

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

канд. техн. наук, професор

Петро ПЛЄШКОВ

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ**

**ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

### **«Проектування системи електропостачання авторемонтного заводу»**

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ЕЕ–21,

ОПП «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

\_\_\_\_\_ Андрій ПИРЛЯ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Василь ЗІНЗУРА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_

м. Кропивницький

# Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

\_\_\_\_\_ Петро ПЛІШКОВ

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Пирлі Андрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електропостачання авторемонтного заводу

Design of the power supply system of an auto repair plant

2. Керівник роботи Зінзура Василь Васильович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 03.06.2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою роботи є розробка системи електропостачання авторемонтного заводу. Для досягнення поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні завдання: 1. Провести розрахунок електричних навантажень. 2. Провести розрахунок картограми електричних навантажень. 3. Здійснити техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання. 4. Провести розрахунок режимів реактивної потужності системи електропостачання. 5. Здійснити вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства. 6. Провести розрахунок струмів коротких замкнень та здійснити вибір високовольтного обладнання. 7. Провести розрахунок спеціального розділу роботи.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

| Розділ                    | Консультант                  | Підпис, дата   |                  |
|---------------------------|------------------------------|----------------|------------------|
|                           |                              | Завдання видав | Завдання прийняв |
| <i>Спеціальний розділ</i> | <i>доцент Н.Ю. Гарасьова</i> |                |                  |

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи   | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1     | <i>Розрахунок електричних навантажень</i>                                       | <i>03.02-19.02</i>            |          |
| 2     | <i>Картограма електричних навантажень</i>                                       | <i>20.02-28.02</i>            |          |
| 3     | <i>Техніко-економічне обґрунтування вибору схем електропостачання</i>           | <i>01.03-12.03</i>            |          |
| 4     | <i>Режими реактивної потужності системи електропостачання</i>                   | <i>13.03-01.04</i>            |          |
| 5     | <i>Вибір кількості та потужності трансформаторів підприємства</i>               | <i>2.04-12.04</i>             |          |
| 6     | <i>Розрахунок струмів коротких замкнень та вибір високовольтного обладнання</i> | <i>13.05-01.05</i>            |          |
| 7     | <i>Спеціальний розділ</i>   | <i>02.05-20.05</i>            |          |
| 8     | <i>Оформлення презентаційної частини БКР</i>                                    | <i>21.05-26.05</i>            |          |
| 9     | <i>Оформлення пояснювальної записки БКР</i>                                     | <i>27.05-02.06</i>            |          |

Дата видачі завдання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника \_\_\_\_\_

Василь ЗІНЗУРА

Завдання прийнято до виконання  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис здобувача \_\_\_\_\_

Андрій ПИРЛЯ

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 67 с.; 33 рис.; 21 табл.; 5 джерел

**Пирля А. Ю. Проектування системи електропостачання авторемонтного заводу. – Рукопис.**

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

В даній роботі розглядалася задача створення системи електропостачання для авторемонтного підприємства. Авторемонтні заводи характеризуються специфічними особливостями споживання електроенергії через наявність різноманітного обладнання: зварювальних апаратів, компресорів, металообробних верстатів, підйомників та покрасочних камер.

Виконані обчислення електричних навантажень дозволили визначити добові та річні графіки споживання електроенергії. Аналіз параметрів навантажувальних діаграм показав нерівномірність споживання протягом робочої зміни, що типово для промислових підприємств ремонтного профілю. Розрахунки режимів реактивної потужності виявили необхідність компенсації для покращення коефіцієнта потужності та зниження втрат в мережі.

Детальний аналіз режимів короткого замикання мережі забезпечив правильний вибір комутаційної та захисної апаратури. Отримані результати стали основою для обґрунтованого підбору елементів високовольтної електричної мережі підприємства, включаючи силові трансформатори, кабельні лінії та розподільні пристрої.

**Ключові слова:** розрахункові навантаження, електрична мережа, графіки навантажень

## ABSTRACT

Qualification work: 67 p.; 33 Fig.; 21 tables; 5 sources

**Pyrlia A. Design of the power supply system of an auto repair plant. – Manuscript.**

Bachelor's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

This paper considered the task of creating a power supply system for a car repair company. Car repair plants are characterized by specific features of electricity consumption due to the presence of various equipment: welding machines, compressors, metalworking machines, lifts and paint booths.

The performed calculations of electrical loads allowed us to determine daily and annual electricity consumption schedules. Analysis of the parameters of the load diagrams showed uneven consumption during the work shift, which is typical for industrial repair enterprises. Calculations of reactive power modes revealed the need for compensation to improve the power factor and reduce losses in the network.

A detailed analysis of the network short-circuit modes ensured the correct choice of switching and protective equipment. The results obtained became the basis for a reasonable selection of elements of the enterprise's high-voltage electrical network, including power transformers, cable lines and switchgear.

**Keywords:** design loads, electrical network, load graphs

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| <b>ВСТУП</b> .....   | 7  |
| <b>РОЗДІЛ 1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ</b> .....  | 8  |
| 1.1 Силові електричні навантаження до 1 кВ .....   | 8  |
| 1.2 Освітлювальні електричні навантаження.....   | 9  |
| 1.3 Силові електричні навантаження вище 1 кВ .....   | 10 |
| 1.4 Графіки електричних навантажень заводу .....   | 14 |
| <b>РОЗДІЛ 2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ</b> .....  | 19 |
| <b>РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ</b> .....                                  | 21 |
| 3.1 Схема зовнішнього електропостачання.....   | 21 |
| 3.2 Схема внутрішнього електропостачання .....   | 24 |
| <b>РОЗДІЛ 4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ</b> .....  | 26 |
| 4.1 Баланс реактивної потужності.....  | 26 |
| 4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення<br>компенсуючих пристроїв .....                                  | 27 |
| <b>РОЗДІЛ 5. ВИБІР КІЛЬКОСТІ ТА ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДПРИЄМСТВА</b> .....                                      | 30 |
| <b>РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ</b> .....                        | 31 |
| 6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень .....   | 31 |
| 6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ.....  | 38 |
| 6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги.....  | 41 |
| 6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб .....   | 42 |
| <b>РОЗДІЛ 7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. ЗАСТОСУВАННЯ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ В ПРОМИСЛОВИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ</b> ..... | 44 |
| 7.1 Загальна характеристика силових активних фільтрів.....   | 44 |
| 7.2 Комп'ютерне імітаційне моделювання мережі з активними фільтрами.....   | 53 |
| <b>ВИСНОВКИ</b> .....  | 66 |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....  | 67 |

|                  |                     |                 |               |             |   |  |  |             |              |                |
|------------------|---------------------|-----------------|---------------|-------------|---|--|--|-------------|--------------|----------------|
|                  |                     |                 |               |             | <b>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ</b>  |  |  |             |              |                |
| <i>Зм.</i>       | <i>Арк.</i>         | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |   |  |  |             |              |                |
| <i>Розроб.</i>   | <i>Пирля А.Ю.</i>   |                 |               |             | Проектування системи електропостачання авторемонтного заводу<br>Design of the power supply system of an auto repair plant |  |  | <i>Лім.</i> | <i>Аркуш</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перев.</i>    | <i>Зінзура В.В.</i> |                 |               |             |   |  |  | 6           | 67           |                |
| <i>Н. контр.</i> | <i>Зінзура В.В.</i> |                 |               |             | <b>ЦНТУ</b>   |  |  |             |              |                |
| <i>Затвер.</i>   | <i>Плешков П.Г.</i> |                 |               |             | <i>гр. ЕЕ-21</i>  |  |  |             |              |                |









Таблиця 1.3. Силові навантаження вище 1 кВ

| Назва                            | N спож шт | P одн.сп. |          | P сум. кВт | m    | K <sub>в</sub> | cos φ | tg φ | Сер. зм. нав.         |                        | n <sub>эф</sub> | K <sub>р</sub> | Розрах. навантаж.       |                          |                         |  |
|----------------------------------|-----------|-----------|----------|------------|------|----------------|-------|------|-----------------------|------------------------|-----------------|----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
|                                  |           | мін, кВт  | мак, кВт |            |      |                |       |      | P <sub>зм</sub> , кВт | Q <sub>зм</sub> , квар |                 |                | P <sub>розр</sub> , кВт | Q <sub>розр</sub> , квар | S <sub>розр</sub> , кВА |  |
| ТП 1, 2                          |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| Ливарний цех                     |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| силове:                          | 100       | 5         | 80       | 2100       | 16,0 | 0,70           | 0,80  | 0,75 | 1470                  | 1102,5                 | 52              | 1,08           | 1584                    | 1102,5                   | 1929,91                 |  |
| освітл.:                         |           |           |          |            |      |                |       |      | 187,44                |                        |                 |                | 178,07                  | 36,15                    |                         |  |
| Всього:                          |           |           |          |            |      |                |       |      | 1657,44               | 1102,5                 |                 |                | 1762,07                 | 1138,65                  | 2097,95                 |  |
| Малярний цех                     |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| силове:                          | 60        | 3         | 40       | 1750       | 13,3 | 0,45           | 0,55  | 1,52 | 787,5                 | 1195,8                 | 60              | 1,15           | 907,19                  | 1195,8                   | 1500,98                 |  |
| освітл.:                         |           |           |          |            |      |                |       |      | 288,85                |                        |                 |                | 274,41                  | 55,71                    |                         |  |
| Всього:                          |           |           |          |            |      |                |       |      | 1076,35               | 1195,8                 |                 |                | 1181,6                  | 1251,51                  | 1721,18                 |  |
| Кузовний цех                     |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| силове:                          | 40        | 5         | 95       | 3450       | 19,0 | 0,35           | 0,80  | 0,75 | 1207,5                | 905,62                 | 40              | 1,24           | 1501,88                 | 905,62                   | 1753,79                 |  |
| освітл.:                         |           |           |          |            |      |                |       |      | 65,1                  |                        |                 |                | 61,84                   | 12,55                    |                         |  |
| Всього:                          |           |           |          |            |      |                |       |      | 1272,6                | 905,62                 |                 |                | 1563,72                 | 918,17                   | 1813,36                 |  |
| Всього по ТП 1, 2:               |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| силове:                          | 200       | 3         | 95       | 7300       | 31,7 | 0,47           | 0,73  | 0,92 | 3465                  | 3203,92                | 154             | 1,08           | 3758,51                 | 3203,92                  | 4938,78                 |  |
| освітл.:                         |           |           |          |            |      |                |       |      | 541,39                |                        |                 |                | 514,32                  | 104,41                   |                         |  |
| БК 0,4 кВ                        |           |           |          |            |      |                |       |      |                       | -2344                  |                 |                |                         | -2344                    |                         |  |
| Всього 0,4 кВ ТП 1, 2:           |           |           |          |            |      |                |       |      | 4006,39               | 859,92                 |                 |                | 4272,83                 | 964,33                   | 4380,3                  |  |
| Втрати в ТП:                     |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                | 44,12                   | 248,09                   |                         |  |
| Nпр: 4                           |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| Sном, кВА: 1600                  |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| Kз = 0,68                        |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| Всього 10 кВ ТП 1, 2:            |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                | 4316,95                 | 1212,42                  | 4483,97                 |  |
| ТП 3, 4, 5                       |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| Цех гарячої обкатки автомобілів  |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |
| силове:                          | 60        | 10        | 70       | 3200       | 7,0  | 0,60           | 0,60  | 1,33 | 1920                  | 2560                   | 60              | 1,10           | 2116,61                 | 2560                     | 3321,69                 |  |
| освітл.:                         |           |           |          |            |      |                |       |      | 73,38                 |                        |                 |                | 69,71                   | 14,15                    |                         |  |
| Всього:                          |           |           |          |            |      |                |       |      | 1993,38               | 2560                   |                 |                | 2186,32                 | 2574,15                  | 3377,31                 |  |
| Цех холодної обкатки автомобілів |           |           |          |            |      |                |       |      |                       |                        |                 |                |                         |                          |                         |  |

Продовження табл. 1.3

| 1                         | 2   | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10      | 11      | 12 | 13   | 14      | 15      | 16      |
|---------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|---------|---------|----|------|---------|---------|---------|
| силове:                   | 60  | 8   | 65  | 4250 | 8,1  | 0,66 | 0,66 | 1,14 | 2805    | 3192,88 | 60 | 1,08 | 3040,87 | 3192,88 | 4409,24 |
| освітл.:                  |     |     |     |      |      |      |      |      | 104,58  |         |    |      | 99,35   | 20,17   |         |
| Всього:                   |     |     |     |      |      |      |      |      | 2909,58 | 3192,88 |    |      | 3140,22 | 3213,05 | 4492,74 |
| Компресорна               |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| силове:                   | 10  | 20  | 250 | 1700 | 12,5 | 0,63 | 0,80 | 0,75 | 1071    | 803,25  | 10 | 1,26 | 1351,92 | 883,58  | 1615,05 |
| освітл.:                  |     |     |     |      |      |      |      |      | 33,55   |         |    |      | 20,13   | 4,09    |         |
| Всього:                   |     |     |     |      |      |      |      |      | 1104,55 | 803,25  |    |      | 1372,05 | 887,67  | 1634,16 |
| Всього по ТП 3, 4, 5:     |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| силове:                   | 130 | 8   | 250 | 9150 | 31,2 | 0,63 | 0,66 | 1,13 | 5796    | 6556,13 | 73 | 1,08 | 6274,98 | 6556,13 | 9075,14 |
| освітл.:                  |     |     |     |      |      |      |      |      | 211,51  | -5366   |    |      | 189,19  | 38,41   |         |
| БК 0,4 кВ                 |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         | -5366   |         |
| Всього 0,4 кВ ТП 3, 4, 5: |     |     |     |      |      |      |      |      | 6007,51 | 1190,13 |    |      | 6464,17 | 1228,54 | 6579,88 |
| Врати в ТП:               |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      | 66,31   | 372,84  |         |
| №пр: 6                    |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| Сном, кВА: 1600           |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| Кз = 0,69                 |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| Всього 10 кВ ТП 3, 4, 5:  |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      | 6530,48 | 1601,38 | 6723,96 |
| ТП 6                      |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| Заводуправління           |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| силове:                   | 20  | 4   | 15  | 150  | 3,7  | 0,77 | 0,90 | 0,48 | 115,5   | 55,94   | 20 | 1,09 | 125,62  | 55,94   | 137,51  |
| освітл.:                  |     |     |     |      |      |      |      |      | 189,44  |         |    |      | 151,55  | 30,76   |         |
| Всього:                   |     |     |     |      |      |      |      |      | 304,94  | 55,94   |    |      | 277,17  | 86,7    | 290,41  |
| Ремонтний цех             |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| силове:                   | 50  | 2,8 | 40  | 2500 | 14,3 | 0,35 | 0,77 | 0,83 | 875     | 725,05  | 50 | 1,22 | 1063,15 | 725,05  | 1286,85 |
| освітл.:                  |     |     |     |      |      |      |      |      | 133,12  |         |    |      | 126,46  | 25,67   |         |
| Всього:                   |     |     |     |      |      |      |      |      | 1008,12 | 725,05  |    |      | 1189,61 | 750,72  | 1406,68 |
| Ідальня                   |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |
| силове:                   | 20  | 5   | 40  | 230  | 8,0  | 0,77 | 0,99 | 0,14 | 177,1   | 25,24   | 12 | 1,12 | 198,07  | 25,24   | 199,67  |
| освітл.:                  |     |     |     |      |      |      |      |      | 48,66   |         |    |      | 38,93   | 7,9     |         |
| Всього:                   |     |     |     |      |      |      |      |      | 225,76  | 25,24   |    |      | 237     | 33,14   | 239,31  |
| Територія заводу          |     |     |     |      |      |      |      |      |         |         |    |      |         |         |         |

Продовження табл. 1.3

| 1                                    | 2   | 3   | 4   | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10       | 11      | 12  | 13   | 14       | 15      | 16       |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-------|------|------|------|------|----------|---------|-----|------|----------|---------|----------|
| Територія заводу                     |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          |         |          |
| освітл.:                             |     |     |     |       |      |      |      |      | 155,52   |         |     |      | 15,55    | 3,16    |          |
| Всього:                              |     |     |     |       |      |      |      |      | 155,52   | 0       |     |      | 15,55    | 3,16    | 15,87    |
| Всього по ТП 6:                      |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          |         |          |
| силове:                              | 90  | 2,8 | 40  | 2880  | 14,3 | 0,41 | 0,82 | 0,69 | 1167,6   | 806,23  | 90  | 1,14 | 1325,36  | 806,23  | 1551,32  |
| освітл.:                             |     |     |     |       |      |      |      |      | 526,74   | 0       |     |      | 332,49   | 67,49   |          |
| БК 0,4 кВ                            |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          | 0       |          |
| Всього 0,4 кВ ТП 6:                  |     |     |     |       |      |      |      |      | 1694,34  | 806,23  |     |      | 1657,85  | 873,72  | 1873,99  |
| Втрати в ТП:                         |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      | 17,92    | 101,96  |          |
| №тр.: 2                              |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          |         |          |
| Сном, кВА: 1600                      |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          |         |          |
| Кз = 0,59                            |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          |         |          |
| Всього 10 кВ ТП 6:                   |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      | 1675,77  | 975,68  | 1939,11  |
| Всього по об'єкту                    |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          |         |          |
| силове:                              | 420 | 2,8 | 250 | 19330 | 89,3 | 0,54 | 0,96 | 0,27 | 10428,6  | 2856,28 | 155 | 1,07 | 11174,91 | 2856,28 | 11534,16 |
| освітл.:                             |     |     |     |       |      |      |      |      | 1279,64  |         |     |      | 1036     | 210,31  |          |
| Всього:                              |     |     |     |       |      |      |      |      | 11708,24 | 2856,28 |     |      | 12210,91 | 3066,59 | 12590,09 |
| Потужність КП 0,4 кВ:                |     |     |     |       |      |      |      |      |          | -7710   |     |      |          | -7710   |          |
| Втрати в трансформаторах:            |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      | 128,34   | 722,89  |          |
| Всього по об'єкту:                   |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      | 12339,25 | 3789,48 | 12908,03 |
| Високвольтне навантаження            |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          |         |          |
| АД 1, 2                              | 2   | 700 | 700 | 1400  |      | 0,75 | 0,90 | 0,48 | 1050     | 508,54  |     |      | 1050     | 508,54  | 1166,67  |
| Всього високовольтного навантаження: |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      | 1050     | 508,54  | 1166,67  |
| Всього по об'єкту 10 кВ:             |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      | 13389,25 | 4298,02 | 14062,19 |
| КП 10 кВ:                            |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          | -2700   |          |
| Всього 10 кВ з КП:                   |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      | 13389,25 | 1598,02 | 13484,28 |
| tgφ = 0,119                          |     |     |     |       |      |      |      |      |          |         |     |      |          |         |          |

## 1.4 Графіки електричних навантажень заводу

Результати розрахунків графіків ел. навантажень наведено нижче.

Таблиця 1.4. Дані для розрахунку параметрів графіків

| №  | Роб. дні     |              | Вих. дні     |              |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|
|    | <i>P</i> , % | <i>Q</i> , % | <i>P</i> , % | <i>Q</i> , % |
| 1  | 48           | 37           | 44           | 68           |
| 2  | 40           | 40           | 44           | 68           |
| 3  | 40           | 45           | 44           | 68           |
| 4  | 40           | 39           | 44           | 68           |
| 5  | 55           | 50           | 44           | 68           |
| 6  | 52           | 47           | 44           | 68           |
| 7  | 83           | 60           | 44           | 68           |
| 8  | 91           | 76           | 44           | 68           |
| 9  | 100          | 100          | 25           | 53           |
| 10 | 100          | 100          | 25           | 53           |
| 11 | 90           | 73           | 25           | 53           |
| 12 | 80           | 61           | 25           | 53           |
| 13 | 88           | 74           | 25           | 53           |
| 14 | 94           | 76           | 25           | 53           |
| 15 | 100          | 79           | 25           | 53           |
| 16 | 100          | 75           | 25           | 53           |
| 17 | 87           | 77           | 25           | 53           |
| 18 | 79           | 64           | 44           | 68           |
| 19 | 60           | 47           | 44           | 68           |
| 20 | 59           | 52           | 44           | 68           |
| 21 | 46           | 50           | 44           | 68           |
| 22 | 52           | 49           | 44           | 68           |
| 23 | 51           | 41           | 44           | 68           |
| 24 | 48           | 47           | 44           | 68           |

Таблиця 1.5. Результати розрахунків доб. графіків

| №  | Зим. дні      |                 |               |               |                 |               | Літн. дні     |                 |               |               |                 |               |
|----|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
|    | Роб. дні      |                 |               | Вих. і дні    |                 |               | Роб. дні      |                 |               | Вих. і дні    |                 |               |
|    | $P_{д}$ , кВт | $Q_{др}$ , квар | $S_{д}$ , кВА | $P_{д}$ , кВт | $Q_{др}$ , квар | $S_{д}$ , кВА | $P_{д}$ , кВт | $Q_{др}$ , квар | $S_{д}$ , кВА | $P_{д}$ , кВт | $Q_{др}$ , квар | $S_{д}$ , кВА |
| 1  | 6424          | 743             | 6467          | 5889          | 1365            | 6045          | 5461          | 632             | 5497          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 2  | 5354          | 803             | 5414          | 5889          | 1365            | 6045          | 4551          | 683             | 4602          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 3  | 5354          | 904             | 5430          | 5889          | 1365            | 6045          | 4551          | 768             | 4615          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 4  | 5354          | 783             | 5411          | 5889          | 1365            | 6045          | 4551          | 666             | 4599          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 5  | 7361          | 1004            | 7429          | 5889          | 1365            | 6045          | 6257          | 853             | 6315          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 6  | 6960          | 944             | 7024          | 5889          | 1365            | 6045          | 5916          | 802             | 5970          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 7  | 11109         | 1205            | 11174         | 5889          | 1365            | 6045          | 9442          | 1024            | 9497          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 8  | 12179         | 1526            | 12274         | 5889          | 1365            | 6045          | 10353         | 1297            | 10434         | 5006          | 1161            | 5139          |
| 9  | 13384         | 2008            | 13534         | 3346          | 1064            | 3511          | 11376         | 1707            | 11503         | 2844          | 905             | 2985          |
| 10 | 13384         | 2008            | 13534         | 3346          | 1064            | 3511          | 11376         | 1707            | 11503         | 2844          | 905             | 2985          |
| 11 | 12046         | 1466            | 12135         | 3346          | 1064            | 3511          | 10239         | 1246            | 10315         | 2844          | 905             | 2985          |
| 12 | 10707         | 1225            | 10777         | 3346          | 1064            | 3511          | 9101          | 1041            | 9160          | 2844          | 905             | 2985          |
| 13 | 11778         | 1486            | 11871         | 3346          | 1064            | 3511          | 10011         | 1263            | 10090         | 2844          | 905             | 2985          |
| 14 | 12581         | 1526            | 12673         | 3346          | 1064            | 3511          | 10694         | 1297            | 10772         | 2844          | 905             | 2985          |
| 15 | 13384         | 1586            | 13478         | 3346          | 1064            | 3511          | 11376         | 1348            | 11456         | 2844          | 905             | 2985          |
| 16 | 13384         | 1506            | 13468         | 3346          | 1064            | 3511          | 11376         | 1280            | 11448         | 2844          | 905             | 2985          |
| 17 | 11644         | 1546            | 11746         | 3346          | 1064            | 3511          | 9897          | 1314            | 9984          | 2844          | 905             | 2985          |
| 18 | 10573         | 1285            | 10651         | 5889          | 1365            | 6045          | 8987          | 1092            | 9053          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 19 | 8030          | 944             | 8085          | 5889          | 1365            | 6045          | 6826          | 802             | 6873          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 20 | 7897          | 1044            | 7966          | 5889          | 1365            | 6045          | 6712          | 888             | 6770          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 21 | 6157          | 1004            | 6238          | 5889          | 1365            | 6045          | 5233          | 853             | 5302          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 22 | 6960          | 984             | 7029          | 5889          | 1365            | 6045          | 5916          | 836             | 5975          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 23 | 6826          | 823             | 6875          | 5889          | 1365            | 6045          | 5802          | 700             | 5844          | 5006          | 1161            | 5139          |
| 24 | 6424          | 944             | 6493          | 5889          | 1365            | 6045          | 5461          | 802             | 5520          | 5006          | 1161            | 5139          |

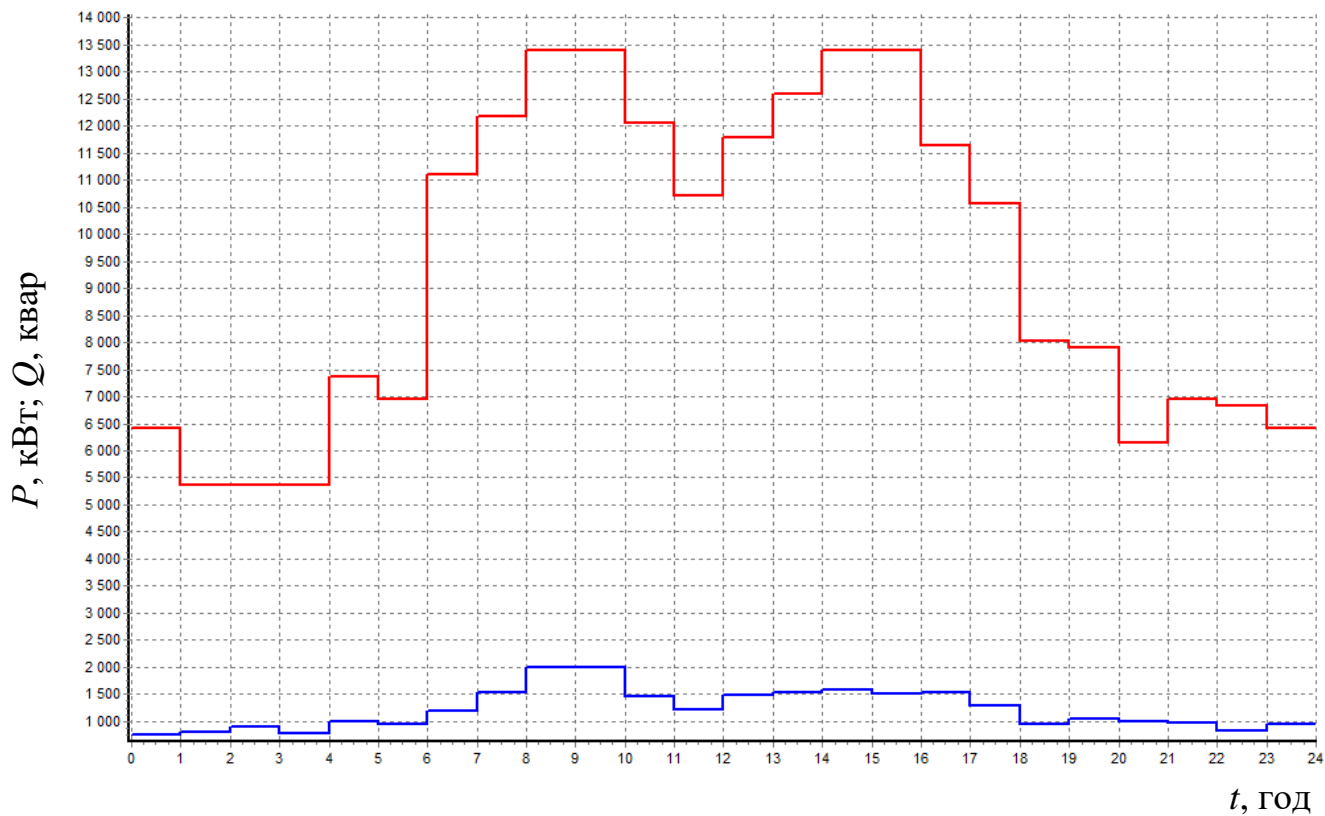


Рис. 1.1. Добові графіки (з. р.)

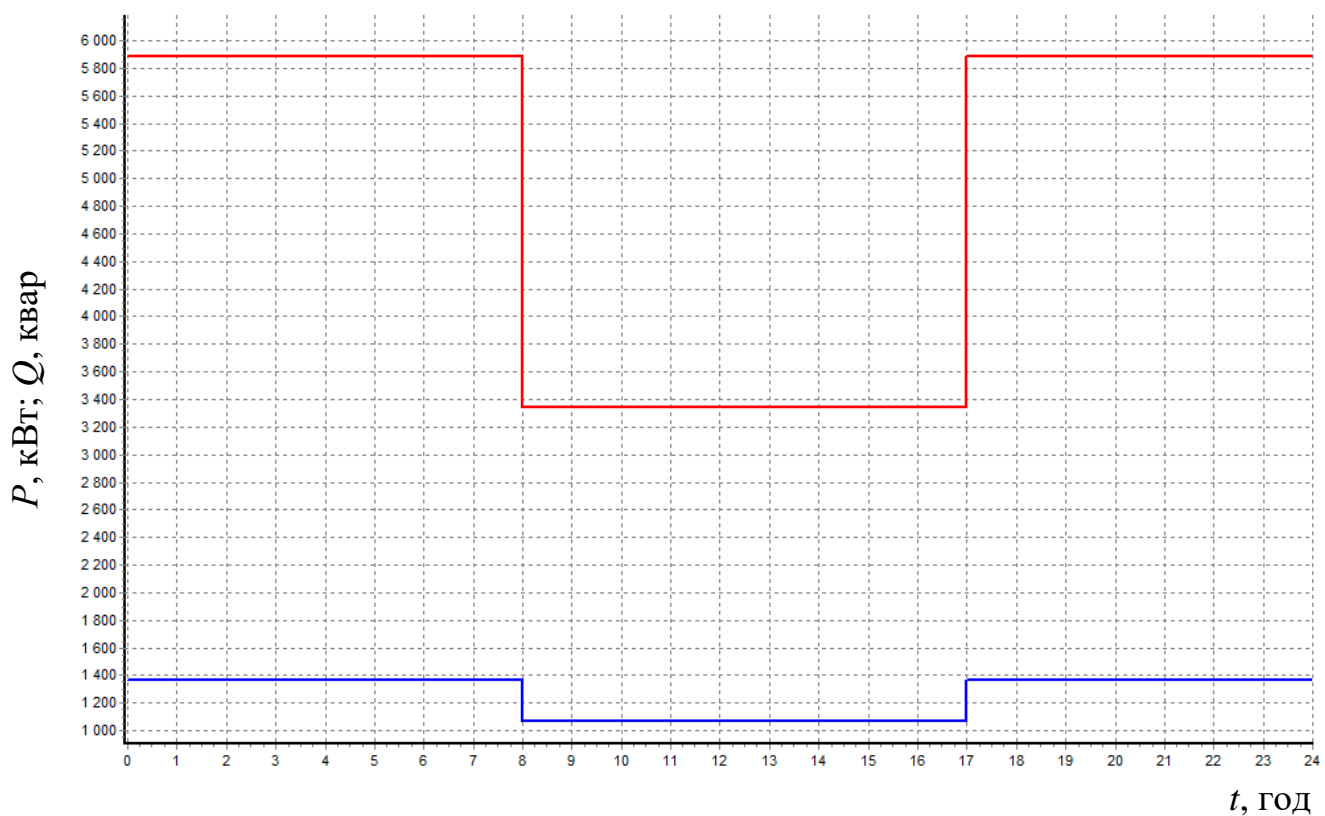


Рис. 1.2. Добові графіки активн. (з.в.)

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

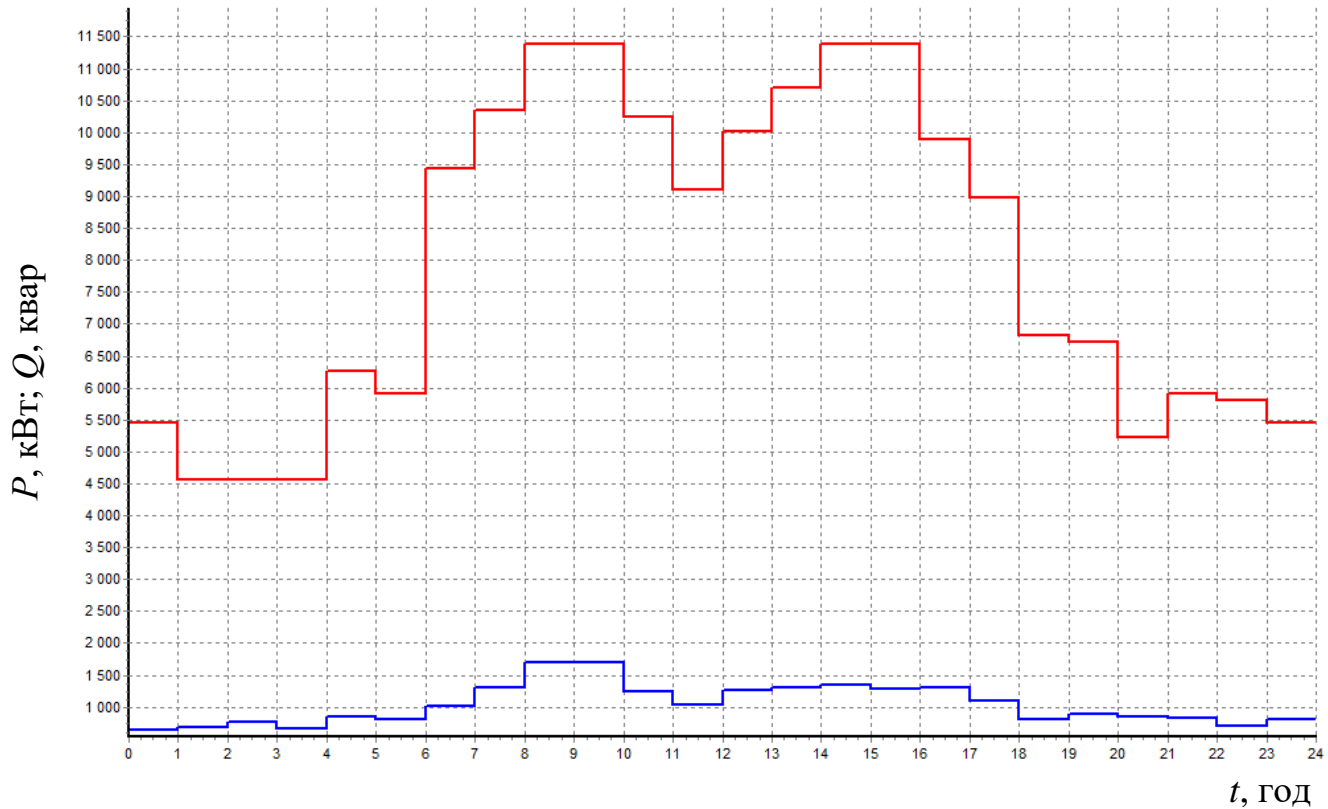


Рис. 1.3. Добові графіки (л.р.)

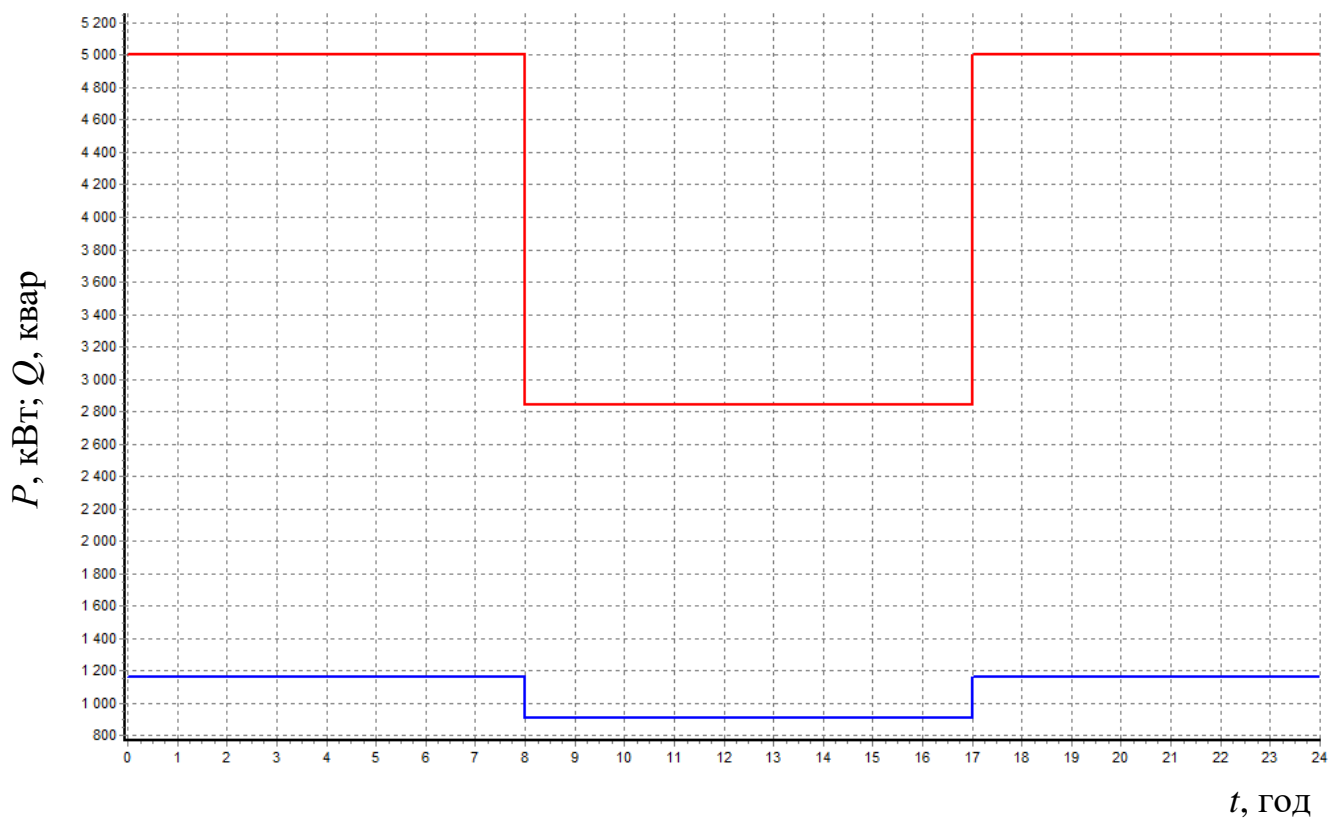


Рис. 1.4 Добові графіки (л.в.)

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

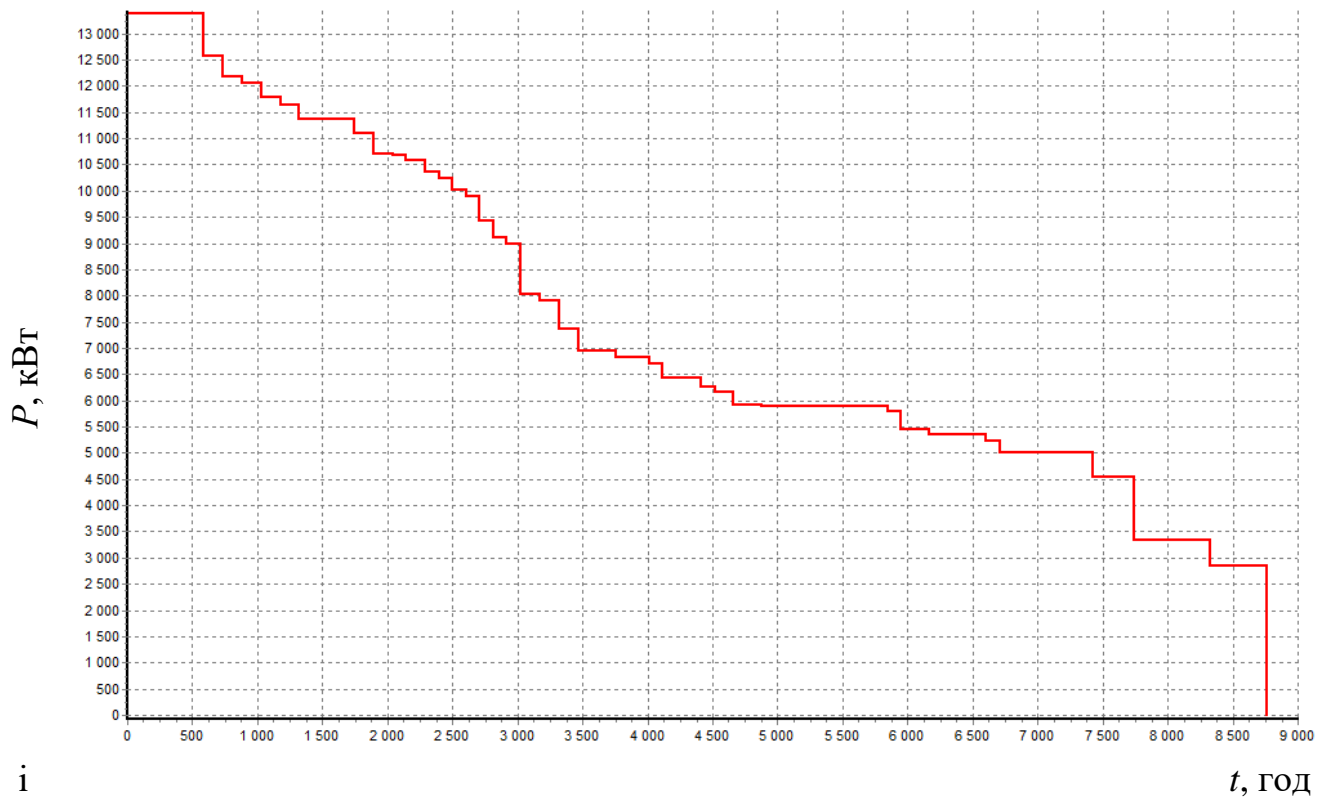


Рис. 1.5. Річний графік за тривалістю

Таблиця 1.6. Результати розрахунку графіків

| №  | Назва параметру    | Знач.    | Од. вим. |
|----|--------------------|----------|----------|
| 1  | $S_{\text{розр}}$  | 13533,79 | МВА      |
| 2  | $W_{\text{з.р.}}$  | 33112338 | кВт·год  |
| 3  | $V_{\text{з.р.}}$  | 4306659  | квар·год |
| 4  | $W_{\text{з.в.}}$  | 7699185  | кВт·год  |
| 5  | $V_{\text{з.в.}}$  | 1953315  | квар·год |
| 6  | $W_{\text{л.р.}}$  | 20103825 | кВт·год  |
| 7  | $V_{\text{л.р.}}$  | 2614605  | квар·год |
| 8  | $W_{\text{л.в.}}$  | 4832928  | кВт·год  |
| 9  | $V_{\text{л.в.}}$  | 1226880  | квар·год |
| 10 | $W_{\text{річн.}}$ | 65748276 | кВт·год  |
| 11 | $V_{\text{річн.}}$ | 10101459 | квар·год |
| 12 | $T_{\text{м}}$     | 4915     | год      |
| 13 | $\tau_{\text{м}}$  | 3319     | год      |

## РОЗДІЛ 2

### КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок картограми ливарного цеху:

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_{\text{осв}} + P_{\text{сил}}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{1584,00 + 178,07}{3,14 \cdot 0,2}} = 52,96 \text{ мм}$$

$$\alpha = \frac{P_{\text{осв}} \cdot 360}{P_{\text{сил}} + P_{\text{осв}}} = \frac{178,07 \cdot 360}{1584,00 + 178,07} = 36,38^\circ$$

Центр електричних навантажень, м:

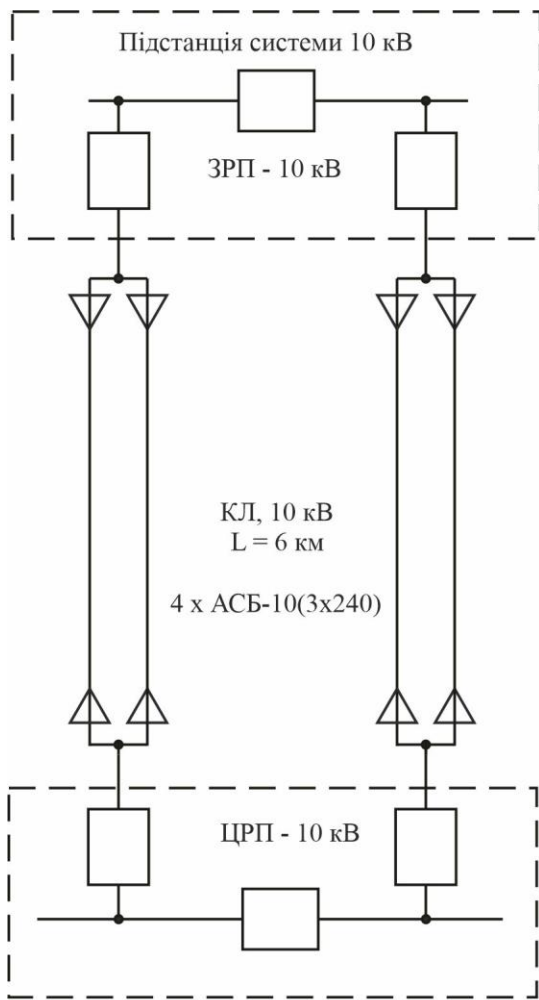
$$X = \frac{\sum_{j=1}^m X_j P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{4049461,63}{13975,31} = 289,8$$

$$Y = \frac{\sum_{j=1}^m Y_j P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} = \frac{1605884,47}{13975,31} = 114,9$$

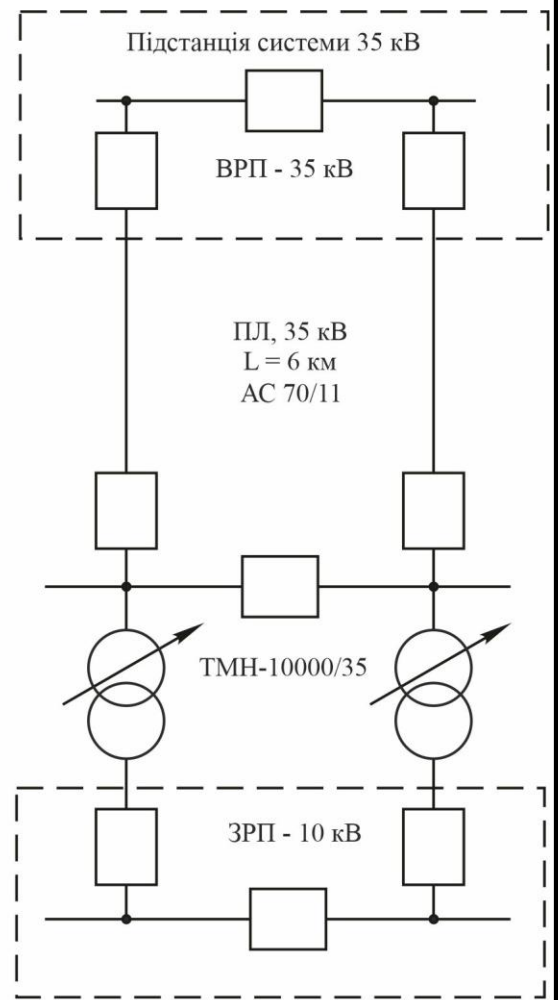
Таблиця 2.1. Картограма ел. навантажень

| №   | Назва цеху                       | $P_{\text{сидр}}$ , кВт | $P_{\text{осв}}$ , кВт | $P_{1,}$ кВт    | $m$ | $R$ , мм | $\alpha$ , град | $x$ , м | $y$ , м | $P_{1,x}$ , кВт·м | $P_{1,y}$ , кВт·м |
|-----|----------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----|----------|-----------------|---------|---------|-------------------|-------------------|
| 1.  | Ливарний цех                     | 1584,00                 | 178,07                 | 1762,07         | 0,2 | 52,96    | 36,38           | 59,30   | 238,30  | 104490,75         | 419901,28         |
| 2.  | Малярний цех                     | 907,19                  | 274,41                 | 1181,60         | 0,2 | 43,37    | 83,60           | 283,30  | 268,30  | 334747,28         | 317023,28         |
| 3.  | Кузовний цех                     | 1501,88                 | 61,84                  | 1563,72         | 0,2 | 49,89    | 14,24           | 429,10  | 190,50  | 670992,25         | 297888,66         |
| 4.  | Цех гарячої обкатки автомобілів  | 2116,61                 | 69,71                  | 2186,32         | 0,2 | 58,99    | 11,48           | 429,10  | 99,80   | 938149,91         | 218194,74         |
| 5.  | Цех холодної обкатки автомобілів | 3040,87                 | 99,35                  | 3140,22         | 0,2 | 70,70    | 11,39           | 386,50  | 31,60   | 1213695,03        | 99230,95          |
| 6.  | Заводоуправління                 | 125,62                  | 151,55                 | 277,17          | 0,2 | 21,00    | 196,84          | 196,80  | 31,60   | 54547,06          | 8758,57           |
| 7.  | Ремонтний цех                    | 1063,15                 | 126,46                 | 1189,61         | 0,2 | 43,51    | 38,27           | 41,60   | 117,60  | 49487,78          | 139898,14         |
| 8.  | Компресорна                      |                         |                        |                 |     |          |                 |         |         |                   |                   |
|     | а) 0,4 кВ                        | 1351,92                 | 20,13                  | 1372,05         | 0,2 | 46,73    | 5,28            | 277,80  | 39,50   | 381155,49         | 54195,98          |
|     | б) 10,5 кВ (АД)                  | 1050                    | 0                      | 1050,00         | 0,2 | 40,88    | 0,00            | 277,80  | 39,50   | 291690,00         | 41475,00          |
| 9.  | Їдальня                          | 198,07                  | 38,93                  | 237,00          | 0,2 | 19,42    | 59,13           | 41,60   | 31,60   | 9859,20           | 7489,20           |
| 10. | Територія заводу                 | 0                       | 15,55                  | 15,55           | 0,2 | 4,97     | 360,00          | 41,60   | 117,60  | 646,88            | 1828,68           |
|     | <b>Всього по заводу</b>          | <b>12939,31</b>         | <b>1036,00</b>         | <b>13975,31</b> |     |          |                 |         |         | <b>4049461,63</b> | <b>1605884,47</b> |





а)



б)

Рис. 3.1. Схеми зовн. електропостачання

$$K_{\text{зав}} = \frac{I_p}{I_{\text{доп}}} = \frac{194,6}{355} = 0,55$$

$$\Delta P_{\text{л}} = \Delta P_{1\text{км}} l_{\text{сум}} K_{\text{зав}}^2 = 24 \cdot 24 \cdot 0,3025 = 174,24 \text{ кВт}$$

$$\Delta W_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{кл}} \tau = 87,12 \cdot 3318,64 = 289119,92 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$C_{\text{втр.кл}} = \Delta W_{\text{сум}} C_0 = 289119,92 \cdot 8,87 \cdot 0,001 = 2564,49 \text{ тис.грн.}$$

Таблиця 3.1. Розрахунок капвкладень

| №      | Назва    | Од. | К-сть | Вартість | Всього |
|--------|----------|-----|-------|----------|--------|
| 1      | КЛ 10 кВ | км  | 24    | 58       | 1392   |
| 2      | Траншея  | км. | 6     | 14,3     | 85,8   |
| 3      | Шафи КРП | шт. | 2     | 10,7     | 21,4   |
| Всього |          |     |       |          | 1499,2 |

Таблиця 3.2. Поточні витрати

| №      | Назва    | $K_j$ | $P_{aj}$ | $C_{aj}$ | $P_{ej}$ | $C_{ej}$ | $C_j$  |
|--------|----------|-------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 1      | КЛ 10 кВ | 1392  | 5        | 69,6     | 5        | 69,6     | 139,2  |
| 2      | Траншея  | 85,8  | 5        | 4,29     | 5        | 4,29     | 8,58   |
| 3      | Шафи КРП | 21,4  | 15       | 3,21     | 5        | 1,07     | 4,28   |
| Всього |          |       |          |          |          |          | 152,06 |

Розрахунок збитку від недовідпуску електроенергії:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,004 + 0,96 = 0,964 \quad \text{1/рік}$$

$$T_{\text{відн}} = \frac{\sum \lambda_i T_{\text{відн},i}}{\lambda} = \frac{(0,004 \cdot 0,00045 + 0,96 \cdot 0,00084)}{0,964} = 0,00083838 \quad \text{рік}$$

$$K_{\text{пр}} = 1,2 K_{\text{прmax}} = 1,2 \cdot 0,002 = 0,0024$$

$$K_{\text{а.п}} = \lambda T_{\text{відн}} = 0,964 \cdot 0,000838381742738589 = 0,0008082$$

$$K_{\text{а.пр}} = 0,5 \lambda K_{\text{пр}}^2 = 0,5 \cdot 0,964 \cdot 0,00000576 = 0,00000277632$$

$$K_{\text{а.пр}}^{(2)} = K_{\text{а.п}}^2 + 2K_{\text{а.пр}} = 0,00000065318724 + 2 \cdot 0,00000277632 = 0,0000062058$$















## РОЗДІЛ 6

### РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМКНЕНЬ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

#### 6.1 Розрахунок струмів коротких замкнень

Опори елементів мережі:

$$X_c = \frac{U_c^2}{S_{к.з.}} = \frac{10,5^2}{100} = 1,103 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{X_c}{25} = \frac{1,103}{25} = 0,044 \text{ Ом}$$

$$R_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,129 \cdot 6}{2} = 0,387 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{кл}} = \frac{0,075 \cdot 6}{2} = 0,23 \text{ Ом}$$

$$X_{K1} = X_c + X_{кл} = 1,103 + 0,23 = 1,333 \text{ Ом}$$

$$R_{K1} = R_c + R_{кл} = 0,044 + 0,387 = 0,431 \text{ Ом}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{0,431^2 + 1,333^2} = 1,401 \text{ Ом}$$

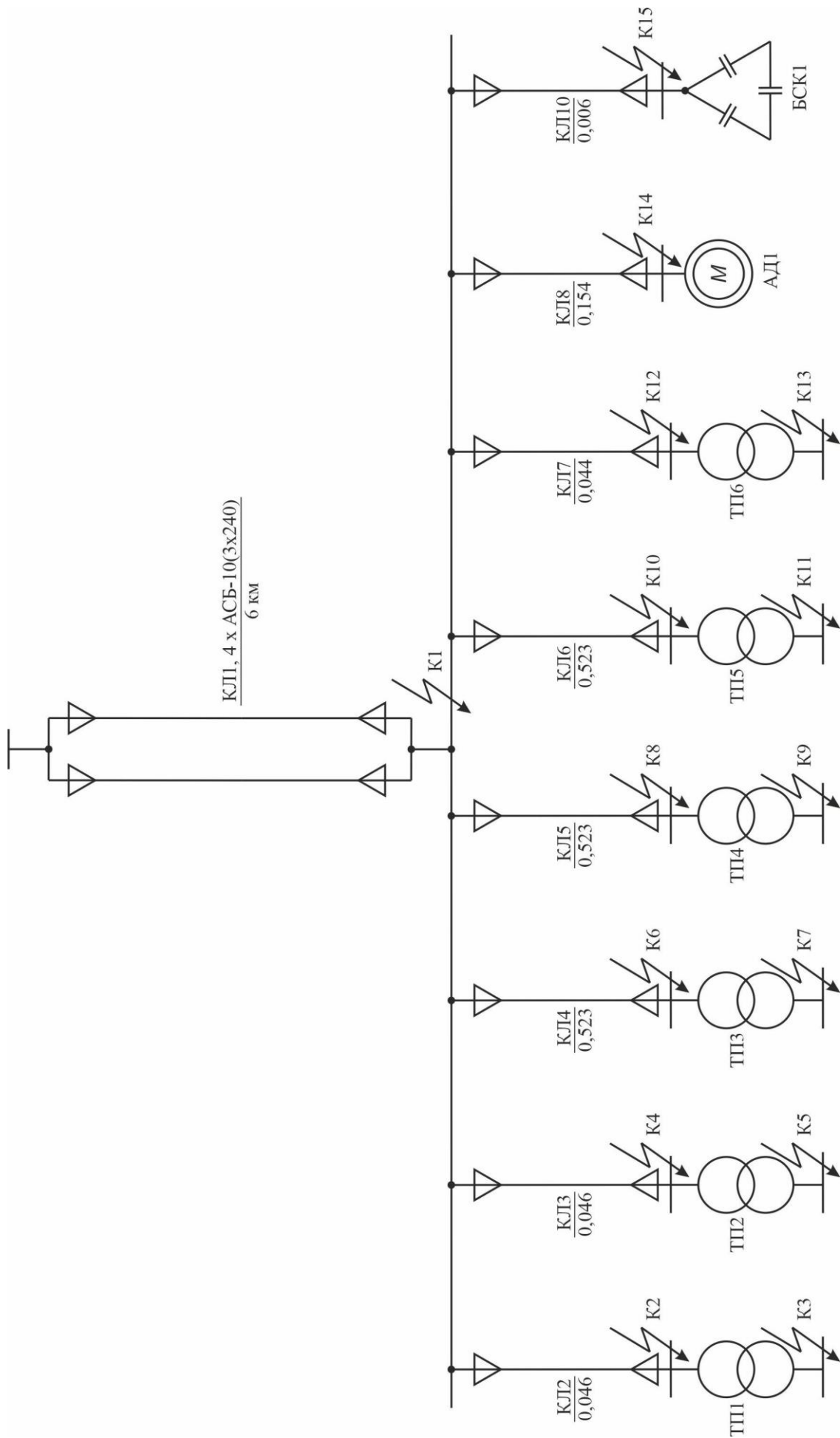


Рис. 6.1. Розрахункова схема

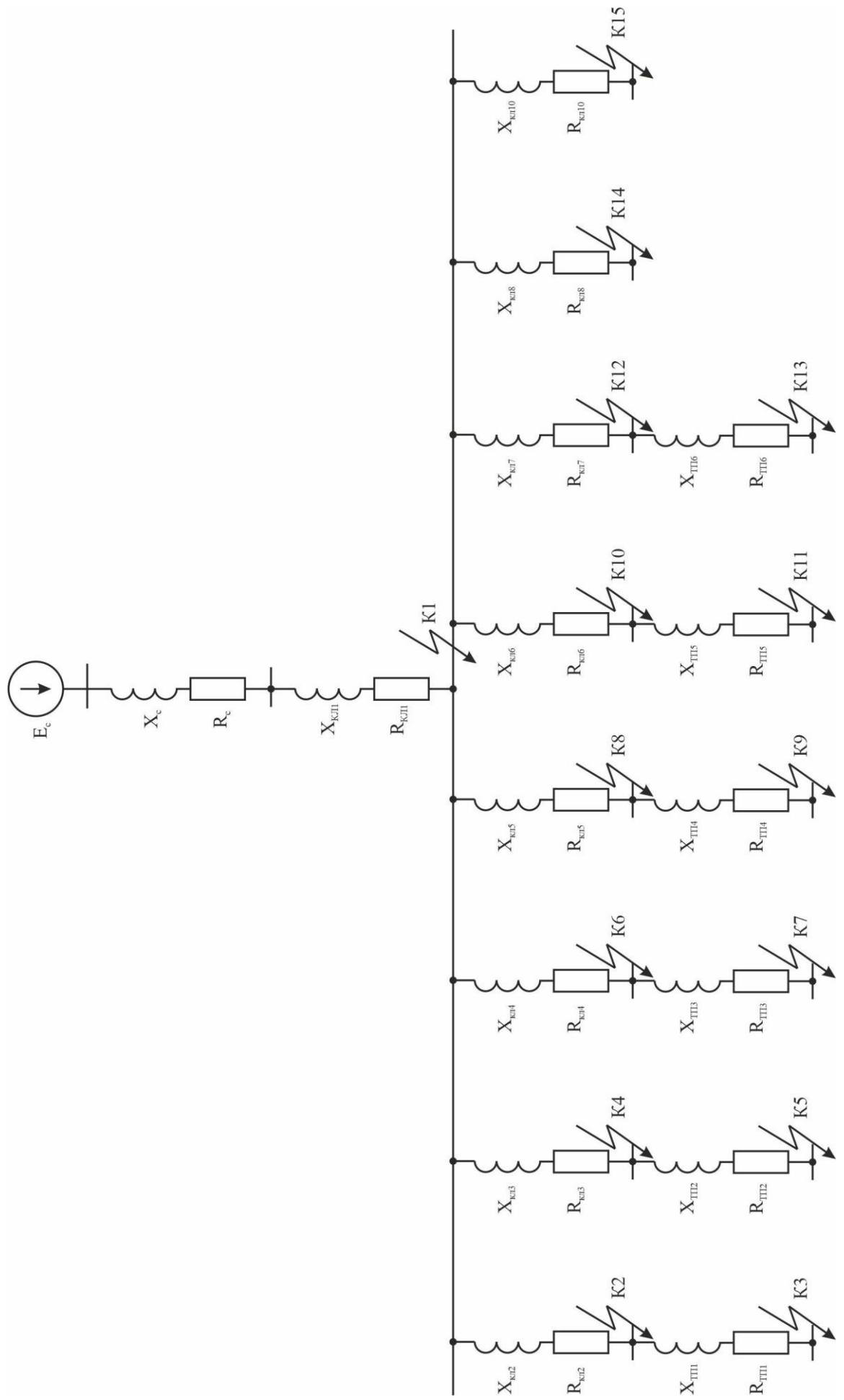


Рис. 6.2. Схема заміщення

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Параметри струму к.з. в т. К1:

$$I''_{K1(c)} = \frac{U_{cp,ном}}{\sqrt{3}Z_{K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,401} = 4,33 \text{ кА}$$

$$T_{a1} = \frac{X_{K1}}{\omega R_{K1}} = \frac{1,333}{314 \cdot 0,431} = 0,0098 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0098}} = 1,36$$

$$i_{y\partial 1(c)} = \sqrt{2}k_{y\partial 1}I''_{K1(c)} = \sqrt{2} \cdot 1,36 \cdot 4,33 = 8,33 \text{ кА}$$

Струм підживлення від АД 10 кВ:

$$S_{ном} = \frac{P_{ном}}{\cos\varphi_{ном} \cdot \eta} = \frac{0,7}{0,9 \cdot 0,92} = 0,845 \text{ МВА}$$

$$X_{АД} = \frac{1}{I_{пуск}} \frac{U_{cp,ном}^2}{S_{ном}} = \frac{10,5^2}{5,2 \cdot 0,845} = 25,09 \text{ Ом}$$

$$I''_{K1(АД)} = n_{АД} \frac{E_* \cdot U_{cp,ном}}{\sqrt{3}X_{АД}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 10,5}{\sqrt{3} \cdot 25,09} = 0,43 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1(АД)} = \sqrt{2}k_{y\partial(АД)}I''_{K1(АД)} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 0,43 = 1,03 \text{ кА}$$

$$I''_{K1} = I''_{K1(c)} + I''_{K1(АД)} = 4,33 + 0,43 = 4,76 \text{ кА}$$

$$i_{y\partial 1} = i_{y\partial 1(c)} + i_{y\partial 1(AD)} = 8,33 + 1,03 = 9,36 \text{ кА}$$

Параметри вибору КЛ1:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{cp.ном}} = \frac{2240,19}{2 \cdot 1,73 \cdot 10,5} = 61,59 \text{ А}$$

$$B_k = I_{K1}^2 (t_{p.з.min} + T_a) = 4,76^2 (1,365 + 0,0098) = 31,15 \text{ кА}^2 \text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{31,15 \cdot 10^3} = 59,37 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ-10(3 х 70).

Опір КЛ1:

$$R_{кл} = r_0 \cdot l_{кл} = 0,443 \cdot 0,248 = 0,11 \text{ Ом}$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot l_{кл} = 0,086 \cdot 0,248 = 0,021 \text{ Ом}$$

Параметри струму к.з. в т. К2:

$$X_{K2} = X_{K1} + X_{кл} = 1,333 + 0,021 = 1,354 \text{ Ом}$$

$$R_{K2} = R_{K1} + R_{кл} = 0,431 + 0,11 = 0,541 \text{ Ом}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{0,541^2 + 1,354^2} = 1,458 \text{ Ом}$$

Таблиця 6.1. Розрахунок опорів КЛ

| №      | $l$ , км | $r_0$ , Ом/км | $x_0$ , Ом/км | $R$ , Ом | $X$ , Ом |
|--------|----------|---------------|---------------|----------|----------|
| 1      | 6,000    | 0,129         | 0,075         | 0,387    | 0,225    |
| 2      | 0,248    | 0,443         | 0,086         | 0,110    | 0,021    |
| 3      | 0,248    | 0,443         | 0,086         | 0,110    | 0,021    |
| 4      | 0,087    | 0,443         | 0,086         | 0,039    | 0,007    |
| 5      | 0,087    | 0,443         | 0,086         | 0,039    | 0,007    |
| 6      | 0,087    | 0,443         | 0,086         | 0,039    | 0,007    |
| 7      | 0,234    | 0,443         | 0,086         | 0,104    | 0,020    |
| 8, 9   | 0,051    | 0,443         | 0,086         | 0,023    | 0,004    |
| 10, 11 | 0,006    | 0,443         | 0,086         | 0,003    | 0,001    |

$$I_{K2}'' = \frac{U_{\text{ср.ном.}}}{\sqrt{3}Z_{K2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,458} = 4,16 \text{ кА}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{K2}}{\omega R_{K2}} = \frac{1,354}{314 \cdot 0,541} = 0,008 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a2}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,008}} = 1,287$$

$$i_{y\partial 2} = \sqrt{2}k_{y\partial} I_{K2}'' = \sqrt{2} \cdot 1,287 \cdot 4,16 = 7,57 \text{ кА}$$

Опір ТМ-1600/10:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\kappa} U_{\text{ср.ном.}}^2}{S_{\text{ном.}}^2} = \frac{11,6 \cdot 10,5^2}{1600^2} \cdot 10^3 = 0,5 \text{ Ом}$$

$$X_{mp} = \frac{U_{к, \%} U_{ср.ном}^2}{S_{ном}} = \frac{5,5 \cdot 10,5^2}{1600} \cdot 10 = 3,79 \text{ Ом}$$

Параметри струму к.з. в т. К3:

$$X_{K3} = (X_{K2} + X_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{ен}} \right)^2 = (1,354 + 3,79) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0075 \text{ Ом}$$

$$R_{K3} = (R_{K2} + R_{mp}) \left( \frac{U_{нн}}{U_{ен}} \right)^2 = (0,541 + 0,5) \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,0015 \text{ Ом}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{0,0015^2 + 0,0075^2} = 0,0076 \text{ Ом}$$

$$I_{K3}'' = \frac{U_{ср.ном.}}{\sqrt{3} Z_{K3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0076} = 30,39 \text{ кА}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{K3}}{\omega R_{K3}} = \frac{0,0075}{314 \cdot 0,0015} = 0,0159 \text{ с}$$

$$k_{y\partial 3} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a3}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0159}} = 1,533$$

$$i_{y\partial 3} = \sqrt{2} k_{y\partial} I_{K3}'' = \sqrt{2} \cdot 1,533 \cdot 30,39 = 65,89 \text{ кА}$$

Таблиця 6.2. Розрахунок струмів к.з.

| №  | R, Ом  | X, Ом  | $I_{к}''$ , кА | $T_a$ , с | $k_{уд}$ | $i_{уд}$ , кА |
|----|--------|--------|----------------|-----------|----------|---------------|
| 1  | 0,4310 | 1,3330 | 4,76           | 0,0098    | 1,360    | 9,36          |
| 2  | 0,5410 | 1,3540 | 4,16           | 0,0080    | 1,287    | 7,57          |
| 3  | 0,0015 | 0,0075 | 30,39          | 0,0159    | 1,533    | 65,89         |
| 4  | 0,5410 | 1,3540 | 4,16           | 0,0080    | 1,287    | 7,57          |
| 5  | 0,0015 | 0,0075 | 30,39          | 0,0159    | 1,533    | 65,89         |
| 6  | 0,4700 | 1,3400 | 4,27           | 0,0091    | 1,333    | 8,05          |
| 7  | 0,0014 | 0,0074 | 30,79          | 0,0168    | 1,551    | 67,54         |
| 8  | 0,4700 | 1,3400 | 4,27           | 0,0091    | 1,333    | 8,05          |
| 9  | 0,0014 | 0,0074 | 30,79          | 0,0168    | 1,551    | 67,54         |
| 10 | 0,4700 | 1,3400 | 4,27           | 0,0091    | 1,333    | 8,05          |
| 11 | 0,0014 | 0,0074 | 30,79          | 0,0168    | 1,551    | 67,54         |
| 12 | 0,5350 | 1,3530 | 4,17           | 0,0081    | 1,291    | 7,61          |
| 13 | 0,0015 | 0,0075 | 30,39          | 0,0159    | 1,533    | 65,89         |
| 14 | 0,4540 | 1,3370 | 4,29           | 0,0094    | 1,345    | 8,16          |
| 15 | 0,4340 | 1,3340 | 4,32           | 0,0098    | 1,360    | 8,31          |

### 6.2 Вибір кабельних ліній напругою 10 кВ

КЛ до ТП1:

$$I_p = \frac{S_p}{n \sqrt{3} U_{ср.ном}} = \frac{2240,19}{2 \cdot 1,72 \cdot 10,5} = 61,59 \text{ А}$$

Обираємо 2 х ААШВ-10(3х70).

$$I_p = 61,59 \text{ A} \leq K_n \cdot I_{don} = 0,9 \cdot 165 = 148,5 \text{ A}$$

$$I_{os} = 123,18 \text{ A} \leq K_{an} \cdot K_n' \cdot I_{don} = 1,35 \cdot 1 \cdot 165 = 222,75 \text{ A}$$

$$B_k = I_{K1}''^2 (t_{p.з.мин} + T_a) = 4,76^2 (1,365 + 0,0098) = 59,37 \text{ кА}^2\text{с}$$

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{94} \sqrt{31,15 \cdot 10^3} = 59,37 \text{ мм}^2$$

Таблиця .6.3. Вибір КЛ

| №      | $n_{\text{КЛ, шт}}$ | $S_{\text{розр, МВА}}$ | $I_{\text{р, А}}$ | $I_{\text{р.ав., А}}$ | $B_{\text{кв, кА}^2\text{С}}$ | $F_{\text{min, мм}^2}$ | Марка КЛ            | $I_{\text{доп, А}}$ | $K_{\text{п}}$ | $K_{\text{п}} I_{\text{доп, А}}$ | $K_{\text{ап}}$ | $K_{\text{п}}$ | $K_{\text{ап}} K_{\text{п}} I_{\text{доп, А}}$ |
|--------|---------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------------------------|-----------------|----------------|--|
| 1      | 4                   | 13623,21               | 187,27            | 374,54                | 31,15                         | 59,37                  | 4 х АСБ-10(3 х 240) | 355                 | 0,8            | 284                              | 1,35            | 0,9            | 431,33   |
| 2      | 2                   | 2240,19                | 61,59             | 123,18                | 31,15                         | 59,37                  | 2 х ААШВ-10(3х70)   | 165                 | 0,9            | 148,5                            | 1,35            | 1              | 222,75   |
| 3      | 2                   | 2240,19                | 61,59             | 123,18                | 31,15                         | 59,37                  | 2 х ААШВ-10(3х70)   | 165                 | 0,9            | 148,5                            | 1,35            | 1              | 222,75   |
| 4      | 2                   | 2240,11                | 61,59             | 123,18                | 31,15                         | 59,37                  | 2 х ААШВ-10(3х70)   | 165                 | 0,9            | 148,5                            | 1,35            | 1              | 222,75   |
| 5      | 2                   | 2240,11                | 61,59             | 123,18                | 31,15                         | 59,37                  | 2 х ААШВ-10(3х70)   | 165                 | 0,9            | 148,5                            | 1,35            | 1              | 222,75   |
| 6      | 2                   | 2240,11                | 61,59             | 123,18                | 31,15                         | 59,37                  | 2 х ААШВ-10(3х70)   | 165                 | 0,9            | 148,5                            | 1,35            | 1              | 222,75   |
| 7      | 2                   | 1930,41                | 53,07             | 106,14                | 31,15                         | 59,37                  | 2 х ААШВ-10(3х70)   | 165                 | 0,9            | 148,5                            | 1,35            | 1              | 222,75   |
| 8, 9   | 1                   | 700                    | 38,49             | -                     | 31,15                         | 59,37                  | 1 х ААШВ-10(3х70)   | 165                 | 1              | 165                              | -               | -              | -  |
| 10, 11 | 1                   | 1350                   | 74,23             | -                     | 31,15                         | 59,37                  | 1 х ААШВ-10(3х70)   | 165                 | 1              | 165                              | -               | -              | -  |

### 6.3 Вибір електричних апаратів високої напруги

Розрахункові параметри вибору ввідного вимикача наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Вибір ввідного вимикача

| Назва параметру   | Умова   | Розрах. значення  |
|---|---|---|
| Номінальна напруга, кВ  | $U_{вст} \leq U_{ном}$  | $10 \leq 11$  |
| Довготр. струм, кА  | $I_{р.ф.} \leq I_{ном}$   | $786,41 \leq 1000$  |
| Відключаюча здатність:<br>- симетр. струм:<br>- аперіод. склад.:<br>- повний струм: | $I_{нт} \leq I_{в.н.}$<br>$i_{ат} \leq \sqrt{2}\beta_{ном} I_{в.н.}$<br>$\sqrt{2}I_{нт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{н.в.} (1 + \beta_{ном})$ | $4,76 \leq 20$<br>$0 \leq 11,31$<br>$1,41 \cdot 4,76 + 0 < < 1,41 \cdot 20 \cdot (1 + 0,4)$<br>$6,73 \leq 39,6$ |
| Динамічна стійкість:<br>- симетр. струм:<br>- уд. струм:                            | $I'' \leq I_{д.ст.}$<br>$i_y \leq 1,8\sqrt{2}I_{д.ст.}$   | $4,76 \leq 52$<br>$9,36 \leq 132,37$  |
| Термічна стійкість  | $B_k \leq I_{т.ном}^2 t_{т.ном}$  | $28,36 \leq 1200$   |

$$\tau = t_{пз. min} + t_{с.с} = 0,5 + 0,042 = 0,542 \text{ с}$$

$$i_{ат} = \sqrt{2}I'' e^{\frac{-\tau}{T_a}} = 1,41 \cdot 4,76 \cdot e^{\frac{-0,542}{0,0098}} = 0 \text{ кА}$$

$$B_k = I''^2 (t_{с.с.} + t_{пз. max} + T_a) = 4,76^2 (0,042 + 1,2 + 0,0098) = 28,36 \text{ кА}^2\text{с}$$

Обираємо ВР2-10-20/1000.

## 6.4 Вибір потужності та схем живлення трансформаторів власних потреб

Схема приєднання ТВП наведена на рис. 6.3.

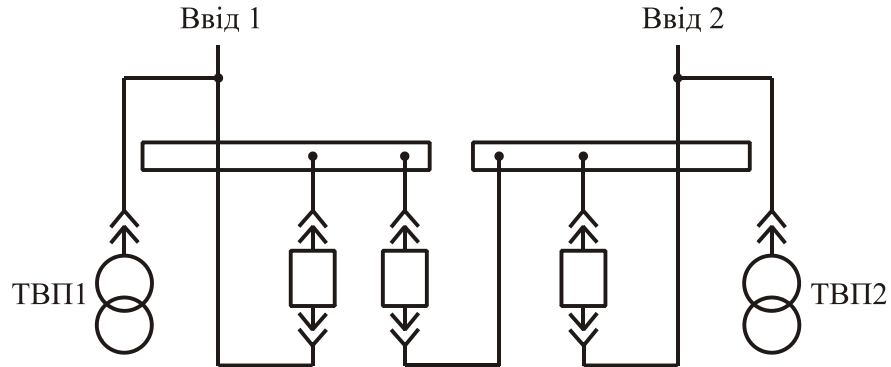


Рис. 6.3. Схема приєднання ТВП

Таблиця 6.5. Розрахунок електр. навант. ТВП

| №      | Назва споживача                | P <sub>н</sub> , кВт | n, шт. | P <sub>Σ</sub> , кВт | cosφ | tgφ  | P <sub>вст</sub> , кВт | Q <sub>вст</sub> , квар |
|--------|--------------------------------|----------------------|--------|----------------------|------|------|------------------------|-------------------------|
| 1.     | Пристрої підігріву комірок КРП | 0,6                  | 24     | 14,4                 | 0,97 | 0,25 | 14,4                   | 4                       |
| 2.     | Приміщення персоналу           | 6                    | 3      | 18                   | 0,97 | 0,25 | 18                     | 5                       |
| 3.     | Зовнішнє освітлення            | 4,5                  | 4      | 18                   | 0,97 | 0,25 | 18                     | 5                       |
| 4.     | Оперативні кола                | 4,5                  | 4      | 18                   | 0,97 | 0,25 | 18                     | 5                       |
| Всього |                                |                      |        |                      |      |      | 68,4                   | 19                      |

Сумарне навант. ТВП:

$$S_{\text{вст}} = \sqrt{P_{\text{вст}}^2 + Q_{\text{вст}}^2} = \sqrt{68,4^2 + 19^2} = 70,99 \text{ кВА}$$







гармонічні складові. Алгоритми машинного навчання дозволяють системі адаптуватися до специфічних характеристик підключеного обладнання та прогнозувати зміни навантаження.

*Силовий інверторний модуль.* IGBT-транзистори або SiC-напівпровідники формують компенсаційні струми з використанням широтно-імпульсної модуляції. Частота комутації досягає 20-50 кГц, що забезпечує високу точність відтворення складних сигналів. Система охолодження підтримує оптимальний температурний режим силових елементів.

*Вихідні згладжуючі ланцюги.* Багатокаскадні LC-фільтри усувають високочастотні складові комутації, формуючи чисті синусоїдальні сигнали компенсації. Індуктивності зв'язку забезпечують гальванічну розв'язку та узгодження імпедансів між фільтром та мережею.

*Система захисту та моніторингу.* Інтегровані засоби діагностики контролюють параметри роботи всіх вузлів, забезпечуючи автоматичне відключення при аварійних ситуаціях та ведення журналу подій для технічного обслуговування.

На рис. 7.1 наведена спрощена схема фільтру.

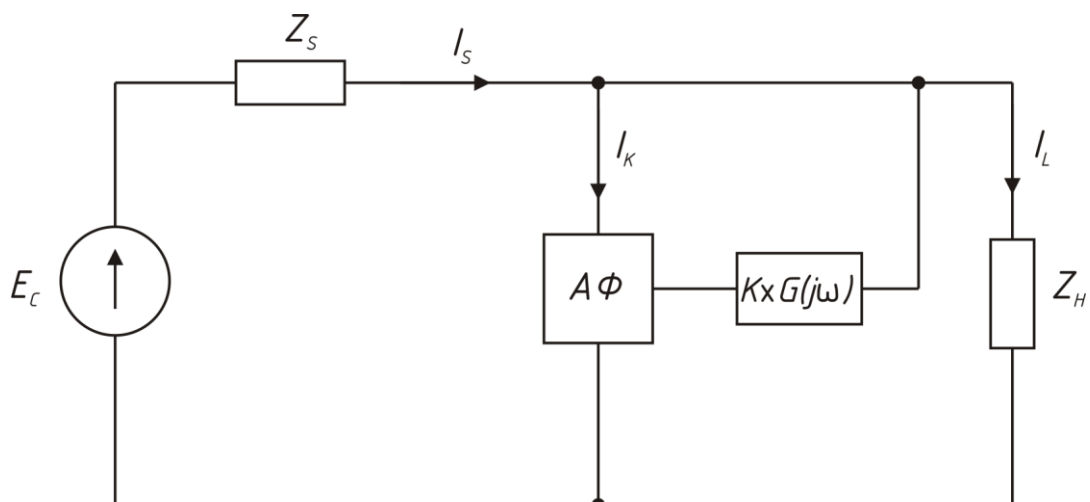


Рис. 7.1. Спрощена схема фільтру









На рис. 7.2 показана схема параллельного, а на рис. 7.3 – продольного фильтра.

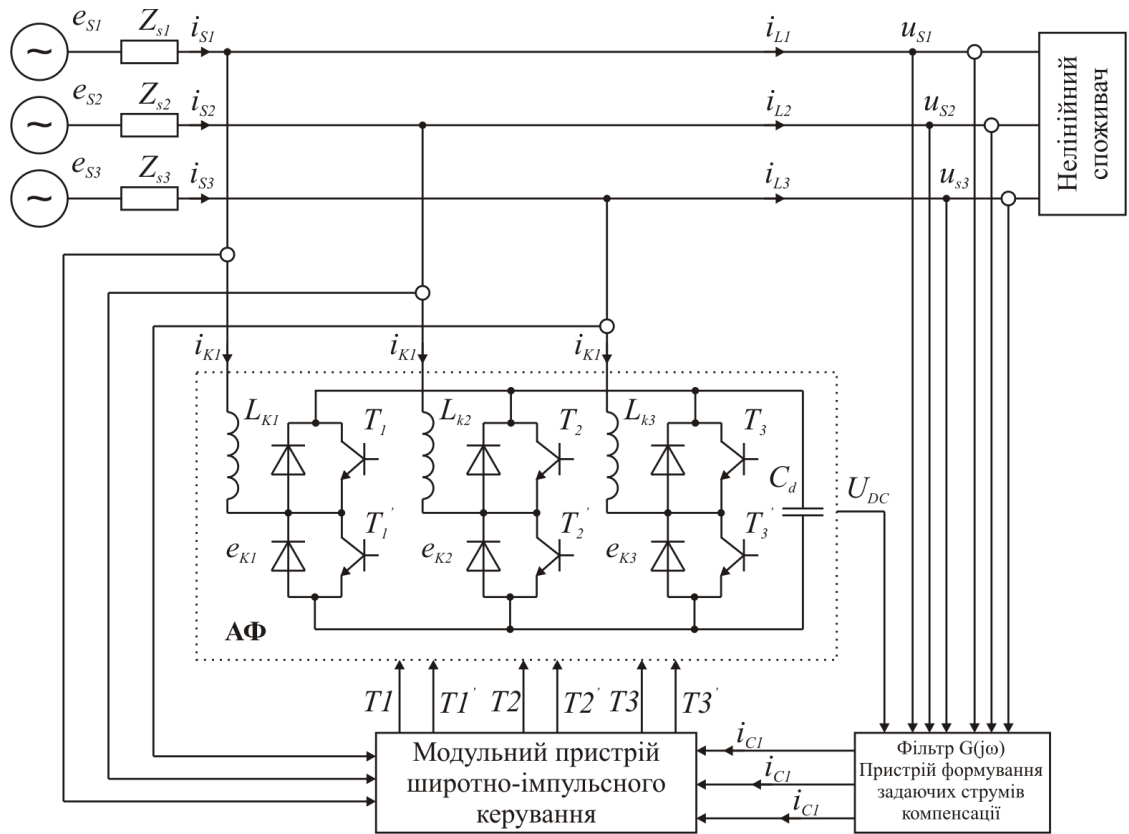


Рис. 3.2. Схема паралельного фільтра

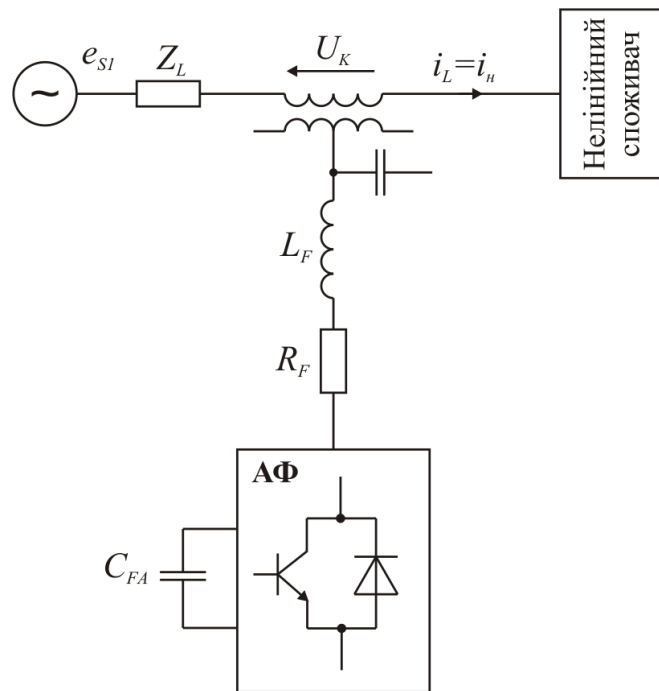


Рис. 7.3. Схема продольного САФ





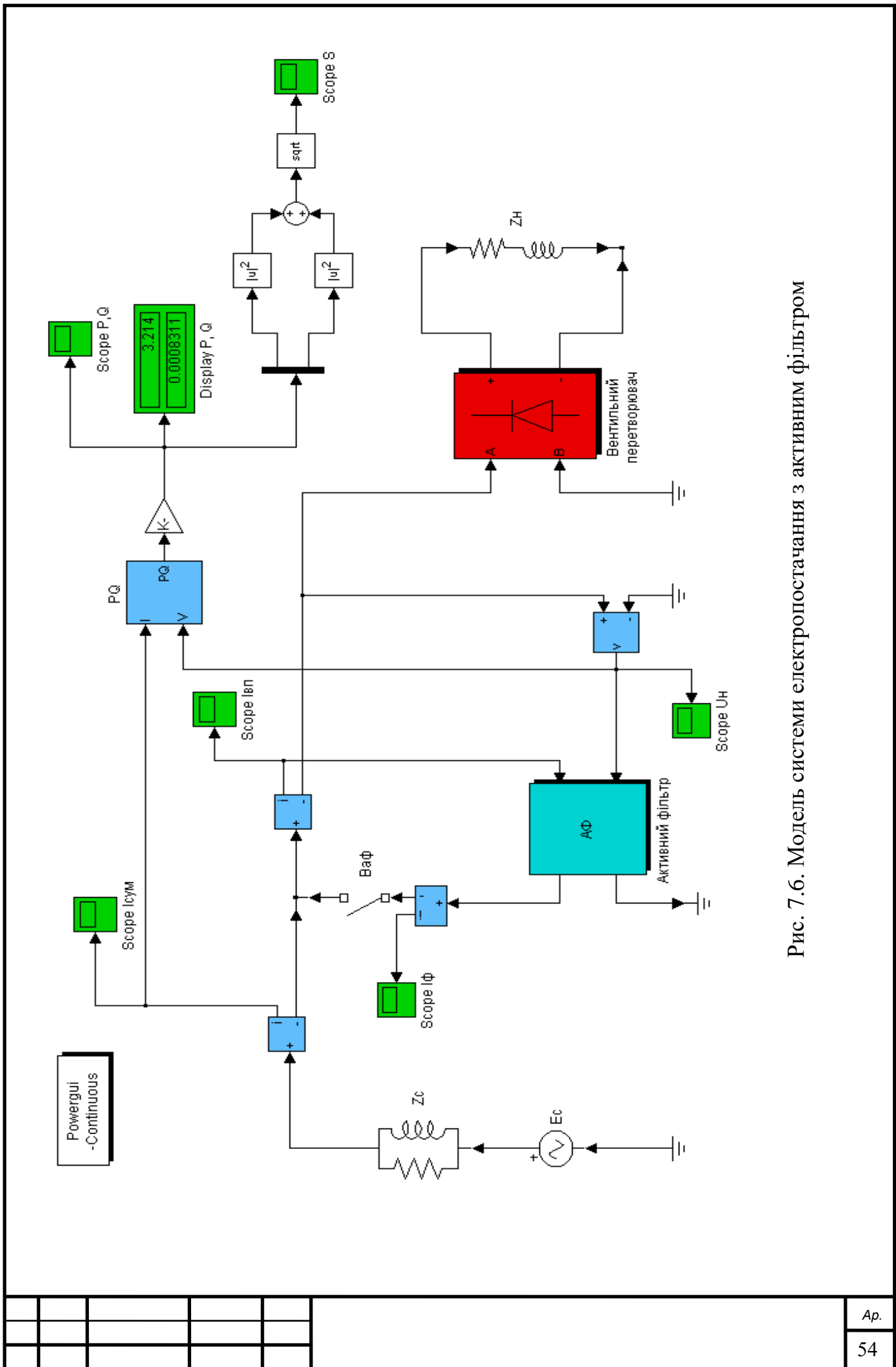


Рис. 7.6. Модель системи електропостачання з активним фільтром

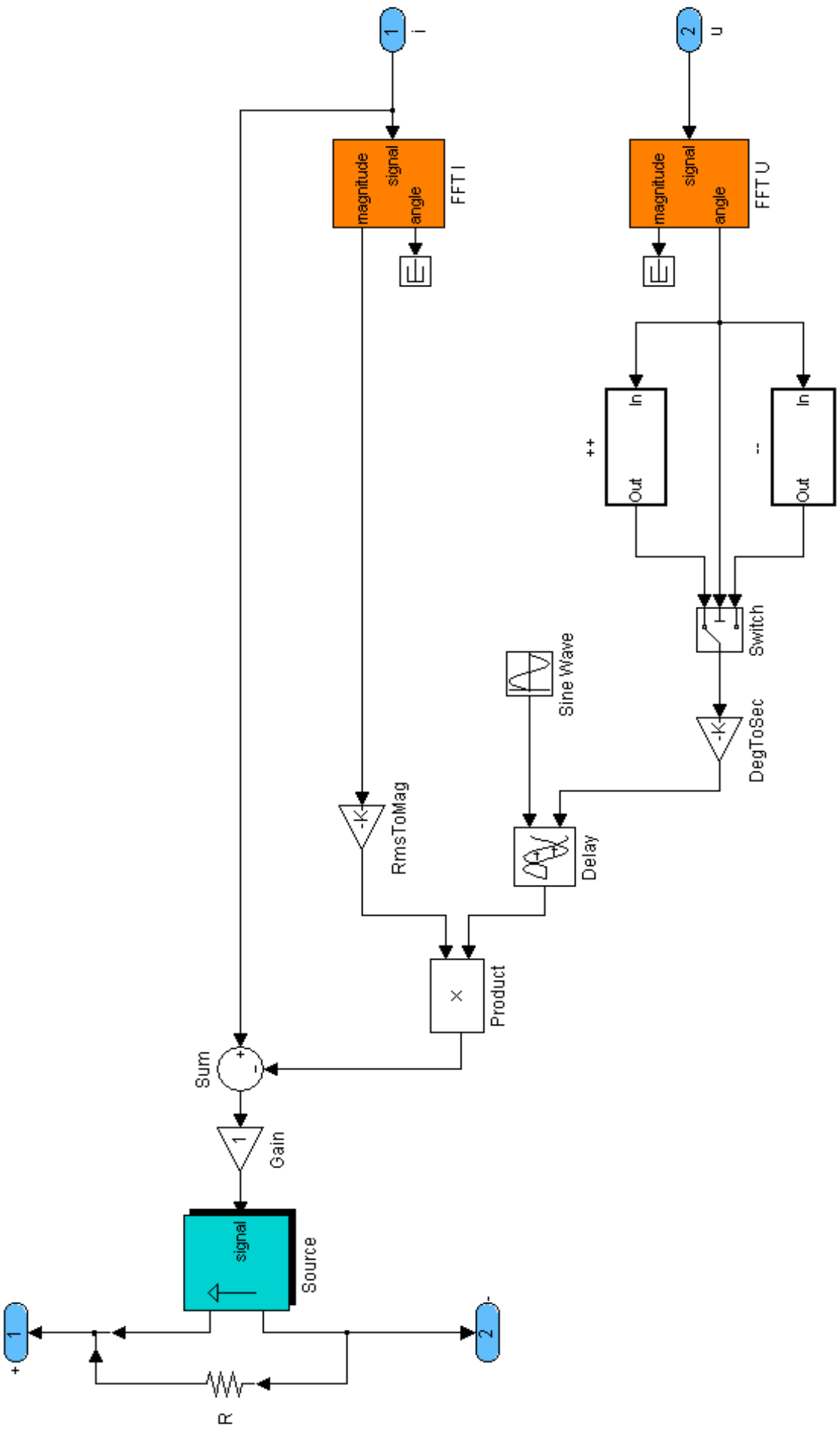


Рис. 7.7. Модель активного фільтру

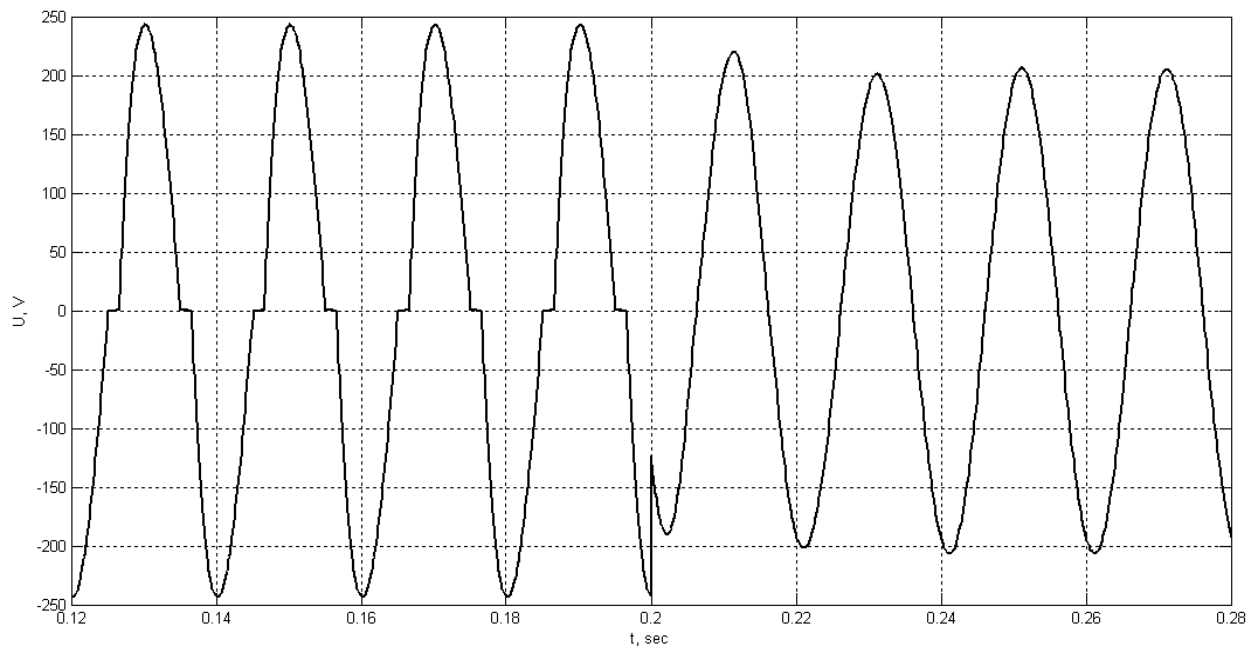


Рис. 7.8. Діаграма зміни електричної напруги на шинах 10 кВ

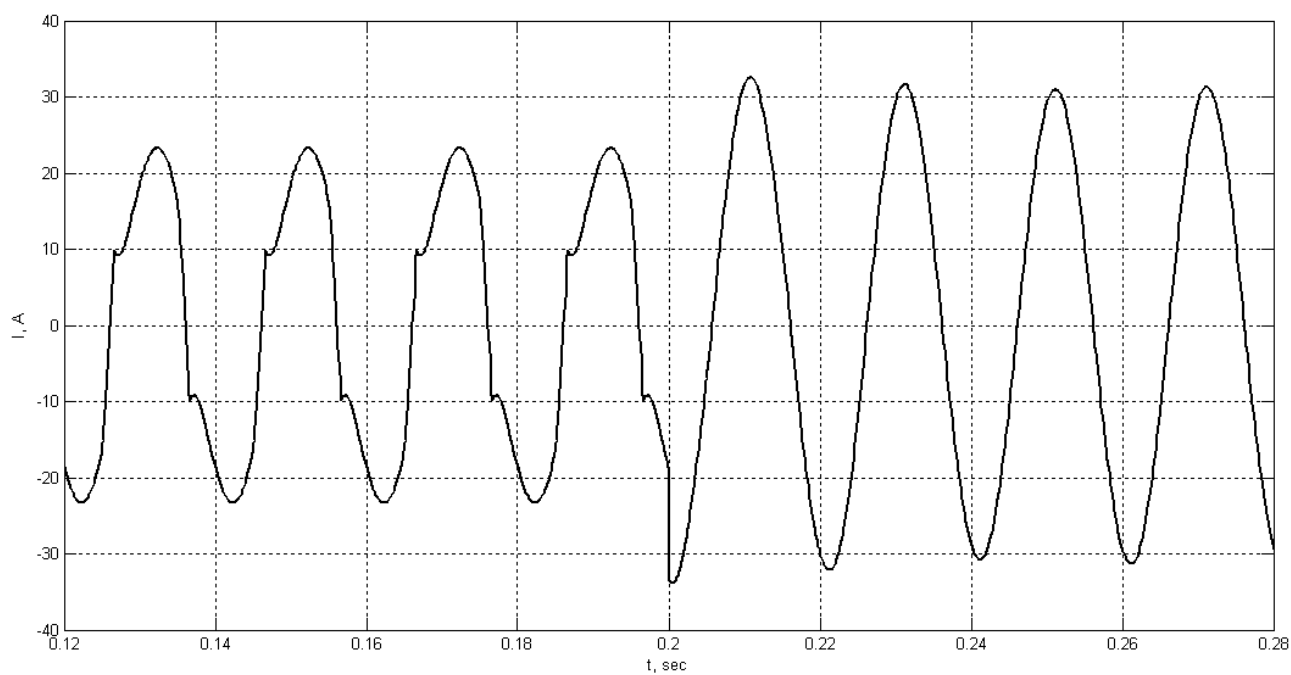


Рис. 7.9. Діаграма зміни загального струму

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

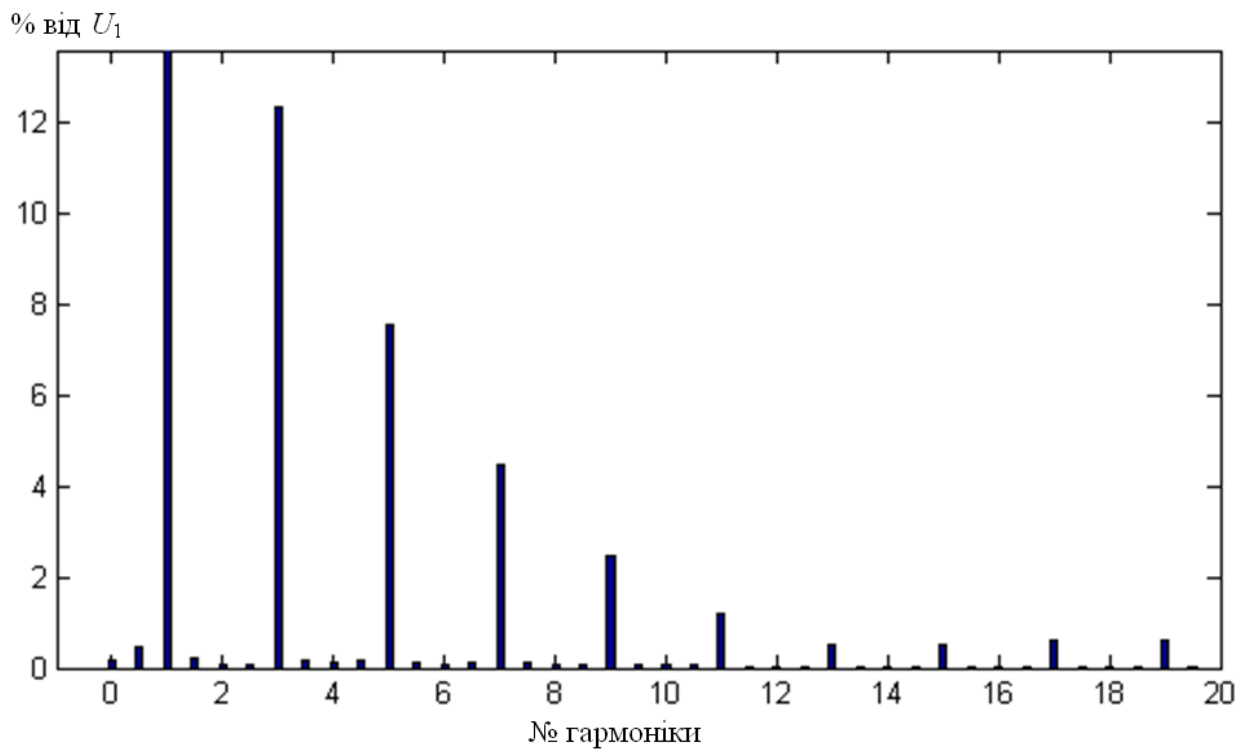


Рис. 7.10. Гармонічний аналіз напруги за умови відключеного САФ

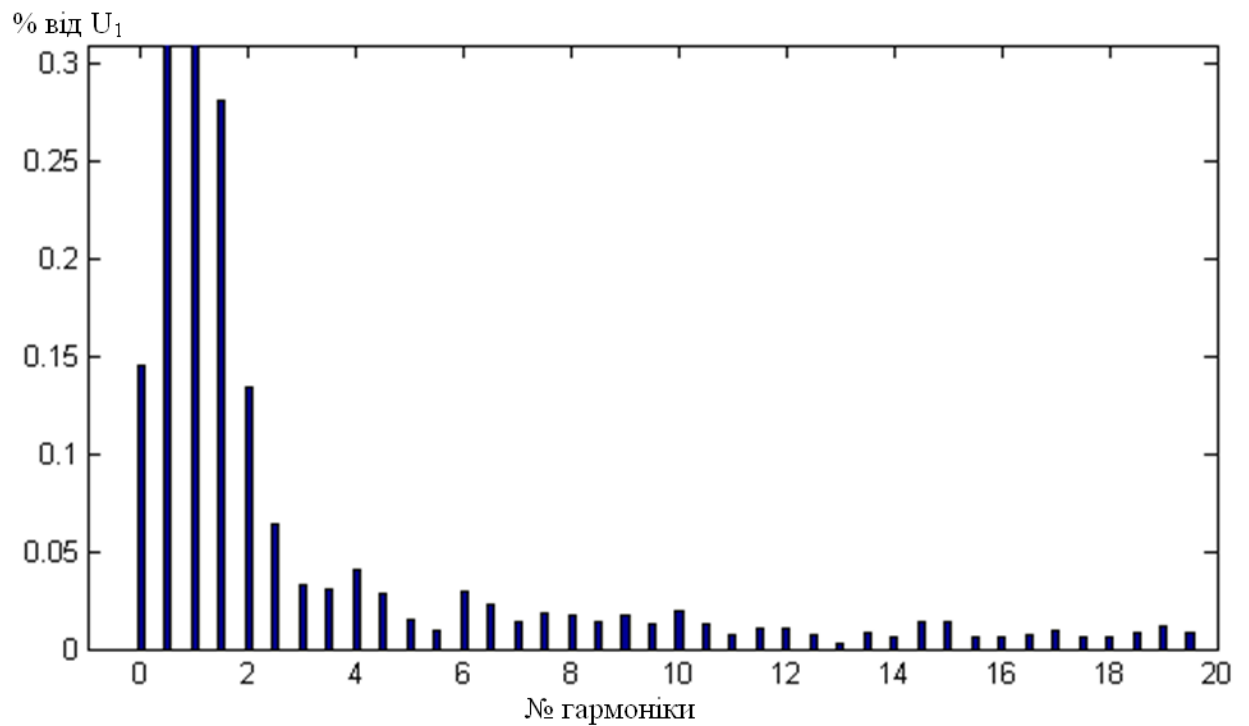


Рис. 7.11. Гармонічний аналіз напруги за умови ввімкненого САФ

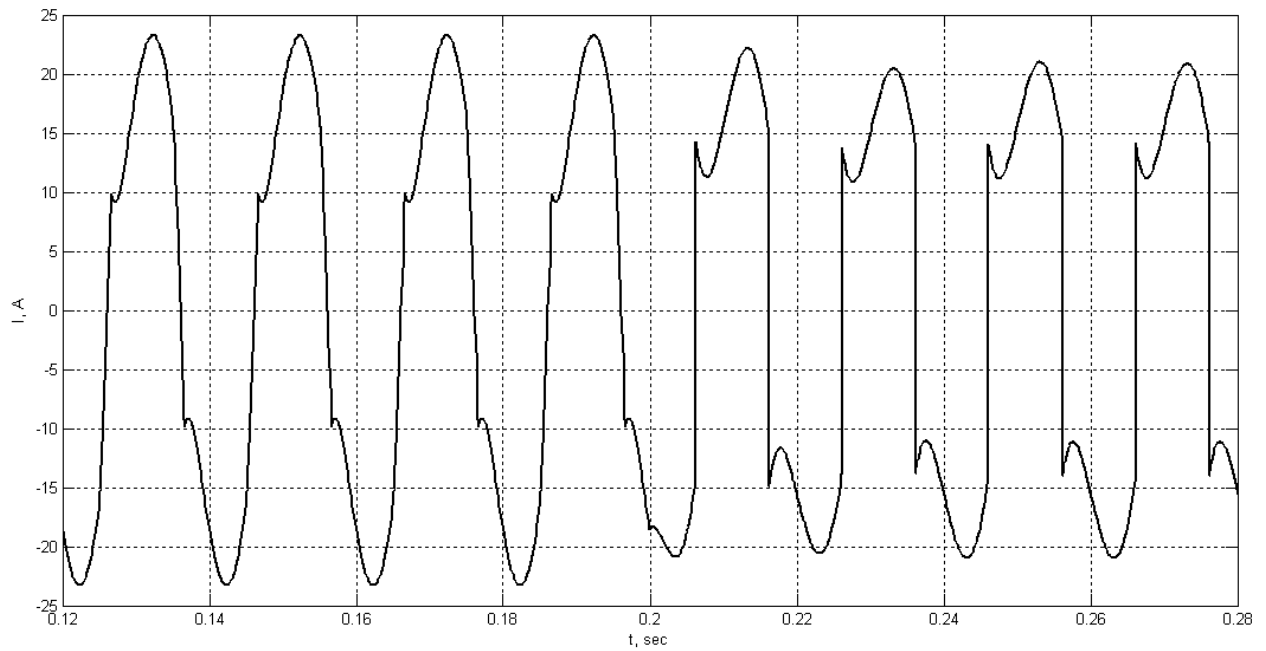


Рис. 7.12. Діаграма зміни сумарного струму

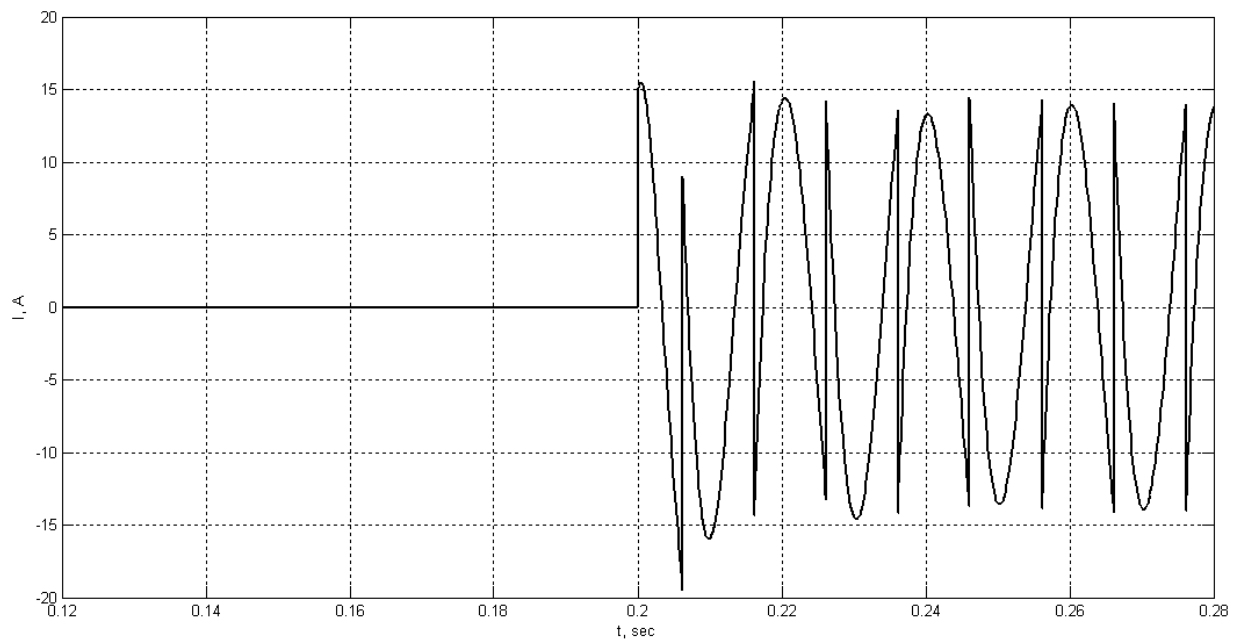


Рис. 7.13. Діаграма зміни струму активного фільтру

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

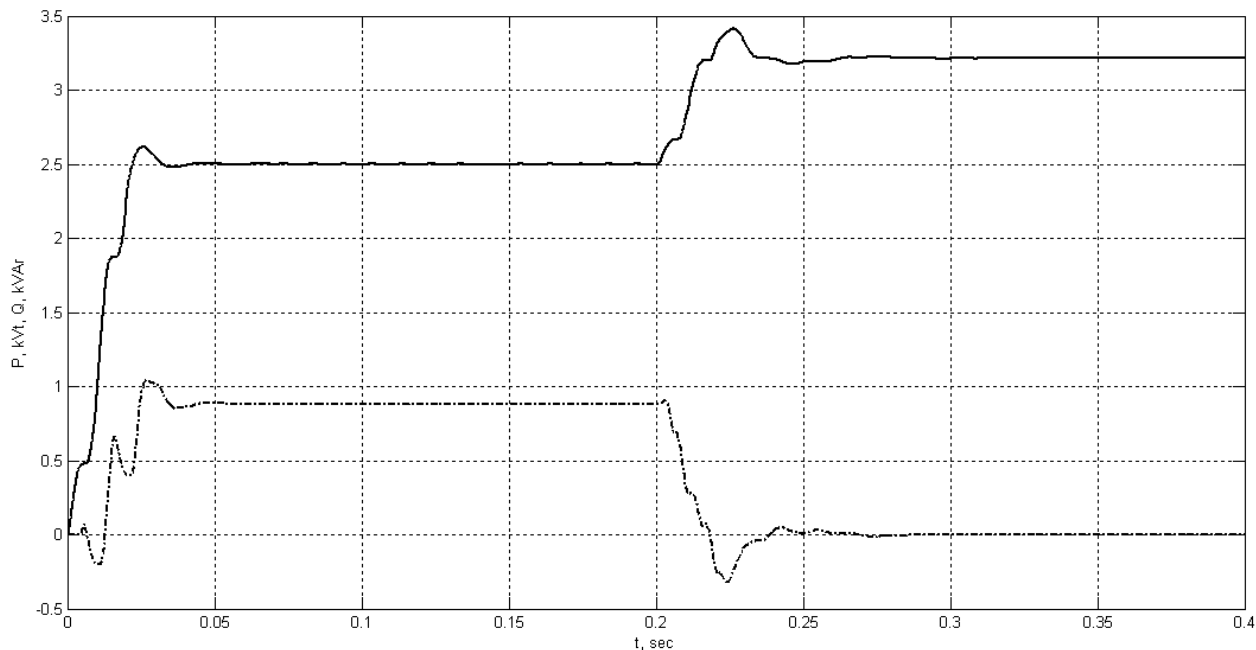


Рис. 7.14. Діаграма зміни споживання  $P$ ,  $Q$

Детальне дослідження функціонування систем активної фільтрації (САФ) можливе завдяки використанню комп'ютерної моделі, представленої на рисунку 7.16. Дана модель реалізована у трифазному виконанні та забезпечує наочну демонстрацію впливу несинусоїдальних струмових коливань на функціонування електроенергетичних систем.

Системи активної фільтрації є сучасним технологічним рішенням для компенсації гармонічних спотворень в електричних мережах. Вони працюють на принципі генерації компенсуючих струмів, які мають протилежну фазу відносно гармонік навантаження, що дозволяє ефективно знижувати коефіцієнт гармонічних спотворень (THD).

Трифазна реалізація моделі особливо важлива, оскільки промислові електричні мережі переважно працюють у трифазному режимі. Така конфігурація дозволяє врахувати взаємодію між фазами та проаналізувати несиметричні режими роботи, які часто виникають при підключенні нелінійних навантажень.

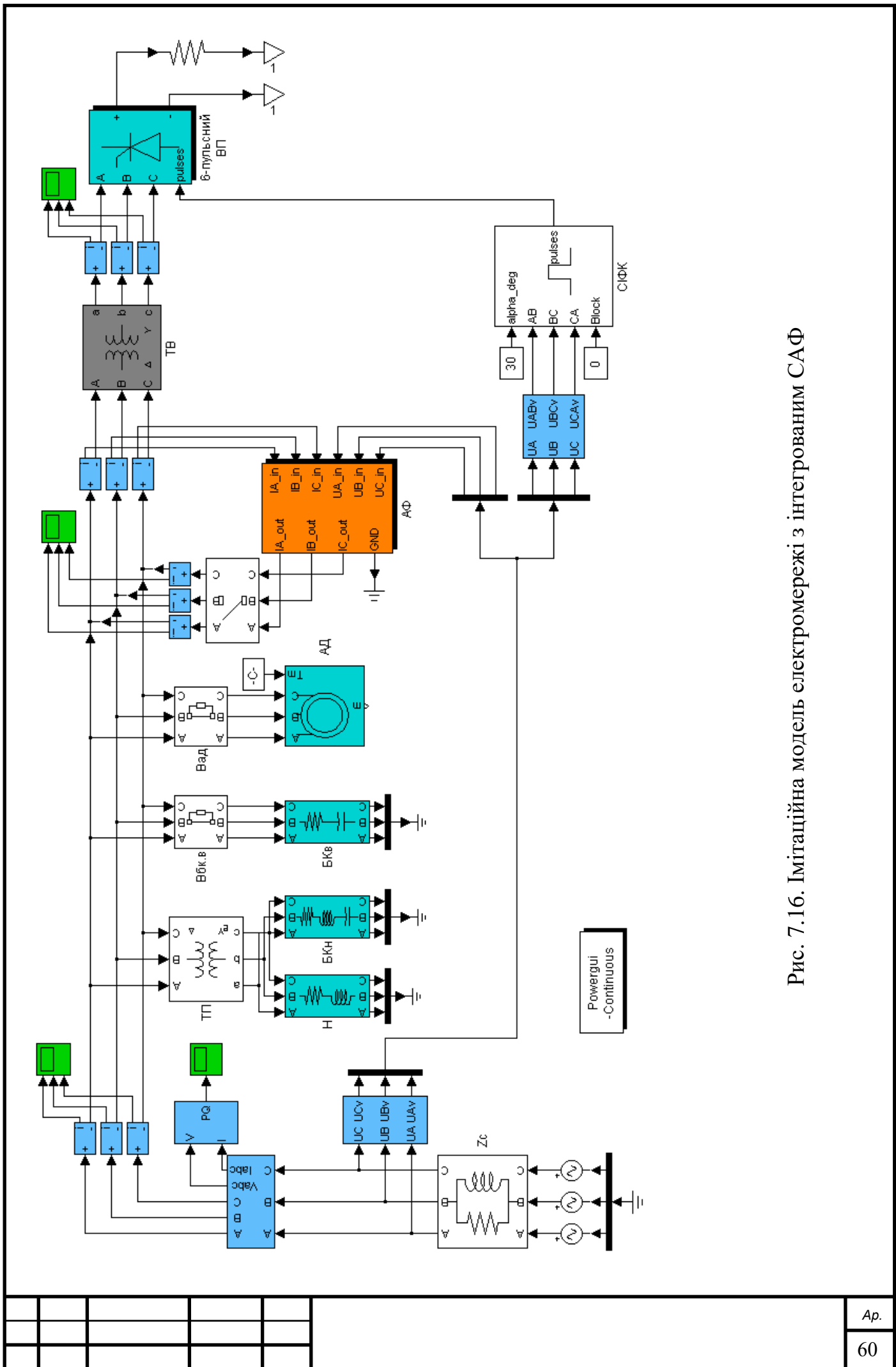


Рис. 7.16. Імітаційна модель електромережі з інтегрованим САФ

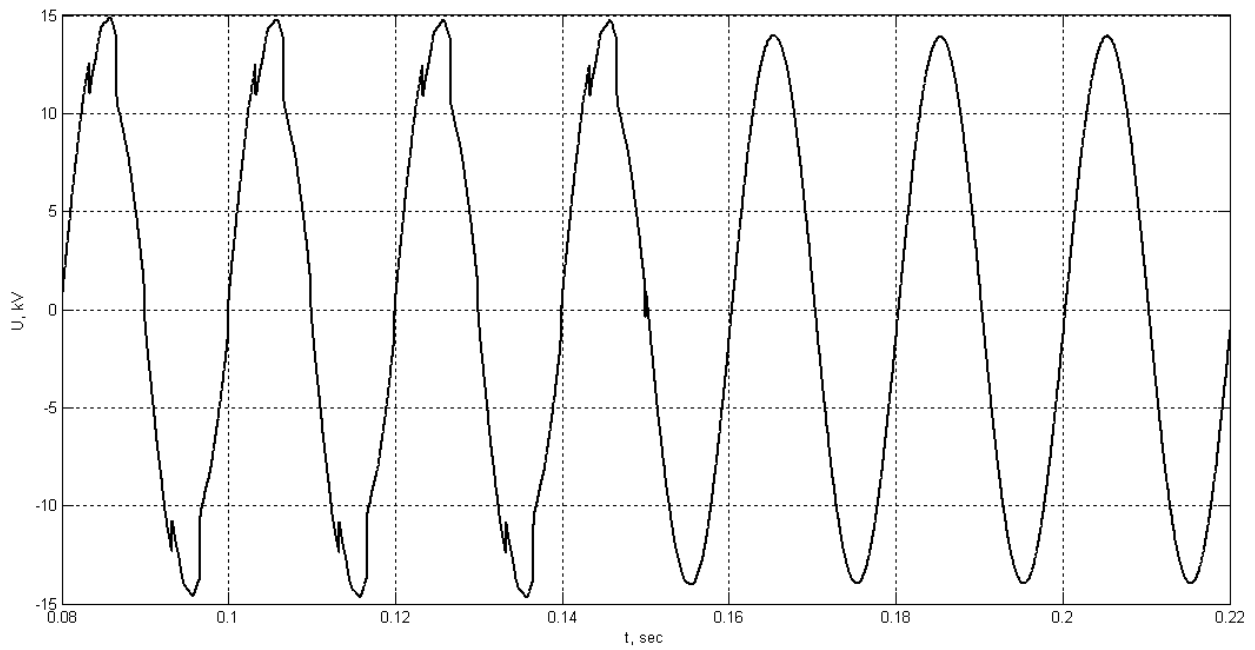


Рис. 7.17. Діаграма зміни електричної напруги на шинах 10 кВ

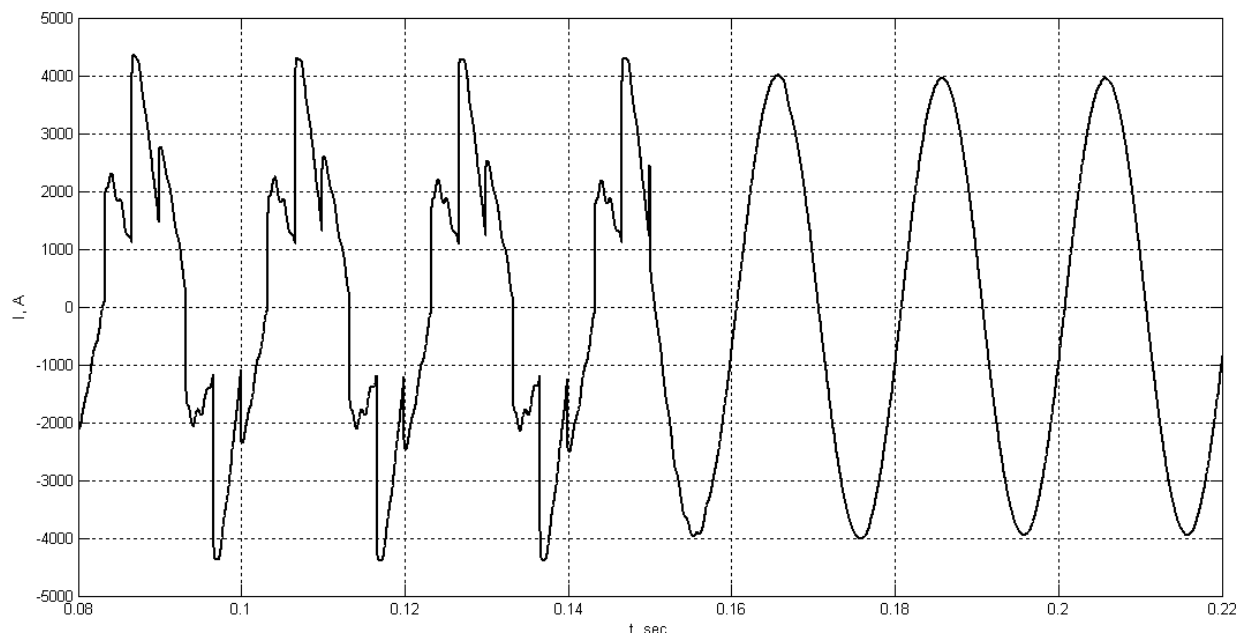


Рис. 7.18. Діаграма зміни загального струму

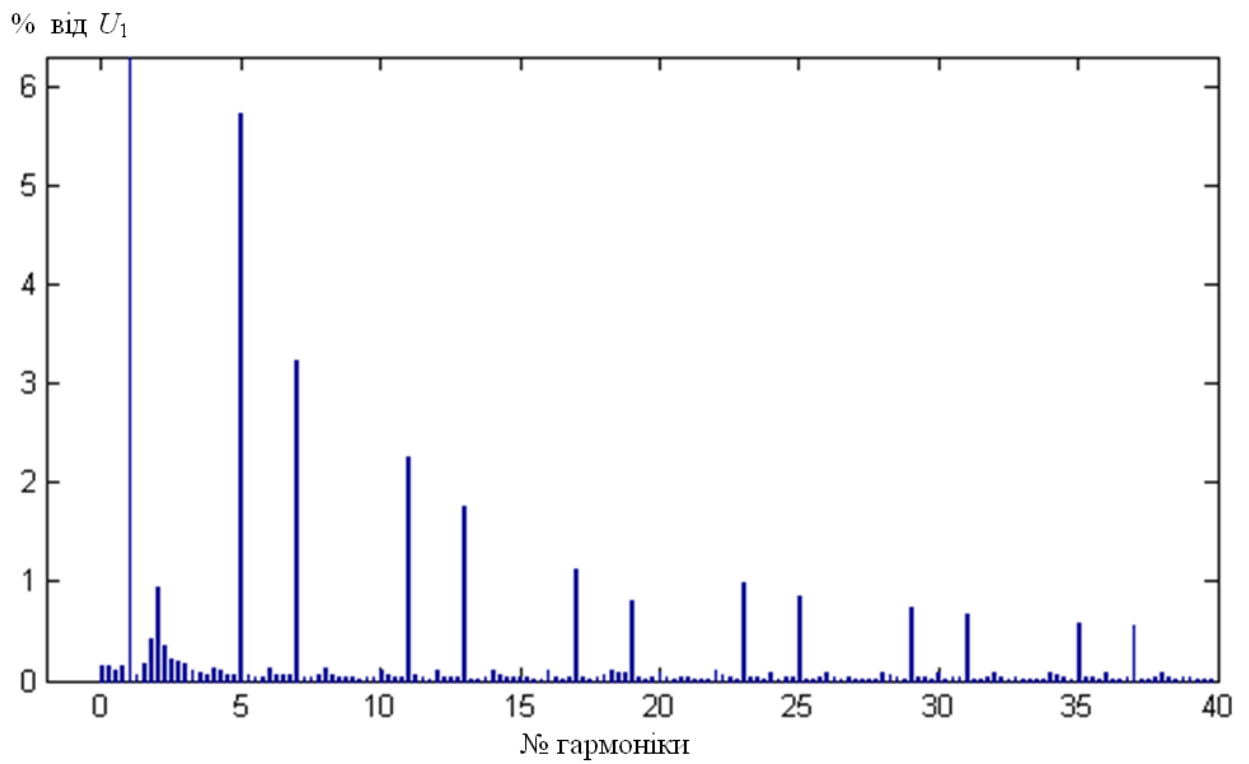


Рис. 7.19. Гармонічний аналіз напруги за умови відключеного САФ

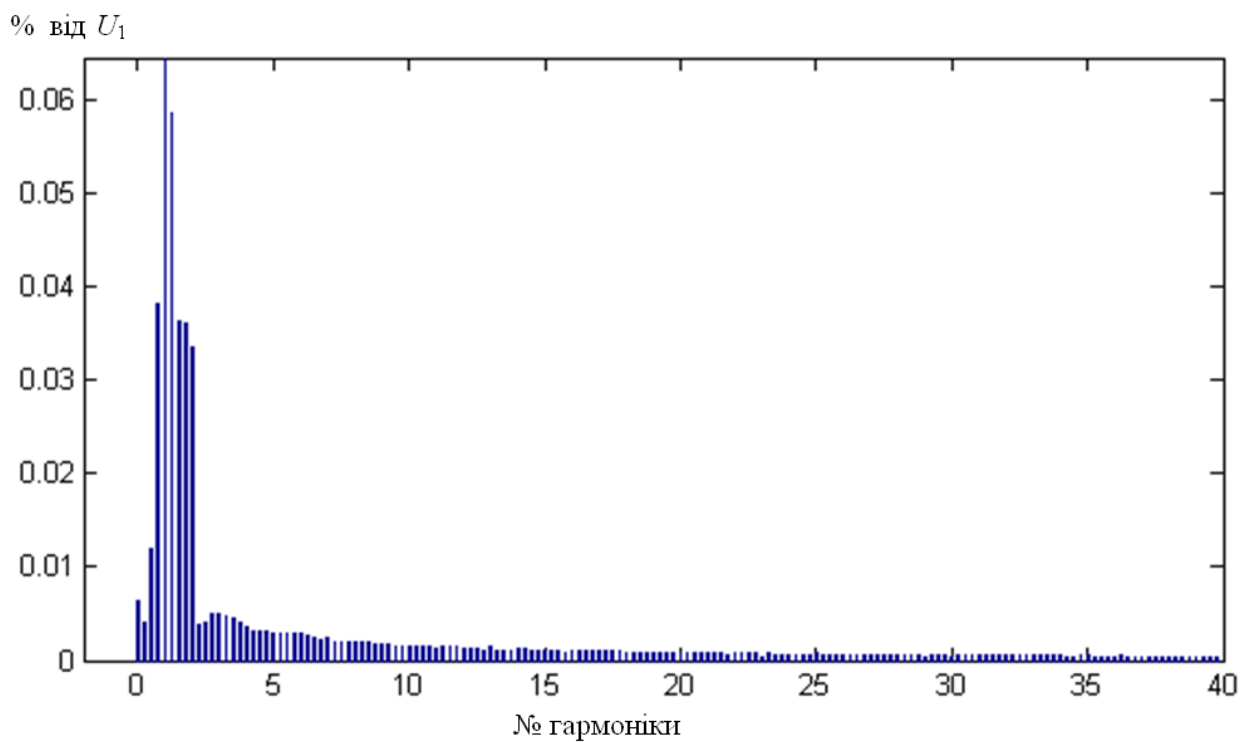


Рис. 7.20. Гармонічний аналіз напруги за умови підключеного САФ

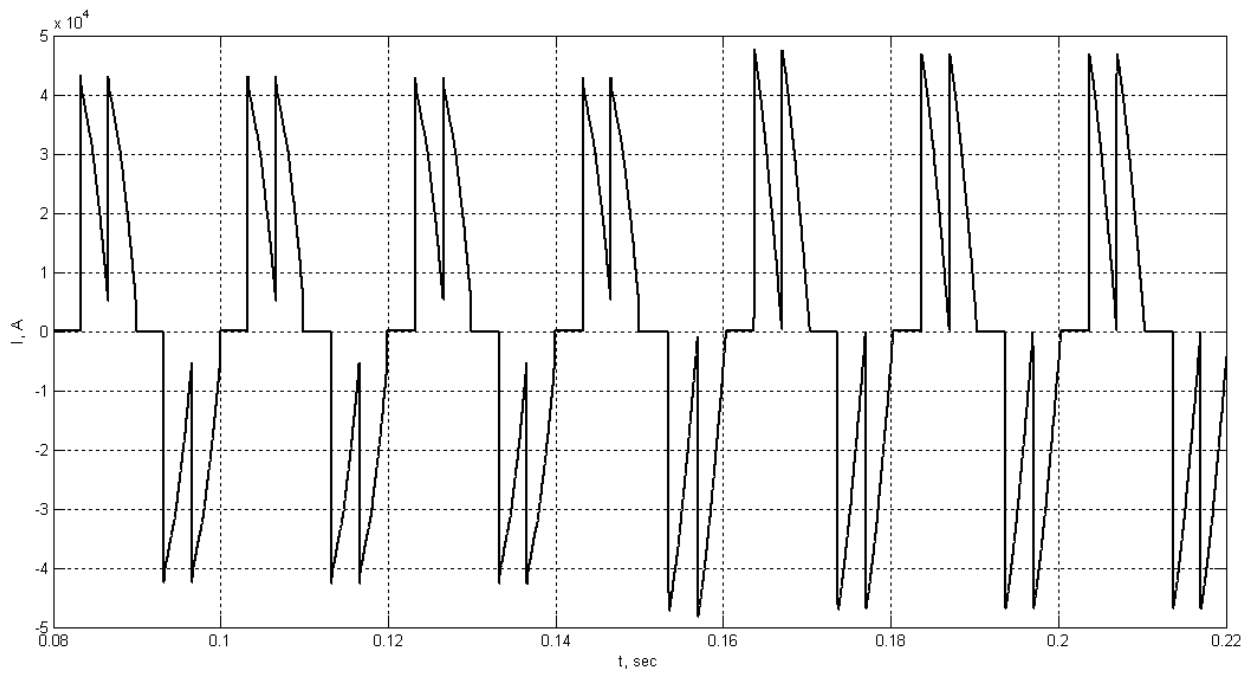


Рис. 7.21. Діаграма зміни струму від джерела вищих гармонік

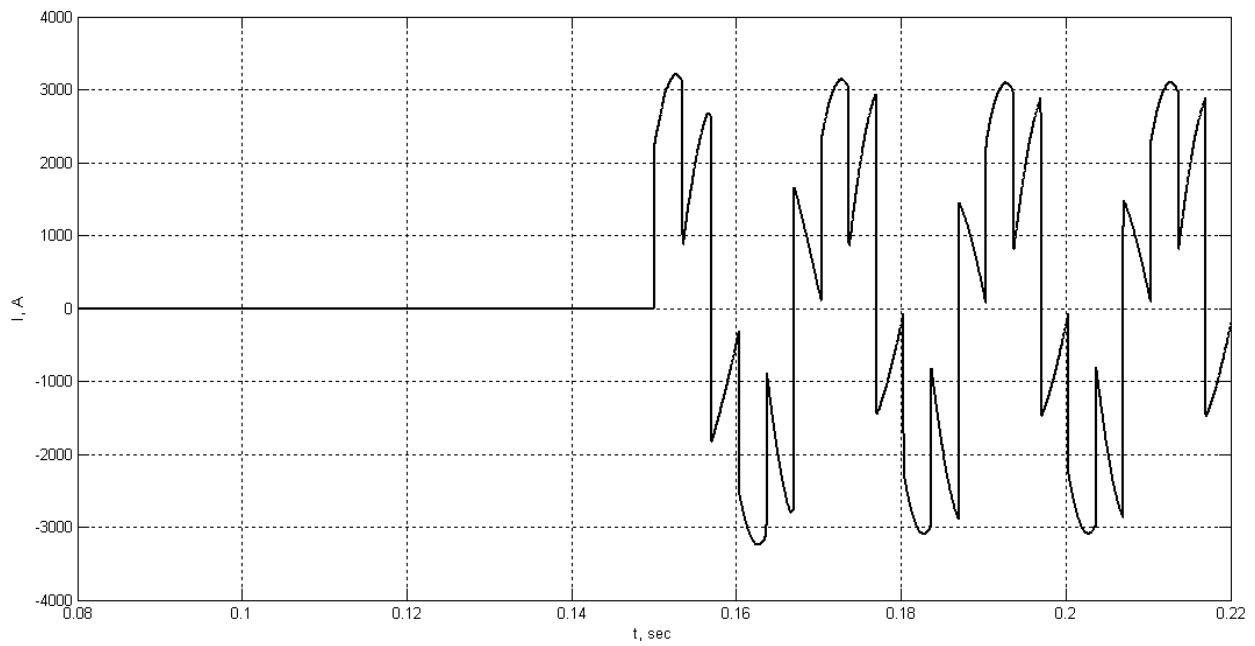


Рис. 7.22. Діаграма зміни струму активного фільтру

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

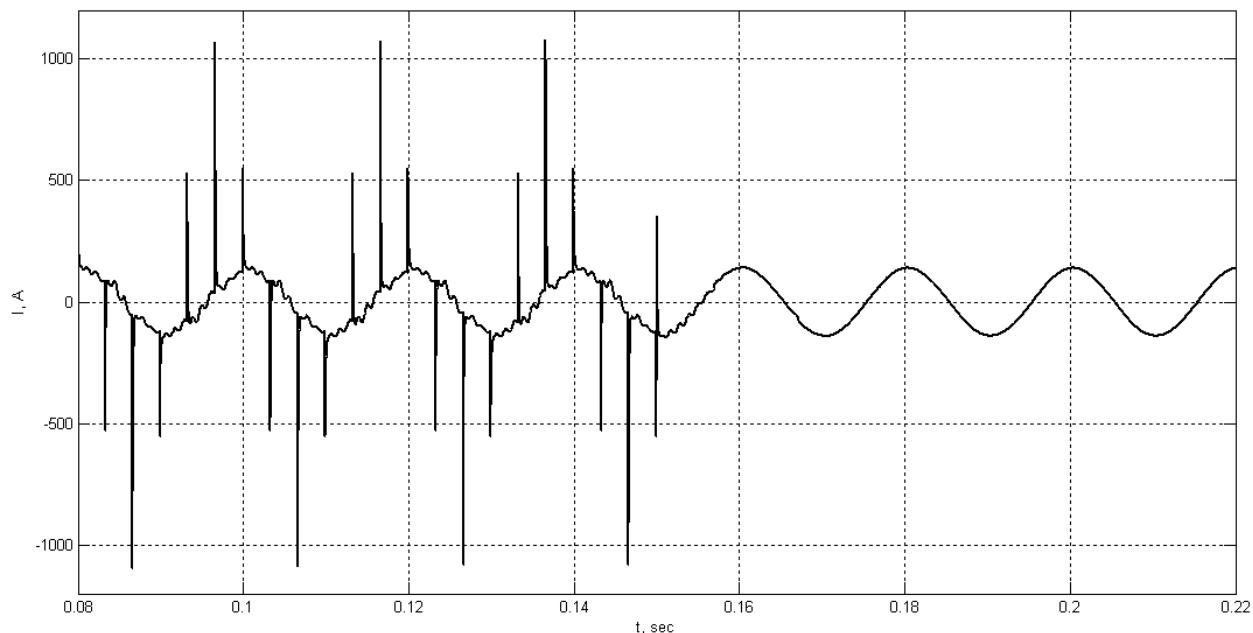


Рис. 7.23. Діаграма зміни струму батерей конденсаторів

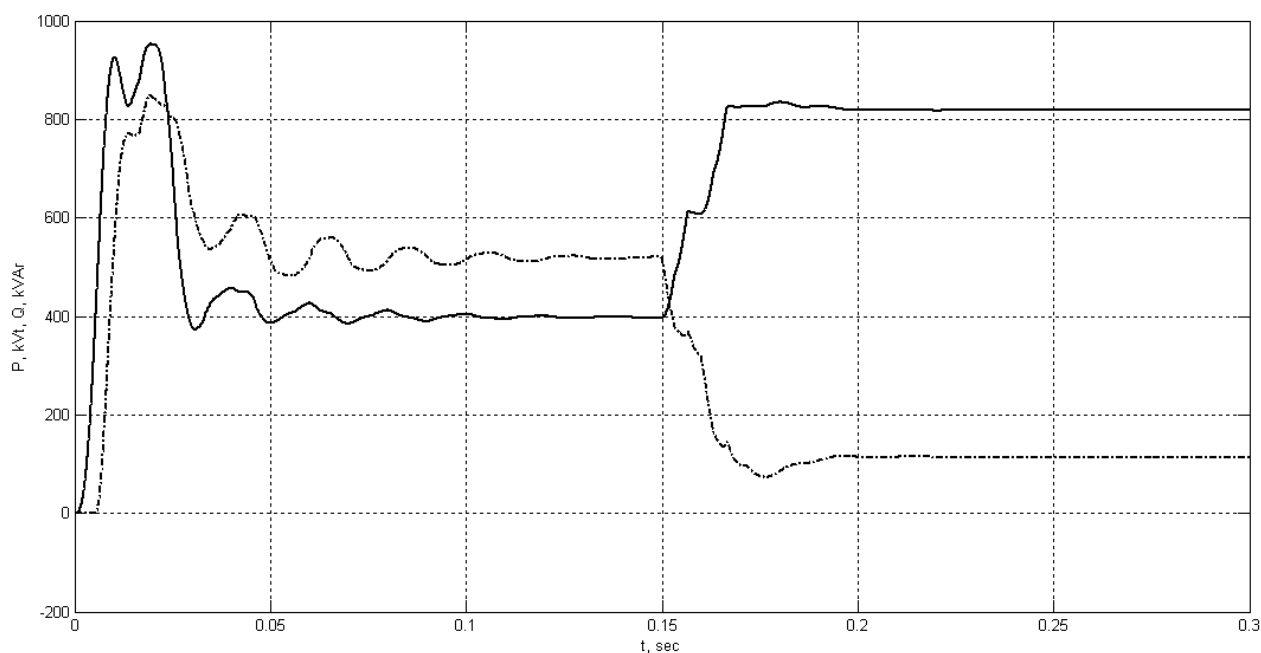


Рис. 7.24. Діаграма зміни споживання  $P$ ,  $Q$

Результати чисельного моделювання, відображені на рисунках 7.17 – 7.26, демонструють ефективність застосування активних фільтрів у різних режимах роботи електричної мережі. Ці дані включають аналіз часових характеристик





