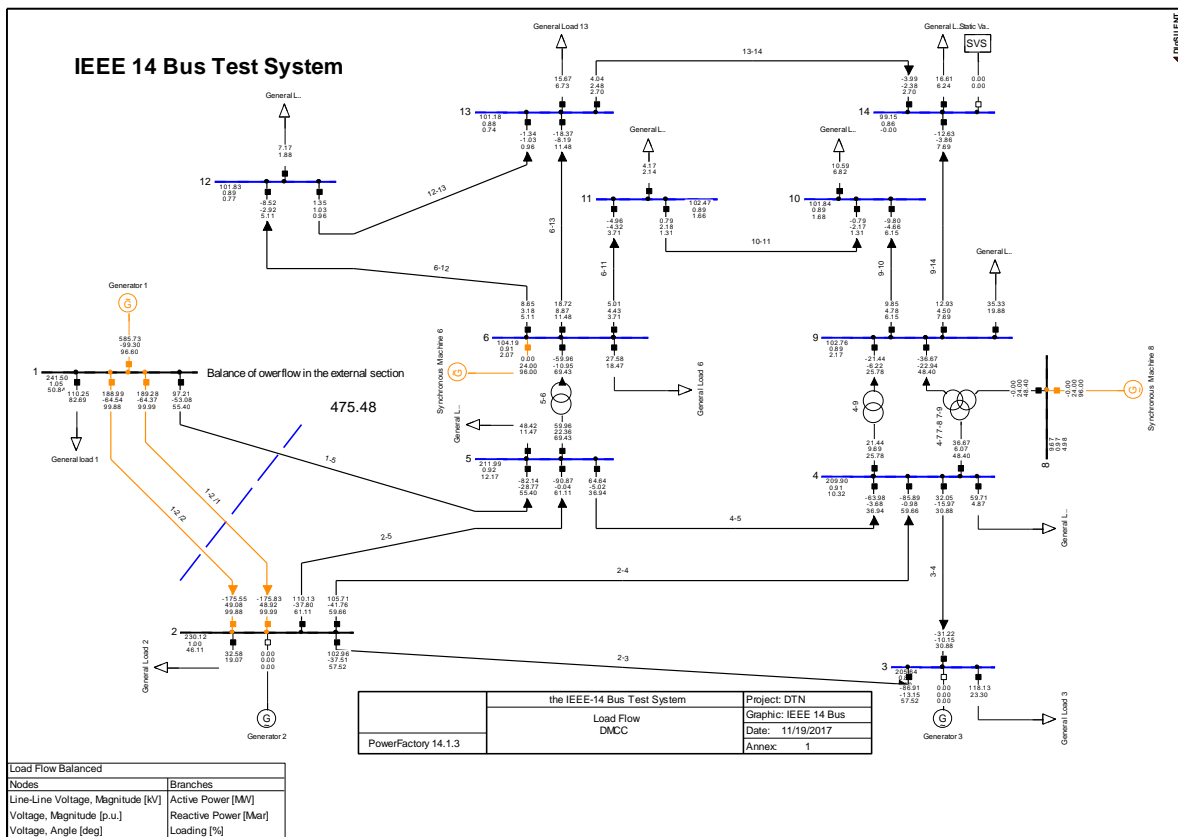


Рисунок 5 – Результати моделювання режиму при компенсації реактивної потужності на 70% при відключеному Г2 та Г3

**Висновки.** Виконано моделювання на тестовій схемі IEEE 14Bus згідно принципу надійності n-1 та n-2 з аналізом завантаження перерізу, що розглядається в дослідженні. Компенсація ЛЕП 1-2 на 60% при моделюванні згідно принципу n-1 (відключення Г2) дозволила збільшити пропускну спроможність перерізу та зменшити його завантаженість на 10.55 МВт, а компенсація ЛЕП 1-2 на 70% при моделюванні згідно принципу надійності n-2 (відключення Г2 та Г3) дозволила ще збільшити пропускну спроможність без перевантаження перерізу.

Виходячи з вищезазначеного, можна узагальнити, що повздовжня компенсація на лініях 1-2 даної мережі дозволила її оптимізувати по перетоках та напрузі при значних збуреннях.

### Перелік посилань

1. К.А. Хайдаров. Теоретические основы электротехники и электроники. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://bourabai.kz/toe/index.htm>
2. О. А. Маківський, А. А. Марченко. Дослідження впливу пристроїв компенсації реактивної потужності на режим роботи підстанції 110/10 кв. [Електронний ресурс] – 2016 – Режим доступу: <http://jour.fea.kpi.ua/issue/view/3960>
3. PowerFactory, «Руководство пользователя», DIgSILENT, Germany, – 2011.