



АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ

Комар В.О., д.т.н, професор Вінницького НТУ

Лесько Владислав Олександрович, к.т.н., доцент Вінницького НТУ

Нетребський Володимир Васильович, к.т.н., доцент Вінницького НТУ

Луців П.Д., аспірант Вінницького НТУ



ЗАКОН УКРАЇНИ

Про ринок електричної енергії

(прийняття від 13.04.2017)

Стаття 18. *Якість електропостачання*

1. Регулятор визначає перелік показників *якості електропостачання*, які характеризують рівень надійності (безперервності) електропостачання, комерційної якості надання послуг з передачі, розподілу та постачання електричної енергії, а також якість електричної енергії, та затверджує їх величини.

Перелік показників, які характеризують надійність електропостачання та комерційну якість надання послуг визначаються Постановою НКРЕКП від 23.03.2017 № 345 Про затвердження форм звітності № 11-НКРЕКП (квартальна) «Звіт щодо показників надійності електропостачання» та № 12-НКРЕКП (квартальна) «Звіт щодо показників комерційної якості надання послуг» та інструкцій щодо їх заповнення.

ДСТУ EN 50160:2014 - Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності

Проект СТАНДАРТУ - ВИМОГИ ДО ВІТРОВИХ ТА СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ПРИ ЇХНІЙ РОБОТІ ПАРАЛЕЛЬНО З ОБ'ЄДНАНОЮ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ УКРАЇНИ

Замовник - ДП «НЕК «Укренерго»

ВАРІАНТИ ПРИЄДНАННЯ ВДЕ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

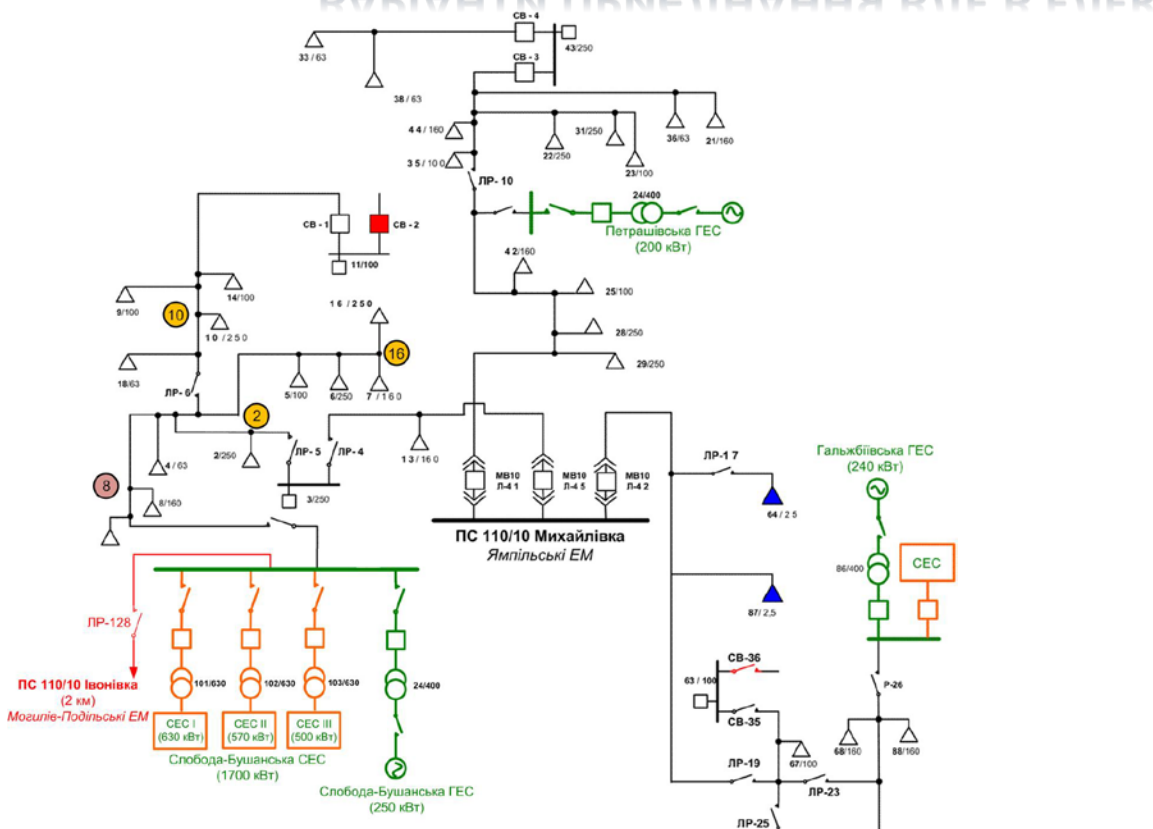


Рисунок 1 – Фрагмент електричної мережі 10 кВ з ВДЕ

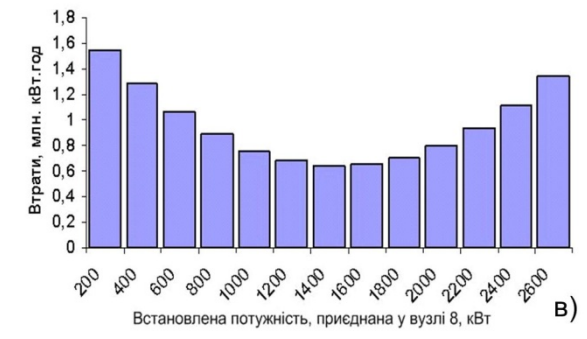
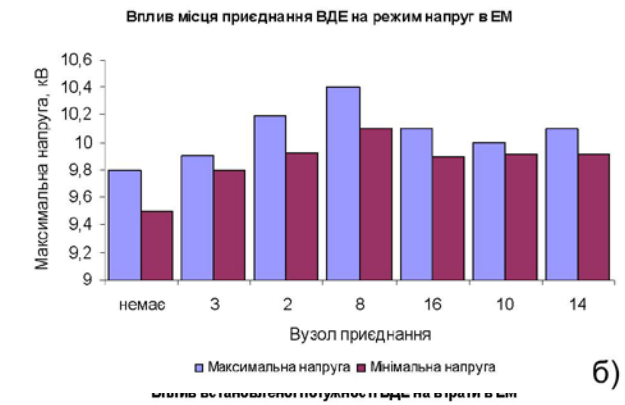
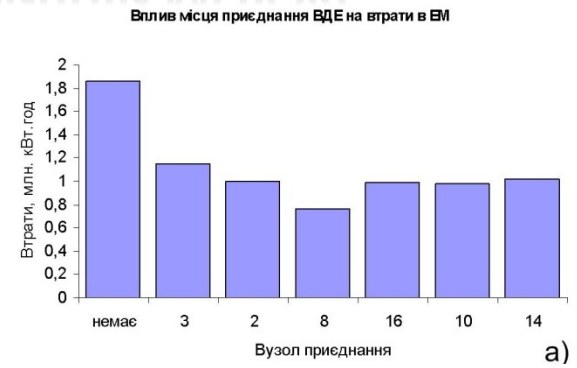


Рисунок 2 – Залежності втрат електроенергії і значення напруги від потужності джерела енергії у вузлі 8

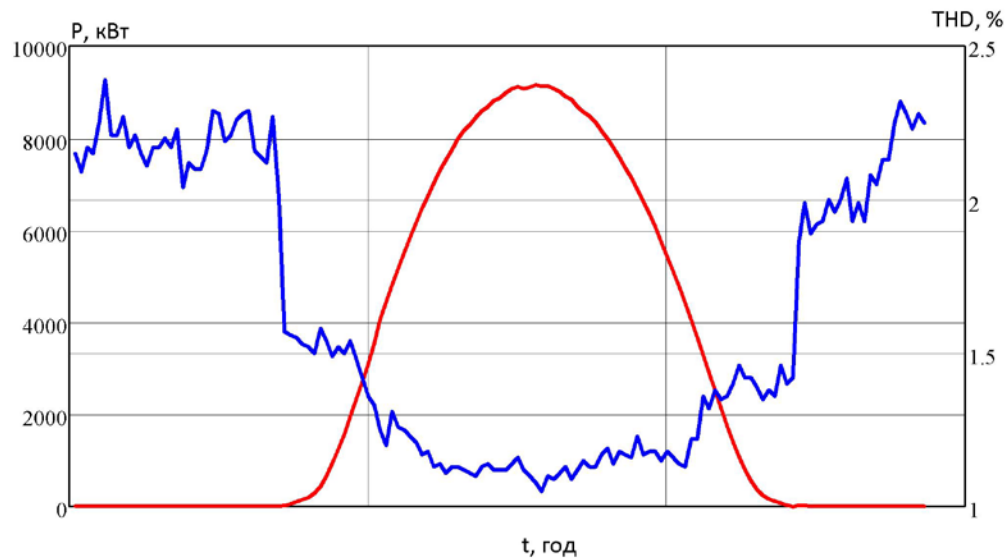


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта сумарних спотворень синусоїди напруги THD (синя крива) від завантаження (генерована потужність – червона крива)

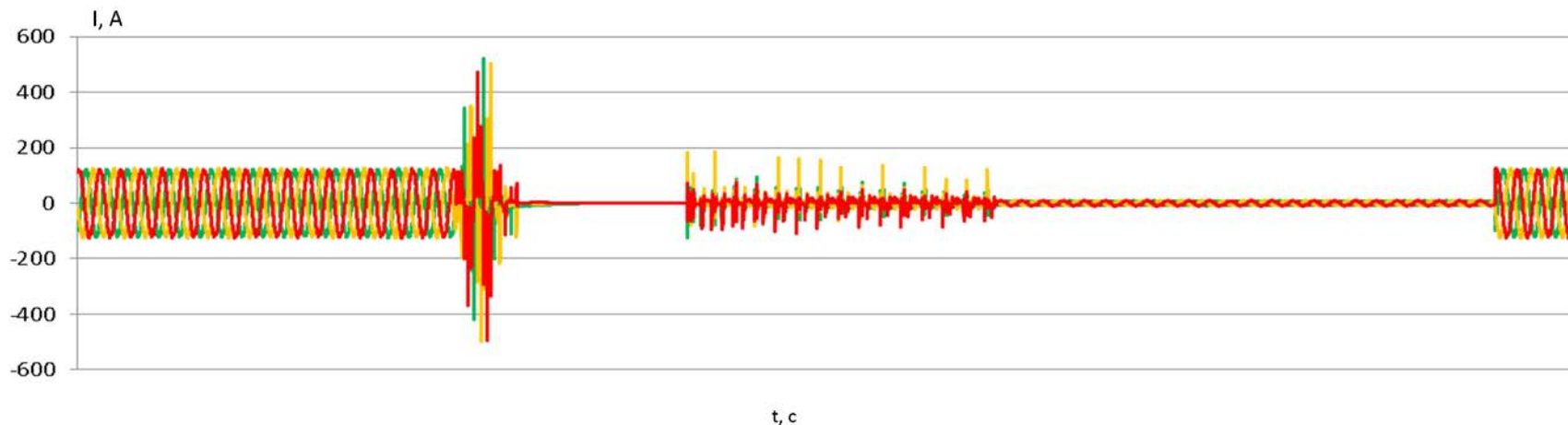
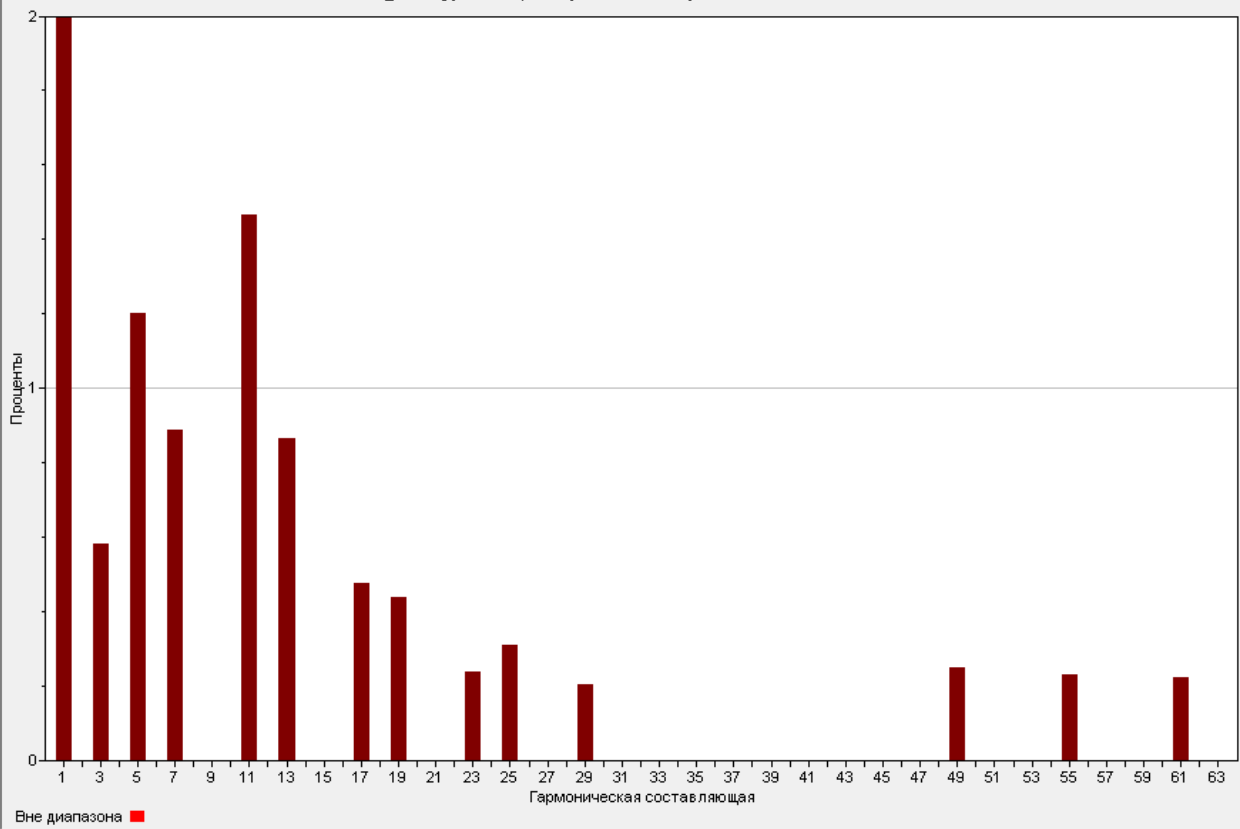


Рисунок 2 – Зміна струму під час виконання комутації

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА»

PM_175 Журнал осциллограмм #1 Спектр V1 12/11/18 10:28:00.605



Гармоники					
	HD%	V		HD%	V
H02	0	0	H03	0.58	0.34
H04	0	0	H05	1.20	0.70
H06	0	0	H07	0.89	0.52
H08	0	0	H09	0	0
H10	0	0	H11	1.47	0.86
H12	0	0	H13	0.87	0.51
H14	0	0	H15	0	0
H16	0	0	H17	0.48	0.28
H18	0	0	H19	0.44	0.26
H20	0	0	H21	0	0
H22	0	0	H23	0.24	0.14
H24	0	0	H25	0.31	0.18
H26	0	0	H27	0	0
H28	0	0	H29	0.20	0.12
H30	0	0	H31	0	0
H32	0	0	H33	0	0
H34	0	0	H35	0	0
H36	0	0	H37	0	0
H38	0	0	H39	0	0
H40	0	0	H41	0	0
H42	0	0	H43	0	0
H44	0	0	H45	0	0
H46	0	0	H47	0	0
H48	0	0	H49	0.25	0.15
H50	0	0	H51	0	0
H52	0	0	H53	0	0
H54	0	0	H55	0.23	0.14
H56	0	0	H57	0	0
H58	0	0	H59	0	0
H60	0	0	H61	0.22	0.13
H62	0	0	H63	0	0

Напряжение V1
 RMS: 58.22 V
 H01 RMS: 58.19 V

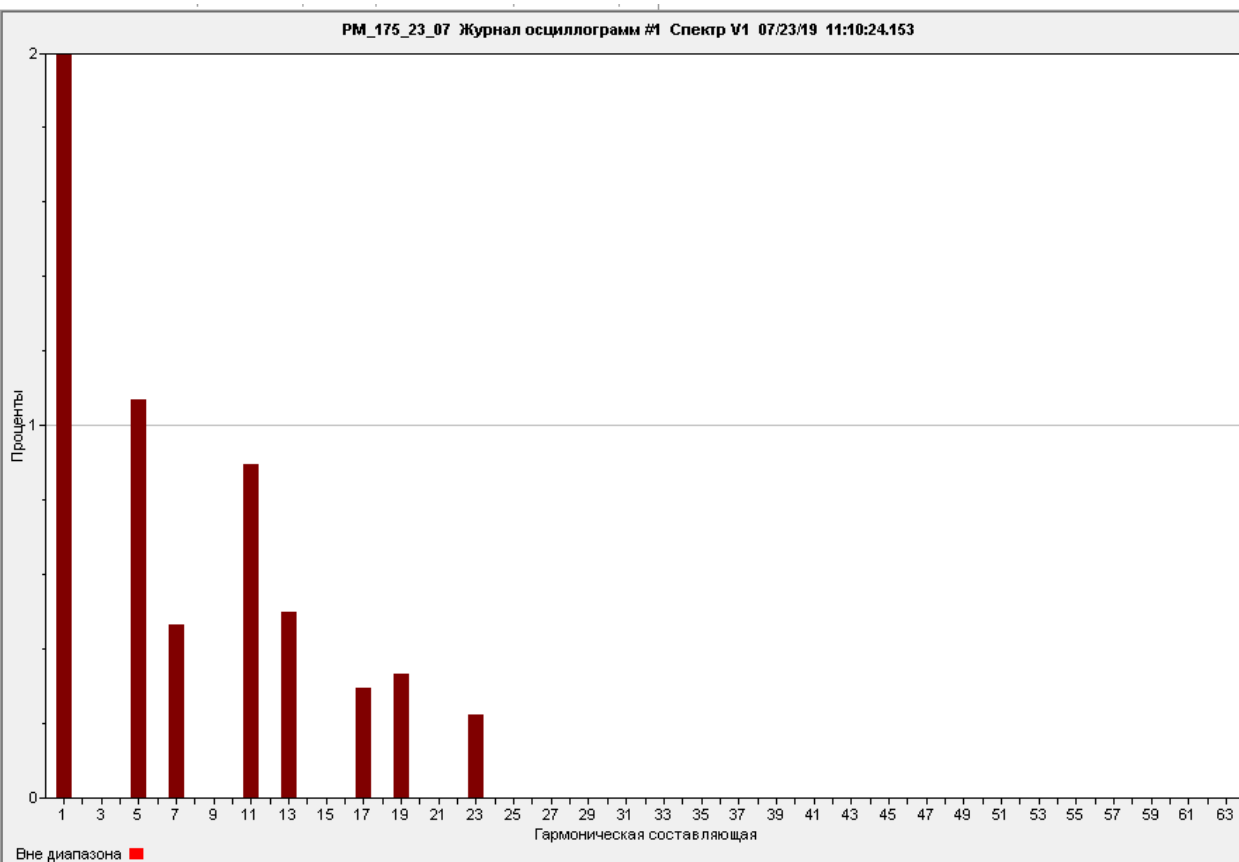
ОБЩИЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ
 КИС: 2.6%
 Нечётные гармоники: 2.6%
 Чётные гармоники: 0.1%
 Интергармоники: 0.1%

Крест-фактор: 1.40
 Форм-фактор: 1.11

Частота: 49.99 Hz

Рисунок 1 – Діаграма вмісту гармонік в напрузі вторинної обмотки трансформатора напруги першої секції підстанції «Заозерна» 10 кВ отримані приладом РМ – 175

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА»



Гармоники					
	HD%	V		HD%	V
H02	0	0	H03	0	0
H04	0	0	H05	1.07	0.63
H06	0	0	H07	0.47	0.27
H08	0	0	H09	0	0
H10	0	0	H11	0.90	0.53
H12	0	0	H13	0.50	0.30
H14	0	0	H15	0	0
H16	0	0	H17	0.30	0.18
H18	0	0	H19	0.33	0.20
H20	0	0	H21	0	0
H22	0	0	H23	0.23	0.13
H24	0	0	H25	0	0
H26	0	0	H27	0	0
H28	0	0	H29	0	0
H30	0	0	H31	0	0
H32	0	0	H33	0	0
H34	0	0	H35	0	0
H36	0	0	H37	0	0
H38	0	0	H39	0	0
H40	0	0	H41	0	0
H42	0	0	H43	0	0
H44	0	0	H45	0	0
H46	0	0	H47	0	0
H48	0	0	H49	0	0
H50	0	0	H51	0	0
H52	0	0	H53	0	0
H54	0	0	H55	0	0
H56	0	0	H57	0	0
H58	0	0	H59	0	0
H60	0	0	H61	0	0
H62	0	0	H63	0	0

Напряжение V1

RMS: 58.89 V
H01 RMS: 58.87 V

ОБЩИЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ

КИС: 1.7%
Нечётные гармоники: 1.7%
Чётные гармоники: 0.2%
Интергармоники: 0.2%Крест-фактор: 1.44
Форм-фактор: 1.11

Частота: 50.00 Hz

Рисунок 1 – Діаграма вмісту гармонік в напрузі вторинної обмотки трансформатора напруги першої секції підстанції «Заозерна» 35 кВ отримані приладом РМ – 175

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА»

Параметр			Максимальное значение		
	Единица измерения	50160_61000-2-2.gwd	L1	L2	L3
Колебания напряжения		35000.00V			
Максимум 100% / 95%	% [Un]	+10.00/+10.00	10.41	10.87	9.60
Минимальный 100% / 95%	% [Un]	-10.00/-10.00	6.71	6.94	5.57
Прерывания < 1%	Количество	100	0	0	0
События	Количество	100	2973	10123	0
Гармоники напряжения					
5. Гармоника	% [Un]	6.00	1.15	1.10	
9. Гармоника	% [Un]	1.50			0.43
Гармоники тока	A			Нет	
фликер Plt	Plt	1.000	0.626	0.632	0.625
Небаланс U	%	2.00		Не определена	
Сигнальное напряжение	% [Un]			Нет	
Частота		50 Hz			
Максимум 100% / 99.5%	%	+4/+1		0.20	
Минимальный 100% / 99.5%	%	-6/-1		-0.20	

Рисунок 1 – Таблична екранна заставка граничних значень відхилень контрольованих напруг (не більше ніж 0,5% значень напруги більше максимального граничного значення – затушовані синіми лініями)

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ ПАТ «ВКВК» ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА»

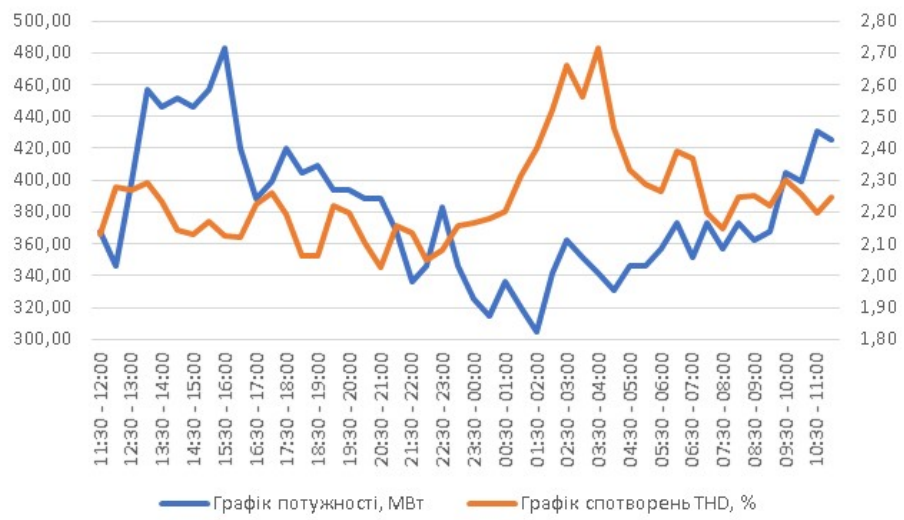


Рисунок 1 – Графіки зміни потужності навантаження ПС 35/10 кВ «ВФС» та спотворень за напругою THD

Рисунок 2 – Графіки зміни потужності навантаження ПС 35/10 кВ «Маньківка» та спотворень за напругою THD

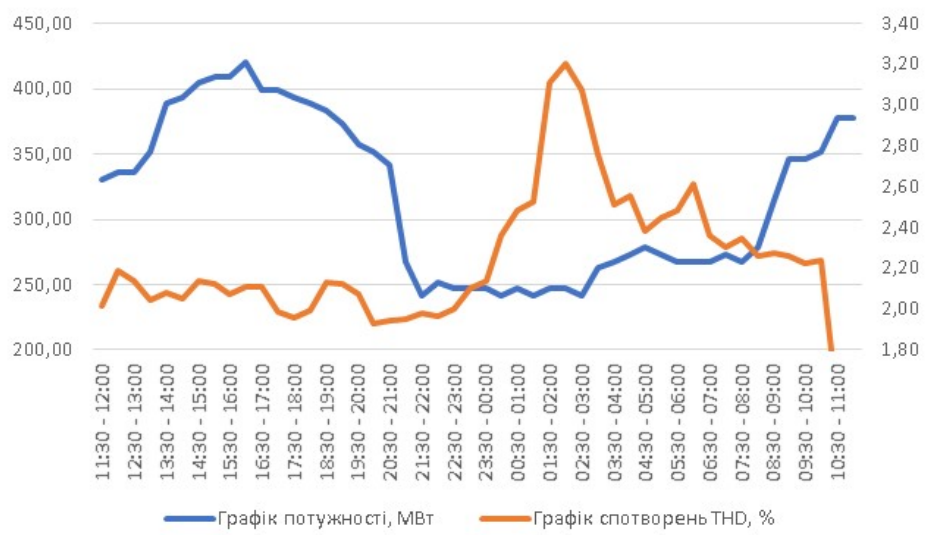
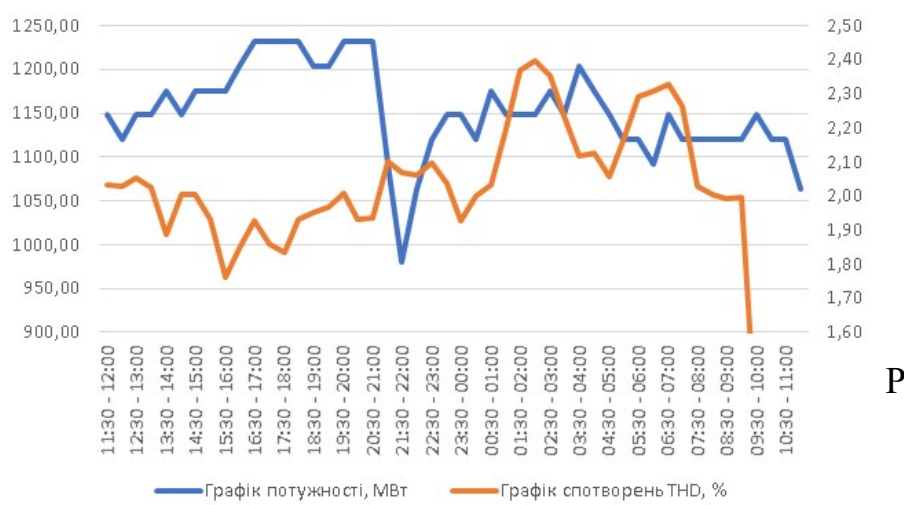


Рисунок 3 – Графіки зміни потужності навантаження ПС 35/10 кВ «Холодівка» та спотворень за напругою THD

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА СТОРОНІ 0,4 КВ ТА 10 КВ ТРАНСФОРМАТОРА ТМГ 1000/10 У1.

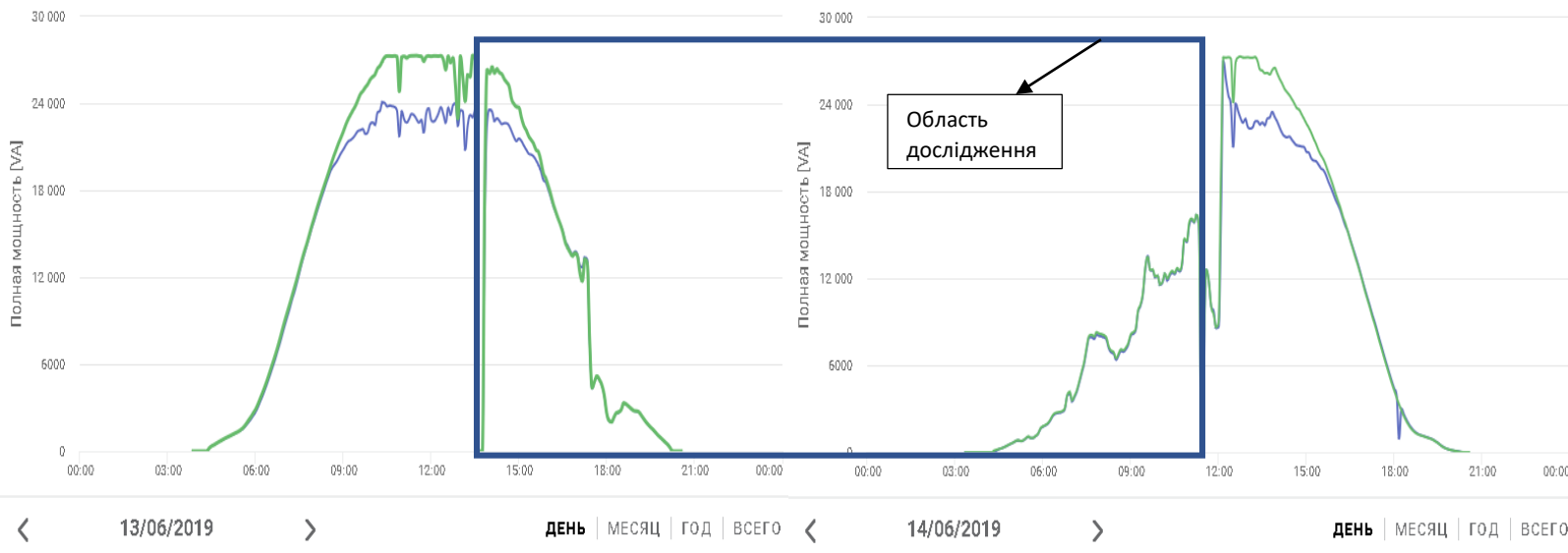


Рисунок 1 – Область дослідження

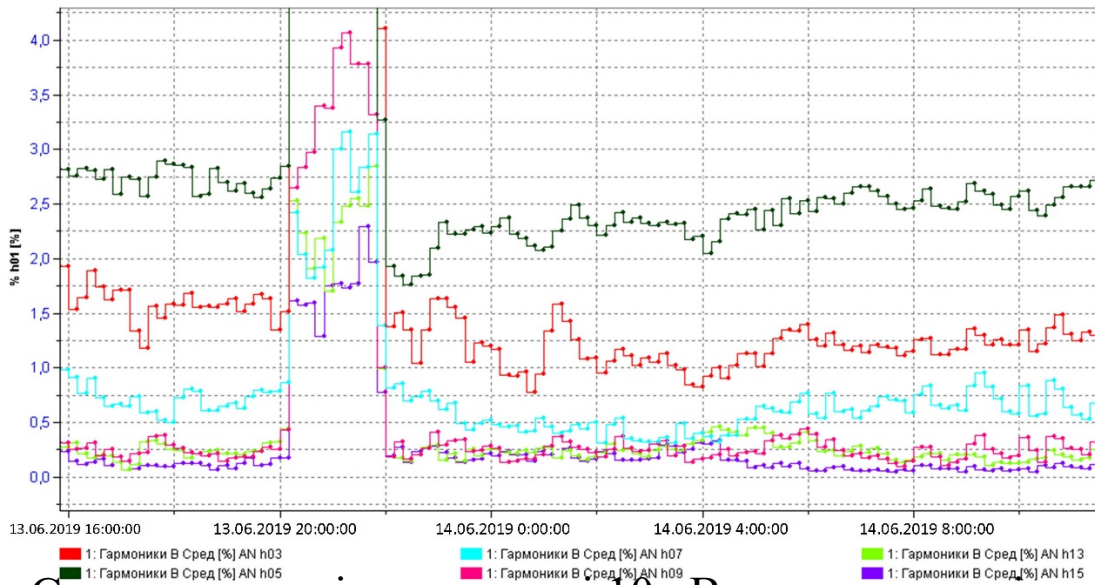


Рисунок 2 – Спектр гармонік на стороні 10 кВ протягом вимірювального періоду

РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА СТОРОНІ 0,4 КВ ТА 10 КВ ТРАНСФОРМАТОРА ТМГ 1000/10 У1.

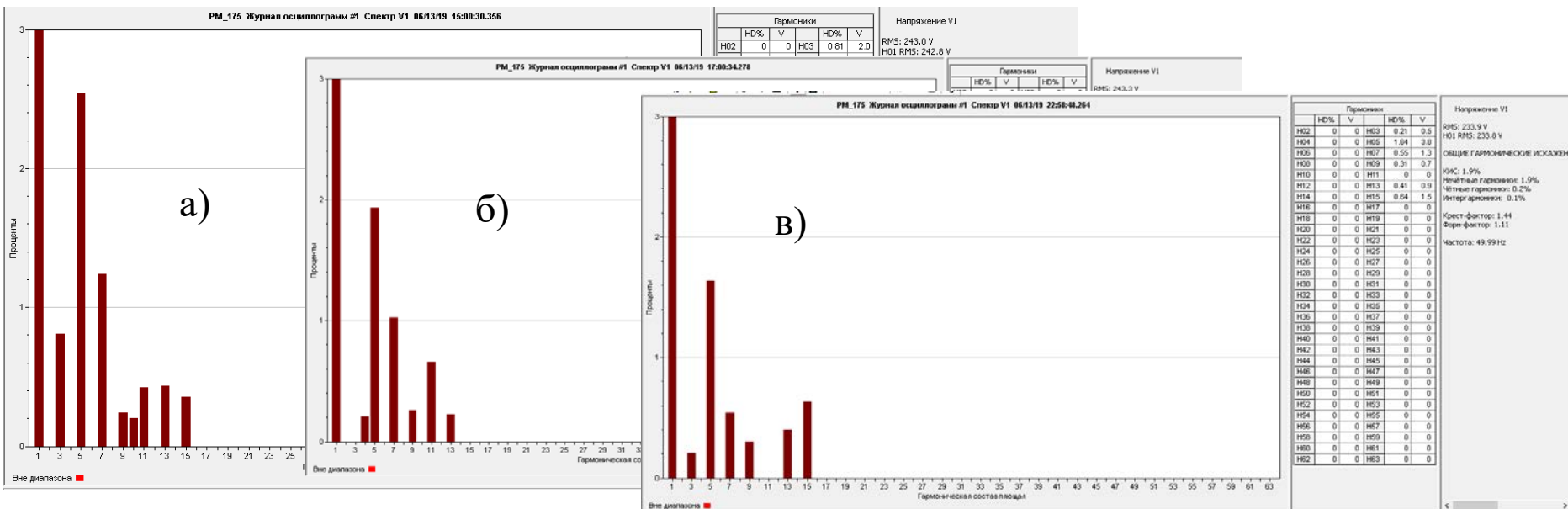


Рисунок 1 – а) спектр гармонік о 15:00 на стороні 0,4 кВ; б) спектр гармонік о 17:00 на стороні 0,4 кВ; в) спектр гармонік о 22:58 на стороні 0,4 кВ

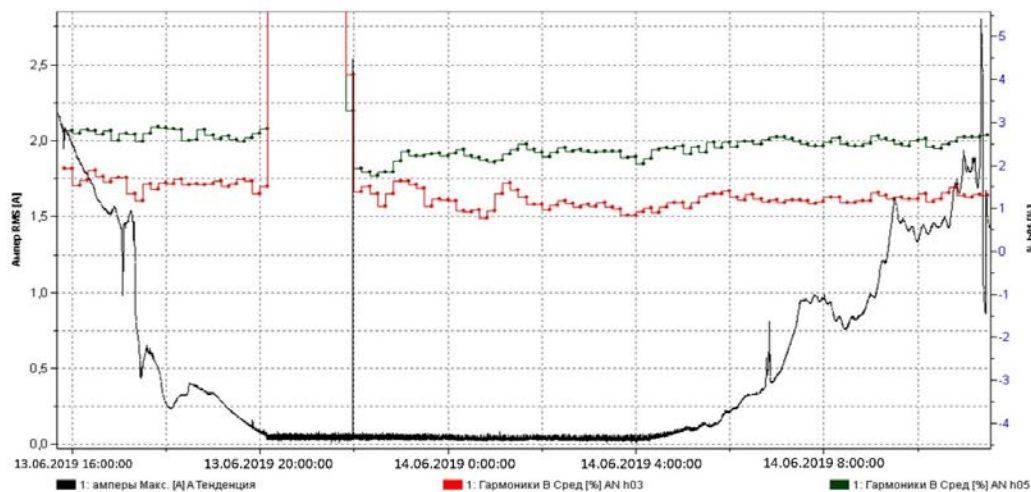


Рисунок 2 – Спектр гармонік на стороні 10 кВ протягом вимірювального періоду

РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ ЕМ 10 ТА 35 КВ ЗА УМОВИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ПЕРШОЇ ТА ДРУГОЇ ЧЕРГИ КОГЕНЕРАЦІЇ, 5 МВт ТА 2Х7 МВт ФЕС ДЛЯ ГРАФІКА МАКСИМАЛЬНО НАВАНТАЖЕННЯ.

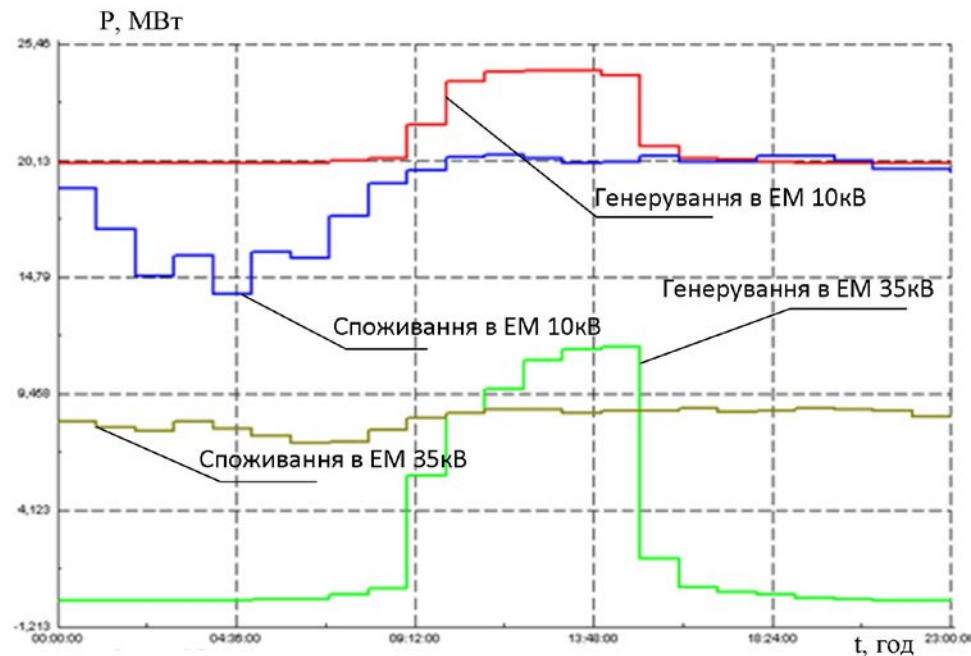


Рисунок 1 – Сумарні графіки генерування та споживання ЕМ 10 кВ та 35 кВ

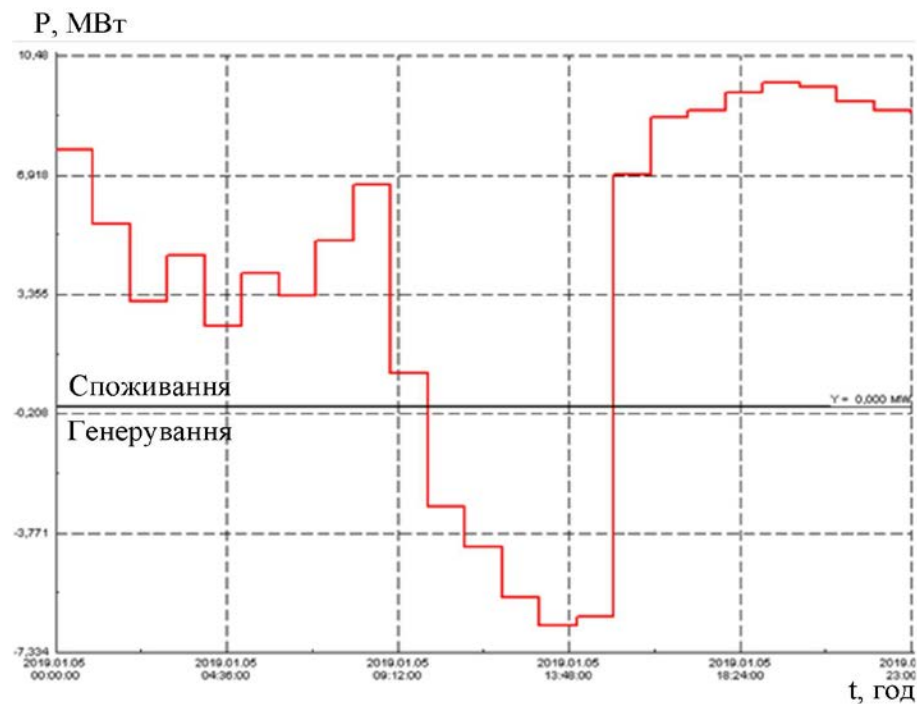


Рисунок 2 – Перетікання по шині 110 кВ ПС110/35/10кВ "Заозерна"

DlgSILENT PowerFactory 15.1 - [Графика : Схемы\Vinn.IntGrfnet]

Файл Правка Вид Создать Данные Расчет Вывод



Исследование

07.02.2106 8:28:1

Исследование

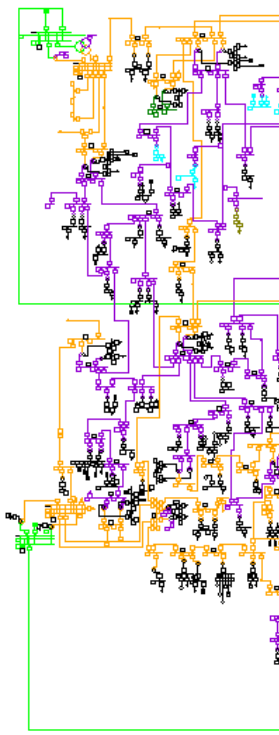
Оперативный Сценарий

Backup_ComStatsir

Максимальні навант

Сети [1 активно]

Vinn



O PowerFactory - alntDigvs.IntDigvs



PowerFactory 15.1.7 (x86)

Моделирование и расчет сетей

Функции

Базовый пакет PowerFactory
 Электромеханический п-п (RMS)
 Пуск двигателей
 Электромагнитный п-п (EMT)
 Модальный Анализ / Собственные числа
 Гармонический анализ/Качество ээ.
 Дистанционная защита
 Токовая защита
 Оптимизация по Q (OPF 1)
 Оптимизация по Q и P (OPF 2)
 Определение параметров оборудования
 Анализ надежности
 Многопользовательская БД
 Оптимизация Распределительной сети
 Оценка состояния
 CIM импорт (профиль ENTSO-E)
 CIM экспорт (профиль ENTSO-E)
 CIM распределенный импорт
 CIM распределенный экспорт
 Расчет вспышки э.дуги
 Выбор парам. КЛ
 Корпоративные модули
 Корпоративные модули

Опции

Язык программирования DSL, PSS/E Export
 OPC интерфейс
 неограниченное число шин
 LiSe 6.01.4 (Workstation)

Лицензия для программы предоставлена ALL

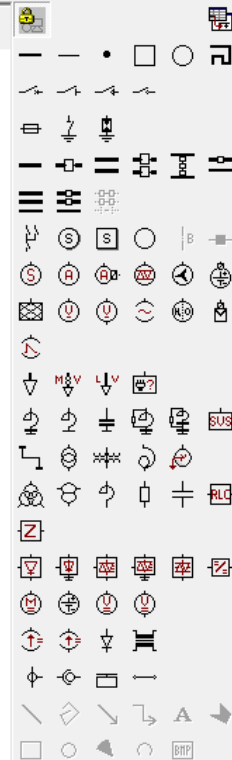
Авторские права DlgSILENT GmbH (C) 1986 - 2014
 4011/24690

Инфо

Сайт <http://www.digsilent.de>

Для клиентов <https://support.digsilent.de>

C



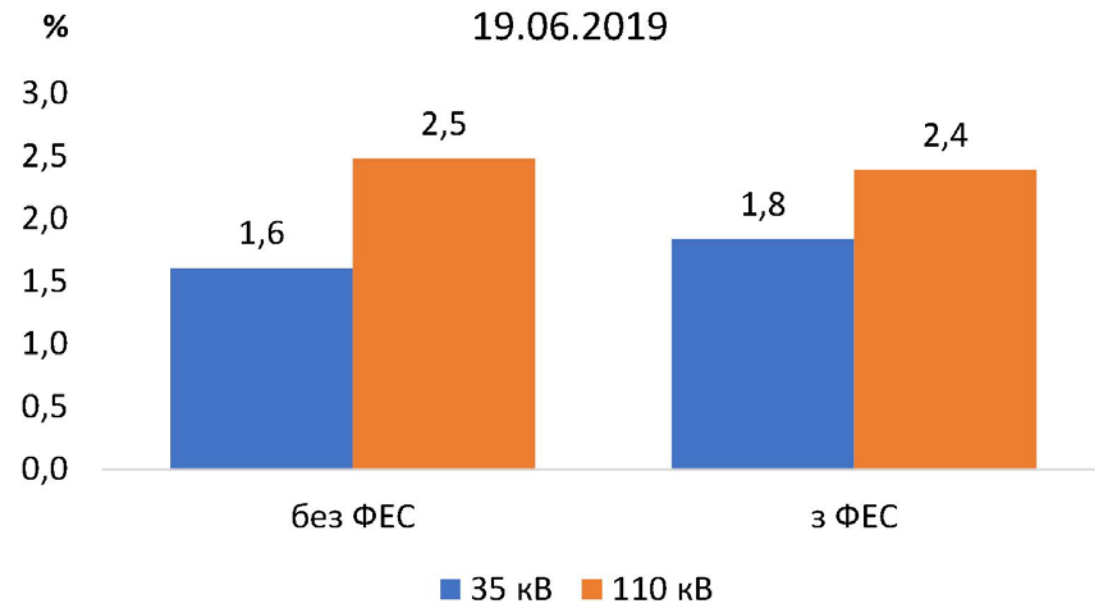
Квазидинамическое

DB 128055 07.02.2106 8:28:15

Vinnoblenergo_Summer

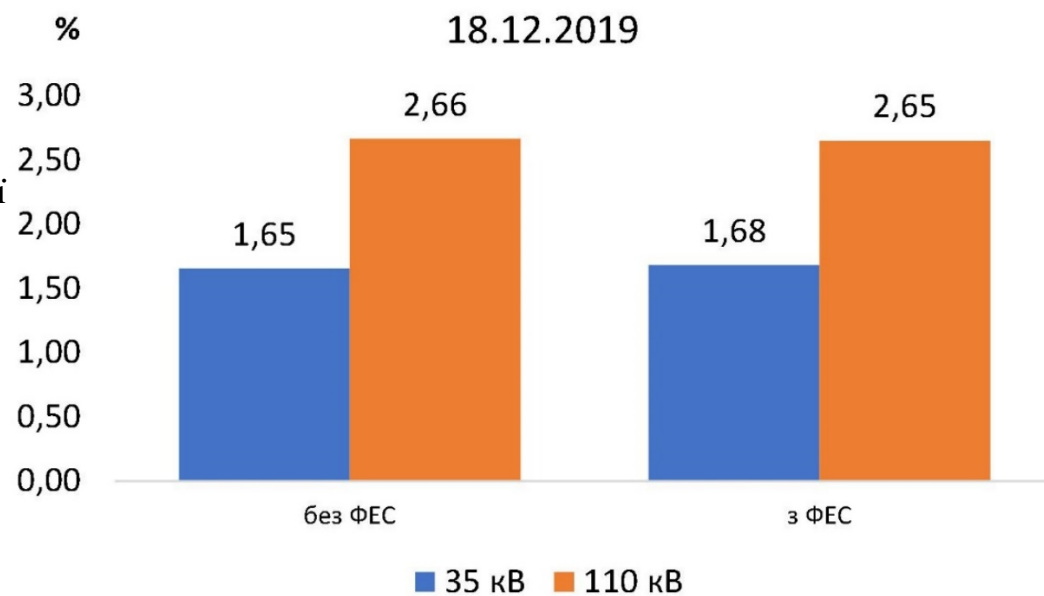


ЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 110 КВ ТА 35 КВ У ВІДСОТКАХ ВІД СУМАРНОГО СПОЖИВАННЯ



Рисунки 1 – Відсоткове значення втрат електричної енергії в мережах 110 кВ та 35 кВ для 19.06.2019

Рисунки 2 – Відсоткове значення втрат електричної енергії в мережах 110 кВ та 35 кВ для 18.12.2019



ЗМІНА СУМАРНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 110 КВ

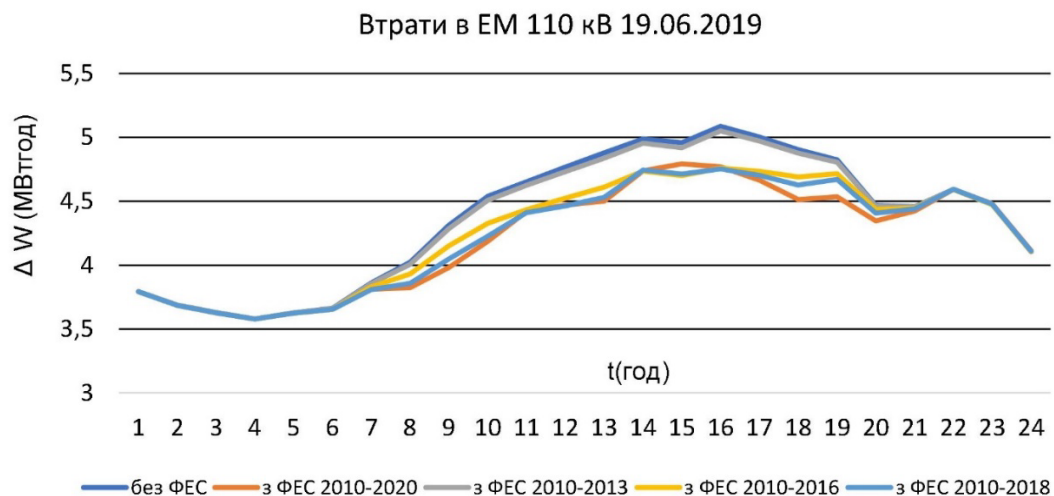
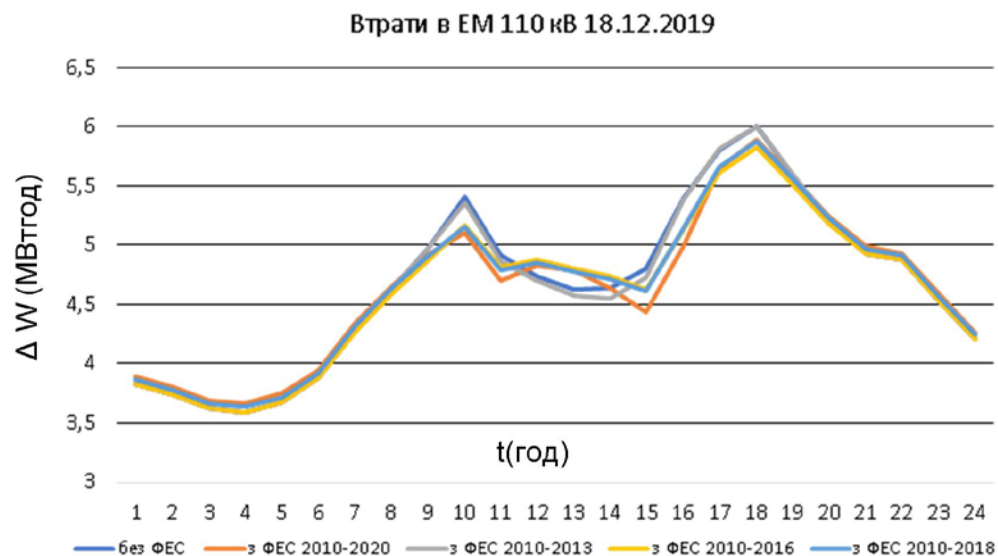


Рисунок 1 – Зміна сумарних втрат електричної енергії в мережах 110 кВ протягом 19.06.2019

Рисунок 2 – Зміна сумарних втрат електричної енергії в мережах 110 кВ протягом 18.12.2019



ЗМІНА ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ МЕРЕЖ 110 кВ

Втрати активної потужності в трансформаторах ЕМ 110 кВ
19.06.2019

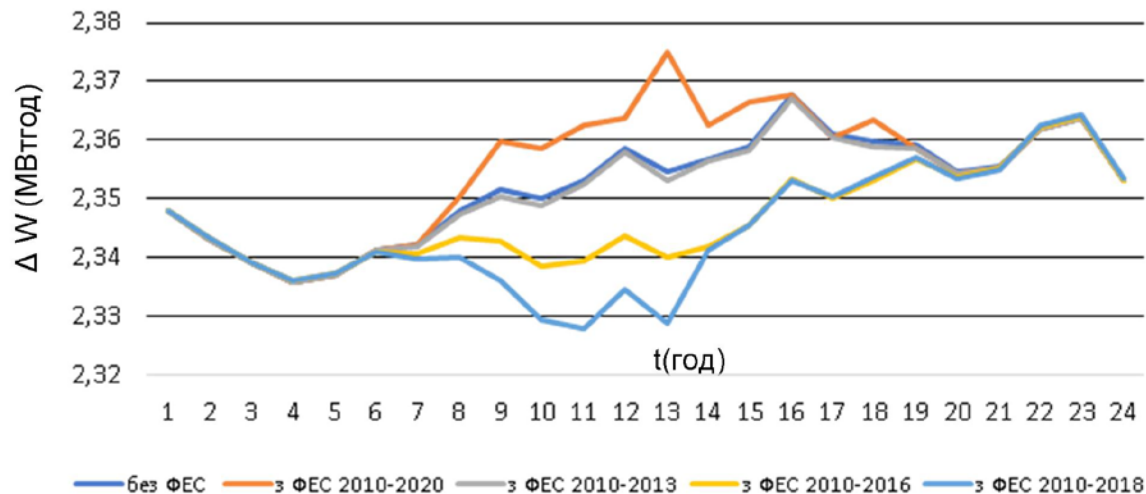


Рисунок 1 – Зміна втрат електричної енергії силових трансформаторах мереж 110 кВ протягом 19.06.2019

Втрати активної потужності в трансформаторах ЕМ 110 кВ
18.12.2019

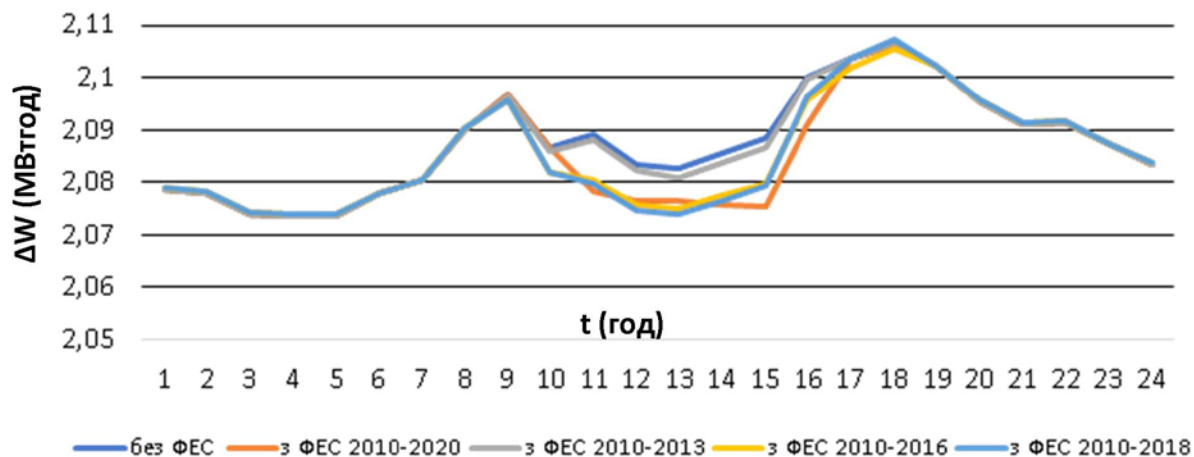


Рисунок 2 – Зміна втрат електричної енергії силових трансформаторах мереж 110 кВ протягом 18.12.2019

ЗМІНА СУМАРНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 35 кВ

Втрати в ЕМ 35 кВ 19.06.2019

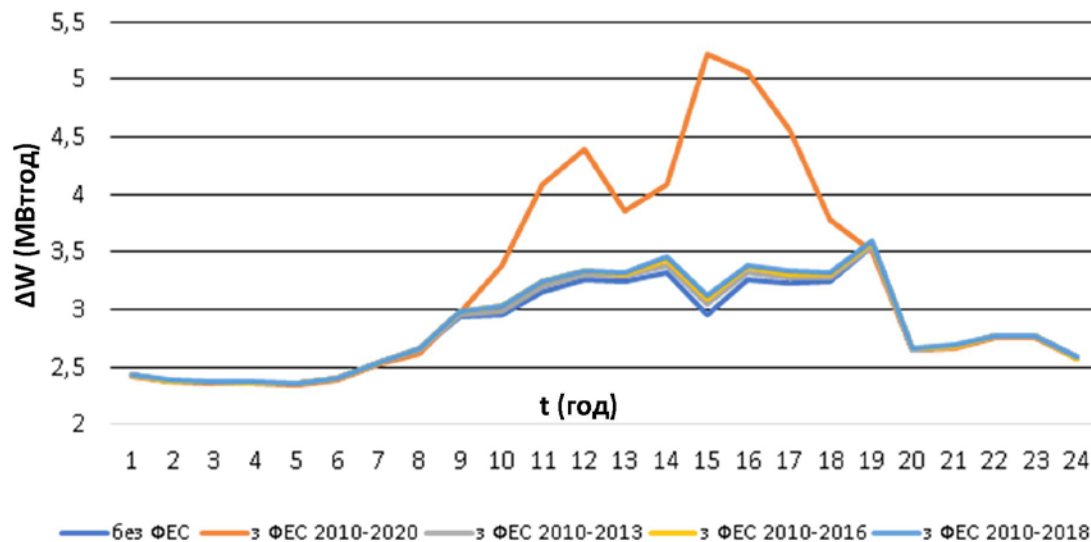
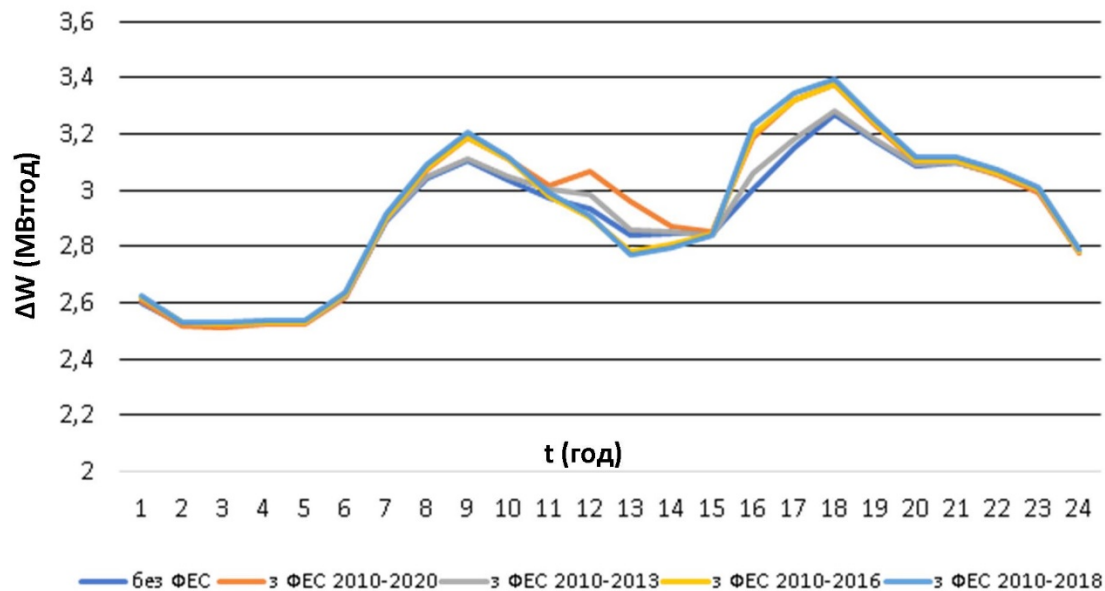


Рисунок 1 – Зміна сумарних втрат електричної енергії в мережах 35 кВ протягом 19.06.2019

Рисунок 2 – Зміна сумарних втрат електричної енергії в мережах 35 кВ протягом 18.12.2019

Втрати в ЕМ 35 кВ 18.12.2019



ЗМІНА ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ МЕРЕЖ 35 кВ

Втрати активної потужності в трансформаторах ЕМ 35 кВ
19.06.2019

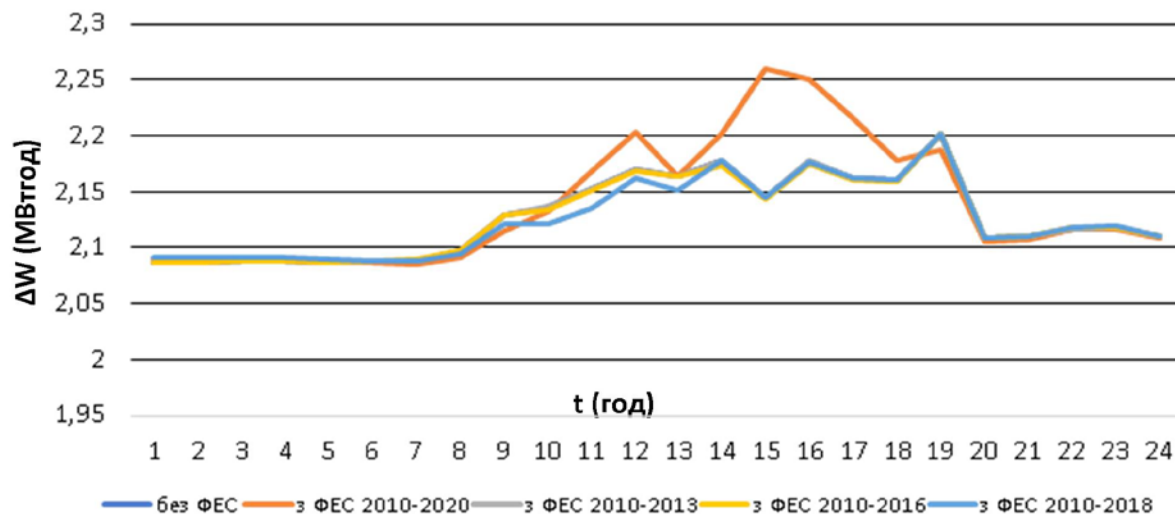


Рисунок 1– Зміна втрат електричної енергії силових трансформаторах мереж 35 кВ протягом 19.06.2019

Втрати активної потужності в трансформаторах ЕМ 35 кВ
18.12.2019

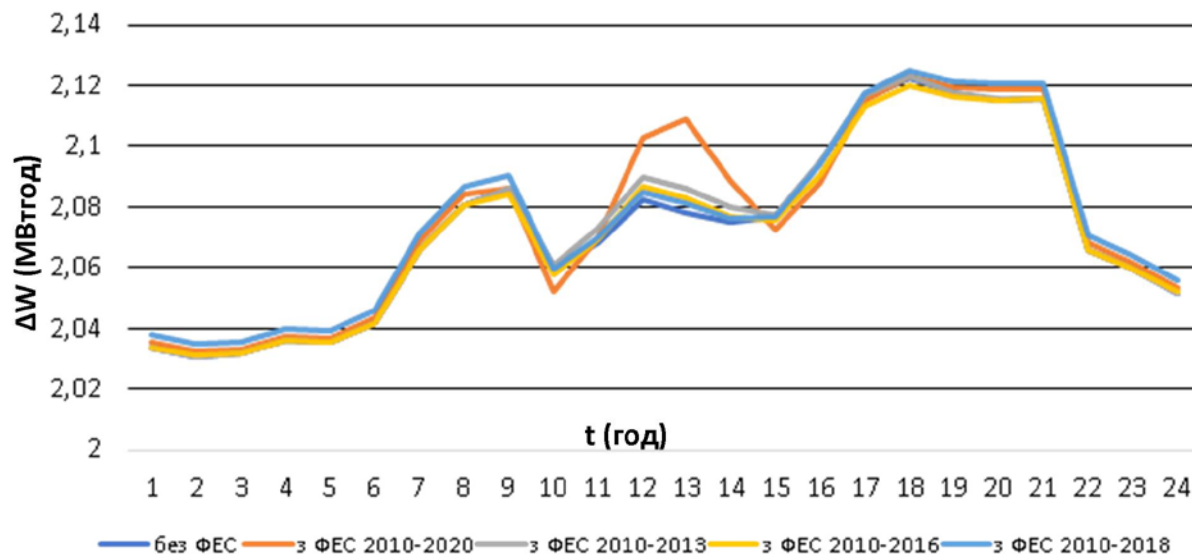


Рисунок 2 – Зміна втрат електричної енергії силових трансформаторах мереж 35 кВ протягом 18.12.2019

ЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 110 КВ І 35 КВ ВІДПОВІДНИХ РАЙОНІВ

Втрати електроенергії по ЕМ АТ"Вінницяобленерго"

19.06.2019

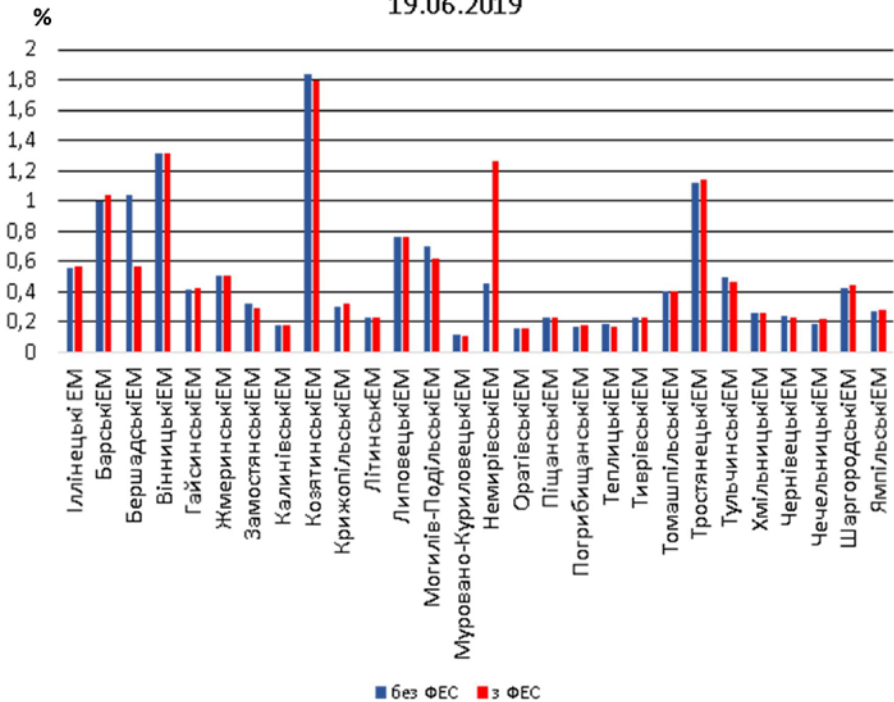


Рисунок 1 – Відсоткове значення втрат електричної енергії в районних електричних мережах для 19.06.2019

Втрати електроенергії по ЕМ АТ"Вінницяобленерго"

18.12.2019

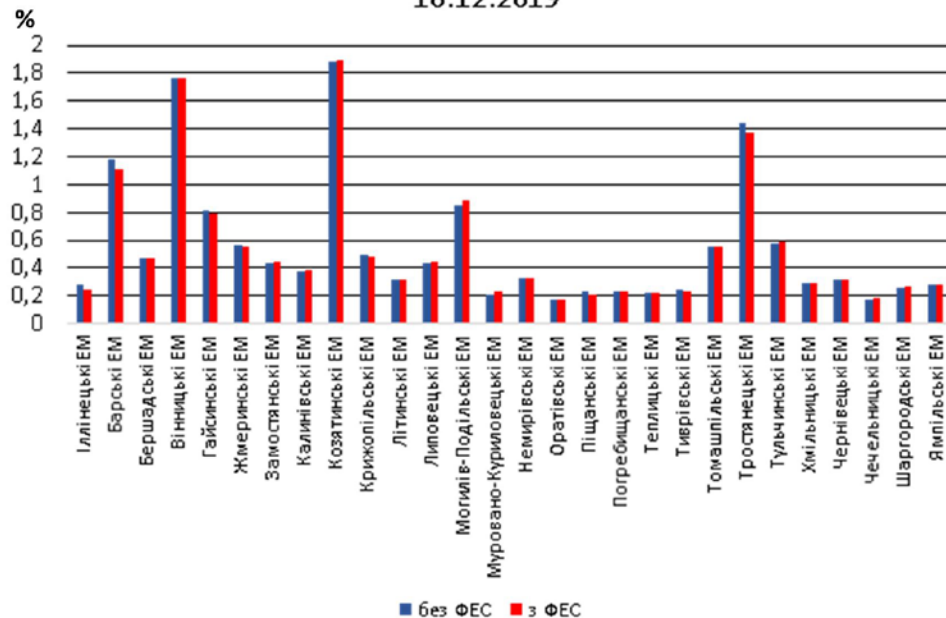


Рисунок 2 – Відсоткове значення втрат електричної енергії в районних електричних мережах для 18.12.2019

ЗМІНА СУМАРНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 110 /35 КВ БАРСЬКОГО РАЙОНУ

Барські ЕМ 19.06.2019

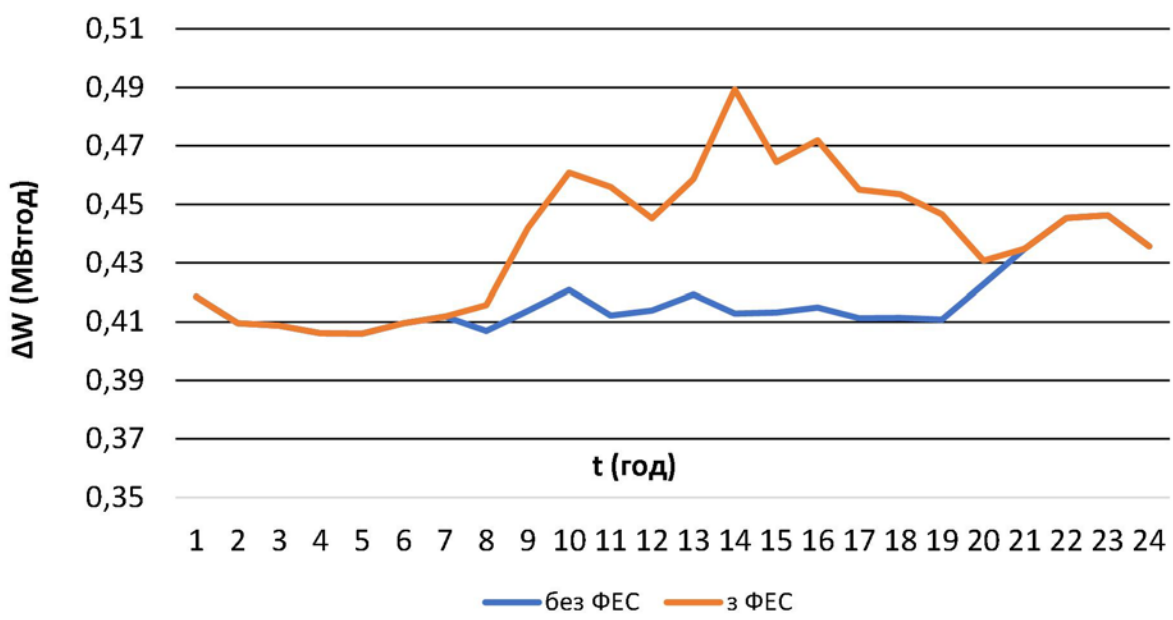
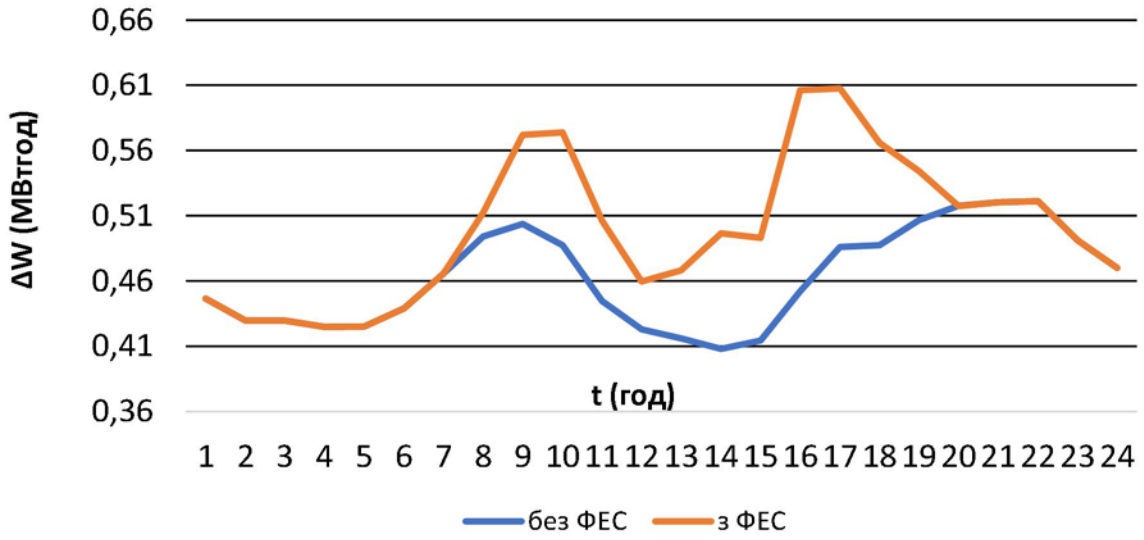


Рисунок 1 – Зміна сумарних втрат електроенергії в Барських ЕМ протягом 19.06.2019

Рисунок 2 – Зміна сумарних втрат електроенергії в Барських ЕМ протягом 18.12.2019

Барські ЕМ 18.12.2019



ЗМІНА ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТРАНСФОРМАТОРАХ 110 /35 КВ БАРСЬКОГО РАЙОНУ

Барські ЕМ 19.06.2019

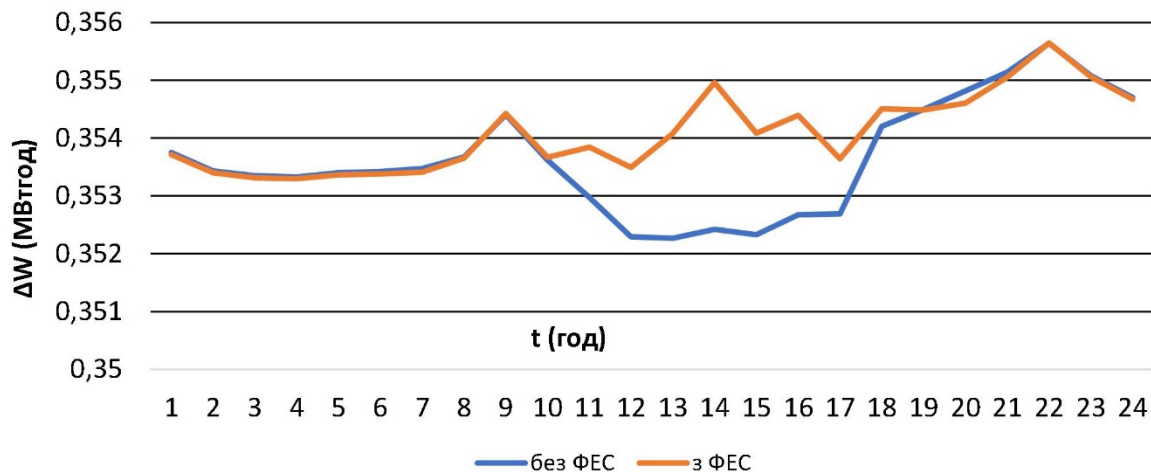


Рисунок 1 – Зміна втрат електроенергії в трансформаторах Барських ЕМ протягом 19.06.2019

Барські ЕМ 18.12.2019

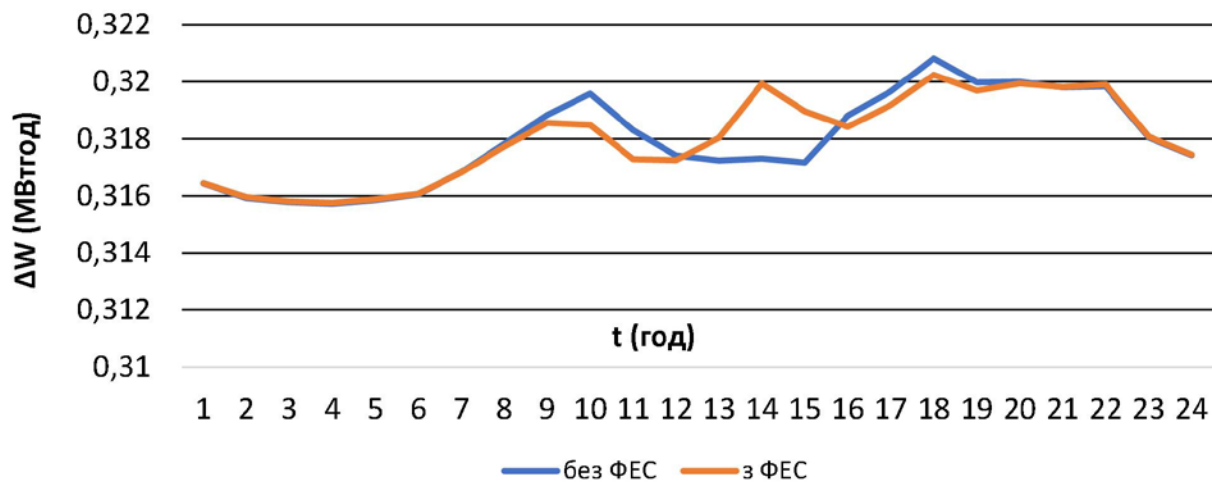


Рисунок 2 – Зміна втрат електроенергії в трансформаторах Барських ЕМ протягом 18.12.2019

ЗМІНА СУМАРНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ 110 /35 КВ БЕРШАДСЬКОГО РАЙОНУ

Бершадські ЕМ 19.06.2019

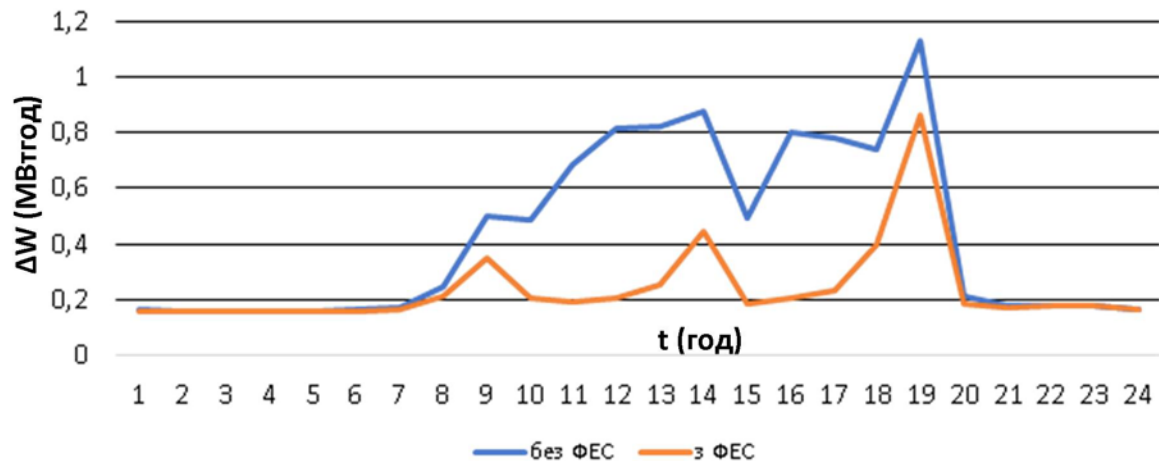


Рисунок 1 – Зміна сумарних втрат електроенергії в Бершадських ЕМ протягом 19.06.2019

Бершадські ЕМ 18.12.2019

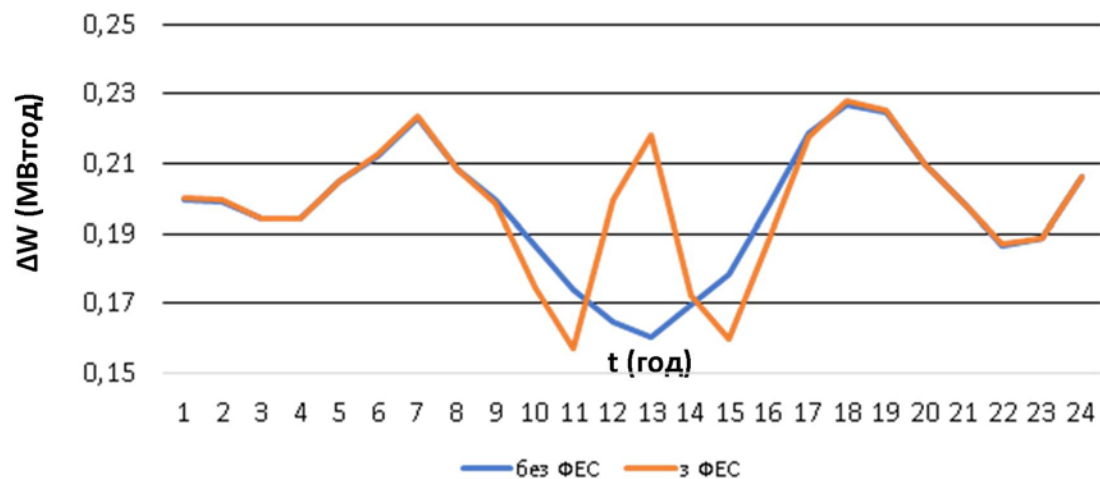


Рисунок 2 – Зміна сумарних втрат електроенергії в Бершадських ЕМ протягом 18.12.2019

ЗМІНА ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТРАНСФОРМАТОРАХ 110 /35 КВ БЕРШАДСЬКОГО РАЙОНУ

Бершадські ЕМ 19.06.2019

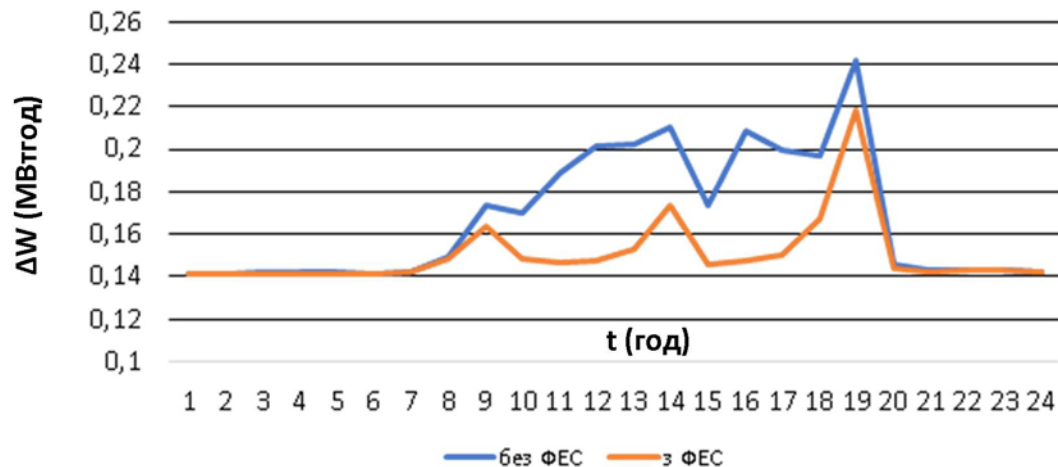
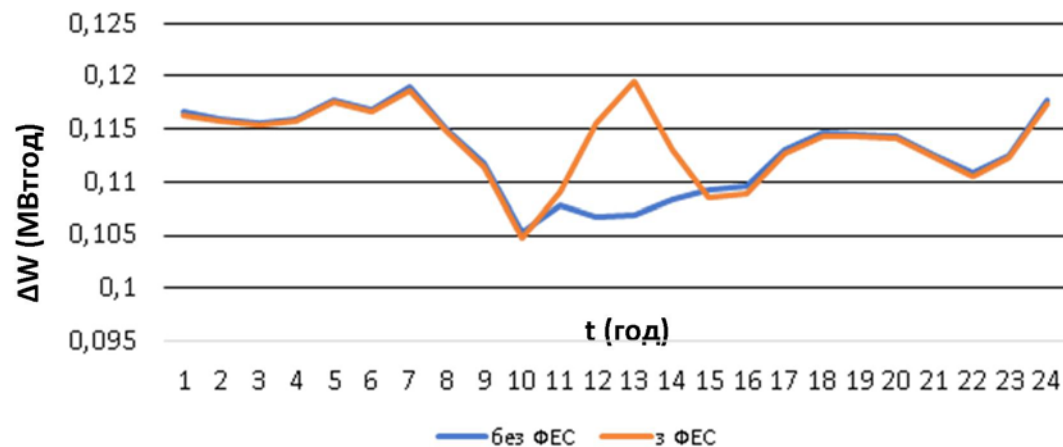


Рисунок 1 – Зміна втрат електроенергії в трансформаторах Бершадських ЕМ протягом 19.06.2019

Рисунок 2 – Зміна втрат електроенергії в трансформаторах Бершадських ЕМ протягом 18.12.2019

Бершадські ЕМ 18.12.2019



Висновки

1. Аналіз виконаних розрахунків здійснювався з врахування зростання складової відновлюваних джерел (фотоелектричних станцій) в балансі ПАТ "Вінницяобленерго" в період з 2010 по 2020 роки.

Розбудова фотоелектричних станцій протягом 2010 – 2018 років призводило до певного розвантаження ліній електропередачі.

Щодо силових трансформаторів, то разом з відносним зниженням втрат в них протягом 2010 – 2018 років спостерігається зміна режиму їх роботи і, як наслідок, температурного режиму.

Значне зростання сумарної потужності фотоелектричних станцій приєднаних протягом 2019 і початку 2020 років, стимульоване державою, призвело до завантаження ліній електропередач в середині дня коли максимум генерування збігається з мінімумом споживання.

2. Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про незначну зміну втрат електричної енергії в мережах ПАТ "Вінницяобленерго" при появі фотоелектричних станцій в них. Спостерігається незначне зростання втрати в електричних мережах 35 кВ: для літнього режимного дня 19.06.2019 – 0,1% та зимового режимного дня 18.12.2019 – 0,01%, та незначне зниження втрат 110 кВ: для літнього режимного дня 19.06.2019 – 0,2% та зимового режимного дня 18.12.2019 – 0,03%.

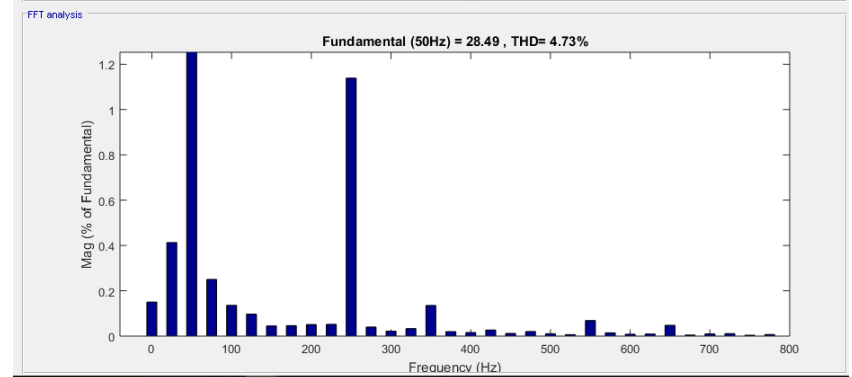
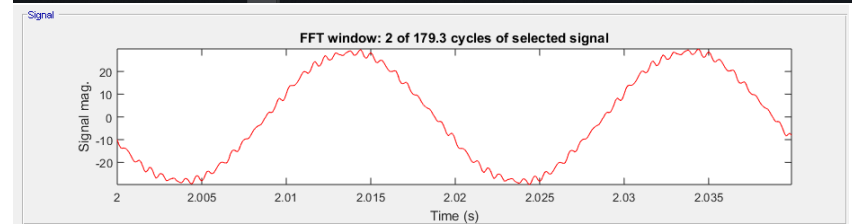
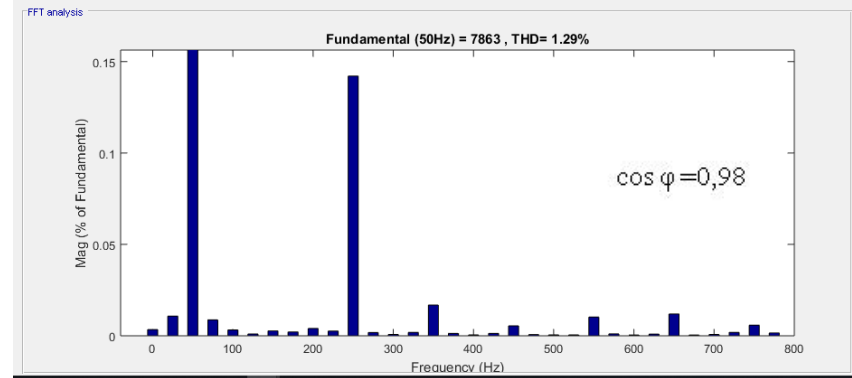
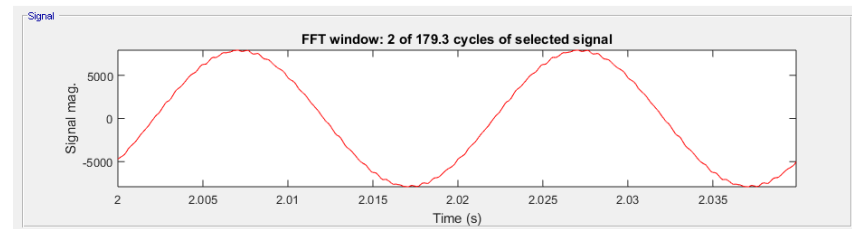
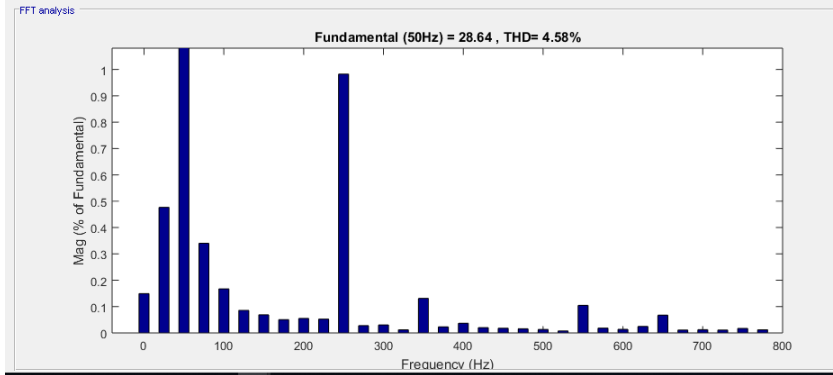
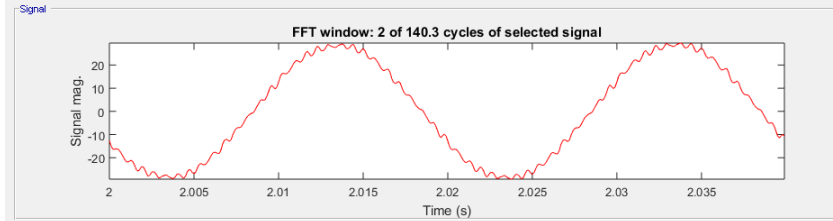
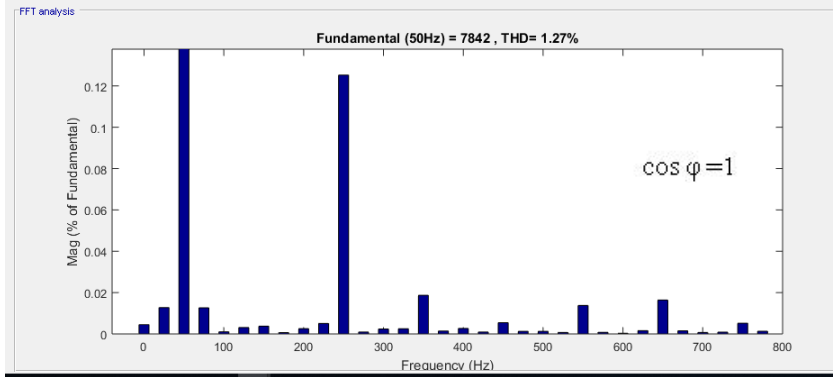
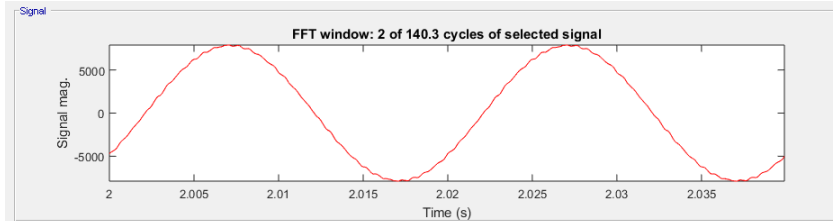
3. Аналіз режимів по районним електричним мережам показує, що видача потужності ФЕС в Барській, Ямпільській, Шаргородській, Чечельницькій, Тиврівській, Погрибищанській, Піщанській, Крижопільській, Жмеринській електричні мережі несе негативний ефект, а саме завантажує електричні мережі і перевантажуються силові трансформатори, що призводить до їх додаткового зношування і підвищення імовірності їх виходу з ладу.

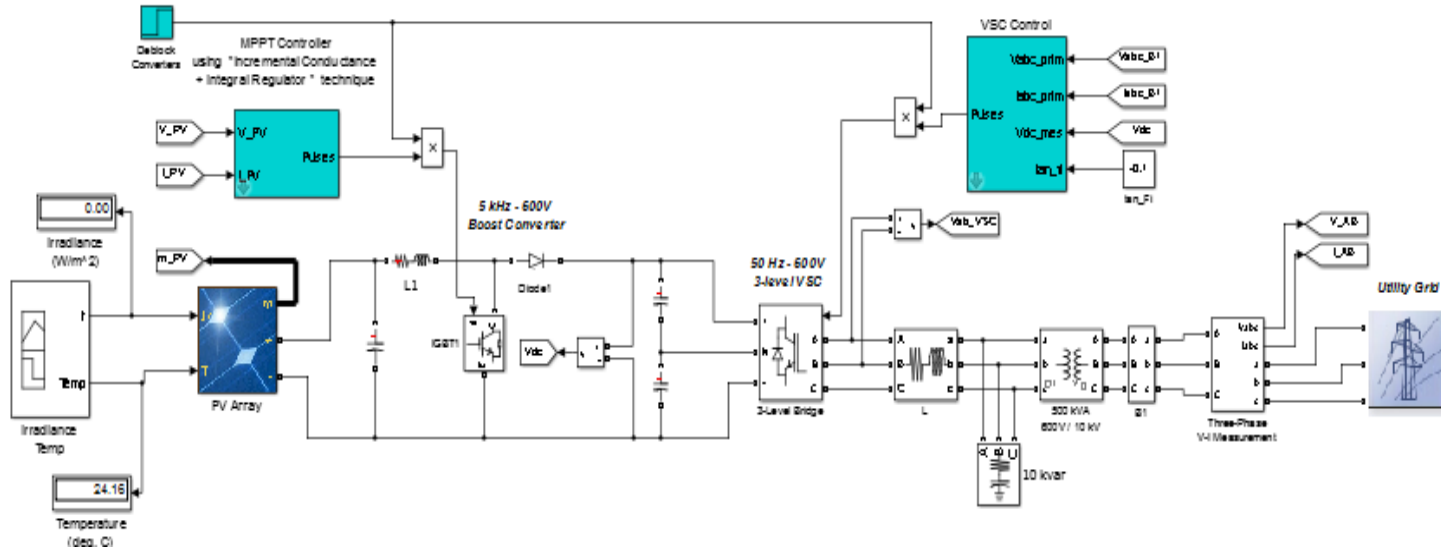
Видача потужності ФЕС в Іллінецькій, Чернівецькій, Тульчинській, Тростянецькій, Томашпільській, Теплицькій, Оратівській, Муровано-Куриловецькій, Могилів-Подільській, Липовецькій, Літинській, Козятинській, Калинівській, Замостянській, Гайсинській несе позитивний ефект (електричні мережі розвантажуються).

4. Показовим є результат розрахунку втрат електричної енергії в Немирівських електричних мереж. За відсутності значної розбудови в них фотоелектричних станцій влітку спостерігається значне зростання втрат електричної енергії. Зумовлено це не оптимальною конфігурацією Тульчинських електричних мереж і підключенні достатньо потужної Петрашівської ФЕС, електрична енергія вироблена якою транзитом перетікає через Немирівські електричні мережі.

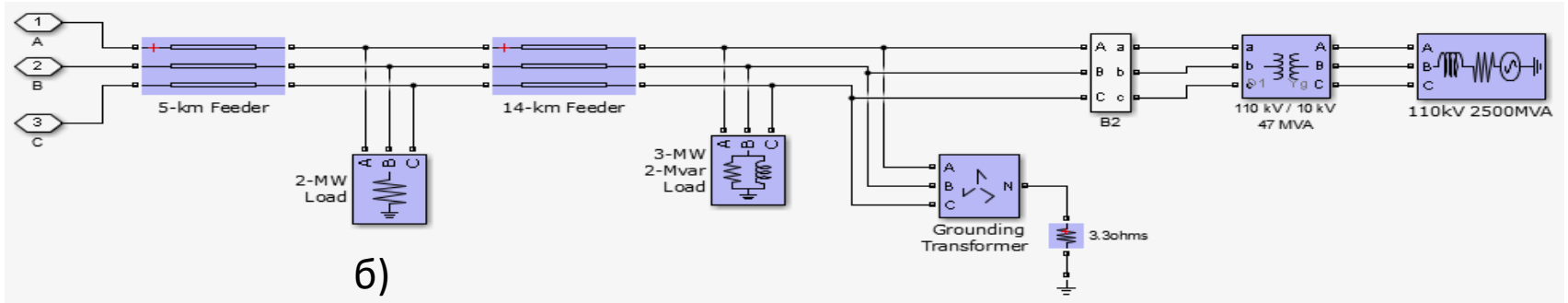
5. Для систематизації процесу розбудови фотоелектричних станцій в ПАТ "Вінницяобленерго" необхідно провести аналіз потенційних місць приєднання ФЕС з метою визначення допустимих встановлених потужностей, впровадження яких дозволило б розвантажувати електричні мережі і вводити в допустимі межі відхилення напруги в вузлах.

СПОТВОРЕННЯ КРИВОЇ СТРУМУ ТА НАПРУГИ ДЛЯ РІЗНИХ РЕЖИМІВ ПО РЕАКТИВНІЙ ПОТУЖНОСТІ





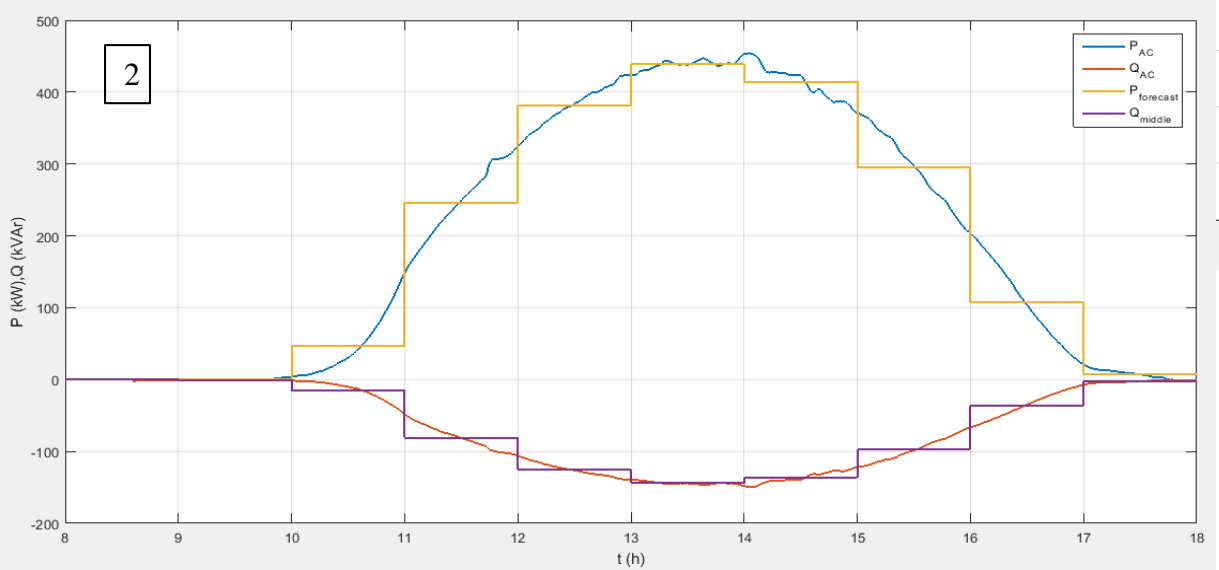
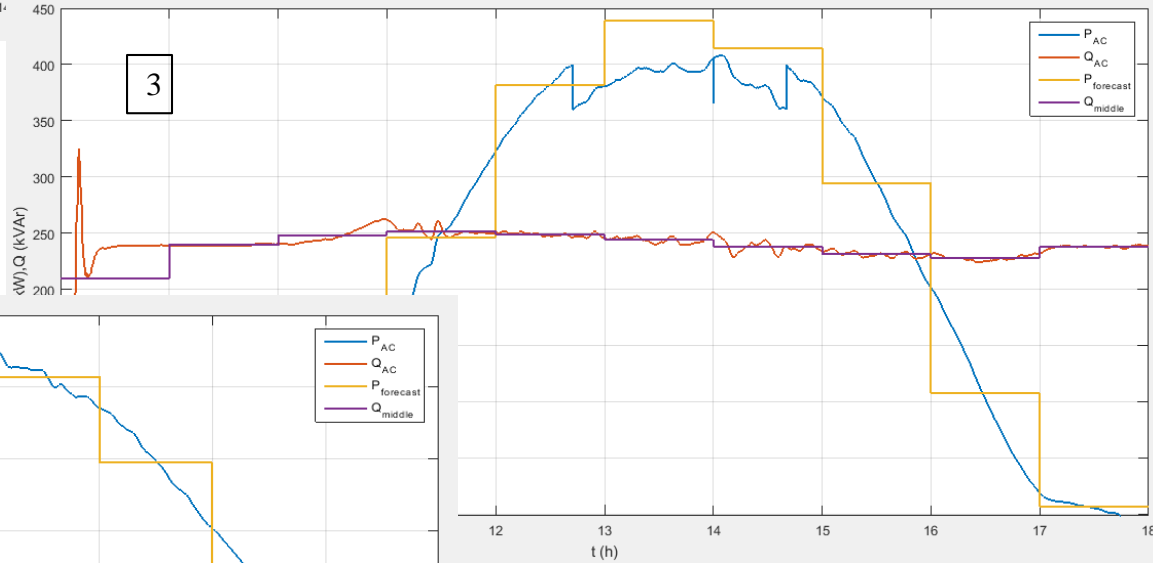
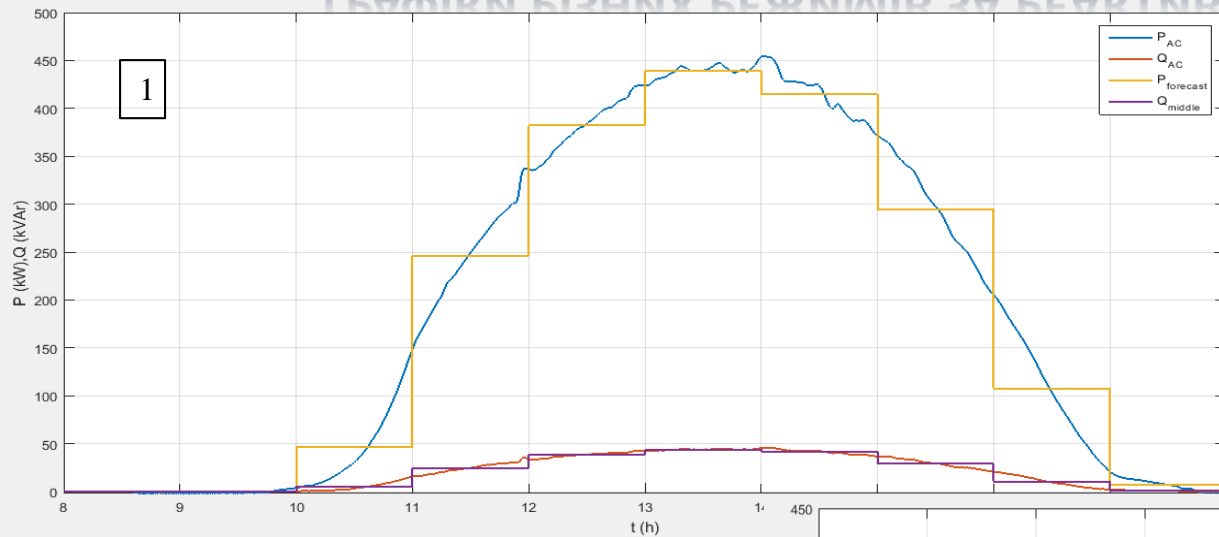
а)



б)

Рисунок 1 – Моделі ФЕС а) та електричної мережі б)

ГРАФІКИ РІЗНИХ РЕЖИМІВ ЗА РЕАКТИВНОЮ ПОТУЖНІСТЮ

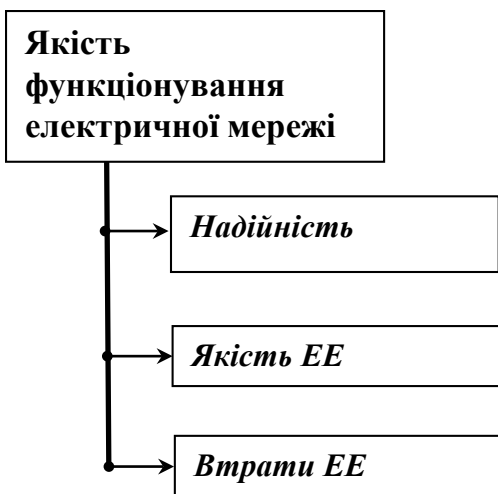


ЯКІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЯК КОМПЛЕКСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В РАМКАХ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Якість функціонування стосується систем, для яких не можливо сформулювати критерій відмови в формі «все або нічого». Показник якості функціонування характеризує здатність системи виконувати свої основні функції з пониженим рівнем продуктивності, швидкості тощо, тобто з меншою ефективністю. Відмова певних (або навіть багатьох) елементів призводить лише до часткової деградації операційних можливостей системи.

$$E = \sum_{\forall s} (\Phi_s H_s)$$

де H_s – імовірність стану s , Φ_s – умовна імовірність того, що система в цьому стані успішно функціонує.



Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах експлуатації, технічного обслуговування, зберігання і транспортування.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ

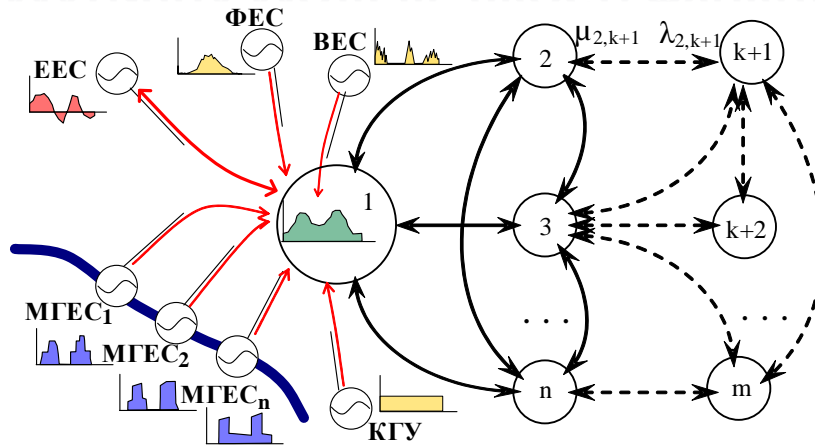


Рисунок 1 - Граф станів електричної мережі з відновлюваними джерелами енергії

$$K = p_1 x_1^{-(\lambda_{12} + \lambda_{13})} x_2^{\lambda_{12}} x_3^{\lambda_{13}} + p_2 x_1^{\mu_{21}} x_2^{-(\lambda_{24} + \mu_{21})} x_3^0 + p_3 x_1^{\mu_{31}} x_2^0 x_3^{-(\lambda_{34} + \mu_{31})} + p_4 x_1^0 x_2^{\mu_{42}} x_3^{\mu_{43}} = p_1 \left(\frac{x_1}{x_2} \right)^{-\lambda_{12}} \left(\frac{x_1}{x_3} \right)^{-\lambda_{13}} + p_2 \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^{-\mu_{21}} x_2^{-\lambda_{24}} + p_3 \left(\frac{x_3}{x_1} \right)^{-\mu_{31}} x_3^{-\lambda_{34}} + p_4 x_2^{\mu_{42}} x_3^{\mu_{43}} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{x_1}{x_2} \right)^{-\lambda_{12}} \left(\frac{x_1}{x_3} \right)^{-\lambda_{13}} &= e^{-\lambda_{12} \cdot (\ln(x_1) - \ln(x_2))} \cdot e^{-\lambda_{13} \cdot (\ln(x_1) - \ln(x_3))}, \\ \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^{-\mu_{21}} x_2^{-\lambda_{24}} &= e^{-\mu_{21} \cdot (\ln(x_2) - \ln(x_1))} \cdot e^{-\lambda_{24} \cdot \ln(x_2)}, \\ \left(\frac{x_3}{x_1} \right)^{-\mu_{31}} x_3^{-\lambda_{34}} &= e^{-\mu_{31} \cdot (\ln(x_3) - \ln(x_1))} \cdot e^{-\lambda_{34} \cdot \ln(x_3)}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$E = p_1 P_{11} P_{12} + p_2 P_{21} P_{22} + p_3 P_{31} P_{32} = \sum_{i=m} \left(p_i \prod_{j=n} P_{ij} \right) \quad (3)$$

де $p_i = H_s$ - імовірність стану електричної мережі

$\prod_{n=j} P_{ij} = \Phi_s$ - імовірність, що електрична мережа в відповідному стані успішно функціонує

СКЛАДОВІ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ (БАЛАНСОВА НАДІЙНІСТЬ)

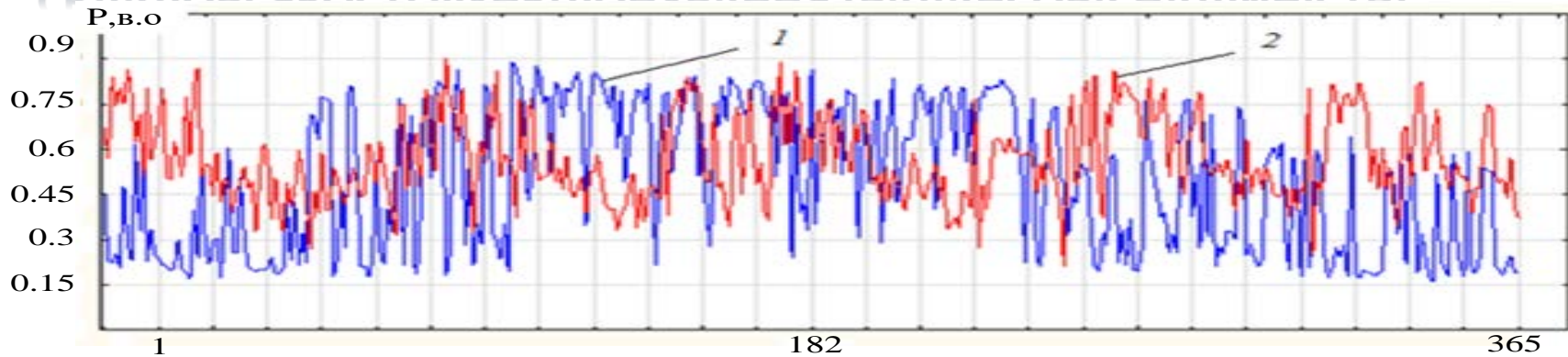


Рисунок 1 – Зміна потужності генерування ФЕС (1) та навантаження (2) протягом року в заданий проміжок часу доби

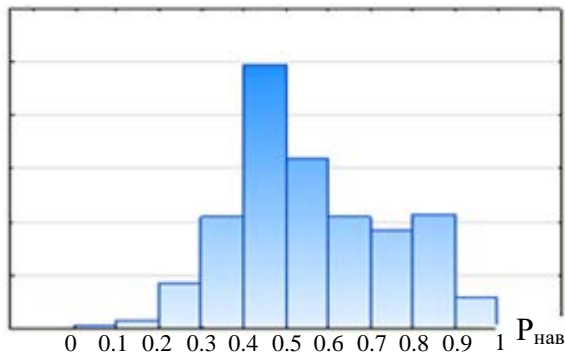


Рисунок 2 – Гістограми густини потужності навантаження;

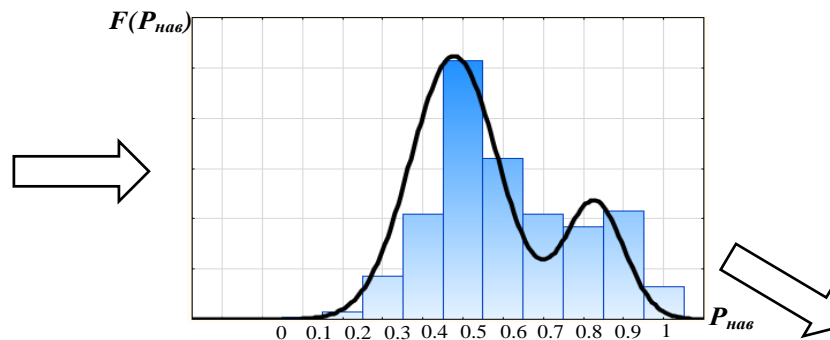


Рисунок 4 – Модель гаусової суміші для потужності навантаження

$$P_{\sigma} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_i \left(\sum_{k=1}^m P_{ВДЕ_{i,k}} = \sum_{j=1}^n P_{i,j} \right)$$

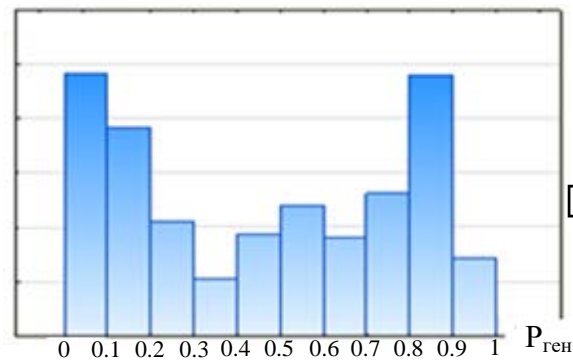


Рисунок 3 – Гістограми густини потужності генерування ФЕС;

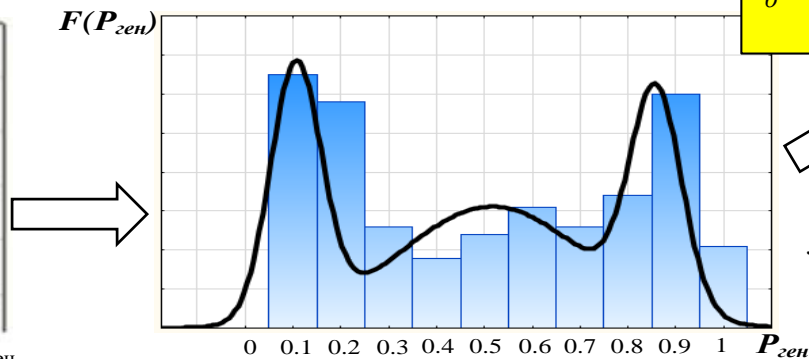
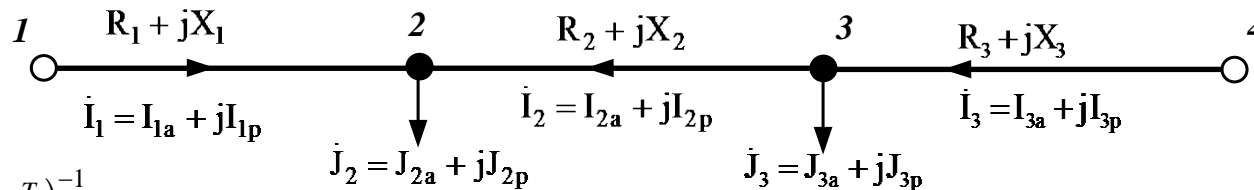


Рисунок 5 – Модель гаусової суміші для потужності генерування ФЕС

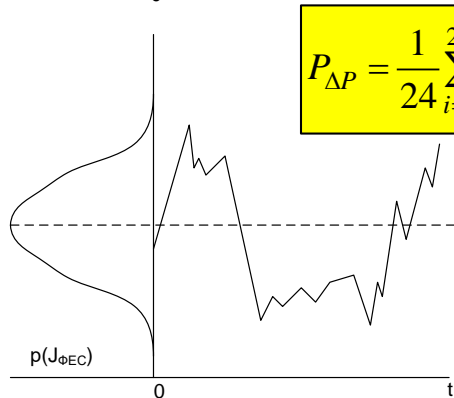
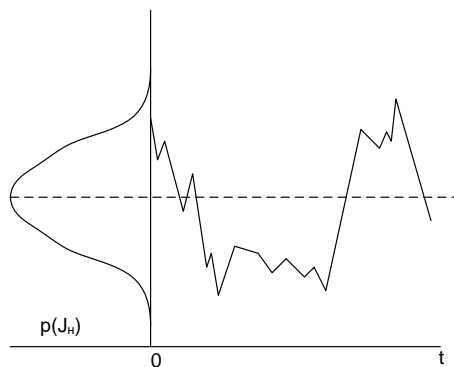
i – кількість часових проміжків;
 j – кількість споживачів.

СКЛАДОВІ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ. ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ



$$C_r = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{M}^T (\mathbf{M} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{M}^T)^{-1}$$

$$C_{r1,2} = \frac{(R_2 + R_3)}{R_2 + R_3 + R_1} \quad C_{r4,2} = \frac{R_1}{R_2 + R_3 + R_1} \quad C_{r1,2} + C_{r4,2} = 1 \quad C_{r1,3} = \frac{R_3}{R_2 + R_3 + R_1} \quad C_{r4,3} = \frac{(R_2 + R_1)}{R_2 + R_3 + R_1} \quad C_{r1,3} + C_{r4,3} = 1$$



$$P_{\Delta P} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \left[\prod_{k=1}^m p_{i,k} \left(P_{ВДЕ_{i,k}} = \sum_{j=1}^n (C_{r k,j} \cdot P_{i,j}) \right) \right]$$

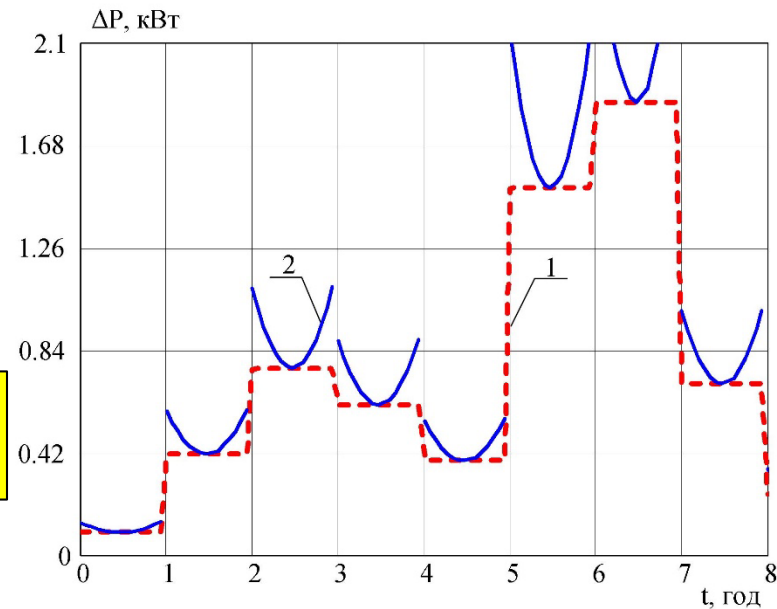
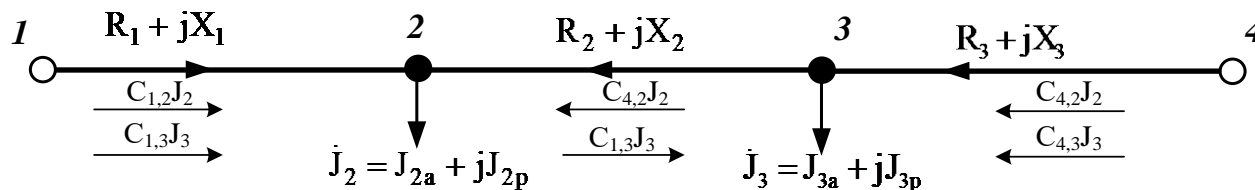


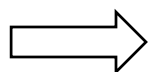
Рисунок 1 – Зміна втрат потужності
1 – економічний розподіл; 2 – довільний розподіл

СКЛАДОВІ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ)

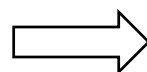


$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot Z \cdot C_r \cdot J_H$$

$$\Delta U = M^T (U - n \cdot U_0)$$



$$U_{\Delta 6} = \sqrt{3} \cdot C^T Z \cdot C_r \cdot J_H$$



$$P_U = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \left[\prod_{k=1}^m P_{i,k} \left(J_{ВДЕ \min i,k} \leq \sum_{j=1}^n (C_{r,j,k} \cdot J_{i,j}) \leq J_{ВДЕ \max i,k} \right) \right]$$

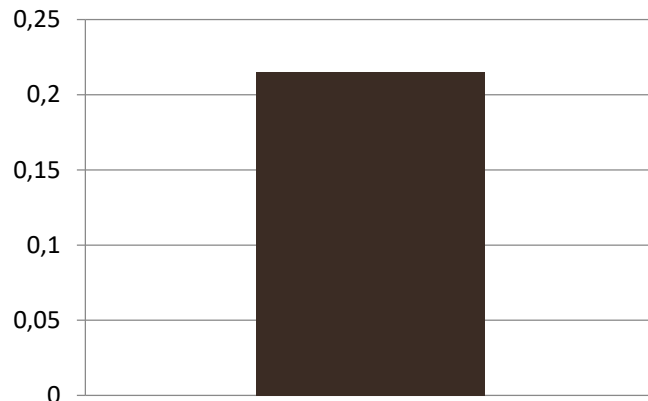
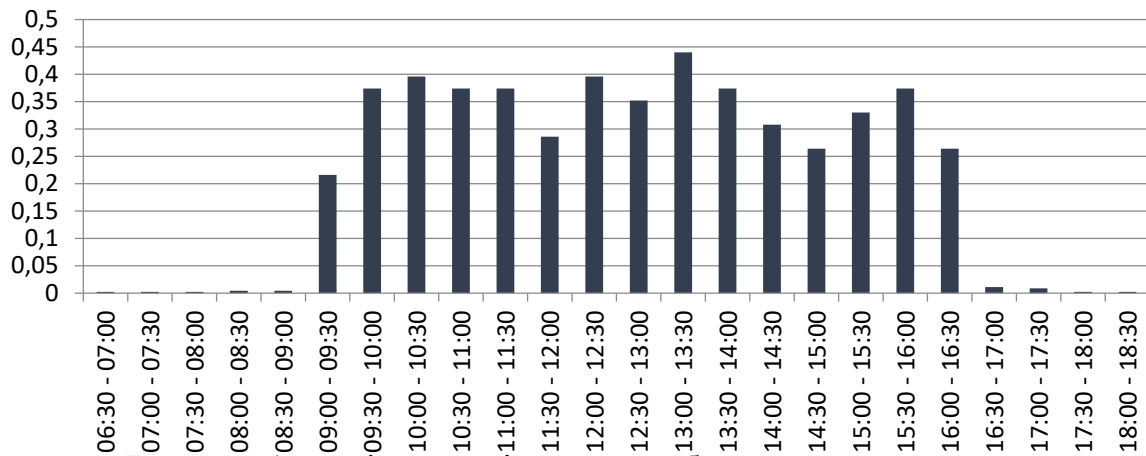
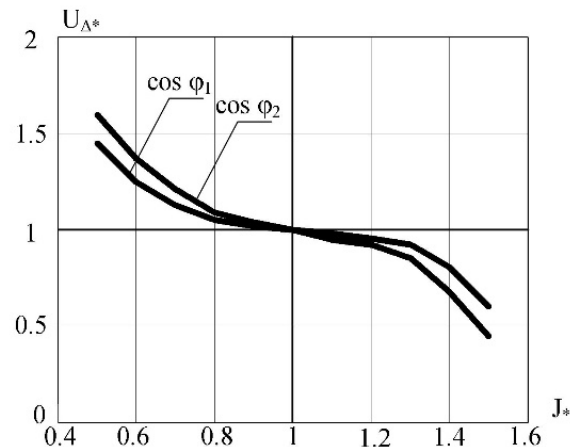


Рисунок 2 – Результуючі ймовірності появи нормативних відхилень напруги у вузлах навантаження

Рисунок 1 – Зміна ймовірностей забезпечення нормативних відхилень напруги від часу доби

СКЛАДОВІ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (НЕСИНУСОЇДНІСТЬ КРИВОЇ НАПРУГИ ТА СТРУМУ)

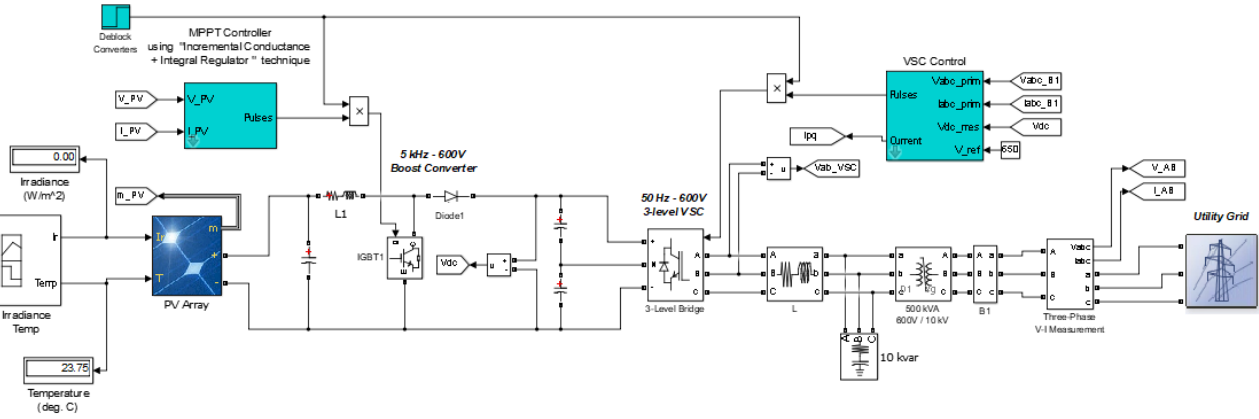


Рисунок 1 – Simulink-модель ФЕС, що працює паралельно з системою

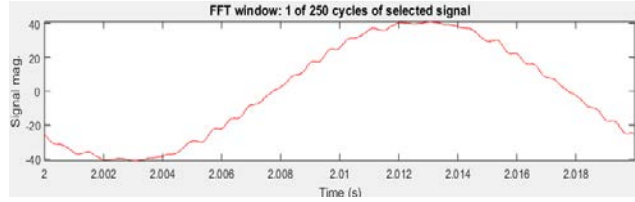


Рисунок 3 – Крива струму в точці приєднання ФЕС

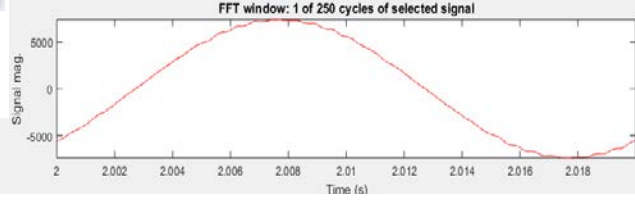


Рисунок 4 – Крива напруги в точці приєднання ФЕС

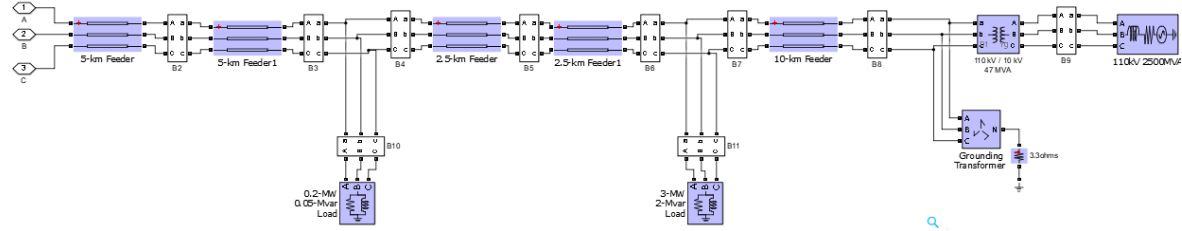


Рисунок 2 – Simulink-модель фідера, до якого підключена ФЕС

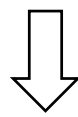
$$K_C^y = \sqrt{A_V K_{2U}^2 + B_V \sum_{n=2}^{\infty} (K_{U(n)}^2 / n\sqrt{n})} \leq 1\% \quad (1)$$

де A_V і B_V – коефіцієнти, що залежать від класу напруги

$$C_v = Z_v^{-1} M^T (M Z_v^{-1} M^T)^{-1} \quad (2)$$

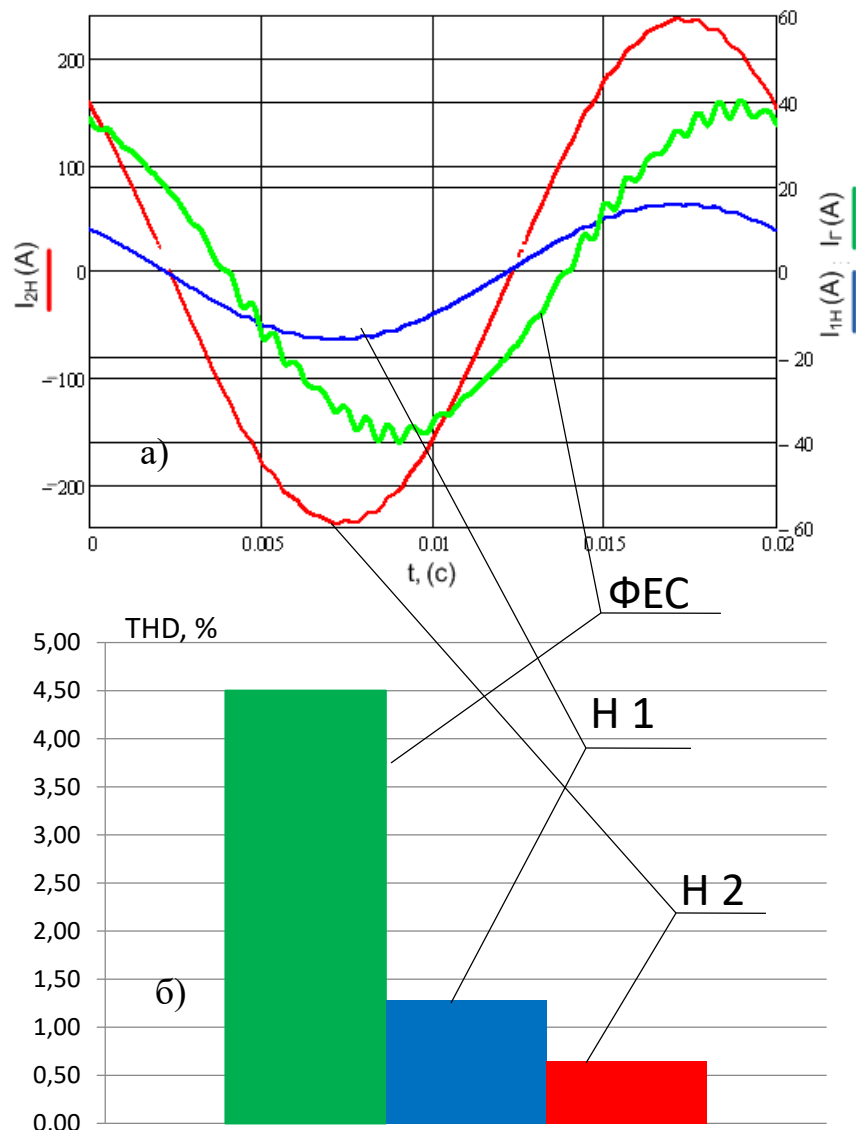
$$U_{\Delta v} = \sqrt{3} \cdot C^T Z_v \cdot C_v \cdot J_{Hv} \quad (3)$$

$$U_{\Delta v} = U_{\delta_v} - (\Delta U_{v\Sigma} + U_{\Delta v}) \quad (4)$$



$$P_{KU} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \left[\prod_{v=1}^{40} \left(\prod_{k=1}^m P_{i,v,k} (U_{\Delta v, i,v,k} \leq U_{\Delta v, \text{дон } i,v,k}) \right) \right]$$

СКЛАДОВІ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (НЕСИНУСОІДНІСТЬ КРИВОЇ НАПРУГИ ТА СТРУМУ)



Таблиця 1 – Результати розкладання в ряд Фур'є

Гармоніки Гц	ФЕС		Навантаження 1		Навантаження 2	
	Модуль, %	Фаза, °	Модуль, %	Фаза, °	Модуль, %	Фаза, °
50	100	-74,7	100	140,8	100	138,3
100	0,23	34,1	0,01	-37,7	0,001	-43,1
150	0,14	-4,7	0,001	208,9	0,001	202
200	0,1	24,7	0,001	-42,5	0,001	-52
250	1,55	3,1	0,17	241,9	0,12	231,3
300	0,05	13,3	0,001	0,5	0,001	-13,2
350	0,28	-32,8	0,03	194,3	0,02	179,8
400	0,04	2	0,001	57	0,001	41,4
450	0,03	12,6	0,001	26,2	0,001	7,5
500	0,03	33,3	0,001	-0,8	0,001	-21,6
550	0,15	38,1	0,02	-85,4	0,02	252,5
600	0,01	34,6	0,001	22,7	0,001	-1,5
650	0,1	1,1	0,01	228,4	0,01	202,8
700	0,02	20,1	0,001	12,2	0,001	-15,9
750	0,02	16,8	0,001	21,4	0,001	-8,3
800	0,01	17,8	0,001	28,2	0,001	-2,9
850	0,17	42,6	0,03	-85,4	0,02	242,4
900	0,02	-3,1	0,001	123,3	0,001	94,5
950	0,23	-8,1	0,05	218,8	0,03	183,7

Рисунок 1 – Вид кривої струму та рівні спотворення

ІНТЕГРАЛЬНИЙ ПОКАЗНИК ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

$$E = \sum_{i=m} \left(p_i \prod_{j=n} P_{ij} (\min(A_j) \leq A_j \leq \max(A_j)) \right)$$

де m – кількість робочих станів електричної мережі; n – кількість складових якості функціонування, які враховуються під час оцінювання

$$\Phi_i = P_{\sigma i} \cdot P_{\Delta P i} \cdot P_{U i} \cdot P_{K U i}$$

- умовна імовірність, що електрична мережа в стані i успішно функціонує

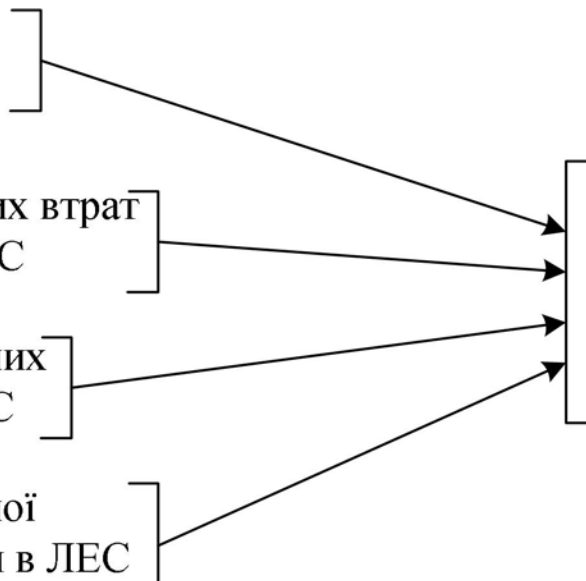
Забезпечення балансової надійності в ЛЕС

Забезпечення мінімальних втрат електричної енергії в ЛЕС

Забезпечення нормативних відхилень напруги в ЛЕС

Забезпечення нормативної несинусоїдності напруги в ЛЕС

Інтегральний показник якості функціонування ЛЕС



ВРАХУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СПОЖИВАЧІВ ПІД ЧАС ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛЕС ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ПРОЕКТНИХ ЗАДАЧ

$$E_{\kappa} = \sum_{i=m} \left(p_i \left(P_{\sigma 1,i}^{\alpha} \cdot P_{\Delta P 2,i}^{\beta} \cdot P_{U 3,i}^{\chi} \cdot P_{KU 4,i}^{\eta} \right) \right)$$

де $\alpha + \beta + \chi + \eta = 1$

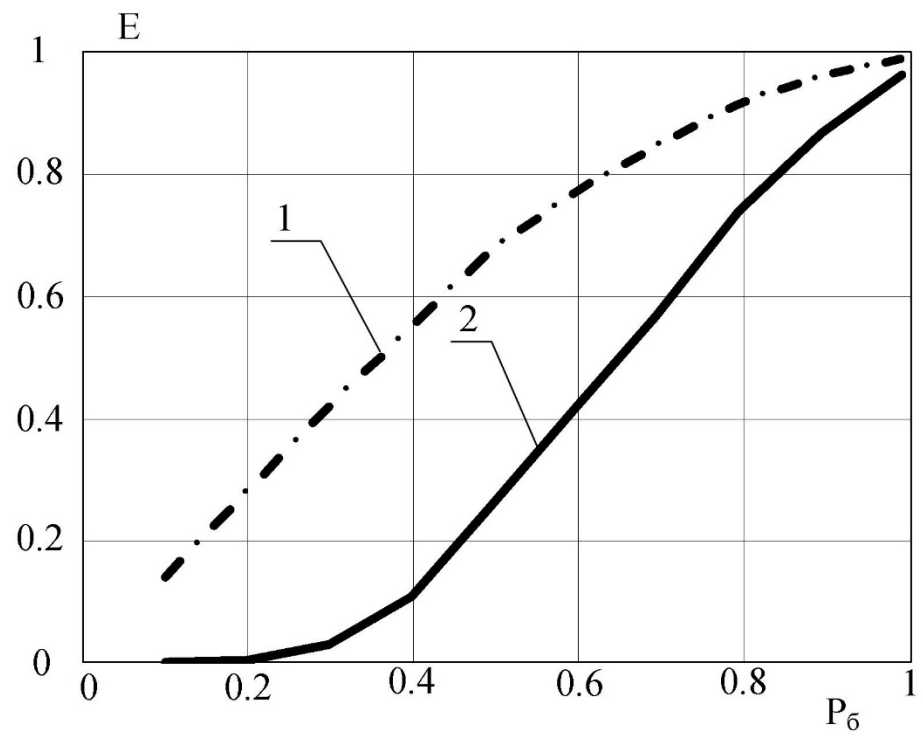
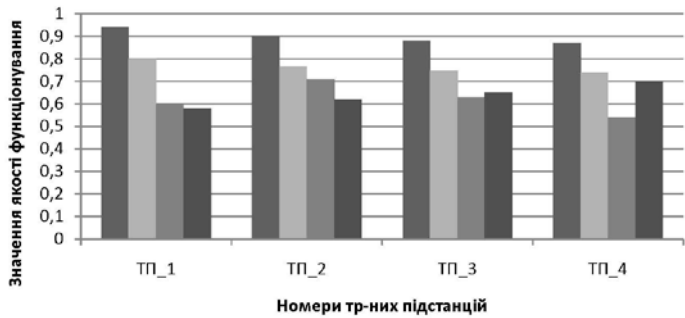
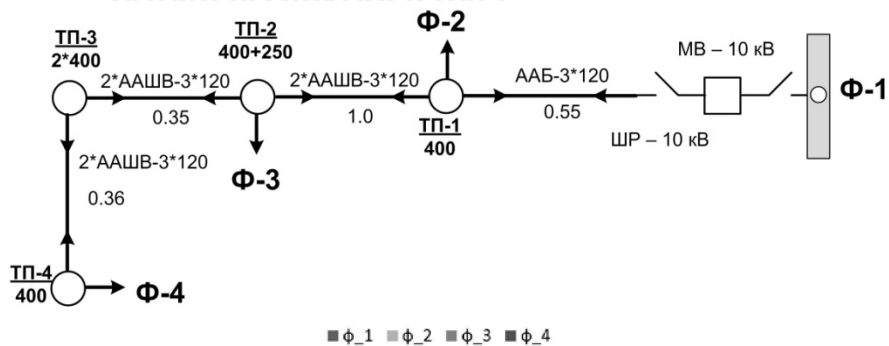


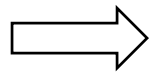
Рисунок 1 – Залежність значення показника якості функціонування від імовірності забезпечення балансу без врахування вагових коефіцієнтів та з ними

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ВДЕ

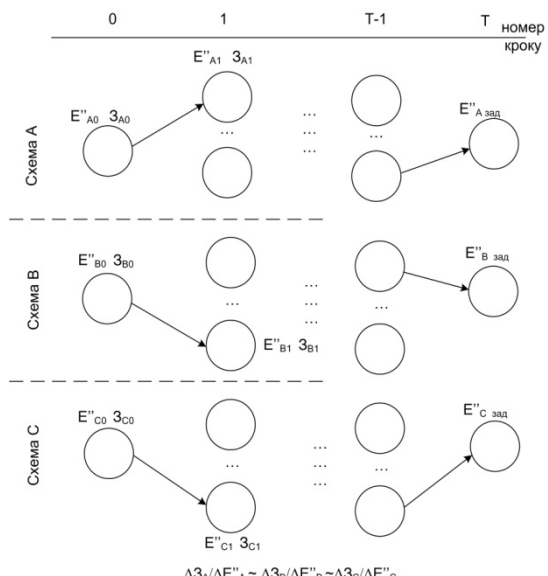
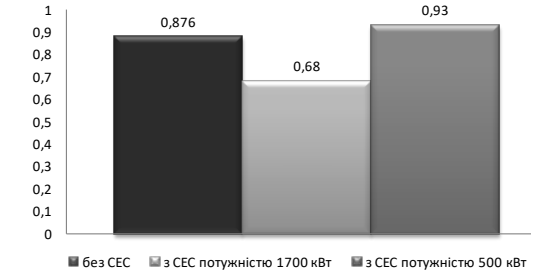
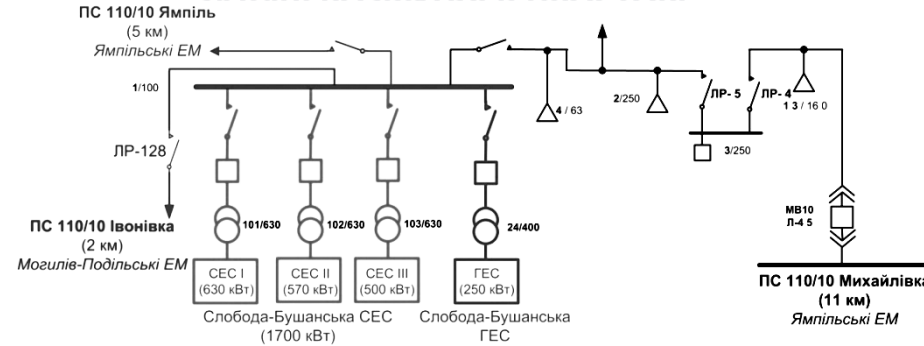
ЗАДАЧІ РОЗВИТКУ В ЧАСІ



$$E_{зад} = \sum_{i=1}^m p_i \Phi_{zi}$$



ЗАДАЧІ РОЗВИТКУ В ПРОСТОРІ



ВПЛИВ РІЗНИХ ЗАХОДІВ НА ЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЯМПІЛЬСЬКИХ РЕМ

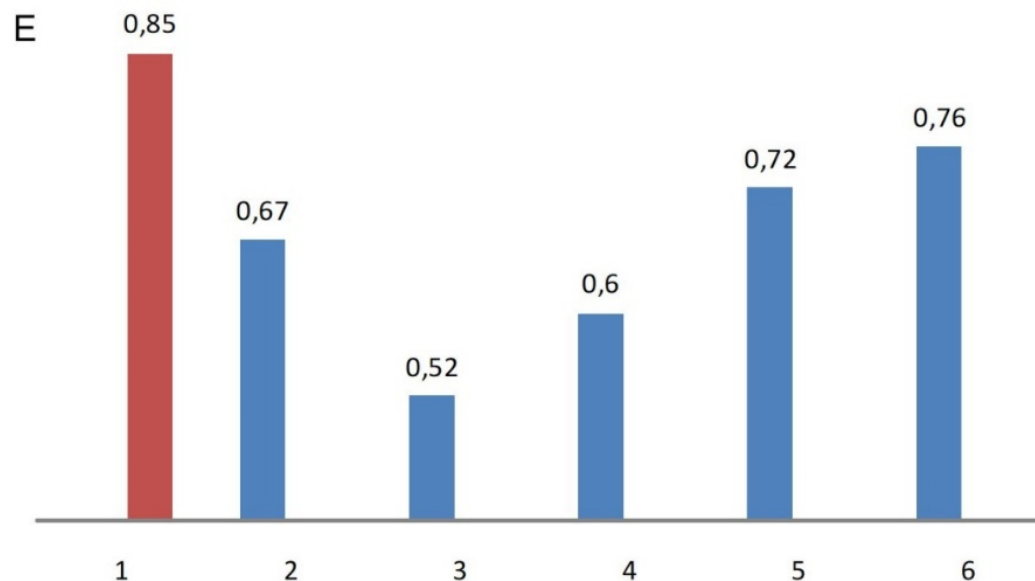


Рисунок 1 – Значення інтегрального показника якості функціонування для різних заходів, які розглядалися в роботі

випадок 1 - кільцева конфігурація Ямпільських. Така конфігурації мереже розглядається як «ідеальна», яка за сучасних технічних умов існувати не може.

випадок 2 - оптимальні точки розмикання кільцевої схеми мережі.

випадок 3 - шляхом перебору визначено найкращий варіант за критерієм якості функціонування з можливих з огляду на технічні можливості.

випадок 4 - використання ФЕС в якості засобу для впливу на перетоки реактивної потужності та заміну найбільш завантажених ділянок мережі.

випадок 5 - узгодження графіків генерування та споживання запропонованим в роботі методом.

випадок 6 - застосування акумулювання на ФЕС.

Дякую за увагу!