

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ТЕМУ:
**“ОПТИМІЗАЦІЯ МІСЦЬ СЕКЦІОНУВАННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ
ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ”**

Виконала: студентка 2 курсу ОППП магістр,
групи ЕС-17м Власова О.В
Керівник: д.т.н., проф., зав. каф. ЕСС Лежнюк П.Д.

Вінниця 2019 рік

Актуальність роботи

У 2015 році наша держава однією з перших ратифікувала Паризьку Кліматичну угоду, тим самим підтвердивши свої наміри та зобов'язання інтегруватись в енергосистему ЄС та провести енергореформи у рамках вимог III енергетичного пакету, що передбачає в тому числі і створення сприятливих умов для введення нових енергогенеруючих потужностей ВДЕ [1].

Національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2020 р., передбачає що частка генерації з відновлювальних джерел енергії в кінцевому енергоспоживанні має сягнути 11% [2].

Зараз Україна демонструє найвищі у світі темпи у підписанні договорів на майбутнє приєднання ВДЕ, але це продукує великі ризики для застарілої енергосистеми. Ключовим є те, що, за офіційною інформацією НКРЕКП, в I кв. 2018 р. було введено в експлуатацію 159,4 МВт генеруючих потужностей – 54 об'єктів електроенергетики (що у 2,4 рази перевищує потужності, введені в експлуатацію за аналогічний період 2017 р.). При цьому об'єкти ВЕС та СЕС складають 92% введених потужностей, а середня одинична потужність введених в цей час об'єктів електроенергетики складає 3 МВт. Встановлена потужність ВЕС та СЕС в Україні станом на середину 2018 року сумарно складає 1353 МВт (512 та 841 МВт відповідно), ці потужності майже не впливають на баланс електроенергії, проте їхні відхилення від запланованої генерації однаково компенсуються маневровими потужностями.

У 2017 р. кількість виданих технічних умов і підписаних договорів з НЕК «Укренерго» на приєднання до високовольтних мереж об'єктів «зеленої енергетики», у порівнянні з 2016 р., зросла більш ніж у 30 разів за показником потужності. Це шалені темпи і така тенденція зберігається.



Мета і задачі дослідження

Мета і задачі дослідження. Підвищення ефективності сумісної експлуатації розосереджених джерел електроенергії і розподільних електричних мереж.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язано такі основні задачі:

- аналіз існуючих показників оцінювання надійності функціонування електричних мереж;
- дослідження впливу розосереджених джерел енергії на втрати потужності та електроенергії в розподільних мережах;
- розроблення методу секціонування електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії;
- дослідження шляхів і засобів підвищення ефективності експлуатації розосереджених джерел електроенергії (РДЕ) та їх комплексного використання в електричних мережах (ЕМ) енергосистем;
- розроблення алгоритмів оцінювання впливу РДЕ на параметри роботи електричних мереж.

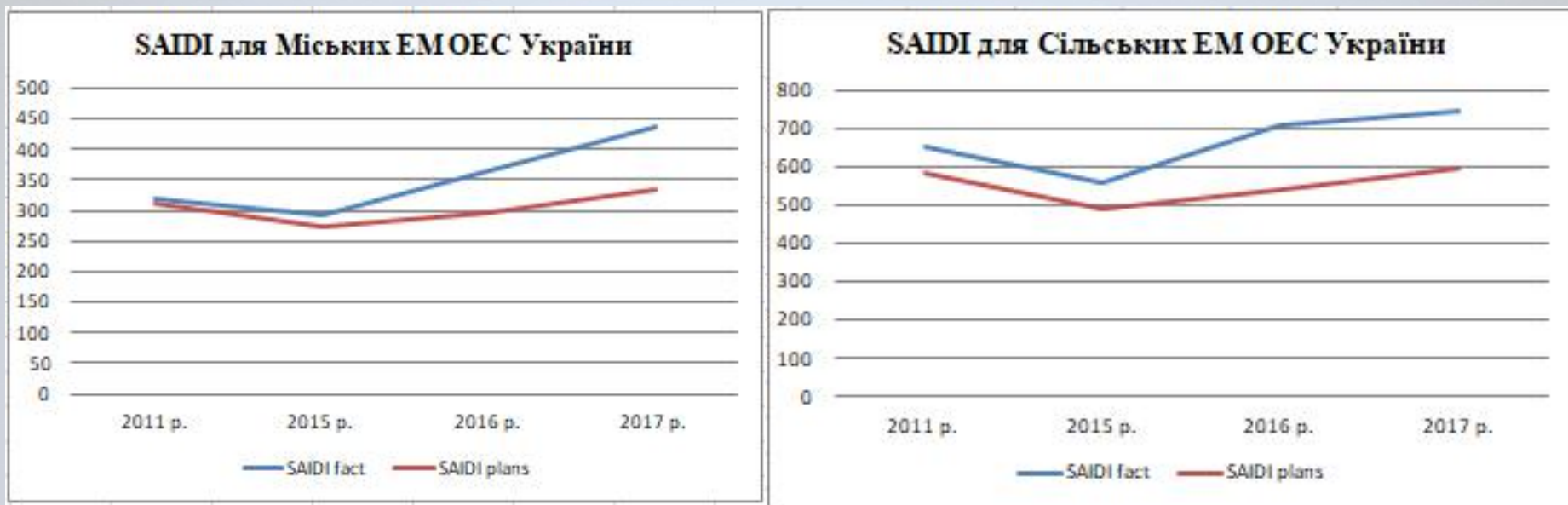
Об'єктом дослідження магістерської роботи є електричні мережі з розосередженими джерелами енергії.

Предметом дослідження є засоби підвищення надійності роботи електричних мереж з розосередженими джерелами енергії.

Особистий внесок здобувача. У роботі висвітлено: вплив генерування на надійність роботи електричних мереж, вплив розосередженого генерування в електричних мережах на втрати потужності та електроенергії в них, метод оцінки впливу РДЕ на режими в електричних мережах, зокрема на втрати електроенергії, сформульовані задачі оптимізації РДЕ в електричних мережах.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи та її результати доповідалися на Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт у м.Маріуполь 2016/2017 рік, у м.Кам'янське 2017/2018 рік, на XIV Міжнародній конференції КУСС-2018 м.Вінниця. А також обговорювалися на науково-технічних конференціях ВНТУ.

Оцінювання SAIDI для мереж України



а)

б)

Рисунок 4 – Зміна цільового запланованого показника SAIDI (червона крива) та фактичного (синя крива) для а) міських електричних мереж, б) сільських електромереж ОЕС України

Оцінювання SAIDI для мереж України



Рисунок 5.1 – Темпи збільшення генерування СЕС в ПАТ «Вінницяобленерго» та ОЕС України

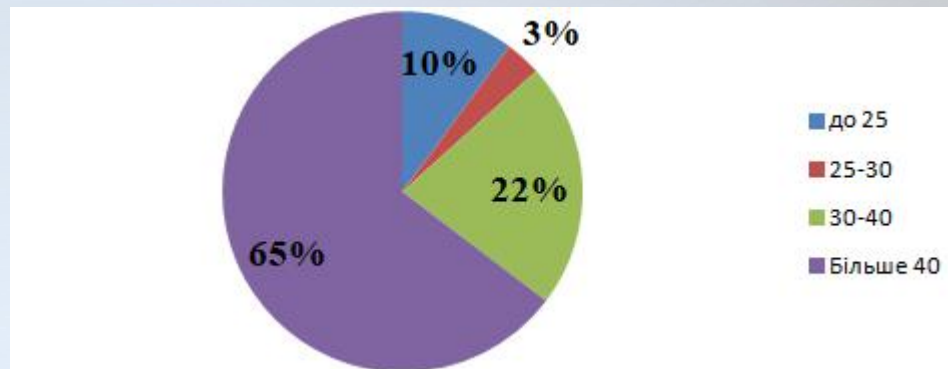
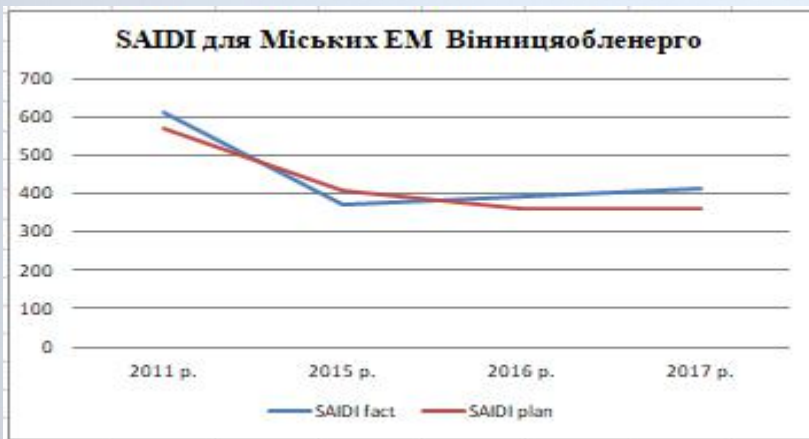
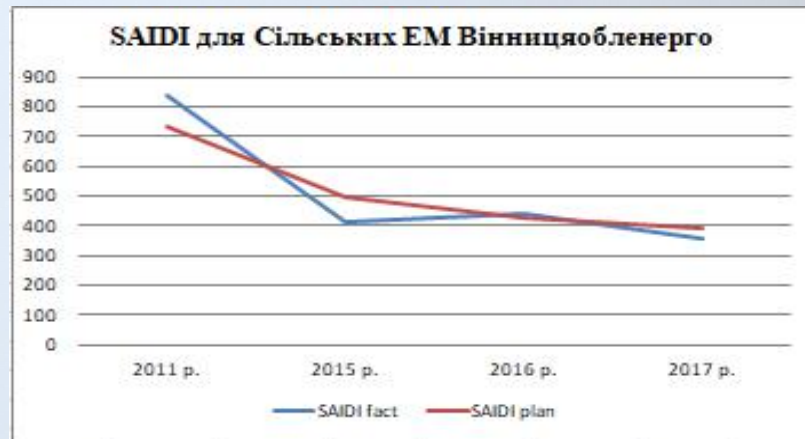


Рисунок 5.2 – Аналіз терміну експлуатації електричних мереж електроенергетичних систем України



а)



б)

Рисунок 5.3 – Зміна цільового запланованого показника SAIDI (червона крива) та фактичного (синя крива) для а) міських електричних мереж, б) сільських електромереж ПАТ «Вінницяобленерго»

Секціонування розподільної електричної мережі 10 кВ

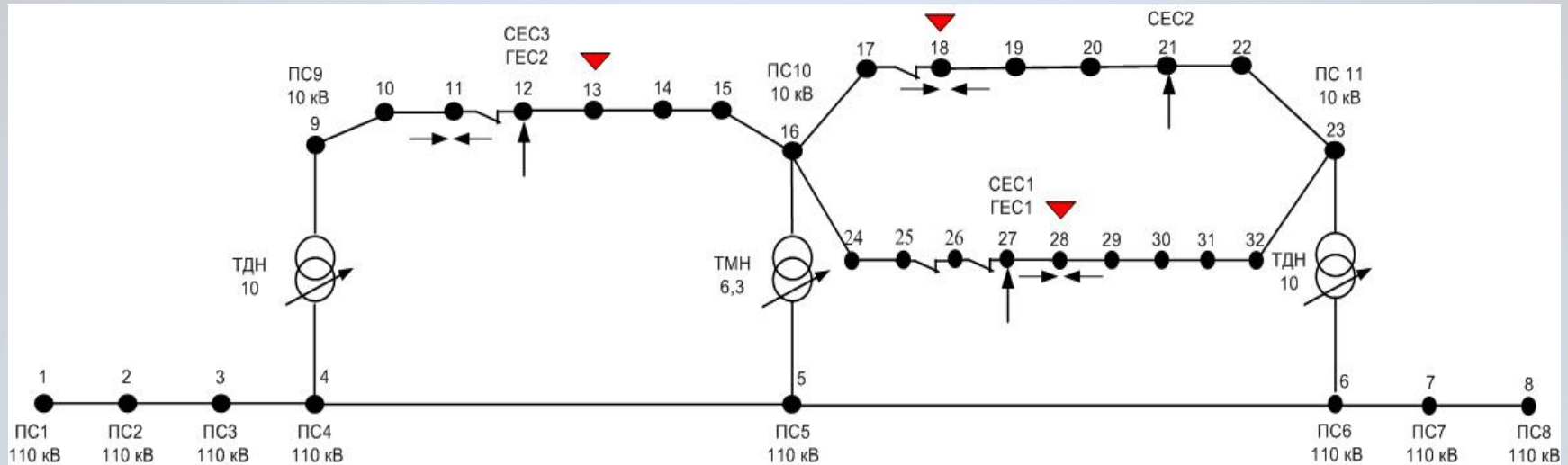


Рис.6.1 Фрагмент схеми Ямпільських РЕМ 10 кВ

6.1

$$P_{I\Sigma}^* = \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

i -номер навантаження, m та n -кількість навантажень до місця секціонування та загальна

$$L_{I\Sigma} < x_l \cdot L_\Sigma \quad 6.4$$

6.2

$$L_{I\Sigma}^* = \frac{\sum_{j=1}^l L_j}{\sum_{j=1}^k L_j}$$

j -номер ділянки ЛЕС, l та k - кількість ділянок до місця секціонування та загальна

КАСМ встановлюють на початку ділянки магістралі, для якої

Критерій виду розподілу електричної енергії

$$\lambda = \frac{l}{\beta} \cdot \sum_{\alpha=1}^{\beta} [P_{I\Sigma}^*(\alpha) - L_{I\Sigma}^*(\alpha)] \quad 6.3$$

Рекомендоване місце встановлення КАСМ

$$L_{I\Sigma} = x_l \cdot L_\Sigma \quad 6.5$$

де $P_{I\Sigma}^*(\alpha)$, $L_{I\Sigma}^*(\alpha)$ – відносна сумарна потужність і відносна сумарна довжина ділянки електричної мережі між ввідним вимикачем і місцем встановлення комутаційного апарата секціонування мережі (КАСМ) у α -у місці на магістралі електричної мережі; β - загальна кількість місць встановлення КАСМ на магістралі електричної мережі. Відповідно до даних критерій λ дорівнює 0,118 – потужність споживачів рівномірно розподілена по довжині лінії електропередач (ЛЕП) ($-0,2 \leq \lambda \leq 0,2$ – умова рівномірного розподілу потужності ТП).

СОУ-НН МЕВ 40.1-00100227-99:2014 “Побудова схем секціонування розподільної електричної мережі напругою 6–10 кВ”

Дослідження впливу РДЕ на точки поточкорозділу в ЛЕС

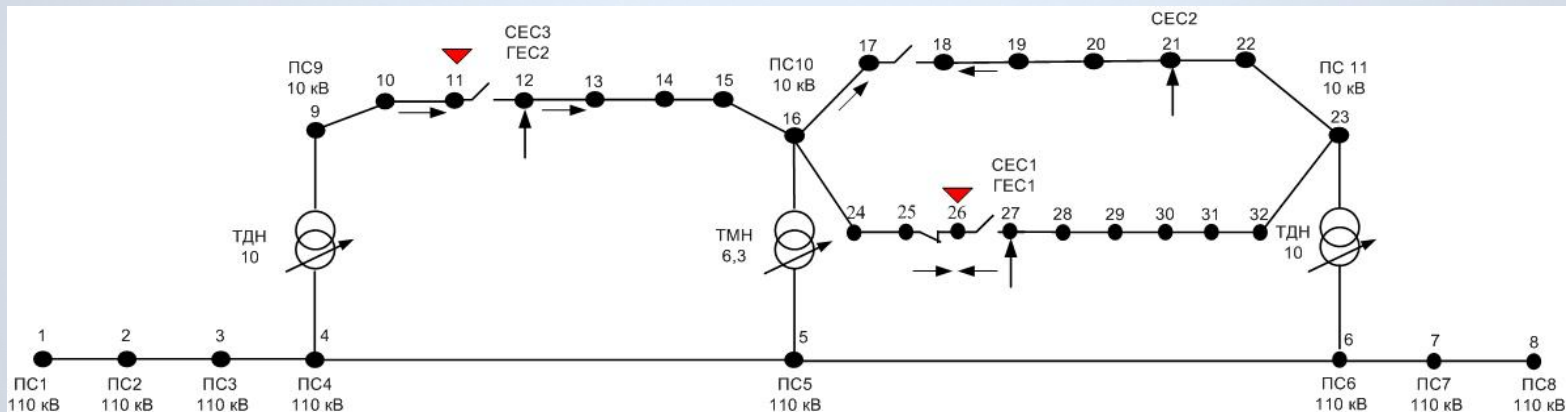
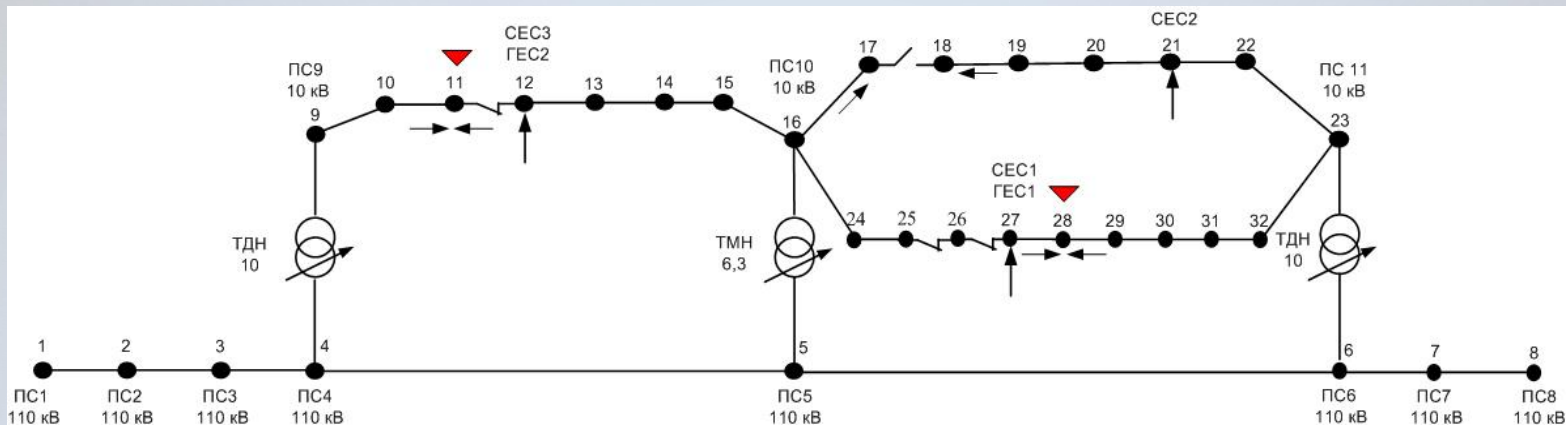


Табл.7.1 Вплив потужності генерування ГЕС на точку поточкорозділу та втрати в ЛЕС

№ п/п дослід.	Точка поточкорозділу	Вітка, що розмикається	Втрати активної потужності, МВт	Потужність генерування ГЕС 1, МВт	Потужність генерування ГЕС 2, МВт
1	13,18,28	-	0,5426	-	-
2	13,28	17-18	0,5341	-	-
3	11,28	11-12	0,5125	-	0,2
4	26	25-26	0,4934	0,35	-
5	26	26-27	0,4671	0,35	-
6	13,18,28	11-12 17-18 26-27	0,559	-	-

Регулювання генерованою потужністю ГЕС дозволяє змістити розрахункову точку поточкорозділу в місце, де наявний роз'єднувач, в результаті загальні сумарні втрати в мережі зменшилися на **91,9** кВт (**≈16%**).

Математична модель втрат активної потужності в ЛЕС

Початкові умови:

\mathbf{M} – перша матриця інциденцій, \mathbf{z} – вектор-стовпець опорів віток схеми, $\mathbf{J}_{\text{НАВ}}$ – вектор-стовпець задаючих струмів навантажень, $\mathbf{J}_{\text{ГЕН}}$ – вектор стовпець задаючих струмів генерування РДЕ, \mathbf{T} – матрицею взаємозв'язку вузлових потужностей і перетоків потужності в ЛЕС, U_{ϕ} – базисна напруга в ЦЖ.

Матриця вузлових провідностей:

$$\dot{\mathbf{Y}} = \mathbf{M} \cdot \dot{\mathbf{z}}^{-1} \cdot \mathbf{M}^T$$

8.1

Вектор-стовбець задаючих струмів у вузлах

$$\dot{\mathbf{J}} = \dot{\mathbf{J}}_{\text{НАВ}} - \dot{\mathbf{J}}_{\text{ГЕН}}$$

8.2

Вектор стовбець вузлових напруг

$$\dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{B}} = \dot{\mathbf{Y}}^{-1} \cdot \dot{\mathbf{J}}$$

8.3

Вектор абсолютних напруг у вузлах

$$\dot{\mathbf{U}} = \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{B}} + \dot{\mathbf{U}}_{\phi}$$

8.4

Матриця вузлових навантажень

$$\dot{\mathbf{S}} = \dot{\mathbf{U}} \cdot \text{diag}(\hat{\mathbf{J}})$$

8.5

Матриця перетоків потужності у вітках

$$\dot{\mathbf{S}}_{\mathbf{B}} = \boldsymbol{\gamma} \cdot \dot{\mathbf{S}}$$

8.6

Втрати потужності в ЛЕС

$$\Delta S = \sum_{i,j=1}^n \frac{S_{\epsilon i,j}^2}{U_i^2} \cdot z_{i,j}$$

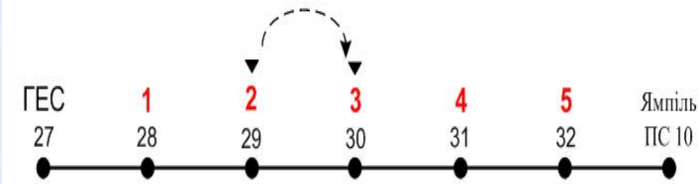
8.7

Активні втрати потужності в ЛЕС

$$\Delta P = \text{Re}(\Delta S)$$

8.8

Фрагмент схеми Ямпільських РЕМ



Таблиця 8.1. Залежність втрат активної потужності від потужності генерування ГЕС

№ досліджу	$P_{\text{ГЕН}}$, МВт	$Q_{\text{ГЕН ГЕС}}$, МВар	Точка потокорозділу	ΔP , кВт
1	0,15	0,085	2	34,1
2	0,2	0,113	3	32,39
3	0,25	0,142	3	30,47
4	0,3	0,17	4	28,67
5	0,35	0,198	4	26,89

Оптимізація місць секціонування розподільних мереж з розосередженими джерелами енергії

Form2

ПОС 10 Михайлівка

10 24 25 26 27 28 29 30 31 32 АВР

Вузли

Навантаження | Вузлові струми | Повні вузлові струми | Значення X1 | Довжини ЛЕП і потужності вузлів | Початкові дані | Замкнута схема | 1 розімкнення | 2 розімкнення

Початок ЛЕП	Кінець ЛЕП	Довжина ЛЕП км.	Наявність лін. роз'єднувача
16	24	1	0
24	25	1,12	0
25	26	1,12	1
26	27	1	1
27	28	0,7	0
28	29	0,7	1
29	30	0,5	1
30	31	1,13	0
31	32	1,23	0
32	АВР	1,21	0

Додати

Зберегти

Завантажити

Project

Оптимізація місць секціонування розподільних мереж з розосередженими джерелами енергії

Form2

ПОС 10 Михайлівка

16 24 25 26 27 28 29 30 31 32 АВР

Вузли | Навантаження | Вузлові струми | Повні вузлові струми | Значення X1 | Довжини ЛЕП і потужності вузлів | Початкові дані | Замкнута схема | 1 розімкнення | 2 розімкнення

Довжина ЛЕП	Потужність вузлів	Марка провода	Z		
L1	1	P1	0,90	AC-50	$0,63+j*0,41$
L2	1,12	P2	0,60	AC-120	$0,3024+j*0,4368$
L3	1,12	P3	0,40	AC-35	$1,0192+j*0,48048$
L4	1	P4	-0,65	AC-50	$0,63+j*0,41$
L5	0,7	P5	0,40	AC-120	$0,189+j*0,273$
L6	0,7	P6	0,90	AC-35	$0,637+j*0,3003$
L7	0,5	P7	0,50	AC-50	$0,315+j*0,205$
L8	1,13	P8	0,09	AC-120	$0,3051+j*0,4407$
L9	1,23	P9	0,09	AC-50	$0,7749+j*0,5043$
L10	1,21	P10	ABP	AC-120	$0,3267+j*0,4719$

Розрахунок потужності

Сумарна довжина ЛЕП 9,71 км.
Сумарна потужність 3,23 МВт
Довжина 1 зони 2,12
Потужність 1 зони 1,5
Відносна довжина 1 зони 0,2183316168898
Відносна потужність 1 зони 0,464396284825

Довжина 2 зони 3,24
Потужність 2 зони 1,9
Відносна довжина 2 зони 0,33367662203913
Відносна потужність 2 зони 0,588235294117

Довжина 3 зони 4,94
Потужність 3 зони 1,65
Відносна довжина 3 зони 0,50875386199794
Відносна потужність 3 зони 0,510835913312

Довжина 4 зони 5,64
Потужність 4 зони 2,55
Відносна довжина 4 зони 0,58084449021627
Відносна потужність 4 зони 0,789473684210

Потужність ТП 0,177833646331859
Потужність ТП розподілена рівномірно
Рациональне розрахункове місце 4,855
В розрахунковій зоні КАСМ 1 - 2,12
В розрахунковій зоні КАСМ 2 - 3,24

Очистити

Зберегти

Завантажити

Оптимізація місць секціонування розподільних мереж з розосередженими джерелами енергії

Form2
ПОС 10 Михайлівка

16 24 25 26 27 28 29 30 31 32 ABP

Вузли
Навантаження
Вузлові струми
Повні вузлові струми
Значення X1
Довжини ЛЕП і потужності вузлів
Початкові дані
Замкнута схема
1 розімкнення
2 розімкнення

U_Б

10,74
10,74
10,74
10,74
10,74
10,74
10,74
10,74
10,74
10,74
10,74

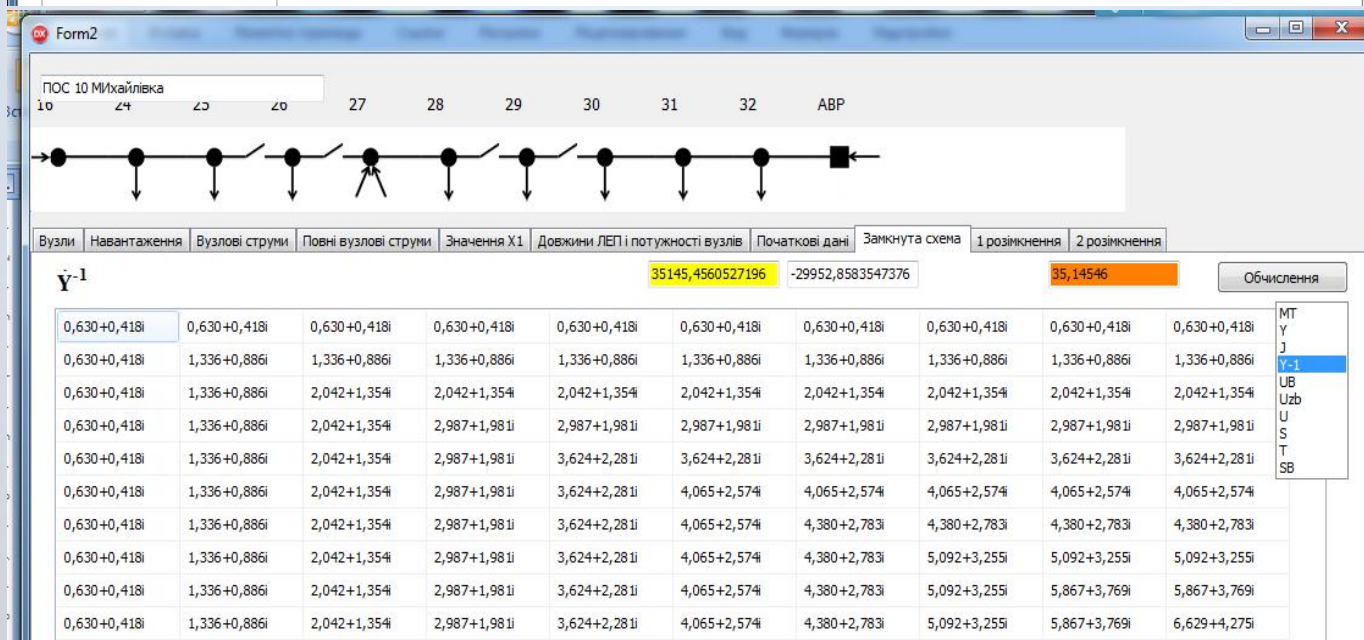
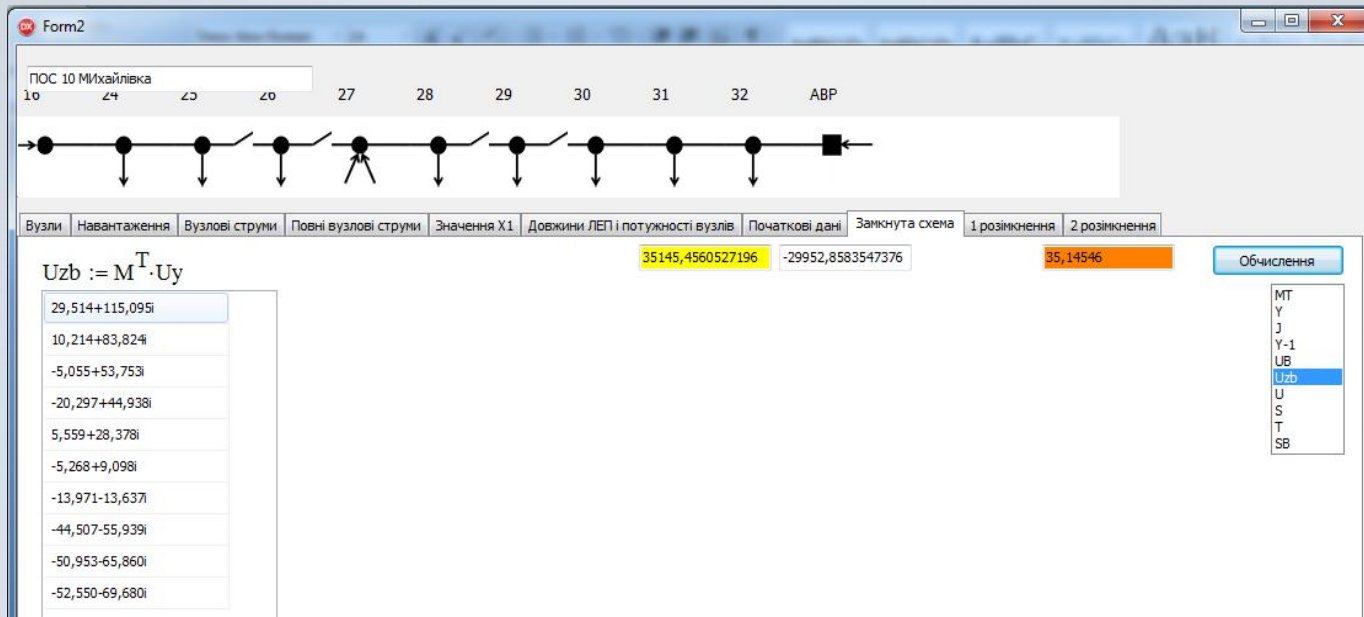
M

-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1

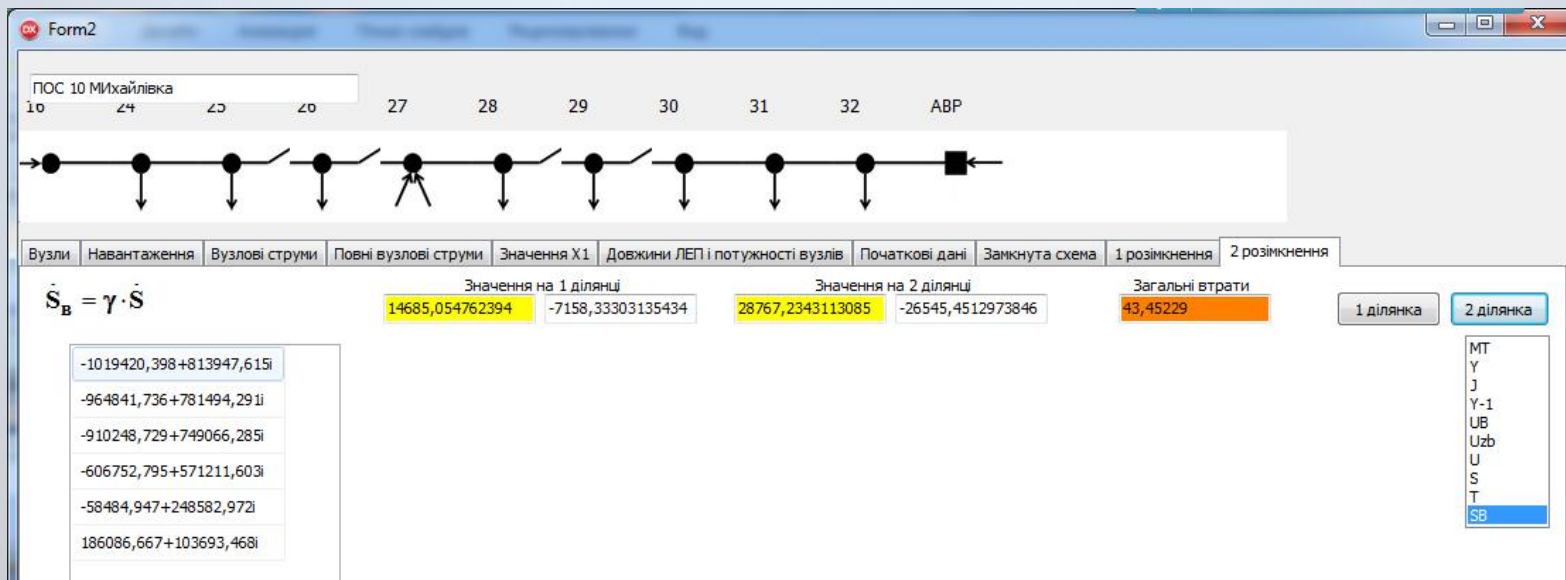
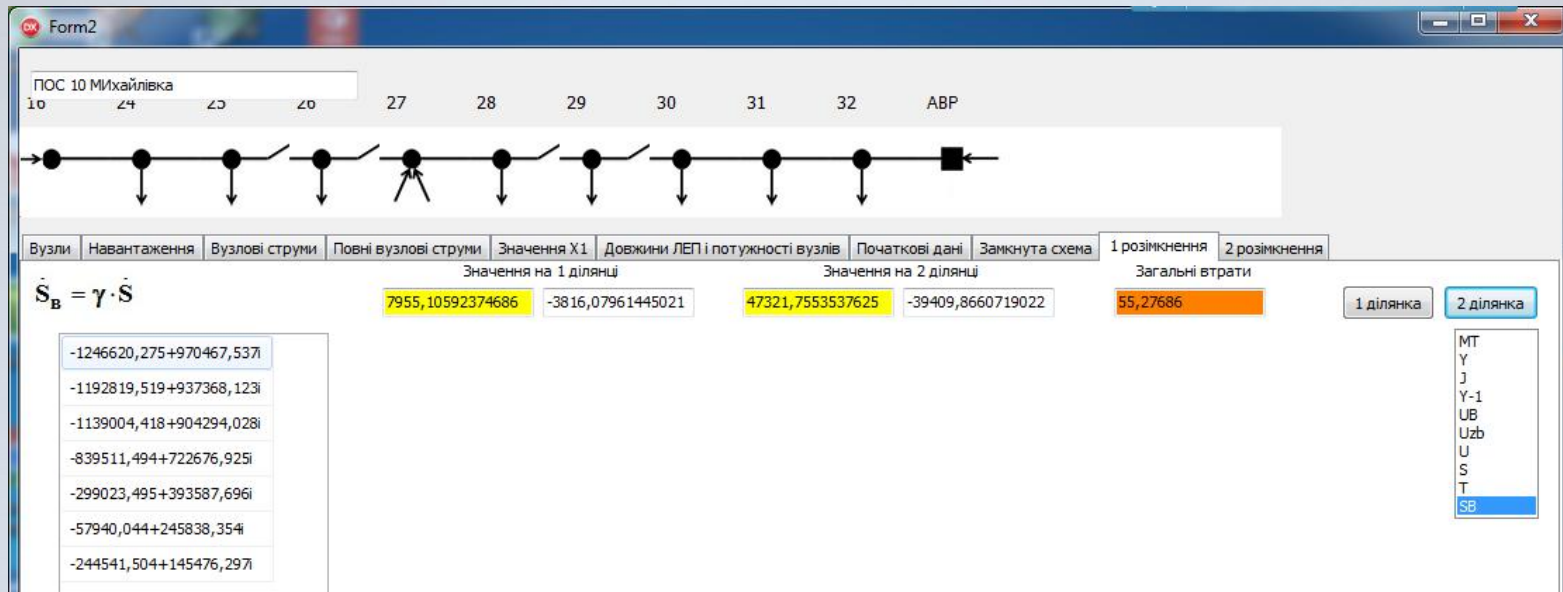
Зберегти

Завантажити

Оптимізація місць секціонування розподільних мереж з розосередженими джерелами енергії



Оптимізація місць секціонування розподільних мереж з розосередженими джерелами енергії



Ефект від встановлення КАСМ (секційного реклоузера)

Сумарний ефект протягом досліджуваного періоду:

$$IE_t = \sum_{n=1}^t \frac{E_n}{(1+D)^n} - K,$$

14.1

де E_n – ефект від впровадження реклоузера, що досягається на n -ому році, тис. грн.; t – кількість років дослідного періоду; K – капітальні вкладення, тис. грн.; D – норма дисконту.

Ефект від впровадження реклоузера:

$$E_n = (2 \cdot \delta w \cdot C_n + \delta w \cdot (C_n - C_0) + \delta w_{ГЕС} \cdot C_{ГЕС} + \delta w_{СЕС} \cdot C_{СЕС} + \Delta B) \cdot 10^{-3},$$

14.2

де δw – зниження недовідпуску за рахунок застосування реклоузера, кВт·год/рік ($\delta w_{\Sigma} = 13520$ кВт·год/рік); C_n – нормативна договірна вартість електричної енергії, грн./кВт·год; C_0 – середня вартість електричної енергії на Оптовому ринку, грн./кВт·год; $\delta w_{ГЕС}$ – зниження недовідпуску електричної енергії ГЕС за рахунок застосування реклоузера; $\delta w_{СЕС}$ – зниження недовідпуску електричної енергії СЕС за рахунок застосування реклоузера; $C_{ГЕС}$ – вартість електричної енергії ГЕС, грн./кВт·год; $C_{СЕС}$ – вартість електричної енергії СЕС, грн./кВт·год, ΔB – зменшення експлуатаційних витрат, обумовлене застосуванням реклоузера.

Зниження недовідпуску електричної енергії СЕС за рахунок застосування реклоузера $\delta w_{СЕС}$ знаходимо за виразами:

$$\Delta W_{\Sigma СЕС} = 0,93 \cdot P_{\Sigma СЕС} \cdot L_{\Sigma},$$

$$\delta w_{СЕС} = \delta w_{\Sigma}^* \cdot \Delta W_{\Sigma СЕС} = 2,511 \cdot 10^3, \text{ кВт}$$

14.3

Зниження недовідпуску електричної енергії ГЕС за рахунок застосування реклоузера $\delta w_{ГЕС}$:

$$\Delta W_{\Sigma ГЕС} = 0,93 \cdot P_{\Sigma ГЕС} \cdot L_{\Sigma},$$

$$\delta w_{ГЕС} = \delta w_{\Sigma}^* \cdot \Delta W_{\Sigma ГЕС} = 2,93 \cdot 10^3, \text{ кВт}$$

14.4

Ефект від встановлення реклоузера в лінії буде **80,576 тис. грн.** за рік, а інтегральний ефект протягом 5 років, за умови придбання реклоузера не в кредит, буде **270,878 тис.грн.** Очікуваний термін окупності капітальних вкладень не перевищує двох років

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволили отримати такі результати:

Розвинуто метод визначення раціонального місця секціонування розподільних електричних мереж з врахуванням неможливості транспортування потужності від розосереджених джерел генерування, коли є пошкодження в електричній мережі або існують обмеження щодо використання електрообладнання через їх технічний стан, це стосується, в першу чергу, комутаційних апаратів. Метод дозволяє визначити техніко-економічний ефект від встановлення додаткових комутаційних апаратів секціонування мережі та використання ВДЕ для зменшення втрат електроенергії в електричній мережі.

Показано, що в розподільних електричних мережах з розосередженим генеруванням, секціонованих у відповідності до вимог надійності, можливо і доцільно побудувати систему керування потоками потужності для зменшення втрат електроенергії під час її транспортування. Для цього доцільно залучати керовані відновлювані джерела електроенергії. В першу чергу це малі ГЕС, а також сонячні електростанції з груповим інвертором і накопичувачем електроенергії.

Розроблено метод оптимального керування потоками потужності в локальній електричній системі з різнотипними відновлюваними джерелами. Вплив на перерозподіл потоків потужності здійснюється зміною генерування потужності малих ГЕС. Для зменшення втрат електроенергії потужність ГЕС розраховується так, щоб потоки потужності в секціонованій електричній мережі наближалися до оптимальних, визначених з розрахунків режимів замкнутої мережі.

Дякую за увагу!

Доповідь закінчена