

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри енергетики та  
електротехнічних систем

---

доцент Чепіжний А.В.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження впливу нелінійних приймачів на  
форму кривих струму і напруги в мережах 0,38/0,22 кВ»

Виконав

\_\_\_\_\_ (підпис)

Божко А.В.  
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-1м

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Юрченко О.Ю.  
(прізвище, ініціали)

**Суми – 2024**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інженерно-технологічний факультет**  
**Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та  
електротехнічних систем

доцент \_\_\_\_\_ Чепіжний А.В.  
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**  
**ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

*Божку Антону Вікторовичу*

(прізвище, ім'я та по батькові)

**1. Тема роботи:** Дослідження впливу нелінійних приймачів на форму кривих струму і напруги в мережах 0,38/0,22 кВ

керівник роботи: Юрченко Олександр Юрійович, ст. викладач  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» 02 2024 р. № 572/ос

**2. Термін подання здобувачем закінченої роботи** «11» 11 2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи** правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, правила техніки безпеки, правила улаштування електроустановок, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти.

**4. Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, що підлягають розробці):

Вступ

Розділ 1. Аналіз причини виникнення несинусоїдальних режимів

Розділ 2. Дослідження несинусоїдальних режимів в розподільних мережах

Розділ 3. Моделювання несиметричних та несинусоїдальних спотворень в мережі 0,38/0,22 кВ

Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Розділ 5. Розрахунок техніко-економічного ефекту

Висновки

Список використаних джерел

**5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:**

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

## 6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
Охорона праці		
Економічне обґрунтування		

### КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділів «Розділ 4» та «Розділ 5»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

(підпис)

(Божко А.В.)  
(прізвище, ініціали)

(Науковий) керівник  
дипломної роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

(Юрченко О.Ю.)  
(прізвище, ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 АНАЛІЗ ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ РЕЖИМІВ .....	8
1.1 Аналіз несинусоїдальних величин напруг та струмів в розподільних мережах.....	8
1.2 Аналіз та дослідження роботи режимів мереж при несинусоїдальних спотвореннях.....	10
Висновки до розділу 1.....	13
2 ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ РЕЖИМІВ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ .....	14
2.1 Дослідження основних співвідношень для несинусоїдальних величин ...	14
2.2 Дослідження лінійних електричних кіл при несинусоїдальній напрузі джерела живлення .....	16
Висновки до розділу 2 .....	19
3 МОДЕЛЮВАННЯ НЕСИМЕТРИЧНИХ ТА НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ СПОТВОРЕНЬ В МЕРЕЖІ 0,38/0,22 КВ.....	20
3.1 Моделювання та дослідження несиметричного режиму сільської ПЛ 0,38 / 0,22 кВ .....	20
3.2 Дослідження роботи асинхронного двигуна при різних рівнях несинусоїдальності напруги .....	32
Висновки до розділу 3 .....	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	38
4.1 Вимоги до обслуговуючого персоналу електроустановок .....	38
Висновки до розділу 4 .....	39
5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ .....	40
5.1 Розрахунок капітальних вкладень у мережу 0,4 кВ .....	40
Висновки до розділу 5 .....	41
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВОКИ ПО РОБОТІ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Станом на сьогодні споживання електроенергії побутовими пристроями в сільській місцевості іноді суттєво перевищує аналогічні показники в містах, причому потужність електроприладів у різних домогосподарствах може значно варіюватися. Зі збільшенням рівня електрифікації як у виробництві, так і в побуті, зростають вимоги до якості електроенергії та надійності систем електропостачання. Аналіз режимів роботи мереж 0,38/0,22 кВ показує, що рівень напруги на виходах споживачів і показники несиметрії не відповідають стандартам якості напруги. Згідно зі стандартами, напруга прямої та нульової послідовності повинна бути такою, щоб при допустимій несиметрії не викликати відхилень, встановлених стандартом. Одночасно, однофазні споживачі, підключені до мережі, мають випадковий характер споживання, що спричиняє значну несиметрію струмів і напруг. Струм у нульовому проводі призводить до додаткових втрат електроенергії. Несиметрія напруг значно погіршує експлуатаційні характеристики асинхронних двигунів, що скорочує їх термін служби. Як відомо, втрати активної енергії через нерівномірне навантаження фаз у мережі 0,38/0,22 кВ можуть збільшуватися до 30% порівняно з втратами при симетрії струмів і напруг.

Проведене вивчення поставлених питань за літературними джерелами показало, що ряд завдань, пов'язаних з несиметрією струмів і напруги в чотирипровідних мережах 0,38/0,22 кВ в даний час недостатньо досліджені. Так, наприклад, практично відсутні методи розрахунку режимів мереж з комунально-побутовим навантаженням при імовірнісному характері електроспоживання. Запропоновані методи зниження несиметрії або важко реалізувати, або неприйнятні технічно і недоцільні економічно.

*Мета і задачі дослідження.* Метою магістерської роботи є дослідження несинусоїдальних та несиметричних режимів роботи мереж 0,38/0,22 кВ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити *задачі*:

1. Дослідити роботу повітряної лінії 0,38/0,22 кВ при несинусоїдальності струмів.

2. Отримати характеристики лінійних електричних кіл при несинусоїдальній напрузі джерела живлення.

3. Дослідити режими однофазних нелінійних споживачів і мережі та побудувати модель мережі для визначення додаткових втрат електричної енергії.

4. Дослідити роботу асинхронного двигуна при різних рівнях несинусоїдальності напруги.

*Науково-технічна новизна* – дослідження несинусоїдальних та несиметричних режимів мереж.

*Методи дослідження.* Для вирішення поставлених задач використовувались методи системного аналізу, методи математичного моделювання, теорія електричних кіл, програма Matcad.

*Предметом дослідження* є зниження втрати енергії при несинусоїдальних струмах та напругах в електричних мереж 0,38/0,22 кВ.

*Практичне значення одержаних результатів* полягає в тому, що отримані несинусоїдальні та несиметричні характеристики струмів і напруг споживачів в мережах 0,38/0,22 кВ.

## 1 АНАЛІЗ ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ РЕЖИМІВ

### 1.1 Аналіз несинусоїдальних величин напруг та струмів в розподільних мережах

Під час генерації, перетворення, розподілу та споживання електроенергії виникають викривлення форми синусоїдальних ЕРС, напруг і струмів. Несинусоїдальні струми з'являються в колах навіть при наявності синусоїдальних ЕРС і напруг джерел енергії, якщо в колах є нелінійні елементи. Наприклад, в котушці з феромагнітним магнітопроводом, яка є нелінійним елементом, при синусоїдальній нарузі струм стає несинусоїдальним. Подібне явище спостерігається в промислових і міських мережах, коли використовуються люмінесцентні лампи з нелінійними вольт-амперними характеристиками як освітлювальні прилади. Нелінійні елементи широко застосовуються в електричних колах автоматики, управління, релейного захисту тощо. Такі елементи, як стабілізатори напруги, помножувачі та дільники частоти, магнітні підсилювачі тощо, спричиняють викривлення форми кривих напруги або струму.

Постійний струм отримують шляхом перетворення змінного синусоїдального струму за допомогою випрямлячів, які використовують нелінійні елементи, такі як діоди. В результаті цього в електричних колах з'являються несинусоїдальні струми та напруги. На рисунку 1.1 показані часові діаграми напруг і струмів для однонапівперіодного і двонапівперіодного випрямлячів, що працюють з резистивним навантаженням. Сучасна імпульсна техніка отримала широке застосування, і форми імпульсів напруги в ній можуть бути дуже різноманітними, включаючи трикутні, прямокутні, трапецеїдальні імпульси тощо. Останнім часом власники електроустановок, що використовують комп'ютерні мережі, в яких підключено від 20 до кількох тисяч комп'ютерів, все частіше

спостерігають гармоніки з частотами, вищими за стандартну промислову частоту 50 Гц.

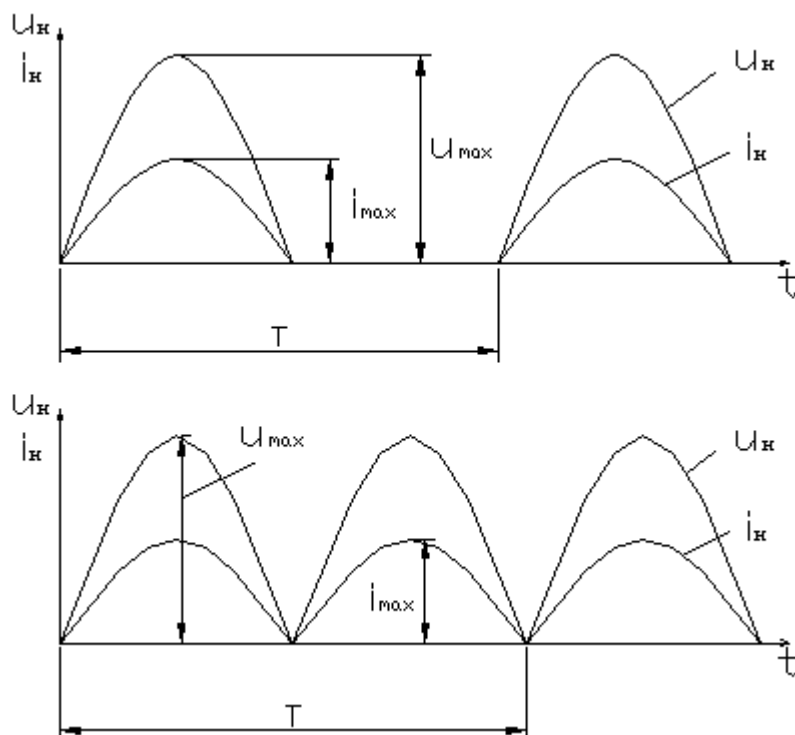


Рисунок 1.1 – Часові діаграми напруг і струмів однонапівперіодного і двонапівперіодного випрямлячів

Усі країни на певному етапі розвитку мікропроцесорної техніки стикаються з проблемою нестабільної якості електроенергії, що змушує їх радикально переглядати технічні регламенти експлуатації, проєктні норми та розробляти відповідні стандарти. Коли частка нелінійних електроспоживачів становить не більше 10-15%, зазвичай не виникає жодних труднощів в експлуатації системи електропостачання. Проте, якщо цей поріг перевищується, можуть з'являтися різні проблеми, причини яких не завжди очевидні. У будівлях, де частка нелінійного навантаження перевищує 25%, проблеми можуть виникати одразу. Найпоширенішими джерелами гармонік струму в мережі є: комп'ютерні системи, статичні перетворювачі (випрямлячі, системи безперебійного живлення, тиристорні регулятори, імпульсні джерела живлення тощо); газорозрядні світильники та електронні баласты; зварювальне обладнання; пристрої з електромагнітними

елементами, що насичуються; електродвигуни змінного струму з регулюванням швидкості; спеціальні медичні прилади тощо. Гармоніки струму, кратні трьом (3, 9, 15, 21 і т. д.), що визначають високий коефіцієнт амплітуди і генеруються однофазними навантаженнями, мають особливий вплив у трифазних системах. У симетричній трифазній системі синусоїдальні струми зміщені на 120 градусів один відносно одного, через що сума струмів у нейтральному провіднику дорівнює нулю, і падіння напруги на нейтральному проводі не виникає.

Це твердження є справедливим для більшості гармонік. Проте деякі з них мають напрямок обертання вектора струму, що збігається з напрямком основної гармоніки (першої з частотою 50 Гц), тобто вони мають пряму послідовність. Інші ж обертаються у протилежний бік і тому мають зворотню послідовність. Це не стосується гармонік, кратних третій. У трифазних колах вони зміщені на 360 градусів один від одного, що призводить до їх фазового збігу і утворення нульової послідовності. Непарні гармоніки, кратні третій, підсумовуються в нейтральному проводі. Оскільки вони складають значну частину загального фазного струму, сумарний струм у нейтралі може перевищувати фазні струми. Гармоніки, кратні третій, спричиняють падіння напруги як у нейтралі, так і в фазних проводах, що призводить до спотворення напруги на інших пристроях, підключених до цієї мережі.

## 1.2 Аналіз та дослідження роботи режимів мереж при несинусоїдальних спотвореннях

У ході дослідження режимів мереж 10 кВ – 0,38/0,22 кВ були виявлені суттєві викривлення синусоїдальності струмів і напруг. На рис. 1.2 наведено результати вимірювань протягом доби коефіцієнтів спотворення струмів і напруг ПЛ 110 кВ. Вони вимірювалися індивідуально по кожній фазі, мають різкозмінний характер. Спотворення по напрузі лежать в межах від 1,5 до 3,5%, по струму - від 10 до 30%.

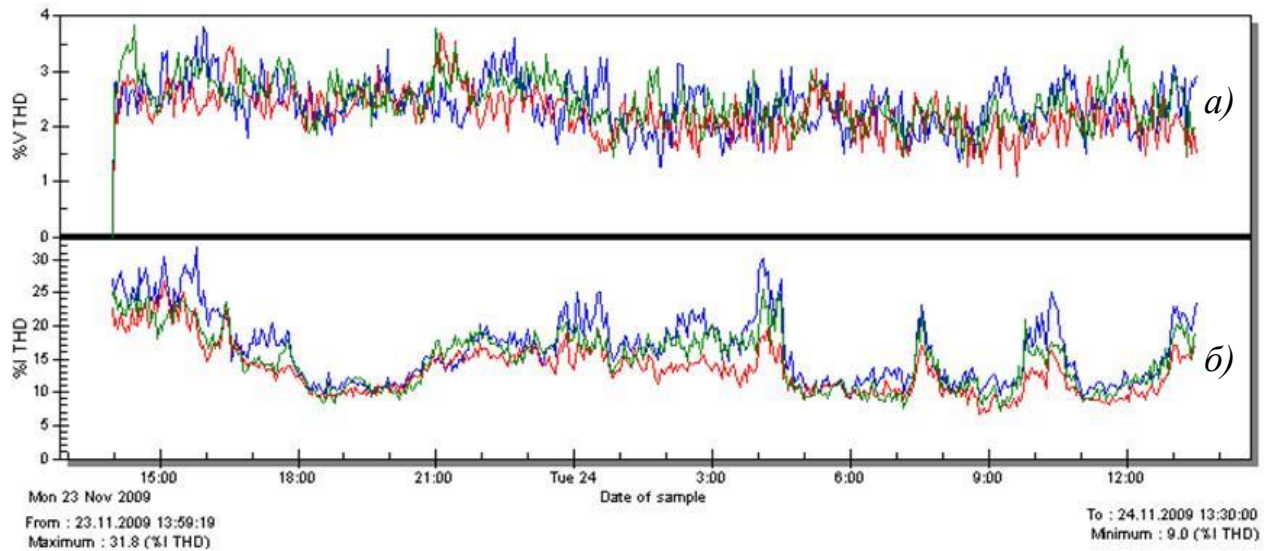
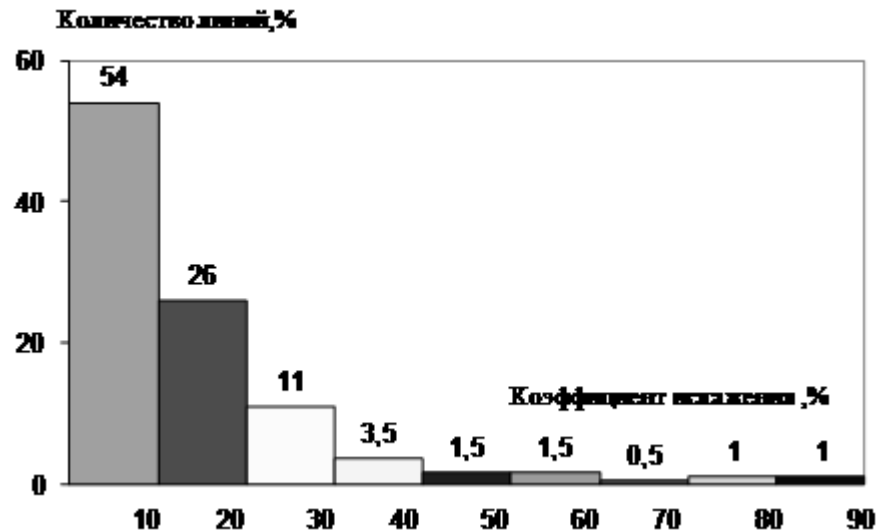
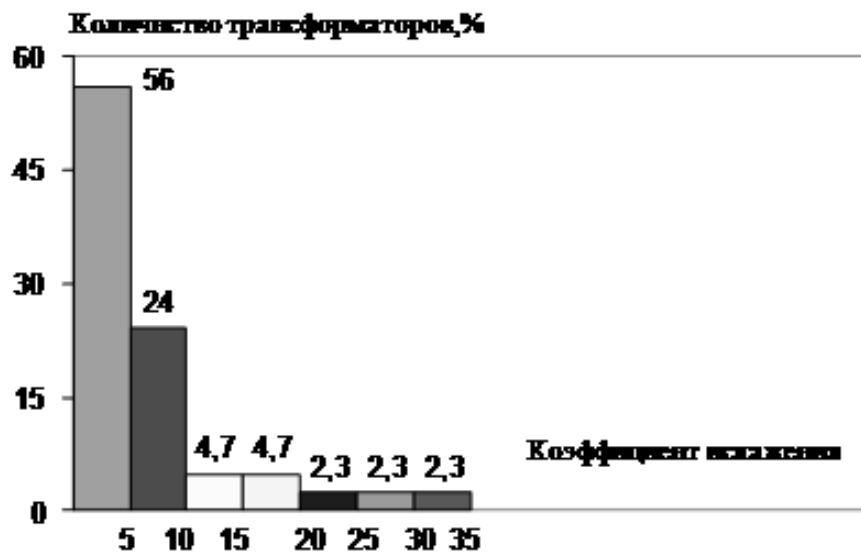


Рисунок 1.2. – Зміни коефіцієнтів спотворення синусоїдальності фазних напруг (а) і струмів (б)

Порівняємо результати вимірювань коефіцієнтів спотворення трансформатора. У трансформатора збоку 10 кВ коефіцієнти спотворення синусоїдальності по напрузі за період спостереження перебували в межах 1 – 2%; коефіцієнти спотворення по струму досить істотні – від 4 до 21%. Зростання коефіцієнта спотворень по струму відбувається вночі, в період нічного провалу навантаження, максимальне його значення спостерігається в 4:00 місцевого часу. Це дає підстави припускати наявність невеликого за величиною, але постійно діючого джерела спотворення синусоїдальності, підключеного до шин 10 кВ підстанції. Аналіз рівнів несинусоїдальності струмів обстежених ЛЕП показав, що певний рівень несинусоїдальності має місце у всіх лініях (рис. 1.3, а). Половина ліній характеризується рівнем коефіцієнта спотворення синусоїдальності струмів менше 10%, ще чверть ліній – 10 – 20%, невелике число ліній – більше 60%. Коефіцієнт спотворення синусоїдальності струму різниться по фазах і практично не пов'язаний з характеристиками добового графіка навантажень. Спектральне розкладання кривої дозволяє виявити номери і величини коефіцієнтів діючих гармонік.



а)



б)

Рисунок 1.3. – Розподіл ліній (а) і трансформаторів (б) по рівню коефіцієнта спотворення синусоїдальності струму

Завантаження трансформаторів несинусоїдальними струмами може характеризувати розподіл (рис. 1.3, б), який показує, що більше половини трансформаторів мають коефіцієнти спотворень менше 7%, а три чверті - менше 10%. У трансформаторах не виявлені режими, близькі до резонансних. Зокрема, в гармонійному розкладанні кривої напруги трансформатора підстанції були присутні гармоніки 3, 5, 7, 11, 13, 23, 35 і 46,

а в кривій струму – гармоніки 5, 7, 11, 13 порівняно невисокого рівня; такий спектр характерний для більшості трансформаторів.

#### Висновки до розділу 1

Спотворення синусоїдальності струмів окремих ліній і трансформаторів 10 кВ мереж мають стійкий характер і досягають величин, що значно перевищують допустимий за ГОСТ 13109-97 значення. Основна ж маса ліній та трансформаторів завантажена несинусоїдальними струмами незначно, що призводить до певного збільшення втрат потужності та електроенергії в них.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ РЕЖИМІВ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

### 2.1 Основні співвідношення для несинусоїдальних величин

Під максимальними значеннями несинусоїдальних ЕРС, струмів або напруг розуміється їх найбільше миттєве значення. Під діючими значеннями несинусоїдальних ЕРС, струмів і напруг, як і для синусоїдального струму, розуміється їх середньоквадратичне значення за період.

Так, чинне значення несинусоїдального струму за період:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} , \quad (2.1)$$

де  $i(t) = I_0 + I_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots + I_{km} \sin(k\omega t + \psi_k)$ .

Після інтегрування одержуємо:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2} , \quad (2.2)$$

де  $I_1, I_2, I_k$  - діючі значення струмів першої, другої,  $k$ -й гармонік, тобто

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} \quad I_2 = \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}} \quad I_k = \frac{I_{km}}{\sqrt{2}} \\ E &= \sqrt{E_0^2 + E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_k^2} ; \\ U &= \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2} . \end{aligned} \quad (2.3)$$

Отже, чинне значення несинусоїдального струму практично визначається як корінь квадратний із суми квадратів постійної складової і

діючих значень всіх наступних гармонік. Аналогічно діюче значення ЕРС і напруги. Існують такі поняття середніх значень несинусоїдальних струмів, ЕРС, напруги і постійної складової:

- середнє значення несинусоїдального струму за період, що дорівнює його постійній складовій:

$$I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = I_0, \quad (2.4)$$

- середнє значення за модулем несинусоїдального струму за період:

$$I_{cp.mod} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt. \quad (2.5)$$

Таким же чином може бути здійснено запис середніх значень несинусоїдальних ЕРС, напруги. Форми періодичних несинусоїдальних кривих можуть характеризуватися наступними коефіцієнтами (в дужках наведені значення коефіцієнтів для синусоїдальних струмів):

- 1) Коефіцієнт амплітуди  $k_a = I_m / I$  ( $k_a = 1.41$ ).
- 2) Коефіцієнт форми  $k_\phi = I / I_{cp.mod}$  ( $k_\phi = 1.11$ ).
- 3) Коефіцієнт гармонії  $k_\Gamma = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots} / I_1$  ( $k_\Gamma = 0$ ).
- 4) Коефіцієнт середнього значення  $k_{cp} = I_{cp} / I_m$  ( $k_{cp} = 0$ ).
- 5) Коефіцієнт спотворення  $k_H = I_1 / \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}$  ( $k_H = 1$ ).
- 6) Коефіцієнт пульсації  $k_n = I_{1m} / I_0$

Коефіцієнти  $K_a$  і  $K_\phi$  характеризують форму періодичних кривих, тобто їх відмінність від синусоїди. Коефіцієнти  $K_\Gamma$  і  $K_c$  є показники якості електричної енергії енергосистем. При оцінці результатів перетворення

змінного синусоїдального струму в постійній використовуються коефіцієнти  $K_{CP}$  і  $K_n$ .

Для електричних кіл при несинусоїдальних напругах і струмах миттєва потужність визначається як:  $p(t)=u(t) \cdot i(t)$ . Активна потужність, як і для синусоїдального струму, є середнє значення миттєвої потужності за період:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt \quad (2.6)$$

Після підстановки значень  $u(t)$  і  $i(t)$ , що мають однаковий гармонійний склад, отримаємо:

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + \dots + U_k I_k \cos \varphi_k, \quad (2.7)$$

$$\varphi_k = \psi_{ku} - \psi_{ki}.$$

Отже, активна потужність при несинусоїдальних напругах і струмах дорівнює сумі активної потужності постійних складових і активних потужностей всіх гармонічних складових струму і напруги.

Повна потужність:

$$S = UI, \quad (2.8)$$

де  $U$  і  $I$  – діючі значення несинусоїдальних напруги та струму.

## 2.2 Дослідження лінійних електричних кіл при несинусоїдальній напрузі джерела живлення

Відомо, що до лінійних електричних кіл застосовується метод накладення. Відповідно до цього запис періодичної несинусоїдальної напруги джерела енергії рядом Фур'є дає можливість представити його

кількома послідовно з'єднаними і одночасно діючими джерелами ЕРС або напруги і здійснювати аналіз електтрического стану кіл на основі методу накладання. У ряді випадків при проведенні практичних розрахунків періодичні несинусоїдальні ЕРС і напруги представляють еквівалентними синусоїдами. Подібна заміна здійснюється так, щоб діюче значення еквівалентної синусоїди ЕРС або напруги дорівнювало діючим значенням несинусоїдальної величини.

При резистивному навантаженні струми всіх гармонік збігаються за фазою з відповідними гармоніками напруг і форма кривої несинусоїдального струму аналогічна формі кривої напруги  $u(t)$ .

У колі з індуктивним елементом амплітуда струму основної гармоніки визначається як  $I_{1m} = U_{1m}/\omega L$ , а амплітуди струмів всіх інших гармонійних складових  $I_{km} = U_{km} / \omega L$ . Так як опір індуктивного елемента збільшується з переходом до вищих гармоніках, то амплітуда кожної гармоніки струму буде зменшуватися обернено пропорційно порядку гармоніки і вищі гармоніки струму будуть проявлятися в меншій мірі в загальній кривій струму. Таким чином, крива струму менше відрізняється від синусоїди, ніж крива напруги. Аналогічно в колі з ємнісним елементом амплітуди струмів вищих гармонік визначаються як:

$$I_{km} = \frac{U_{km}}{1/k\omega C} . \quad (2.9)$$

Так як опір ємнісного елемента зменшується з переходом до вищих гармоніках, то амплітуди гармонік струму будуть збільшуватися пропорційно порядку гармоніки, форма кривої струму буде спотворюватися ще більше в порівнянні з кривою напруги. Оскільки зі зростанням частоти опір індуктивного елемента збільшується, а ємнісного зменшується, то в електричному колі а може виникнути резонанс напруг або для першої, або для однієї з вищих гармонік.

Умова виникнення резонансу напруг для деякої  $k$ -гармоніки:  $k\omega L = 1/k\omega C$ . При цьому амплітуда струму резонансної гармоніки може значно перевищити амплітуди струму всіх інших гармоник, а на ділянках електричного кола як з індуктивним, так і з ємнісним елементом можуть виникнути перенапруги. В електричних колах несинусоїдального струму при паралельному з'єднанні котушки і конденсатора можливе виникнення резонансу струму або для першої, або для однієї з вищих гармонік з властивими для даного резонансу явищами. Наприклад, розглянемо електричне коло (рис. 2.1 а),

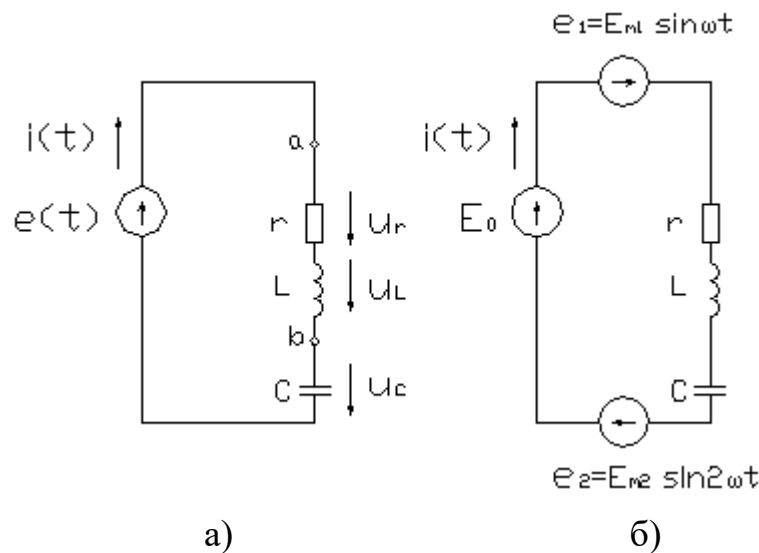


Рисунок 2.1 – Дослідження електричних кіл при несинусоїдальному струму і напруги

$$e(t) = E_0 + E_{1m} \sin \omega t + E_{2m} \sin 2\omega t,$$

в якому до джерела з несинусоїдальної ЕРС підключені послідовно резистивний, індуктивний і ємнісний елементи.

З урахуванням вищесказаного, у розглянутій електричній схемі кола ЕРС  $e(t)$  може бути представлена трьома ЕРС (рис. 2.1, б),

$$e(t) = E_0 + E_{1m} \sin \omega t + E_{2m} \sin 2\omega t.$$

Відповідно до методу накладення данне електричне коло розраховується як коло, у якому діють три незалежні ЕРС. При цьому визначення струму і напруги від ЕРС  $e_0$  здійснюється, як при розрахунку кіл постійного струму, а від ЕРС  $e_1$  і  $e_2$  – як при розрахунку кіл синусоїдального струму. При розрахунку кола від ЕРС  $e_2$  і ЕРС більше вищих гармонік необхідно проводити перерахунок значень  $X_L$  і  $X_C$ , тому що вони залежать від частоти  $X_{Lk}=k\omega L$ ;  $X_{Ck}=1/k\omega C$ .

В електричному колі постійна складова ЕРС не викликає усталеного струму, тому що опір ємнісного елемента при постійному струмі дорівнює нескінченності. Визначаємо струм і напруга в електричному колі з ЕРС  $e_1$  і  $e_2$ . Для першої гармоніки –

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1),$$

а для другої гармоніки –

$$i_2 = I_{2m} \sin(2\omega t + \varphi_2).$$

Напруги на елементах кола визначаються як добутки струмів та опорів. По відношенню до постійної складової ЕРС  $E_0$  опір конденсатора дорівнює нескінченності, тобто  $X_C = 1/\omega C = 1/0 \cdot C = \infty$ . Отже, постійна складова струму  $I_0=0$ , Визначення гармонійних складових струмів  $i_1$  і  $i_2$ , а також напруг  $U_r$ ,  $U_L$  і  $U_C$  можна також здійснити за використанням комплексних чисел.

## Висновки до розділу 2

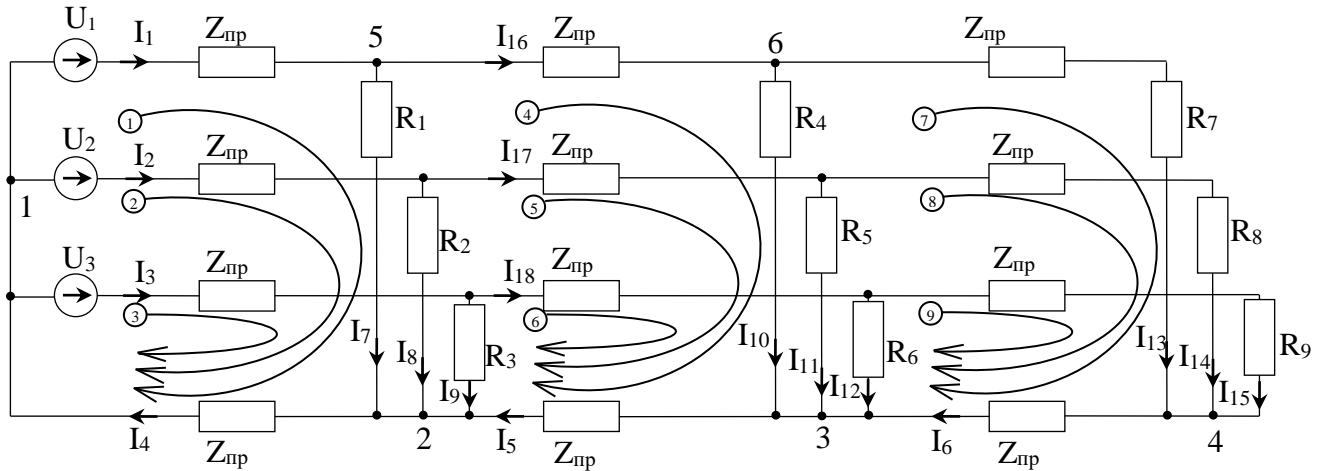
У ряді випадків при проведенні практичних розрахунків періодичны несинусоїдальны ЕРС і напруги представляють еквівалентними синусоїдами. Подібна заміна здійснюється так, щоб діюче значення еквівалентної синусоїди ЕРС або напруги дорівнювало діючим значенням несинусоїдальної величини.

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ НЕСИМЕТРИЧНИХ ТА НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ СПОТВОРЕНЬ В МЕРЕЖІ 0,38/0,22 КВ

#### 3.1 Моделювання та дослідження несиметричного режиму сільської ПЛ 0,38 / 0,22 кВ

У відповідності із завданням магістерської роботи проведено моделювання режимів мережі 0,38/0,22 кВ, розрахункова схема якої представлена на рис. 3.1. Оскільки лінії 0,38/0,22 кВ, що відходять від підстанції 10/0,4 кВ, мають подібну структуру та підключених споживачів зі схожим характером електроспоживання, моделювання можна здійснити для однієї з ліній. Схема заміщення лінії 0,38/0,22 кВ представлена у вигляді трифазної системи, де джерело є сукупністю трьох однофазних джерел напруги, з'єднаних у "зірку", а початкові фази їх синусоїд дорівнюють 0, 120 і 240 градусів відповідно. Опори алюмінієвих проводів складаються з послідовно з'єднаних активних і реактивних опорів ділянок (для проводу АС-35:  $R = 0,012$  Ом,  $X = 0,011$  Ом) між точками підключення споживачів (для повітряних ліній це відстань між стовпами). Споживачі підключаються між одним із фазних проводів і нульовим проводом. Споживачі різної потужності підключені так, що лінія 0,38/0,22 кВ, по відношенню до шин підстанції 10/0,4 кВ, є симетрично навантаженою. Опори споживачів кратні математичному очікуванню навантаження на ввіді побутового споживача під час вечірнього піку. Лінія складається лише з повнофазної магістралі довжиною 105 м. На схемі опори навантаження мають значення: 20 Ом, 30 Ом, 40 Ом. Опір  $R = 30$  Ом прийнятий як базовий, що відповідає середньому значенню опору однофазного споживача. Моделювання лінії 0,38/0,22 кВ з трьома однофазними споживачами різної потужності в кожному вузлі підключення показало, що на  $2/3$  довжини нульового проводу протікає урівноважувальний струм при повній симетрії струмів на затискачах

трансформатора 10/0,4 кВ, що досягається рівномірним підключенням однофазних споживачів до фазних проводів.



Риунок 3.1 – Схема заміщення лінії 0,38/0,22 кВ з трифазним джерелом

Застосувавши закон Кірхгофа визначимо струми в колі:

$$-I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

$$I_7 + I_8 + I_9 + I_5 - I_4 = 0$$

$$I_{10} + I_{11} + I_{12} + I_6 - I_5 = 0$$

$$I_{13} + I_{14} + I_{15} - I_6 = 0$$

$$I_1 - I_{16} - I_7 = 0$$

$$I_2 - I_{17} - I_8 = 0$$

$$I_3 - I_{18} - I_9 = 0$$

$$I_{16} - I_{13} - I_{10} = 0$$

$$I_{17} - I_{14} - I_{11} = 0$$

$$I_1 R_{\text{пр}} - I_7 R_1 + I_4 R_{\text{пр}} = E_1$$

$$I_2 R_{\text{пр}} - I_8 R_2 + I_4 R_{\text{пр}} = E_2$$

$$I_3 R_{\text{пр}} + I_9 R_3 + I_4 R_{\text{пр}} = E_3$$

$$I_{16} R_{\text{пр}} - I_{10} R_4 + I_5 R_{\text{пр}} - I_7 R_1 = 0$$

$$I_{17} R_{\text{пр}} - I_{11} R_5 + I_5 R_{\text{пр}} - I_8 R_2 = 0$$

$$I_{18} R_{\text{пр}} + I_{12} R_6 + I_5 R_{\text{пр}} - I_9 R_3 = 0$$

$$I_{13} R_{\text{пр}} + I_{13} R_7 + I_6 R_{\text{пр}} - I_{10} R_4 = 0$$

$$I_{14} R_{\text{пр}} + I_{14} R_8 + I_6 R_{\text{пр}} - I_{11} R_5 = 0$$

$$I_{15} R_{\text{пр}} + I_{15} R_9 + I_6 R_{\text{пр}} - I_{12} R_6 = 0$$

Задамося значенням опорів споживачів, опором проводу і напруги джерела  $R_{\text{пр}} = 0,012 \text{ Ом}$ , а для опорів  $R_1 - R_9$  величини, відповідно складуть 40 Ом, 20 Ом, 30 Ом, 30 Ом, 40 Ом, 20 Ом, 20 Ом, 30 Ом, 40 Ом,  $U_1 = 220 \text{ В}$ ,  $\varphi_1 = 0^\circ$ ,  $U_2 = 220 \text{ В}$ ,  $\varphi_2 = 240^\circ$ ,  $U_3 = 220 \text{ В}$ ,  $\varphi_3 = 120^\circ$ .

Для розв’язання цих рівнянь скористаємося програмою Mathcad. Приклад розв’язання наведено на рис. 3.2, а значення отриманих струмів наведені в табл. 3.1.

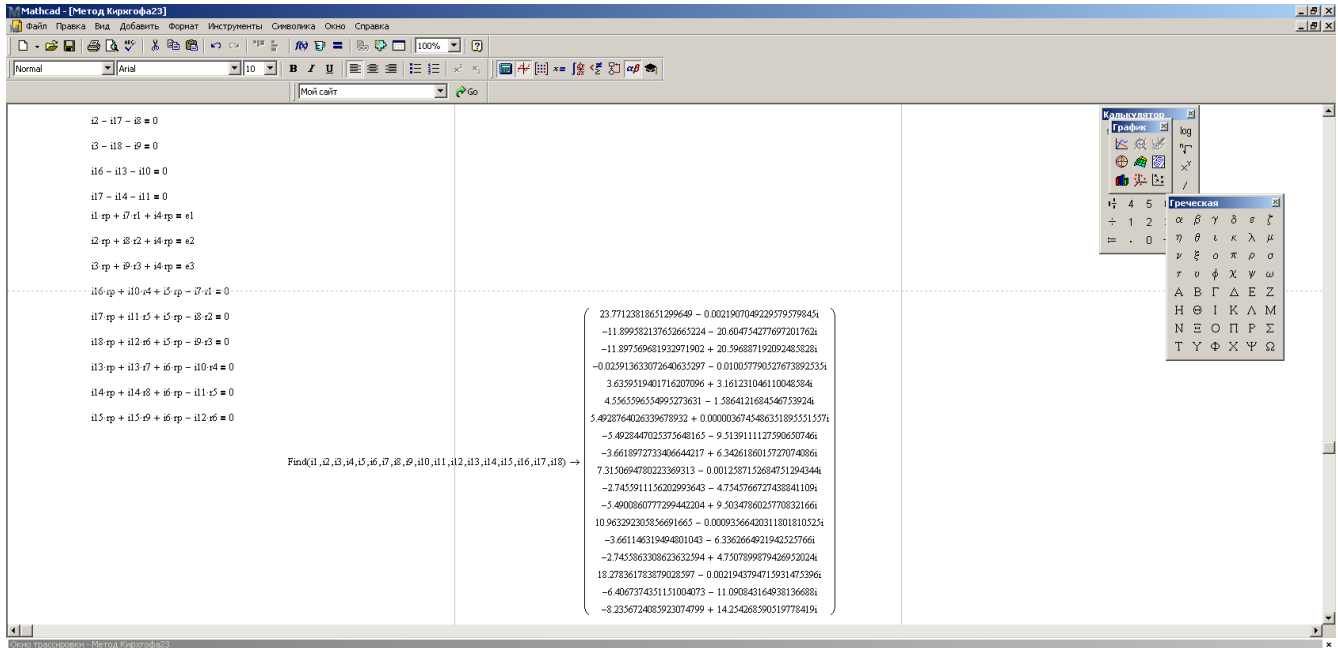


Рисунок 3.2 – Приклад розв’язання рівнянь Кірхгофа програмою Mathcad

Таблиця 3.1 – Значення струмів по рівнянням Кірхгофа

Струм	Значення
$I_1$	$23.77 - j0.002$
$I_2$	$-11.9 - j20.611j$
$I_3$	$-11.9 + j20.6$
$I_4$	$-0.03 - j0.01$
$I_5$	$3.64 + j3.16$
$I_6$	$4.56 - j1.59$
$I_7$	$5.49 + j0.000004$
$I_8$	$-5.49 - j9.51$
$I_9$	$-3.66 + j6.34$
$I_{10}$	$7.32 - j0.001$
$I_{11}$	$-2.75 - j4.76$

$I_{12}$	$-5.49 + j9.5$
$I_{13}$	$10.96 - j0.0009$
$I_{14}$	$-3.66 - j6.34$
$I_{15}$	$-2.75 + j4.75$
$I_{16}$	$18.28 - j0.002$
$I_{17}$	$-6.41 - j11.09$
$I_{18}$	$-8.24 + j14.25$

Проведемо моделювання цієї схеми (рис. 3.3) в Electronics Workbench, щоб отримати діючі значення струмів за період. Приклад схеми представлений на рис. 3.4.

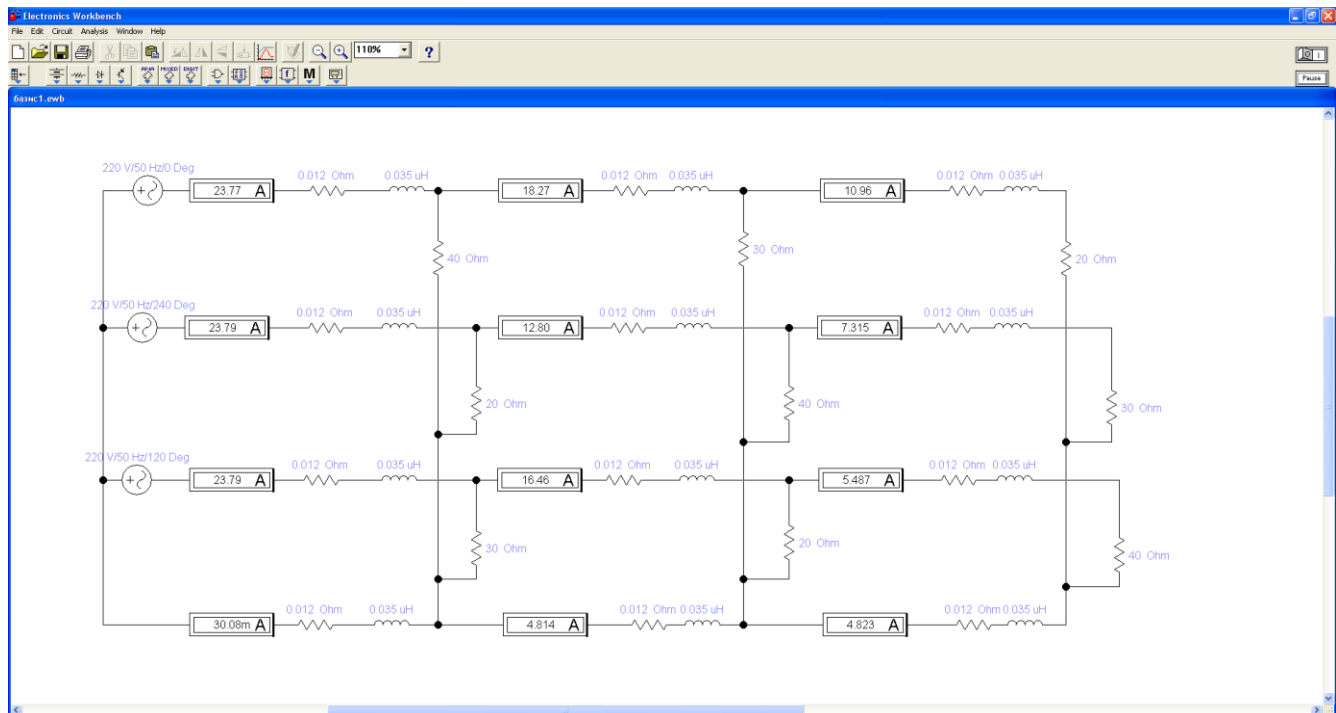


Рисунок 3.3 – Моделювання режимів мережі 0,38/0,22 кВ

Проведемо моделювання цієї схеми для миттєвих значень напруг кожної фази джерела електричної енергії, які змінюються в часі частотою 50 Гц і мають амплітуду 305 В. Миттєве напруга кожної змінюється за

синусоїдальним законом  $u_A(t) = 305 \sin(\omega t)$ ,  $u_B(t) = 305 \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right)$ ,

$u_C(t) = 305 \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$ . Розіб'ємо період, який триває 0,02 с на рівні

частини з кроком 0,002 с (рис. 3.4).

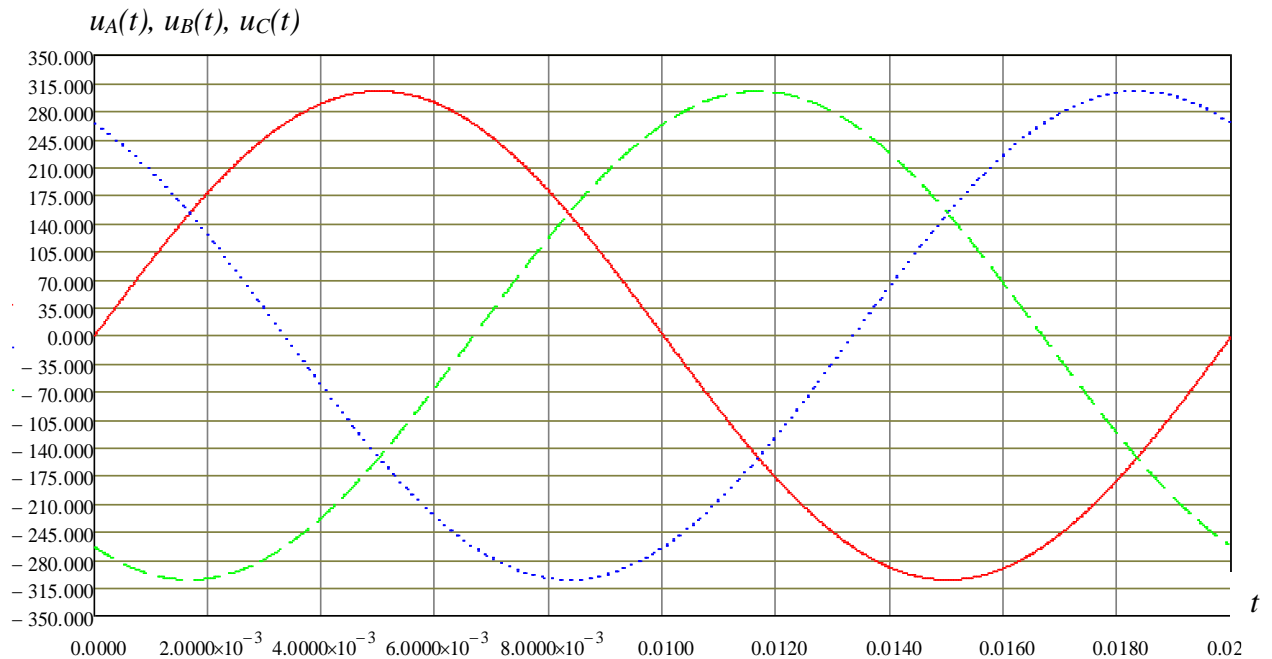


Рисунок 4.4 – Розподіл періоду синусоїд фазних напруг на інтервали

Розіб'ємо вісь часу (період) на 10 відрізків. Для кожного моменту часу за значеннями миттєвих напруг в кожній з фаз (табл. 3.2) будемо визначати миттєві значення струмів (табл. 3.3) на ділянках кола.

Таблиця 3.2 - Миттєві значення напруг кожної з фаз джерела для інтервалу часу 0 - 0,02 с

$t, \text{с}$	0	0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,02
$u_A(t), \text{В}$	0	179,2	290,01	290,16	179,59	94,2	-178,80	-289,86	-290,31	-179,98	-0,97
$u_B(t), \text{В}$	-264,14	-303,34	-226,79	-63,70	123,70	-298,32	303,39	227,11	64,17	-123,26	-263,65
$u_C(t), \text{В}$	264,14	124,14	-63,22	-226,46	-303,29	204,12	-124,59	62,75	226,14	303,24	264,62

Таблиця 3.3 - Миттєві значення струмів на ділянках кола для інтервалу часу 0 - 0,02 с

$t, \text{с}$	Лінія	Діл. 0–1	Діл. 1–2	Діл. 2–3
0	Фаза А	3,39 мА	3,51 мА	1,4 мА
	Фаза В	28,56 А	15,37 А	8,78 А

	Фаза С	-28,55 А	-19,76 А	-6,59 А
	Нульовий провід	15,33 мА	-4,38	2,2 А
0,002	Фаза А	-18,49 А	-14,22 А	-8,52 А
	Фаза В	32,8 А	17,66 А	10,09 А
	Фаза С	13,41 А	-9,28 А	-3,09 А
	Нульовий провід	-893,2 мА	5,84 мА	1,53 А
0,004	Фаза А	-31,33 А	-24,09 А	-14,45 А
	Фаза В	24,53 А	13,2 А	7,55 А
	Фаза С	6,84 А	4,74 А	1,58 А
	Нульовий провід	-41,07 мА	6,15 А	5,32 А
0,006	Фаза А	-31,34 А	-24,1 А	-14,46 А
	Фаза В	6,89 А	3,71 А	2,12 А
	Фаза С	24,49 А	16,95 А	5,65 А
	Нульовий провід	-31,62 мА	3,44 А	6,68 А
0,008	Фаза А	-19,4 А	-14,92 А	-8,95 А
	Фаза В	-13,37 А	-7,2 А	-4,11 А
	Фаза С	32,79 А	22,69 А	7,56 А
	Нульовий провід	-10,11 мА	-574,4 мА	5,5 А
0,01	Фаза А	-10,17 А	-7,82 А	-4,69 А
	Фаза В	32,26 А	-17,36 А	9,92 А
	Фаза С	-22,06 А	-15,27 А	-5,09 А
	Нульовий провід	-26,37 мА	5,72 А	-141,5 мА
0,012	Фаза А	19,32 А	14,85 А	8,91 А
	Фаза В	-32,81 А	-17,66 А	-10,09 А
	Фаза С	13,46 А	9,31 А	3,1 А
	Нульовий провід	34,81 мА	-6,5 А	-1,92 А
0,014	Фаза А	31,22 А	24 А	14,4 А
	Фаза В	-24,56 А	-13,22 А	-7,56 А
	Фаза С	-6,79 А	-4,7 А	-1,57 А
	Нульовий провід	133,3 мА	-6,08 А	-5,27 А
0,016	Фаза А	31,36 А	24,11 А	14,46 А
	Фаза В	-6,94 А	-3,74 А	-2,14 А
	Фаза С	-24,45 А	-16,92 А	-5,64 А
	Нульовий провід	31,66 мА	-3,45 А	-6,68 А
0,018	Фаза А	19,45 А	14,95 А	8,97 А
	Фаза В	13,32 А	7,17 А	4,1 А
	Фаза С	-32,78 А	-22,69 А	-7,56 А
	Нульовий провід	10,17 мА	-563,8 мА	-5,5 А
0,02	Фаза А	103,2 мА	79,8 мА	47,05 мА
	Фаза В	28,5 А	15,34 А	-8,77 А
	Фаза С	-26,44 А	-18,3 А	-6,1 А
	Нульовий провід	-2,16 А	-2,88 А	-2,71 А

Приклад розподілу струмів для  $t = 0$  показаний на рис. 4.5.

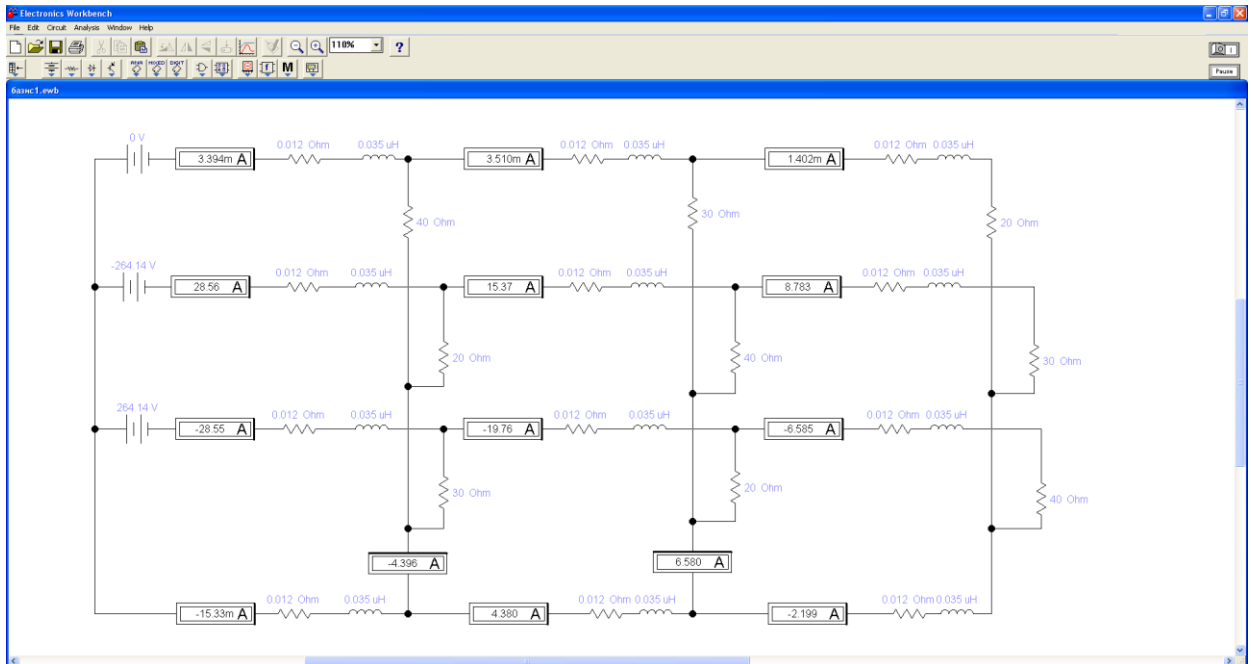


Рисунок 3.5 – Моделювання режиму мережі 0,38/0,22 кВ з різними опорами споживачів для  $t = 0$

Визначимо втрати електроенергії при однаковому навантаженні споживачів ( $R = 30$  Ом) (рис. 3.6) і при симетричному навантаженні на шинах підстанції 10/0,4 кВ, але з різними значеннями опорів навантаження споживачів (рис. 3.2).

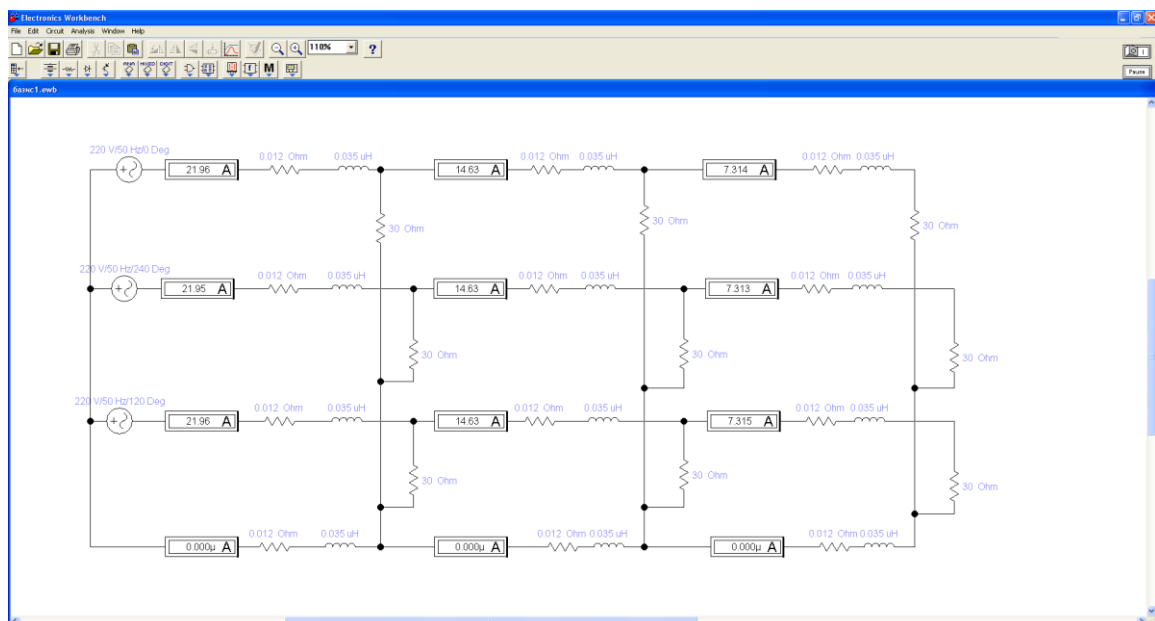


Рисунок 3.6 – Розподіл струмів в лінії при однаковій потужності споживачів

Втрати електроенергії в проводах лінії для схеми (рис. 4.6) наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Значання втрат в лінії

Лінія	Діл. 0–1	Діл. 1–2	Діл. 2–3	Сумарні втрати
Фаза А	5,79 Вт·год	2,57 Вт·год	0,64 Вт·год	9 Вт·год
Фаза В	5,79 Вт·год	2,57 Вт·год	0,64 Вт·год	9 Вт·год
Фаза С	5,79 Вт·год	2,57 Вт·год	0,64 Вт·год	9 Вт·год
Нульовий провід	–	–	–	–
Сумарні втрати	17,37 Вт·год	7,71 Вт·год	1,92 Вт·год	27 Вт·год

Втрати електроенергії в проводах лінії (рис. 3.1) наведені в табл. 3.5.

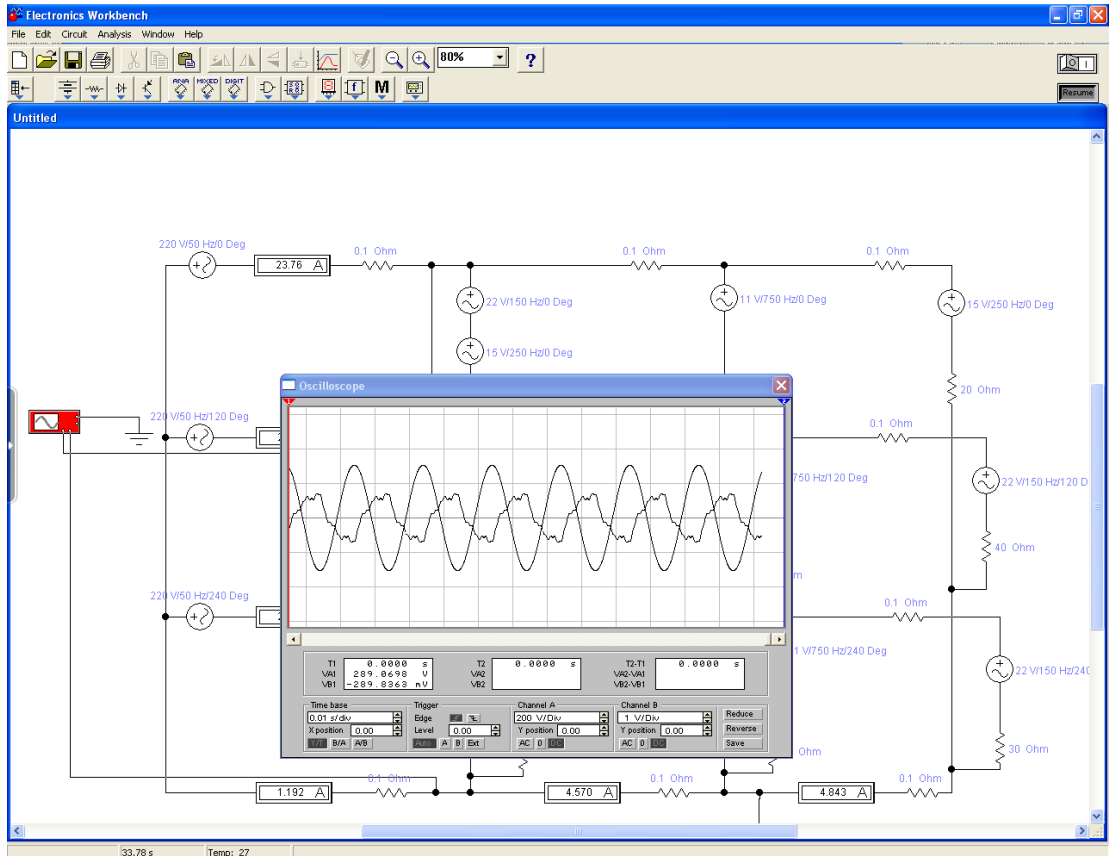
Таблиця 3.5 – Розподіл втрат в проводах на ділянках

Провід	Ділянка 0–1	Ділянка 1–2	Ділянка 2–3	Сумарні втрати
Фаза А	6,78 Вт·год	4,01 Вт·год	1,44 Вт·год	12,23 Вт·год
Фаза В	6,78 Вт·год	1,97 Вт·год	0,64 Вт·год	9,39 Вт·год
Фаза С	6,78 Вт·год	3,25 Вт·год	0,36 Вт·год	10,39 Вт·год
Нульовий провід	–	0,28 Вт·год	0,28 Вт·год	0,56 Вт·год
Сумарні втрати	20,34 Вт·год	9,51 Вт·год	2,72 Вт·год	32,57 Вт·год

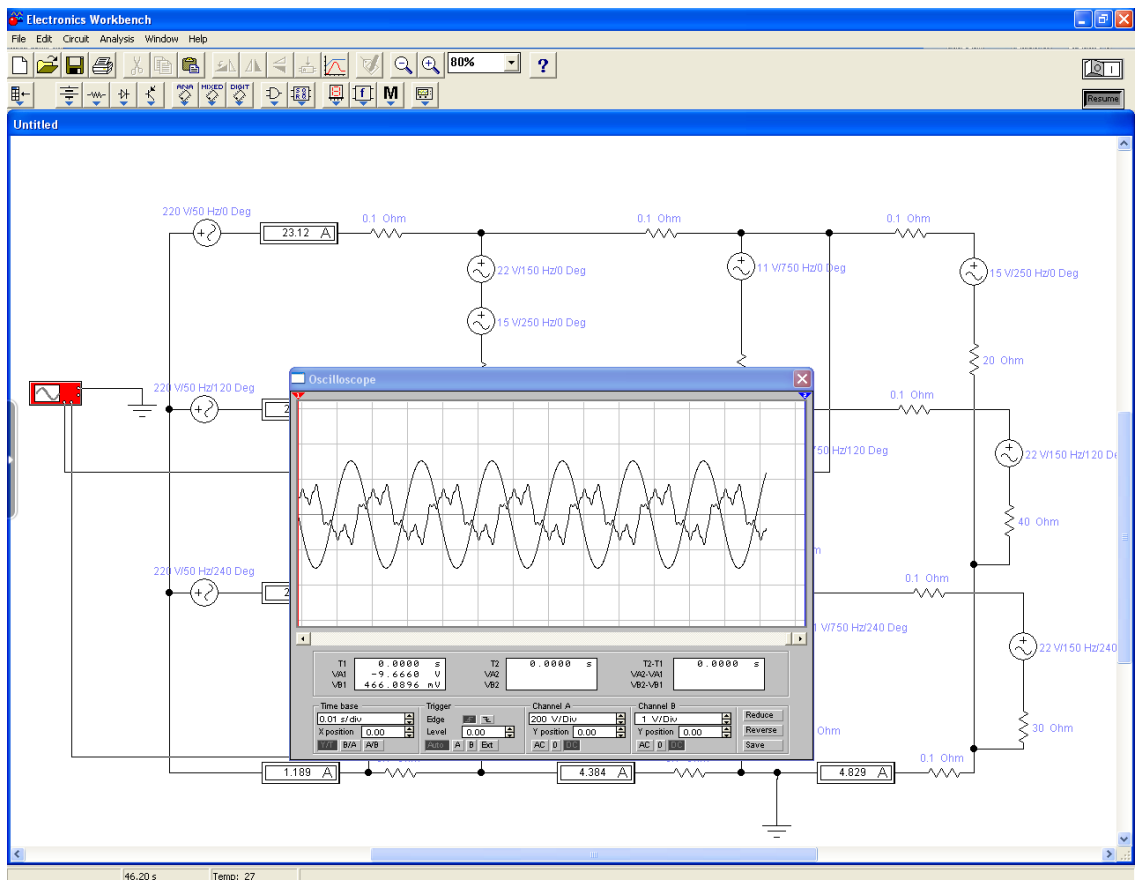
Проведені дослідження показали, що при однаковому сумарному навантаженні кожної фази на шинах трансформатора 0,4 кВ будуть протікати однакові діючі значення фазних струмів, а в нульовому проводі діюче значення струму практично відсутнє. До такого розподілу фазних струмів на підстанції повинні прагнути при експлуатації мереж в максимум добового навантаження. У нульовому проводі між точками підключення трьох однофазних споживачів проходитимуть вирівнювальні струми, які залежать лише від потужностей цих споживачів. Вони утворюють симетричне трифазне навантаження і не будуть сумуватися на початку лінії. Вирівнювальні струми спричинять додаткові втрати в нульовому проводі, які не враховуються, оскільки вимірювання на підстанції показують відсутність струму в нульовому проводі.

На рис. 3.7 (а-ж) виконані моделювання несиметричних і несинусоїдальних спотворень, що можуть виникати в ПЛЛ 0,38/0,22 кВ.

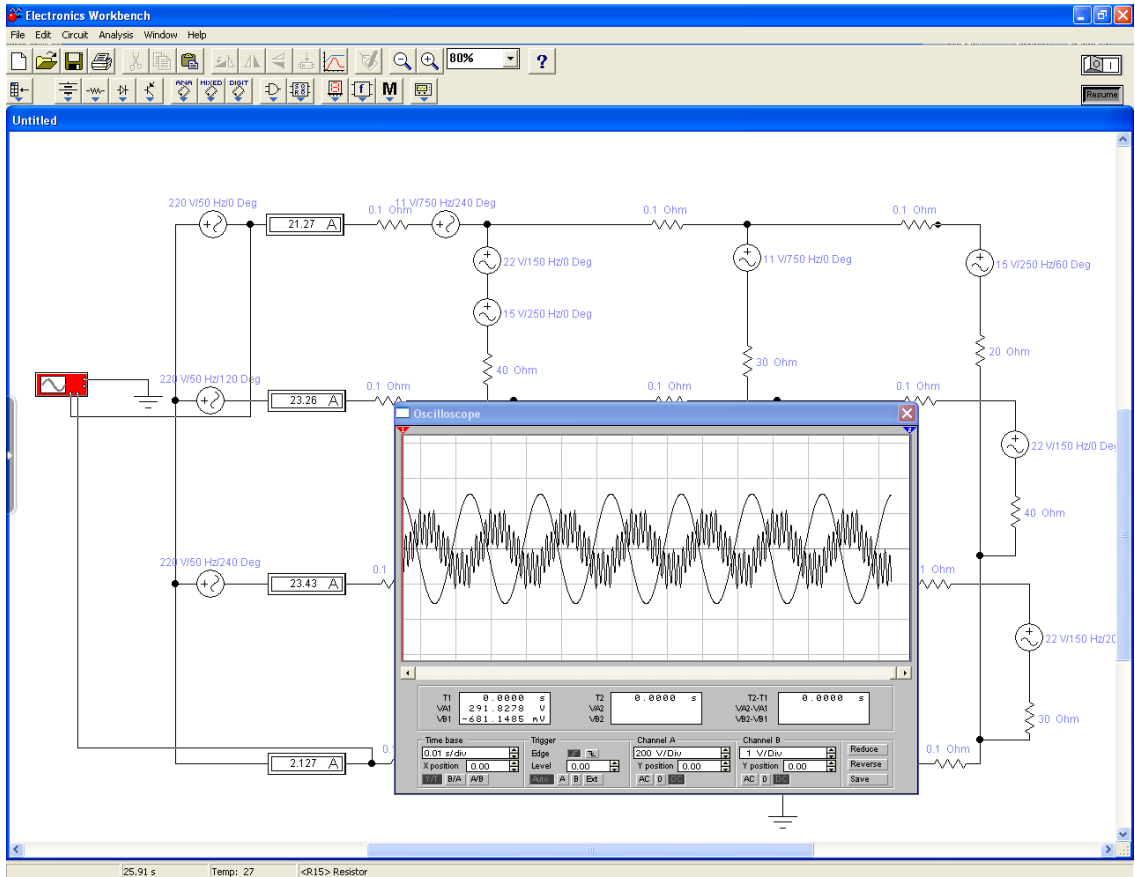




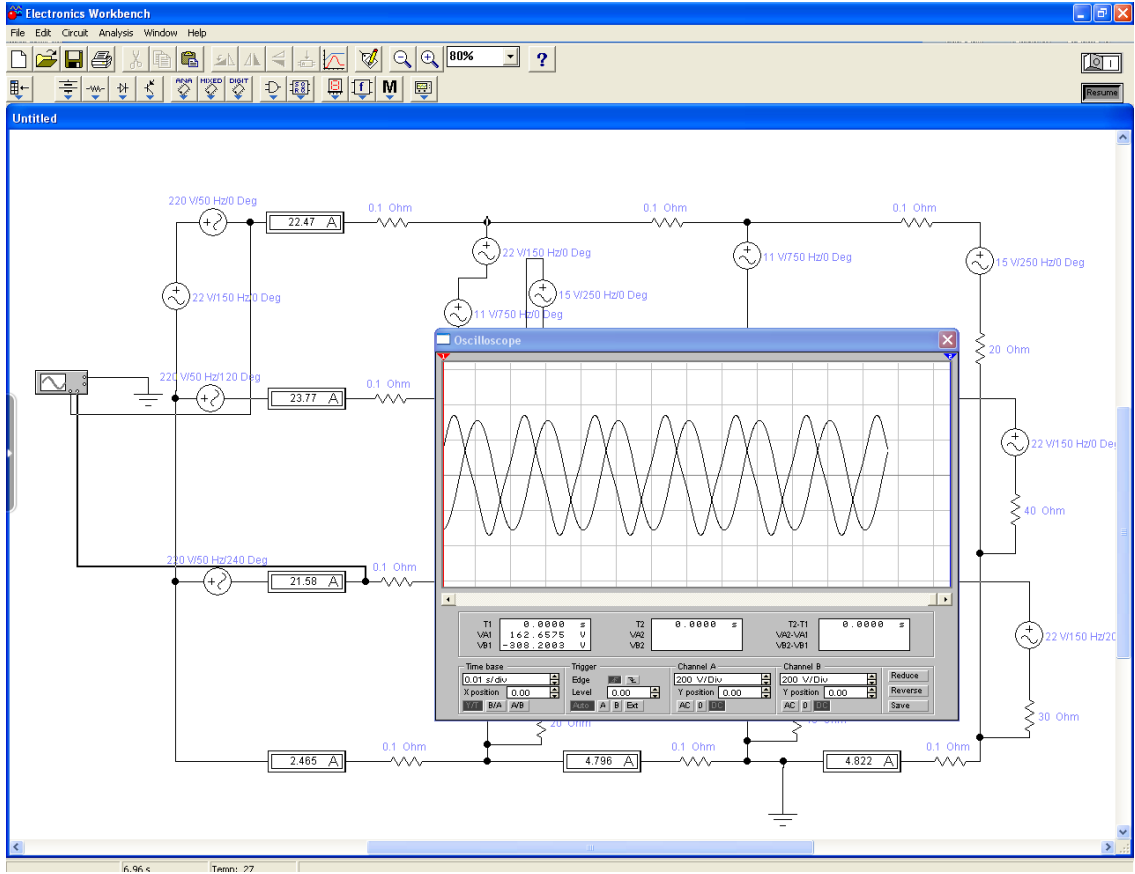
B)



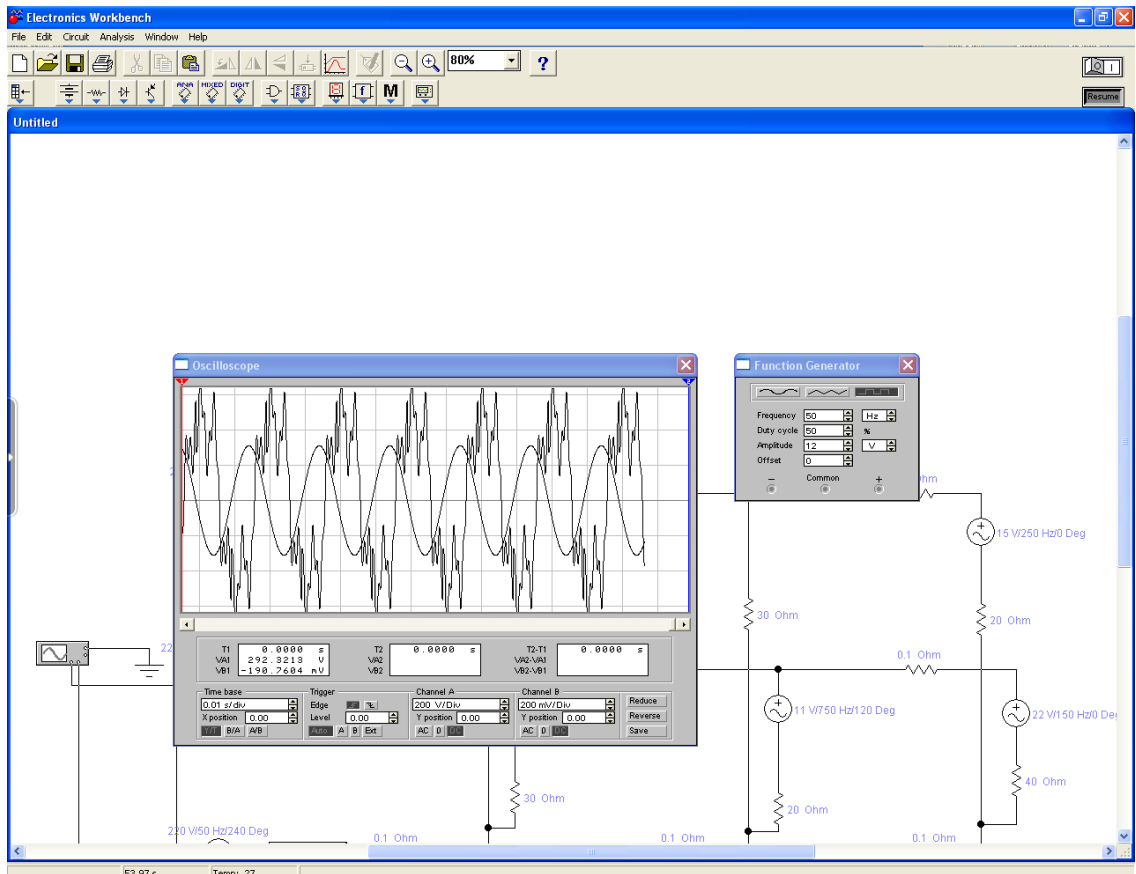
F)



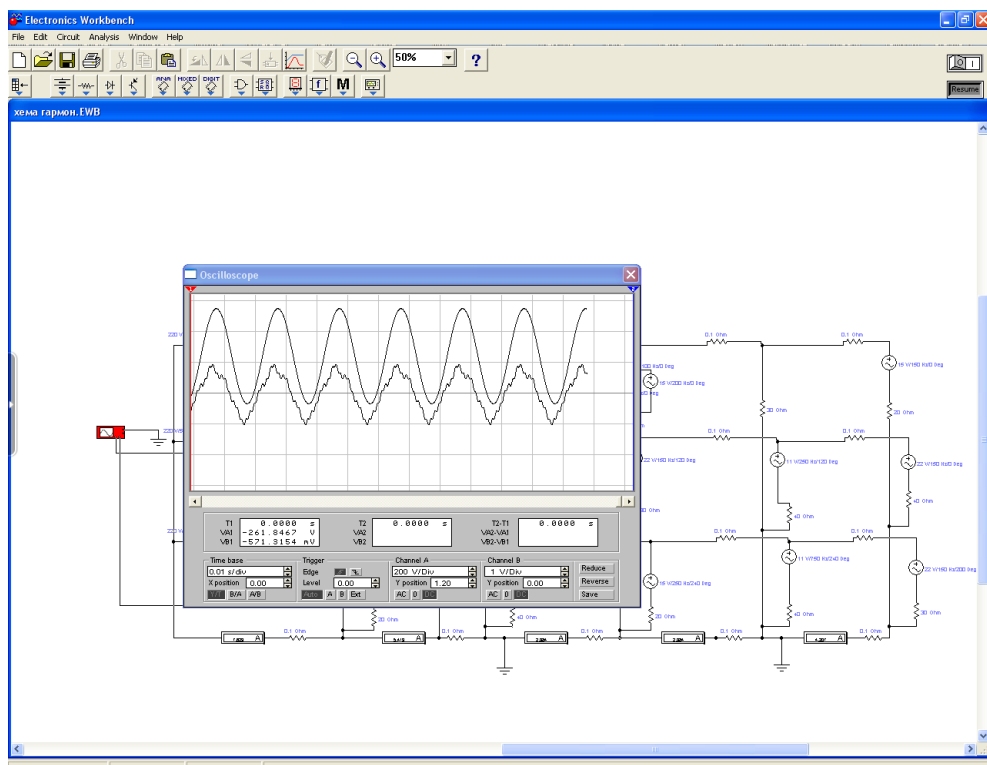
d)



e)



ε)



ж)

Рисунок 3.7 – Моделювання несиметричних і несинусоїдальних спотворень в розподільних ПЛ 0,38/0,22 кВ (а-ж)



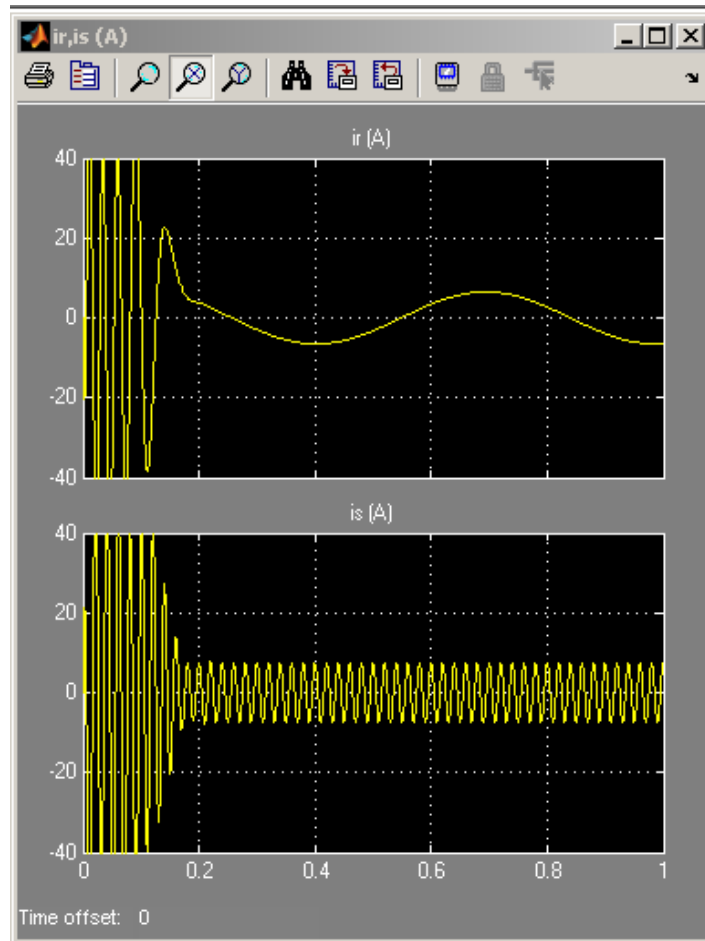


Рисунок 3.9 – Струм ротора  $i_r(A)$  та струм статора  $i_s(A)$

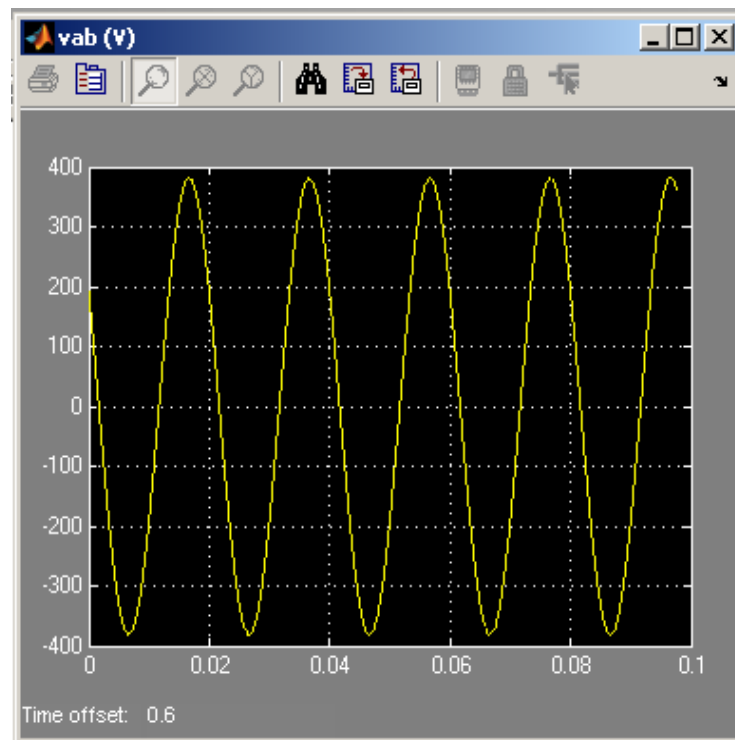


Рисунок 3.10 – Синусоїда підведеної напруги

Моделювання роботи цього ж двигуна при наявності 3-ї та 5-ї гармоніки в мережі (рис. 3.11).

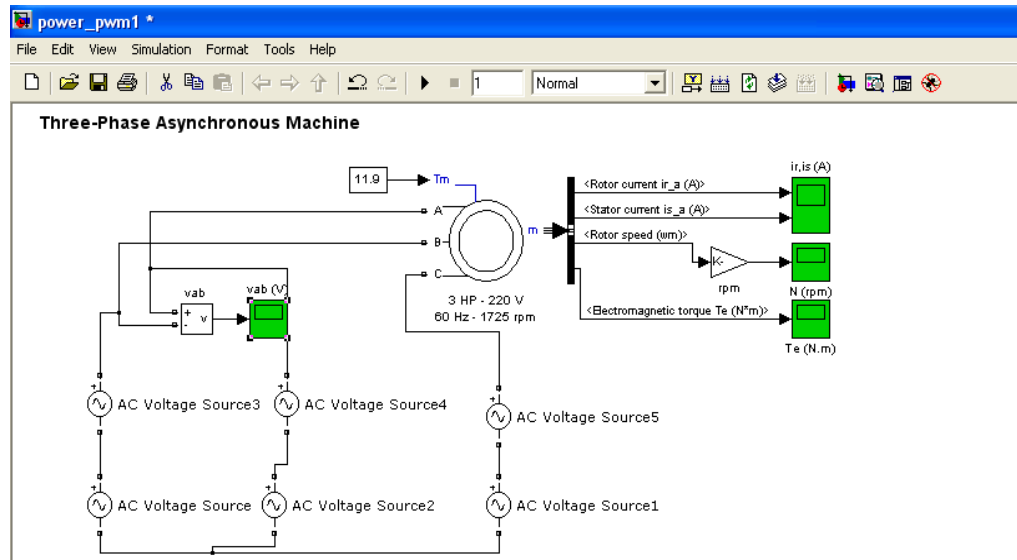


Рисунок 3.11 – Загальний вигляд схеми дослідження двигуна в MatLab Simulink при моделюванні роботи з генераторами гармонік

На графіках рис. 3.12 – 3.15 чітко видно вплив 3-ї та 5-ї гармонік на струм ротора та струм статора двигуна, а також на синусоїду підведеної напруги.

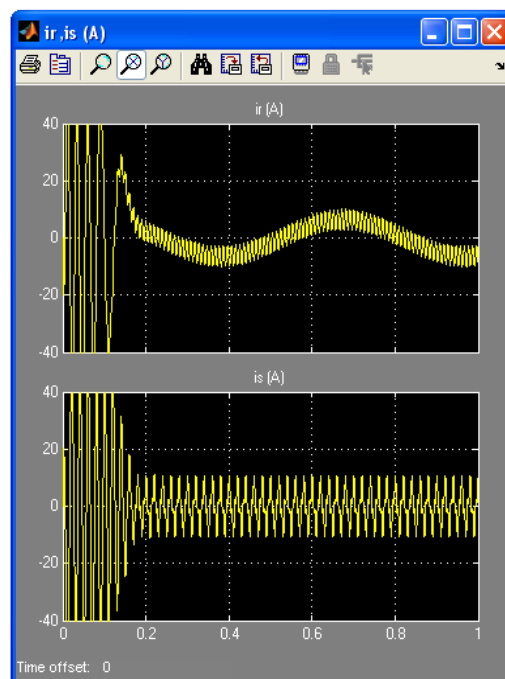


Рисунок 3.12 – Струм ротора  $i_r(A)$  та струм статора  $i_s(A)$  при наявності 3-ї гармоніки в мережі

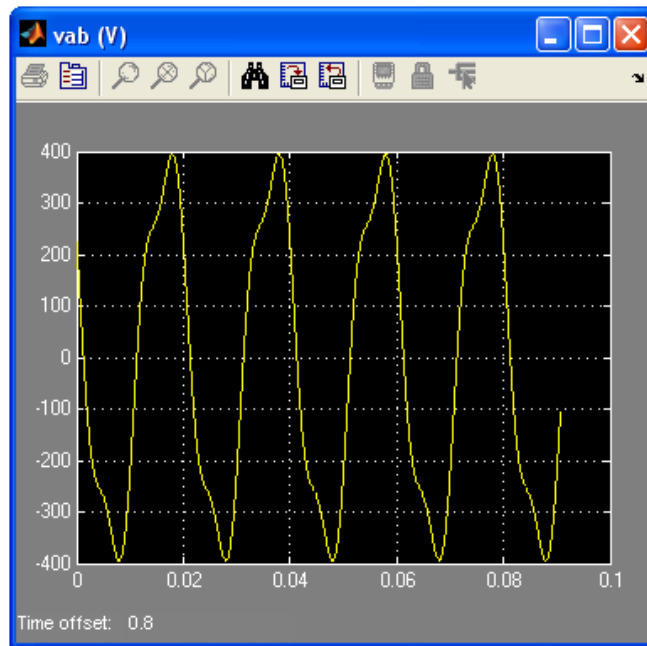


Рисунок 3.13 – Синусоїда підведеної напруги при наявності 3-ї гармоніки в мережі

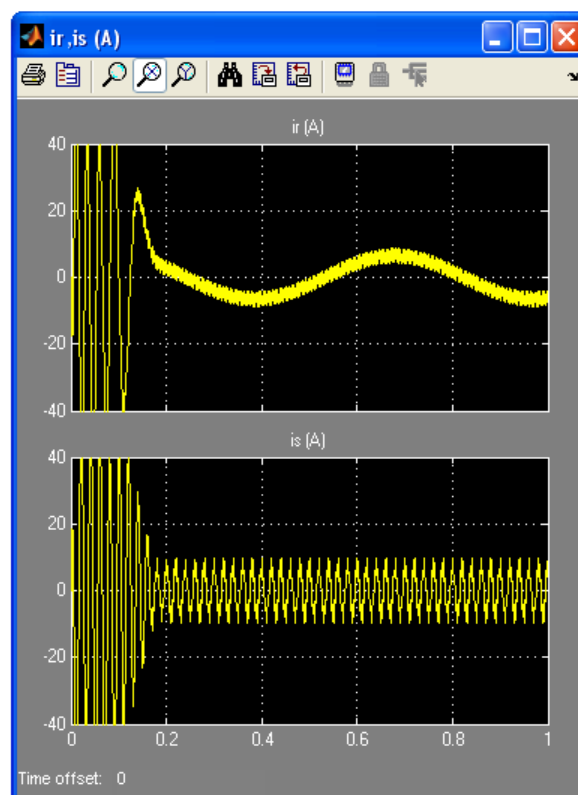


Рисунок 3.14 – Струм ротора  $i_r(A)$  та струм статора  $i_s(A)$  при наявності 5-ї гармоніки в мережі

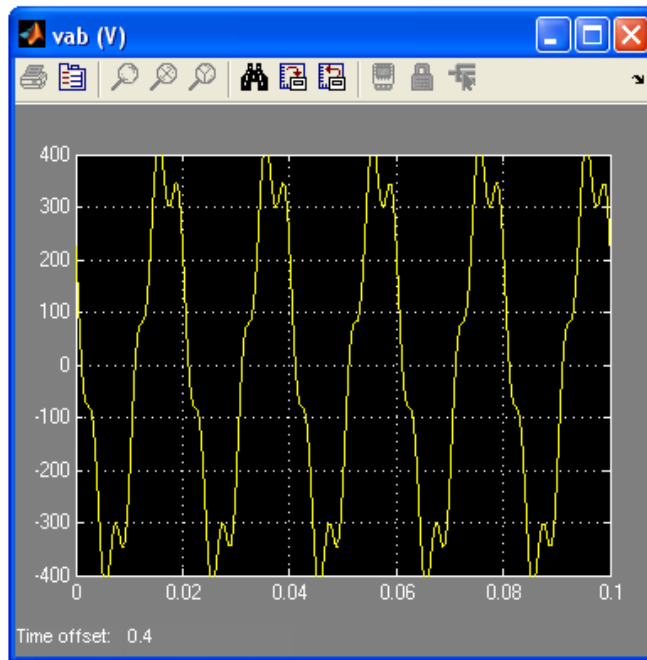


Рисунок 3.15 – Синусоїда підведеної напруги при наявності 5-ї гармоніки в мережі

### Висновки до розділу 3

Виконано моделювання роботи асинхронного двигуна при різних рівнях несинусоїдальності напруги. Для цього було використано програмний продукт MatLab Simulink.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Вимоги до обслуговуючого персоналу електроустановок

Електротехнічний персонал, відповідальний за обслуговування та експлуатацію електроустановок, поділяється на такі групи: адміністративно-технічний, черговий, ремонтний, оперативно-ремонтний. Роботи в електроустановках дозволяються лише особам старшим за 18 років. Стан здоров'я таких працівників перевіряється медичним оглядом при прийомі на роботу і контролюється кожні 24 місяці під час роботи з діючими електроустановками.

Перед початком самостійної роботи, при переведенні на нову посаду, пов'язану з обслуговуванням електроустановок, або після перерви в роботі понад 6 місяців, працівники повинні пройти виробниче навчання на місці. Відповідальний за це головний енергетик, який визначає терміни навчання і призначає керівника – досвідченого працівника зі складу електротехнічного персоналу.

Після завершення навчання спеціальна комісія проводить перевірку знань. Кожному працівнику, який успішно пройшов атестацію, видається особисте посвідчення, і присвоюється кваліфікаційна група з електробезпеки.

Періодичні перевірки знань проводяться таким чином:

щорічно для працівників, які обслуговують діючі електроустановки, а також для тих, хто видає розпорядження, організовує ці роботи, і для персоналу електролабораторій;

кожні три роки для інженерно-технічних працівників, які не належать до попередньої категорії. У випадку порушення правил техніки безпеки проводиться позачергова перевірка знань.

Існує п'ять кваліфікаційних груп з електробезпеки. Працівники першої групи, відповідальні за електрогосподарство цеху, проходять інструктаж не рідше одного разу на квартал.

Вимоги до кваліфікаційних груп: 1-а група: працівники повинні мати базове розуміння небезпеки електричного струму на обслуговуваній території та знати правила надання першої допомоги; 2-а група: повинні знати основи роботи електроустановок, небезпеку наближення до струмоведучих частин і основні засоби захисту; 3-а група: повинні мати базові знання з електротехніки, знати правила обслуговування електроустановок і контролювати виконання робіт в електроустановках; 4-а група: повинні мати глибокі знання з електротехніки, розбиратися в технічній експлуатації електроустановок, вміти організовувати безпечне проведення робіт і контролювати їх виконання при напрузі понад 1000 В; 5-а група: повинні знати всі правила експлуатації електроустановок споживачів, як загальні, так і спеціалізовані, організовувати і контролювати роботи в електроустановках будь-якої напруги, навчати інший персонал правилам безпеки і наданню першої допомоги.

#### Висновки до розділу 4

Під час експлуатації електрообладнання та електричних розподільних мереж різних класів напруги слід пам'ятати, що людське життя є найбільшою цінністю. Тому необхідно суворо дотримуватися всіх вимог, правил і норм при роботі з електричною напругою.

## 5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ

Економічний результат від інвестицій у енергосистему формується з прибутку, отриманого за рахунок транспортування електроенергії, а також завдяки зменшенню витрат, зумовленому скороченням втрат, підвищенням надійності електропостачання та зниженням експлуатаційних витрат. Основним критерієм економічної ефективності є позитивний економічний ефект:

$$E = P - Z > 0, \quad (5.1)$$

де  $E$  – економічний ефект (прибуток),  $P$  – отриманий дохід,  $Z$  – одноразові та щорічні витрати.

Щоб оцінити ефективність інвестицій у реконструкцію мереж 04 кВ та 10 кВ, необхідно провести розрахунки капітальних витрат на проєкт і поточних витрат на передавання електроенергії, а також визначити такі показники проєкту, як чистий інтегральний прибуток, рентабельність та строк окупності інвестицій.

### 5.1 Розрахунок капітальних вкладень у мережу 0,4 кВ

Сума капітальних інвестицій в електричні мережі 04 кВ визначається:

$$K_I = K_L + K_{пст} + K_K + K_A, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

Сума інвестицій складається з таких компонентів:  $K_L$  - загальні інвестиції в лінію електропередач 0,4 кВ (у гривнях);  $K_{пст}$  - вартість трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ;  $K_K$  - вартість комірки 10 кВ (у гривнях);  $K_A$  — вартість системи АСКОЕ (у гривнях);

Після цього визначається вартість усіх повітряних ліній (таб. 5.1).

Таблиця 5.1 – Дані по усіх ПЛ

Устаткування або роботи	Загальна довжина, км або шт.	Вартість кілометру, грн.	Разом, грн.
Провід АС 35	0,23	5120,00	1177,60
Провід АС 50	5,088	6867,5	34941,84
Провід АС 70	1,6	6867,5	10988,00
Провід АС 95	0,704	6867,5	4834,72
Опора з/б 0,4 кВ	52	1750,00	91000,00
Монтажні роботи			26500,00
Сумарні капіталовкладення			169442,16

Далі визначається вартість ТП - 10/0,4 кВ (таб. 5.2).

Таблиця 5.2 – ТП 10/0,4 кВ

Марка трансформатора	Кількість трансформаторів, шт.	Ціна трансформатора, грн.	Сумарна вартість, грн.
ТМН 10/0,4	2	39500,00	79000,00
Сумарні капіталовкладення			79000,00

Далі виконується порівняння техніко-економічних показників. Сумарні капітальні затрати для мережі 0,38 кВ складають 48 004 216 грн, а для мережі 10 кВ – 526 788 грн. Собівартість електроенергії – 0,656 грн/кВт·год для мережі 0,38 кВ та 0,64 грн/кВт·год для мережі 10 кВ. Поточні витрати – 4 185 452 грн для мережі 0,38 кВ і 2 524 889 грн для мережі 10 кВ. Дохід від транспортування електроенергії – 1 293 120 грн (0,38 кВ) і 897 560 грн (10 кВ). Рентабельність інвестицій – 24% для мережі 0,38 кВ і 18% для 10 кВ. Строк окупності – 4,17 роки для мережі 0,38 кВ і 5,7 роки для 10 кВ.

## Висновки до розділу 5

Отримані показники дають змогу оцінити економічну доцільність інвестицій у реконструкцію електричних мереж, зокрема в частині зниження втрат електроенергії та підвищення надійності постачання.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Магістерська робота присвячена рішенняю задачі зниження несиметрії струмів і напруг в мережах 0,38/0,22кВ і додаткових втрат електричної енергії в цих режимах.

Головними підсумками виконаної роботи є наступні результати:

1. Досліджено роботу сільської повітряної лінії 0,38/0,22 кВ при виникненні несинусоїдальності струмів.

2. Отримані характеристики лінійних електричних кіл при несинусоїдальній напрузі джерела живлення.

3. Проведено теоретичний аналіз режимів чотирипровідних мереж за допомогою програм Machcad, Electronics Workbench для визначення додаткових втрат енергії. Показано, що нульовому проводі мереж 0,38/0,22 кВ у робочому режимі на двох третирах довжини течуть урівноважувальні струми при повній симетрії струмів на шинах 0,4 кВ підстанції 10/0,4 кВ. Проведено моделювання роботи асинхронного двигуна при різних рівнях несинусоїдальності напруги.

4. Розглянуті питання охорони праці в електричних мережах та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Harmonic Trend in the USA: A Preliminary Survey. I.M. Nejdawi, A.E. Emanuel, D.J. Pileggi, M.J. Corridor, R.D. Archambeault // IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, I 4, 1999, pp. 1488-1494.
2. IEEE STD 399-1997, IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis (IEEE Brown book) (ANSI).
3. IEEE STD 1100-1999, IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment (IEEE emerald book) (ANSI).
4. ГОСТ 13109-97 "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения". Правила устройства электроустановок. Изд. 6. - М.: Главэнергонадзор России, 1998.
5. Harmonic Mitigating Transformer Energy Saving Analysis. MIRUS International Inc. Oct., 1999, pp. 48-54.
6. Evaluating Harmonic Concerns With Distributed Loads, Mark McGranaghan, Electrotek Concepts, Knoxville, Tenn., Nov. 2001, pp. 32-39.
7. Treating Harmonics in electrical distribution system, Victor A. Ramos JR. Computer Power & Consulting, January, 1999, pp. 18-25.
8. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 349 с.
9. Суднова В. В. Качество электрической энергии. – М.: Энергосервис, 2000. – 217 с.
10. Карташев И. И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения / И. И. Карташев, Э. Н. Зуев. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 276 с.
11. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий - 4-е изд., перероб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 236 с.
12. Руденко В.С., Сенько В.И., Чажено И.М. Основы преобразовательной

техники. М., Высшая школа, 1980. – 173 с.

13. ДЕСТ 13109-97 “Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення”.

14. Аррилага Д., Бредли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.

15. Климов В.П. Способы подавления гармоник в системах электропитания / В.П. Климов, А.Д. Москалев // Практическая силовая электроника. – 2003, №6. – С. 54-61.

16. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Чин. з 20.02.98. – К.: Основа, 1998. – 380 с.

17. Улаштування блискавкозахисту будинків і споруд / ДСТУ Б В 25-38: 2008. – К., Мінрегіонбуд. – 2008.

18. ДНАОП 1.1.10 – 1.07. – 01. Правила эксплуатации электротехнических средств, введ. 05.06.2001. – Харьков: Форт, 2003. – 119 с.

19. Електробезпека: навч. посіб. / О. В. Мірошник, О. О. Мірошник, І. М. Трунова [та ін.] за заг. ред. О. В. Мірошника. – Харків: Факт, 2011. – 176 с.

20. Леонтьев В. О. Симетрування неповнофазних режимів в розподільних електричних мережах: монографія / В. О. Леонтьев. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 164 с.

21. Бурбело Л. М. Симетрування навантажень вузлів електричних мереж з використанням двофазних симетрувальних установок / Л. М. Бурбело., М.В. Кузьменко., О.О. Бірюков., О.М. Кінзерська // Вісн. ВПШ. – 2008. – № 5 . – С. 35–38.

22. Кузнецов В.Г. Электромагнитная совместимость. Доза несимметрии напряги / В.Г. Кузнецов, Е.Г. Куринный, О.П. Лютий. – Технічна електродинаміка, 2005, №3. – с. 49-53.

23. Лютий О.П. Комплексний аналіз несиметрії і несинусоїдальності в системах електропостачання з різкозмінним навантаженням / О.П. Лютий. – Технічна електродинаміка, 2002, ч. 2. – С. 104–107.

24. Лютий О.П. Оцінка електромагнітної сумісності при випадковій несиметрії напруг в електричних мережах / О.П. Лютий. – Технічна електродинаміка. – 2001, №6. – С. 50–55.
25. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 р. № 258.
26. НПАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок, затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 21.06.2001 р., № 272.
27. НПАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 09.01.98 р., № 4.