

**Атаманський А.В.**

студент групи ЕСМ-15м  
Вінницький національний  
технічний університет

# **Дослідження пошкодженості обладнання розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії**



Науковий керівник:  
к.т.н., доцент  
кафедри електричних станцій і систем  
**Рубаненко О.Є.**

# Актуальність теми

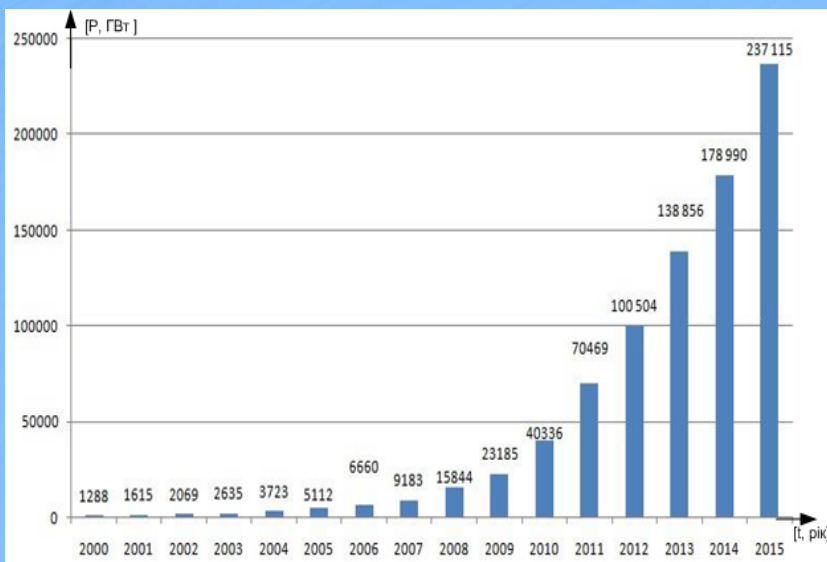


Рис. 1.1



Рис. 1.2

Інформація по аварійні відключення КЛ

Показник	Роки															
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016			
Всього відключень	155	134	166	163	183	217	219	205	238	260	245	218	206			
Сума часу, год.	245,5	277,9	274,3	279,1	298,9	298	290,3	253,9	359,1	339,5	393,1	276,4	307,6			
Середній час, год.	1,58	2,07	1,65	2,04	1,63	1,37	1,3	1,27	1,4	1,47	1,58	1,43	1,49			
Питоме відключення	24,41	21,1	26,14	25,67	27,85	29,17	28,08	27,52	29,53	31,18	25,63	22,8	31,22			
Недовідпуск МВТ·ч	20,13	21,1	24,35	24,6	25,34	24,88	25,5	24,35	32,47	29,9	25,2	24,4	23,95			
Довжина ЛЕП, тис.км.	6,35	6,35	6,35	6,35	6,57	6,72	7,06	7,45	8,06	8,34	9,56	9,65	9,72			

Рис. 1.3



Рис. 1.4

# Мета, задачі об'єкт та предмет досліджень

- **Мета роботи:** дослідження пошкоджуваності обладнання розподільних електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії.

У відповідності до мети в роботі поставлені наступні задачі:

- дослідження особливостей ЛЕС, їх обладнання та режимів роботи;
  - дослідження стану обладнання ЛЕС в Україні,
  - дослідження пошкоджуваності ЛЕП ЛЕС,
  - дослідження пошкоджуваності обладнання ТП ЛЕС;
  - розробка математичних моделей струмів та напруг вимірювальних трансформаторів напруги, розрядників та кабельних муфт;
  - розробка комп'ютерних моделей ЛЕС, які містять ТН, КЛ, розрядники;
  - аналіз та розробка заходів з ОП та безпеки життєдіяльності в НС;
  - розробка техніко-економічного обґрунтування вибору теми, та визначення капіталовкладень в будівництво та введення в експлуатацію СЕС.
- **Об'єкт досліджень:** процеси зміни параметрів обладнання локальних електричних систем під час експлуатації сонячних електричних станцій.
  - **Предмет досліджень:** математичні та комп'ютерні моделі обладнання ЛЕС та процесів в ньому.

# Пошкоджуваність ТП і РП в розподільній електричних мережах

## Відсоток пошкоджененого обладнання

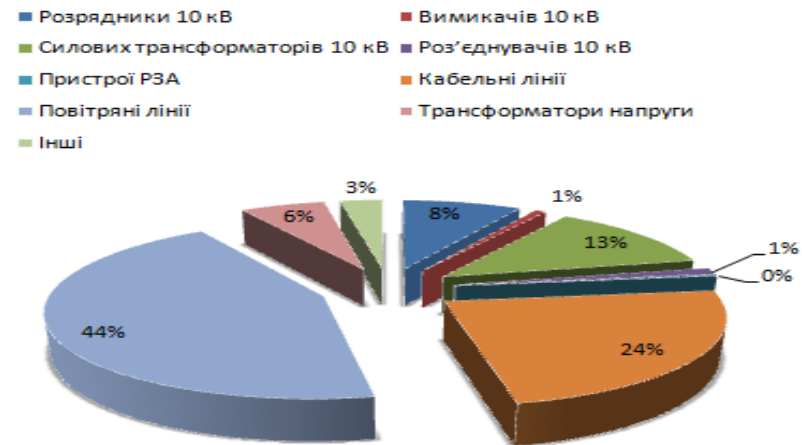


Рис. 3.1



Рис. 3.2



Рис. 3.3

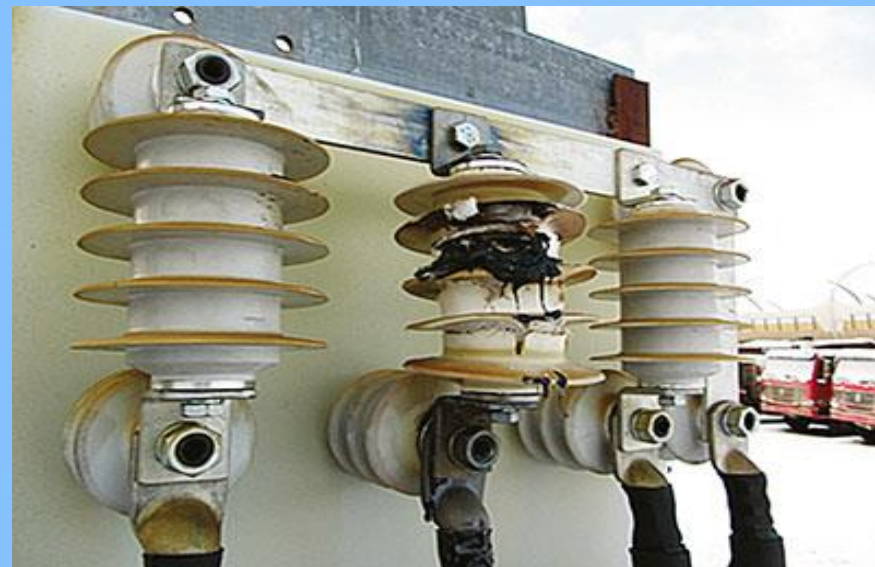


Рис. 3.4

## Причини пошкодження кабельних ліній 10 кВ

- Механічні пошкодження
- Грунтова корозія
- Старіння ізоляції
- Несправність з'єднувальних муфт
- Інші причини
- Дефект прокладки
- Заводський брак
- Перенапруги
- Несправність кільцевої муфти

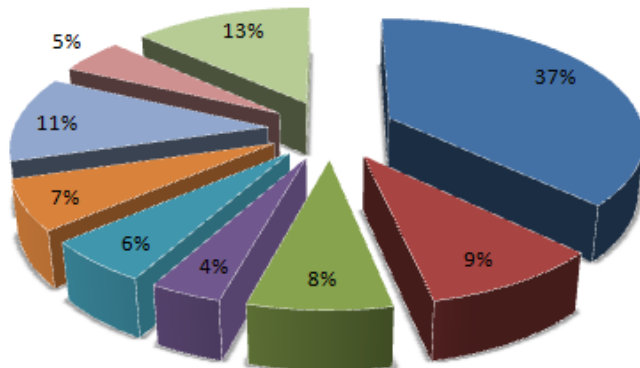


Рис. 4.1

## Причини пошкоджень повітряних ліній напругой 0,38 кВ

- Згорання запобіжників
- Пошкодження опор автотранспортом
- Падіння дерев
- Обрив проводу автотранспортом
- Обрив проводу з інших причин
- Інші причини

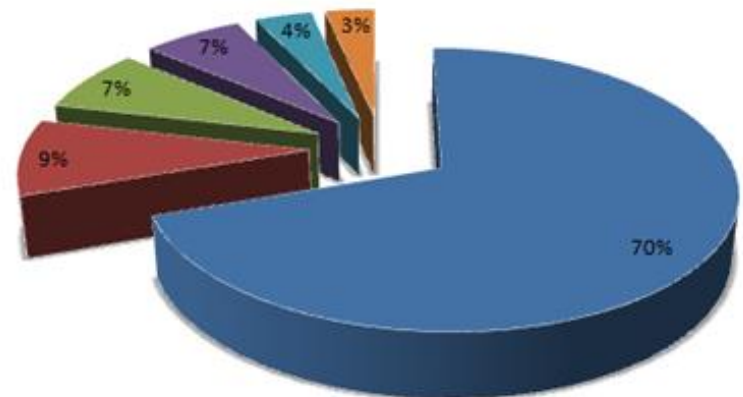


Рис. 4.2



Рис. 4.3

# Дослідження впливу закону керування інвертора на коефіцієнт спотворення синусоїдної форми напруги

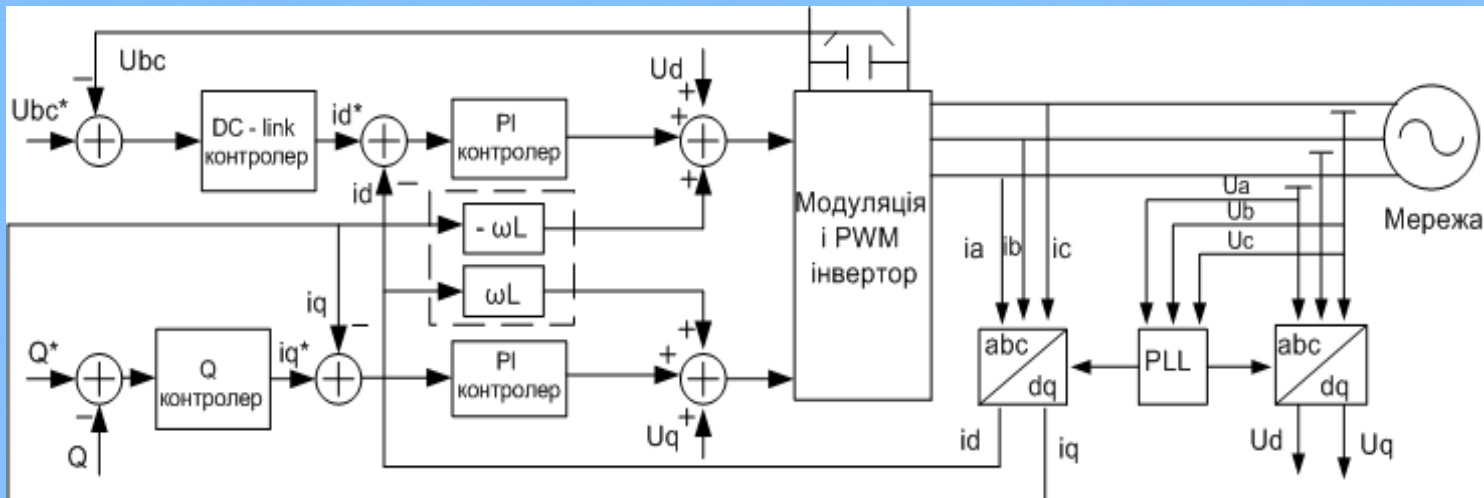


Рис. 5.1



Рис. 5.2

Закон керування контролером і система координат	Значення коефіцієнту $K_u$ , %
PI (abc)	6,3
PI (dq)	6,9
DB (abc)	7,5
PR ( $\alpha\beta$ )	7,8

Рис. 5.3

# Вплив гармонік на ізоляцію ВІСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

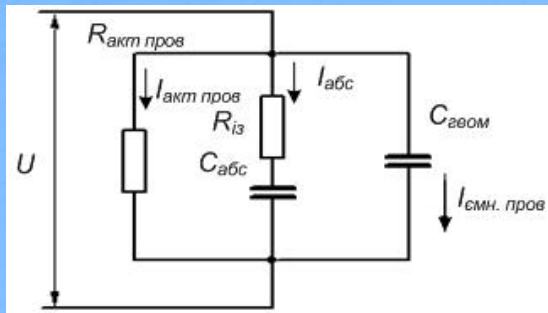


Рис. 6.1

Заступна схема ізоляції

$U$  – прикладена напруга;  $R_{\text{акт пров}}$  – опір ізоляції, що характеризує провідність “наскрізних” шляхів струмів через ізоляцію;  $i_c$  – струм заряду геометричної ємності  $C_{\text{геом}}$ ;  $i_{\text{абс}}$  – абсорбційний струм;  $i_{\text{акт пров}}$  – струм “наскрізної” провідності.

Зміна параметрів ізоляції кабельної лінії при її старінні

$$I_{\text{із}} \uparrow \rightarrow I_{\text{ск}} \uparrow \rightarrow \varepsilon \uparrow \rightarrow C \uparrow \rightarrow X \downarrow \rightarrow i_{\text{абс}} \uparrow$$

$$\searrow i_{\text{пол}} \uparrow$$

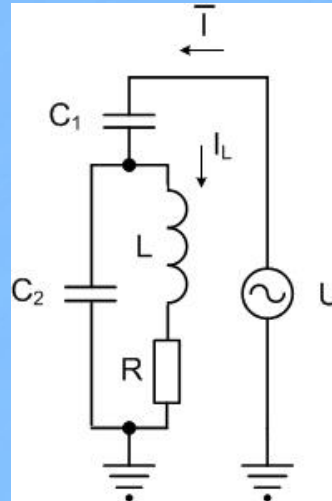


Рис. 6.2

Спрощена заступна схема мережі з ізоляцією муфти відносно землі

Математична модель струму через ізоляцію кабельної лінії

$$\bar{I}_{C_2} = \frac{\bar{U} \cdot \omega C_2 (\omega L + R)}{z_{\Sigma} (\omega L C_2 - j \omega R C_2 - 1)}$$

де ємність ізоляції  $C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}$

Таблиця 6.1. Значення діелектричної проникності для деяких речовин

№ п/п	Назва речовини	Діелектрична проникність, $\varepsilon$
1	Вакуум	1
2	Елегаз	1,024
3	Трансформаторне масло	2,1-2,4
...	...	...
20	Вода	81
...	...	...

Вплив частоти на зростання струму в ізоляції кабельної лінії КПпБП

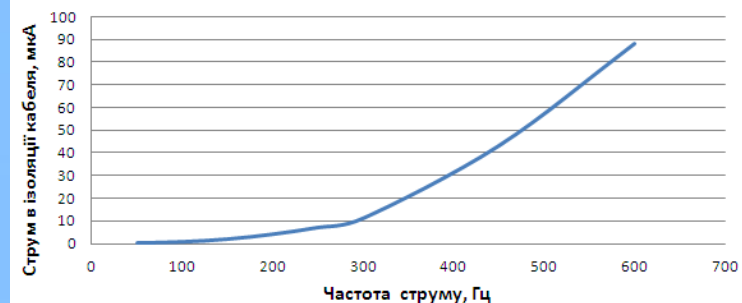


Рис. 6.3

# Модель розподільних електричних мереж з пошкодженням трансформатором напруги

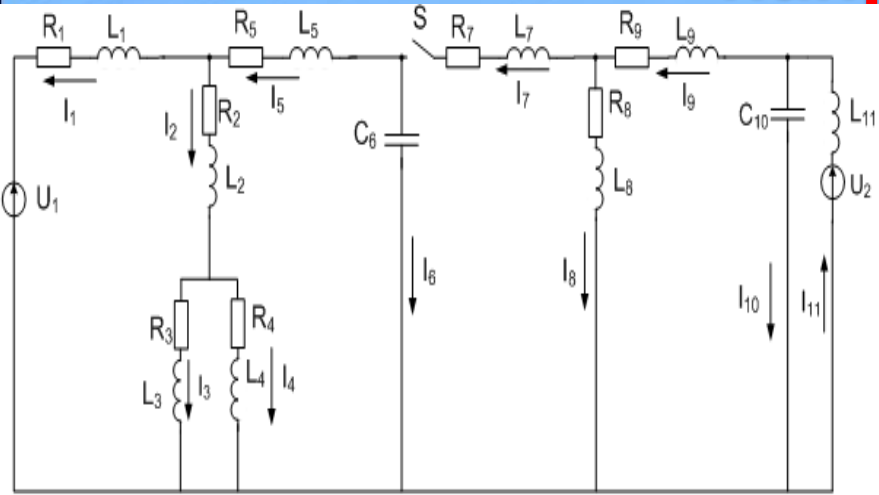


Рис. 7.1

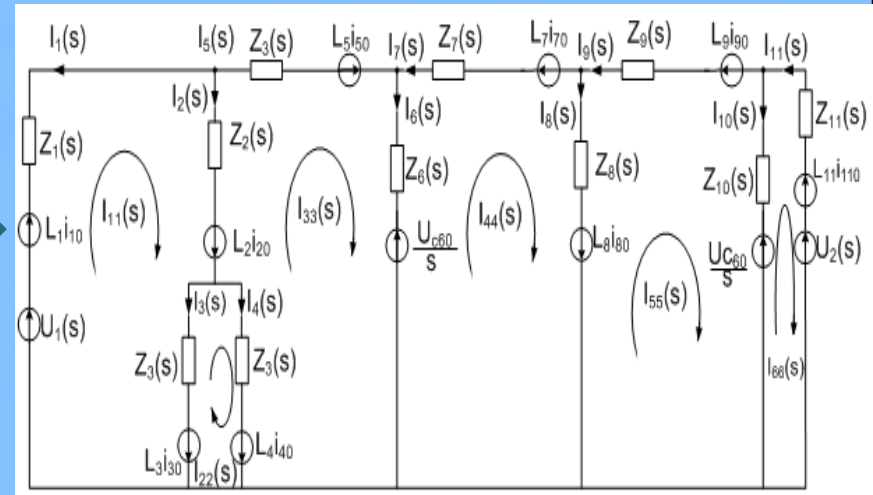


Рис. 7.2



$$\begin{cases}
 I_{11} \cdot ((L_1 \cdot s + R_1) + (L_2 \cdot s + R_2) + (L_3 \cdot s + R_3)) - I_{22} \cdot (L_3 \cdot s + R_3) - I_{33} \cdot (L_2 \cdot s + R_2) = \\
 = U_1 + L_1 \cdot I_{10} + L_2 \cdot I_{20} + L_3 \cdot I_{30} \\
 I_{22} \cdot ((L_3 \cdot s + R_3) + (L_4 \cdot s + R_4)) - I_{11} \cdot (L_3 \cdot s + R_3) - I_{33} \cdot (L_4 \cdot s + R_4) = L_4 \cdot I_{40} - L_3 \cdot I_{30} \\
 I_{33} \cdot ((L_2 \cdot s + R_2) + (1/(C_6 \cdot s)) + (L_4 \cdot s + R_4) + (L_5 \cdot s + R_5)) - I_{11} \cdot (L_2 \cdot s + R_2) - \\
 - I_{22} \cdot (L_4 \cdot s + R_4) - I_{44} \cdot (1/(C_6 \cdot s)) = -L_4 \cdot I_{40} - L_2 \cdot I_{20} + L_5 \cdot I_{50} - (U_{C6}/s) \\
 I_{44} \cdot ((1/(C_6 \cdot s)) + (L_7 \cdot s + R_7) + (L_8 \cdot s + R_8)) - I_{33} \cdot (1/(C_6 \cdot s)) - I_{44} \cdot (L_8 \cdot s + R_8) = \\
 = (U_{C6}/s) - L_7 \cdot I_{70} + L_8 \cdot I_{80} \\
 I_{55} \cdot ((L_8 \cdot s + R_8) + (L_9 \cdot s + R_9) + (1/(C_{10} \cdot s))) - I_{44} \cdot (L_8 \cdot s + R_8) - I_{66} \cdot (1/(C_{10} \cdot s)) = \\
 = -(U_{C10}/s) - L_8 \cdot I_{80} - L_9 \cdot I_{90} \\
 I_{66} \cdot ((1/(C_{10} \cdot s)) + (L_{11} \cdot s)) - I_{55} \cdot (1/(C_{10} \cdot s)) = (U_{C10}/s) - L_{11} \cdot I_{110} - U_2
 \end{cases}$$



# Струм у первинній обмотці трансформатора напруги в операторній формі запису з врахуванням початкових умов

Після зворотного перетворення Лапласа математична модель струму  $i_2(t)$  записується у вигляді наступного виразу:

$$I_2 = 110.172e^{(-20634t)} - 110.177e^{(-20633.9t)} + 77.7448e^{(-11229.8t)} - 77.3851e^{(-11229.5t)} - 4.42932e^{(-78.2972t)} + 3.68222e^{(-78.1488t)} + 0.649293e^{(-67.715t)} + e^{((0-314.1)t)} ((-0.0119518 - 0.014511I) - (0.0119518 - 0.014511I)e^{((0.+628.1)t)}) + e^{((-631.939-3.18377 \cdot 10^6 I)t)} ((-0.245073 + 0.00058168I) - (0.245073 + 0.00058168I)e^{((0.+6.36755 \cdot 10^6 I)t)}), (A).$$

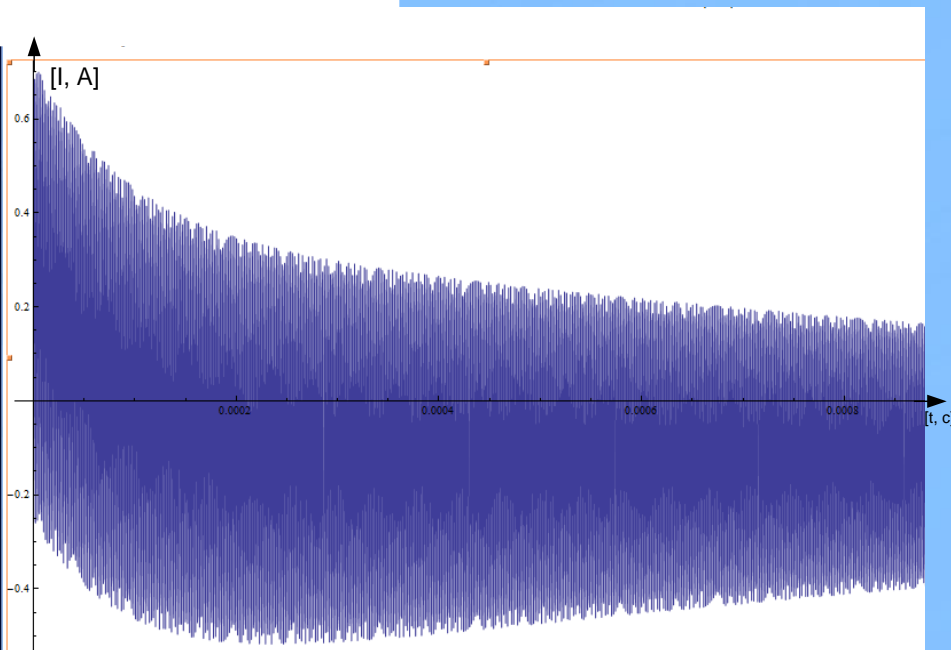


Рис. 8.1

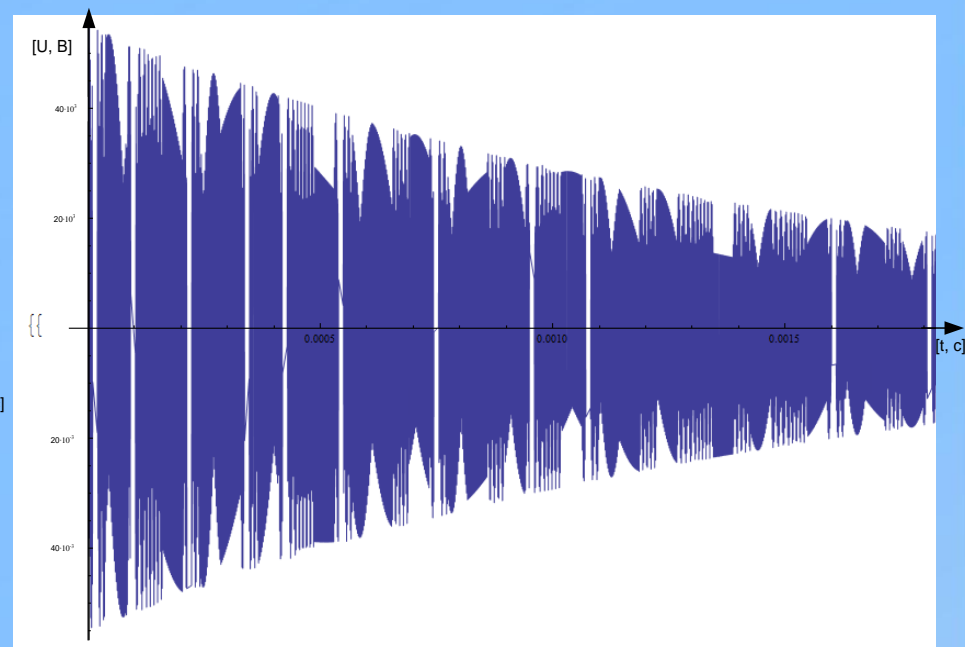


Рис. 8.2

# Комп'ютерне моделювання ЛЕС в ПК PSCAD

- Фрагмент схеми ЛЕС з встановленим ТН:

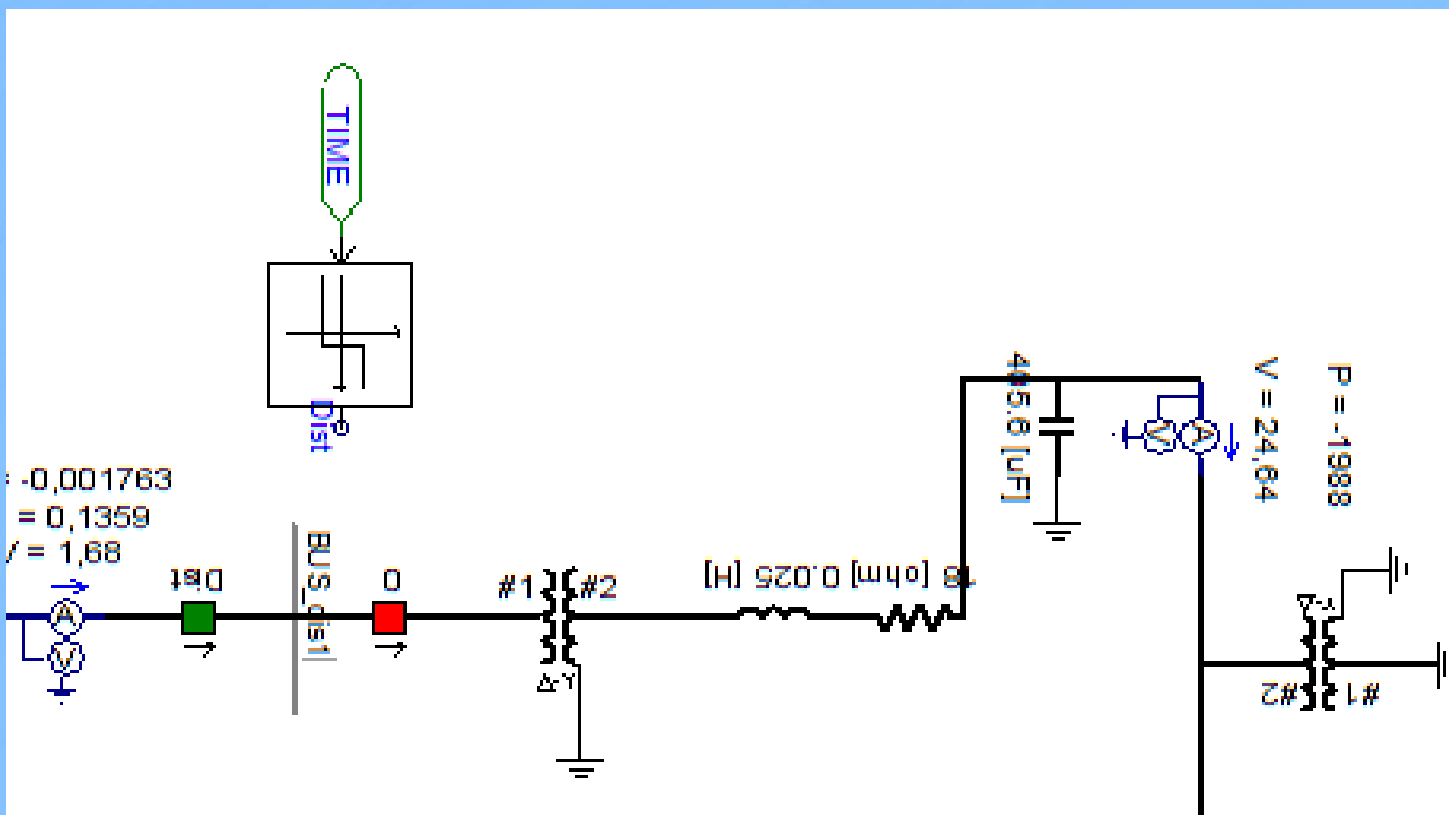


Рис. 9

# Осцилограми та гармонічні спотворення на шинах СЕС

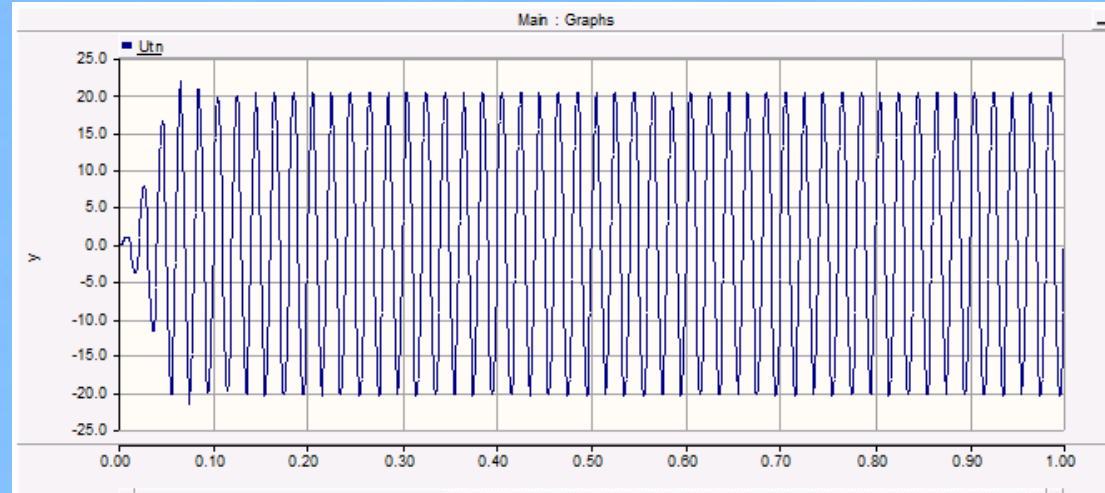


Рис. 10.1

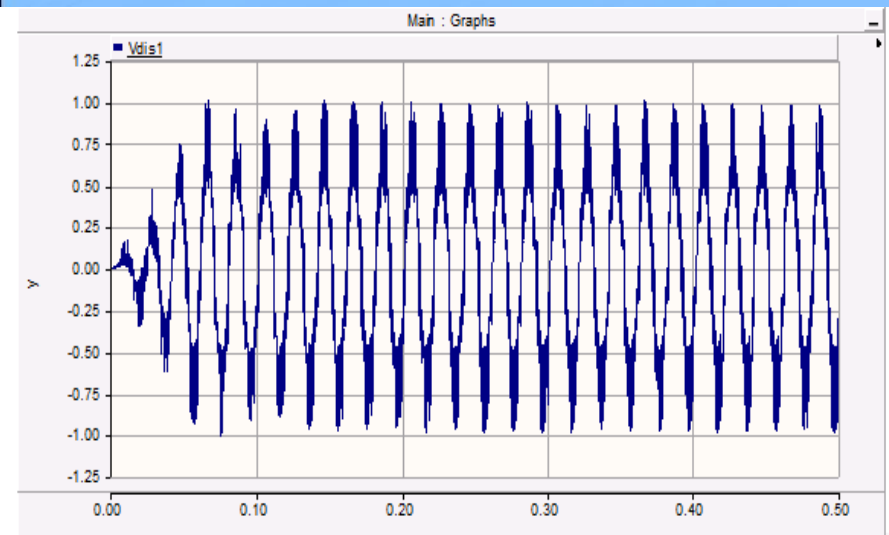
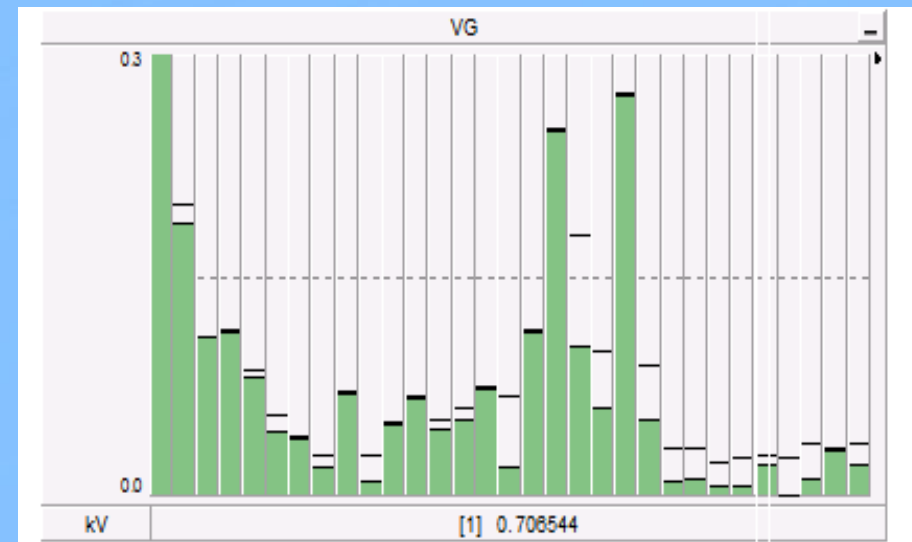


Рис. 10.2



# ВИСНОВКИ

У роботі наведено нове вирішення нової науково-прикладної задачі дослідження стану обладнання розподільних мереж, струмів та напруг в ньому шляхом врахування параметрів інверторів СЕС. Результати комп'ютерного моделювання підтвердили теоретичні дослідження сформульовані в роботі.

Виконані теоретичні та практичні дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Проведений аналіз обладнання та режимів роботи ЛЕС дозволив виявити їх особливості, які полягають в тому, що широке впровадження СЕС може викликати зростання пошкоджуваності застарілого обладнання РЕМ;
2. Дослідження стану обладнання ЛЕС в Україні свідчать про те, що велика його частина відпрацювала свій паспортний ресурс;
3. Дослідження пошкоджуваності ЛЕП ЛЕС свідчать про те, що більшість всього пошкоджують повітряні лінії та кабельні лінії, серед пошкоджень електричного характеру яких, найбільше пошкоджуються муфти;
4. Дослідження пошкоджуваності обладнання ТП ЛЕС свідчить про те, що найбільш пошкоджуються силові трансформатори, розрядники та трансформатори напруги;
5. Отримали подальший розвиток математичні моделі струмів та напруг вимірювальних трансформаторів напруги, розрядників та кабельних муфт, які дозволяють оцінити складність аналітичних форм запису струмів в них;
6. Отримали подальший розвиток комп'ютерні моделі ЛЕС, які містять ТН, КЛ і розрядники, та дозволяють досліджувати процеси в них;
7. Проаналізовані та розроблені заходи з ОП та безпеки життєдіяльності в НС;
8. Розроблене техніко-економічного обґрунтування вибору теми, та визначення капіталовкладень в будівництво та введення в експлуатацію «дахової» СЕС.

- **Наукова новизна:**
- – отримала подальший розвиток методика аналізу пошкоджуваності обладнання розподільних електричних мереж шляхом врахування параметрів СЕС та іншого обладнання локальних електричних систем, результати якого дозволяють визначити найбільш пошкоджене обладнання.
- **Практична значення отриманих результатів:**
- – результати досліджень з пошкоджуваності обладнання ЛЕС та процесів в ньому можуть бути використані під час аналізу та вдосконалення роботи розподільних електричних мереж з РДЕ
- **Публікації:** Атаманський, А. В. Дослідження пошкоджуваності обладнання локальних електричних систем [Електронний ресурс] / А. В. Атаманський, О. Є. Рубаненко // Тези доповідей XLV регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, м. Вінниця, 02—03 березня 2016 року: – Вінниця, 2016. – С. 1. Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2016/paper/view/351>
- Атаманський, А. В. Дослідження технічного стану обладнання ЛЕС з РДЕ [Електронний ресурс] / А. В. Атаманський, О. Є. Рубаненко // Тези доповідей XLIV регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, м. Вінниця, 11—13 березня 2015 року: – Вінниця, 2015. – С. 1. Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/ineeem/txt/atamanskiy-rubanenko.pdf>

**Дякую за увагу!**

**Доповідь  
закінчена**