

Швець В'ячеслав Віталійович

Розробка інформаційної системи розподільної електричної мережі на базі концепції Smart Metering

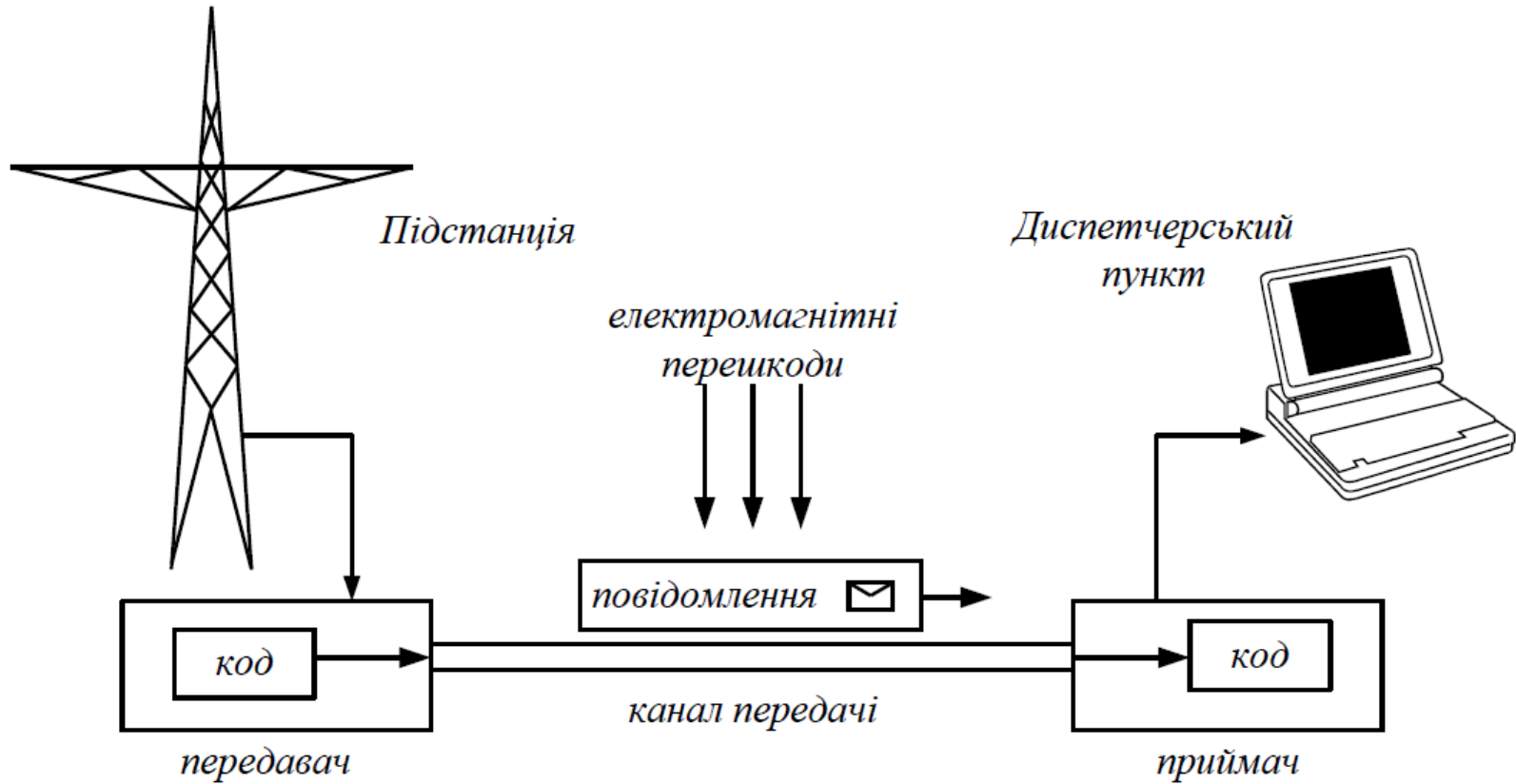
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Дисертація на здобуття ступеня магістра

Керівник
Бурикін Олександр Борисович
доктор технічних наук, доцент

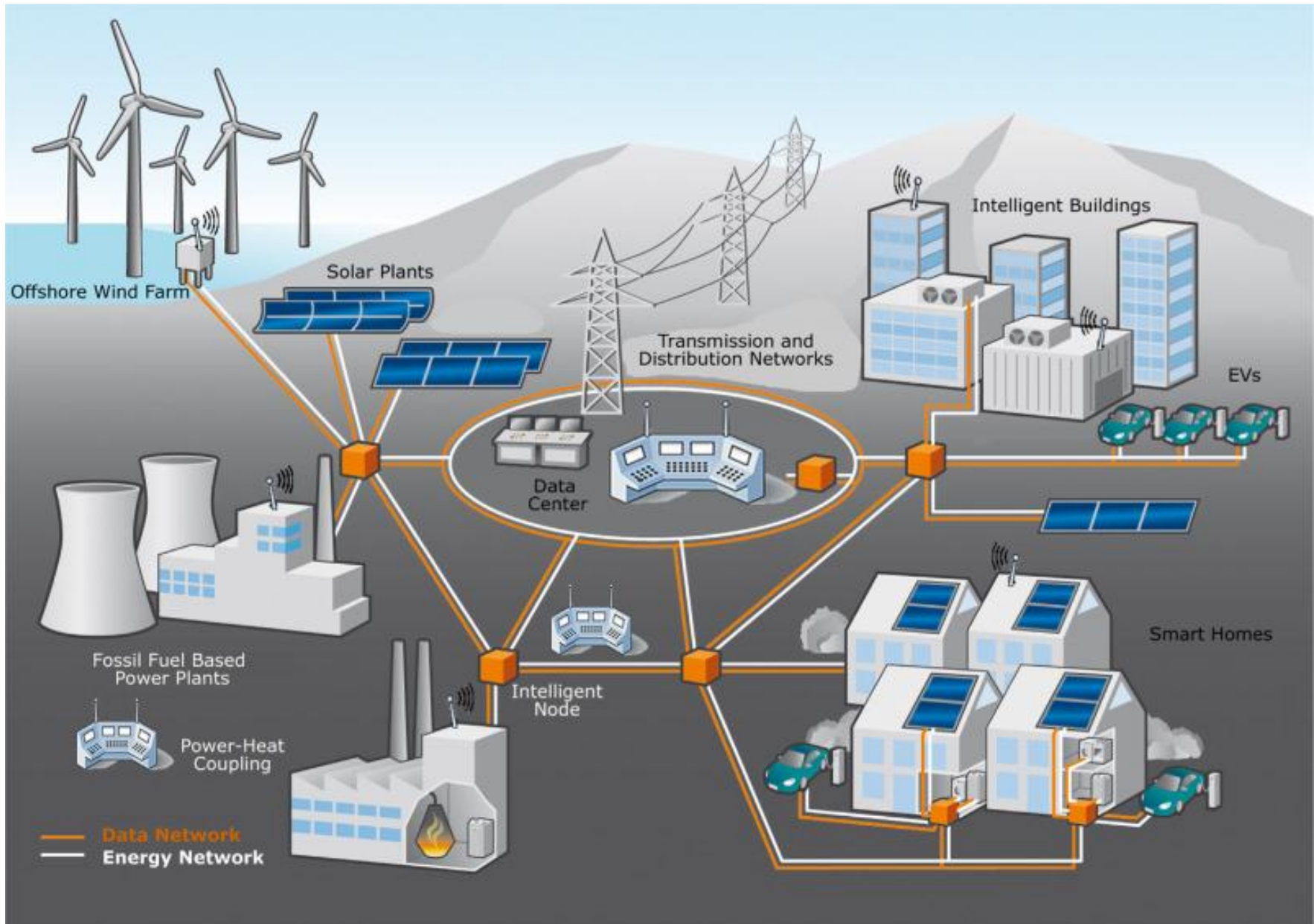
Метою роботи є розробка інформаційної системи розподільної електричної мережі із застосуванням інтелектуальних лічильників.

Об'єктом дослідження інформаційні системи у електроенергетиці, а **предметом дослідження** методи та способи організації моніторингу електроспоживання.

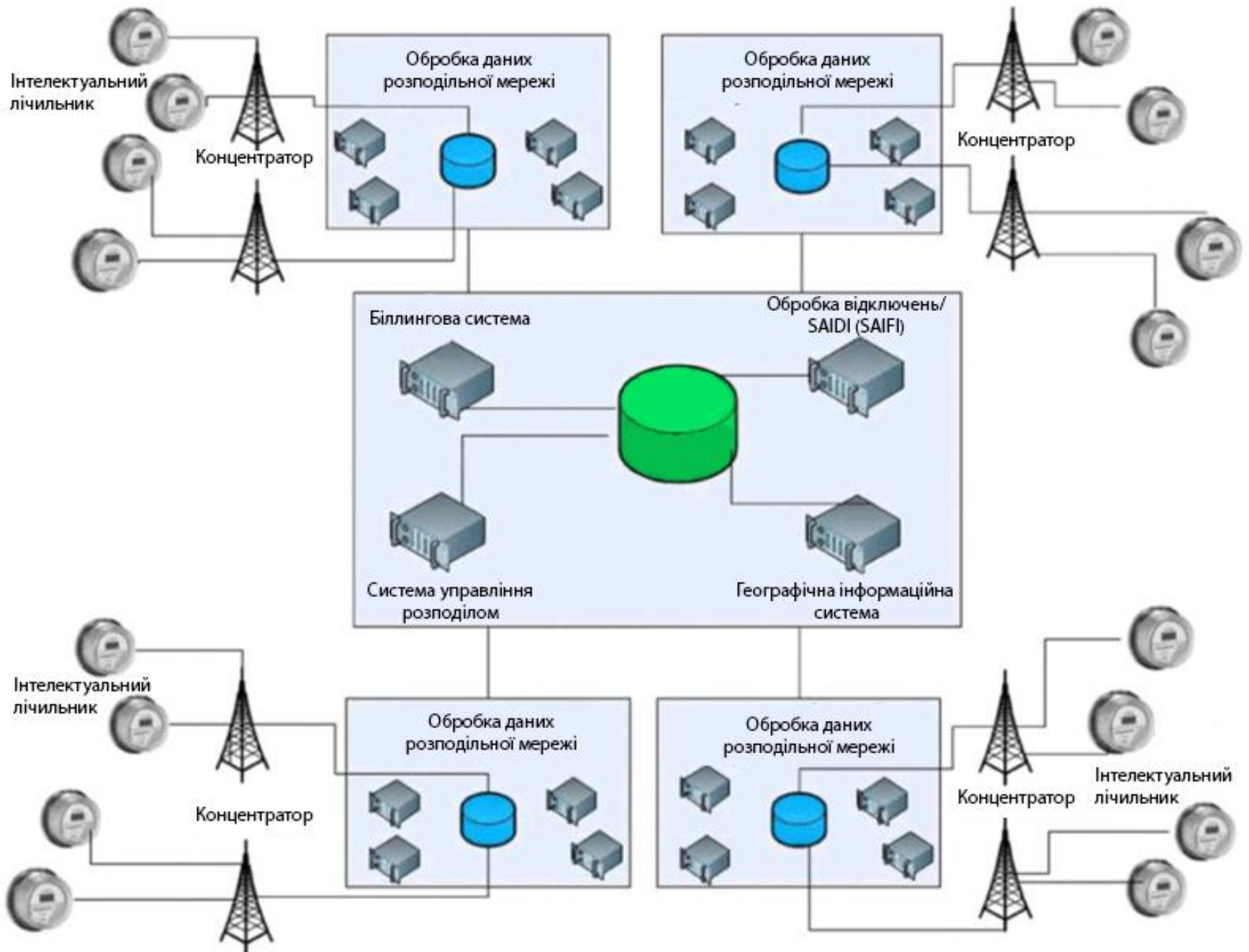
ЗАГАЛЬНА МОДЕЛЬ КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ



Перспективи розвитку комунікаційних компонентів Smart Grid



Інформаційні зв'язки Smart Metering



Інформаційне забезпечення розрахунку балансу електроенергії розподільних електричних мереж

- Автоматизовані системи контролю та обліку енергоресурсів:
 - Засоби комерційного обліку $f(W_{надх})$;
 - Засоби технічного обліку $f(W_j)$;
 - Технічні дані обладнання $P_{вст}$;
- Білінгові системи W_{Σ} ;
- Типові графіки електричних навантажень $f_{ТГЕН}(W_*)$;

Оцінка стану розподільних електричних мереж

Метод оцінки стану на основі методу найменших квадратів базується на лінеаризації взаємозв'язку між вимірюваннями та змінними стану електричної мережі. Нелінійні співвідношення між вектором стану та вимірюваними електричними змінними можна подати у такому вигляді:

$$z = h(x) + v$$

де z – вектор вимірюваних параметрів; x – змінні стану; $h(x)$ – векторна функція, яка пов'язує вимірювання з змінними стану; v – неточність вимірювань або шум у вимірах. Для формування вектору стану x можна використовувати декілька комбінацій змінних.

Цільова функція у загальному вигляді записується так:

$$\begin{aligned} J(x) &= \sum_{i=1}^m \left(\frac{z_i - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(z_i - h_i(x))^2}{R_{ii}} = \\ &= [z - h(x)]^T R^{-1} [z - h(x)] \end{aligned}$$

де σ – стандартне відхилення кожного вимірювання; μ – математичне очікування; $R = \text{diag} [\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_m^2]$ – діагональна матриця середньоквадратичних відхилень очікуваних помилок вимірювання.

Розв'язання методом Гауса-Ньютона

Лінеаризована система рівнянь :

$$g(x) = \frac{\partial J(x)}{x} = -H^{T(x)} R^{-1} [z - h(x)] = 0$$

Елементи матриці Якобі у полярних координатах:

$$\begin{array}{ll} \frac{\partial P_i}{\partial V_i} & \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) + V_i G_{ii} & \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_i} & V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) - 2 G_{ij} V_i \\ \frac{\partial P_i}{\partial V_j} & V_i (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) & \frac{\partial P_{ij}}{\partial V_j} & V_i (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} & \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) - V_i B_{ii} & \frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_i} & V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) + 2 V_i (B_{ij} - b_{ij}^p) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial V_j} & V_i (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) - \text{Jacobi}(\text{Umod}, \text{Uarg}) & \frac{\partial Q_{ij}}{\partial V_j} & \end{array}$$

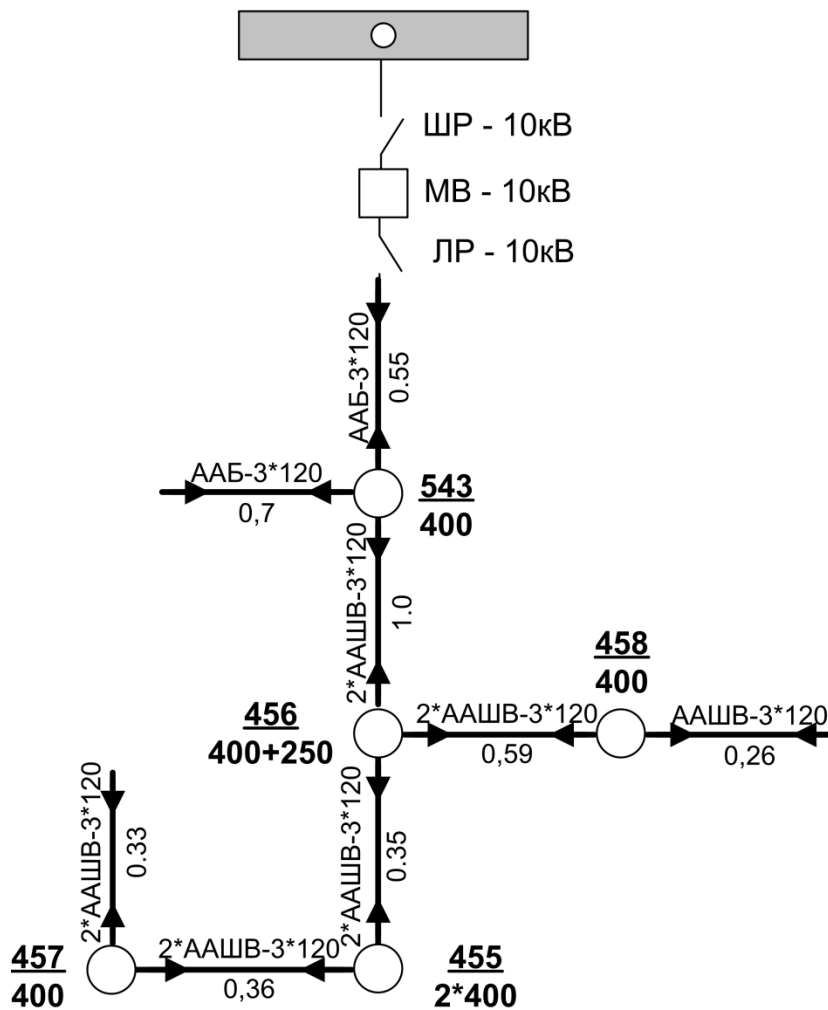
$$\begin{array}{ll} \frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} & \sum_{j=1}^N V_i V_j (-G_{ij}) \\ \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} & V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} & \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij}) \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} & -V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{array}$$

```

Jacobi ← 0
for k ← 0..mx - 1
  if (Mtype(0))k = 11
    num ← (Mtype(1))k
    for i ← 1..(n - 1)
      Jacobik,i-1 ← Umodnum · (Gnum,i · cos(Uargnum - Uargi) + Bnum,i · sin(Uargnum - Uargi)) if i ≠ num
      Jacobik,i-1 ← ∑j=0n-1 [Umodj · (Gnum,j · cos(Uargnum - Uargj) + Bnum,j · sin(Uargnum - Uargj))] + Umodnum · Gnum,num if i = num
    for i ← 1..(n - 1)
      Jacobik,i+n-2 ← Umodnum · Umodi · (Gnum,i · sin(Uargnum - Uargi) - Bnum,i · cos(Uargnum - Uargi)) if i ≠ num
      Jacobik,i+n-2 ← ∑j=0n-1 [Umodnum · Umodj · (-Gnum,j · sin(Uargnum - Uargj) + Bnum,j · cos(Uargnum - Uargj))] - (Umodnum)2 · Bnum,num if i = num
  if (Mtype(0))k = 12
    num ← (Mtype(1))k
  
```


Схема фрагменту міських мереж 10 кВ

ПС 110/10 кВ "Західна" Ф-165

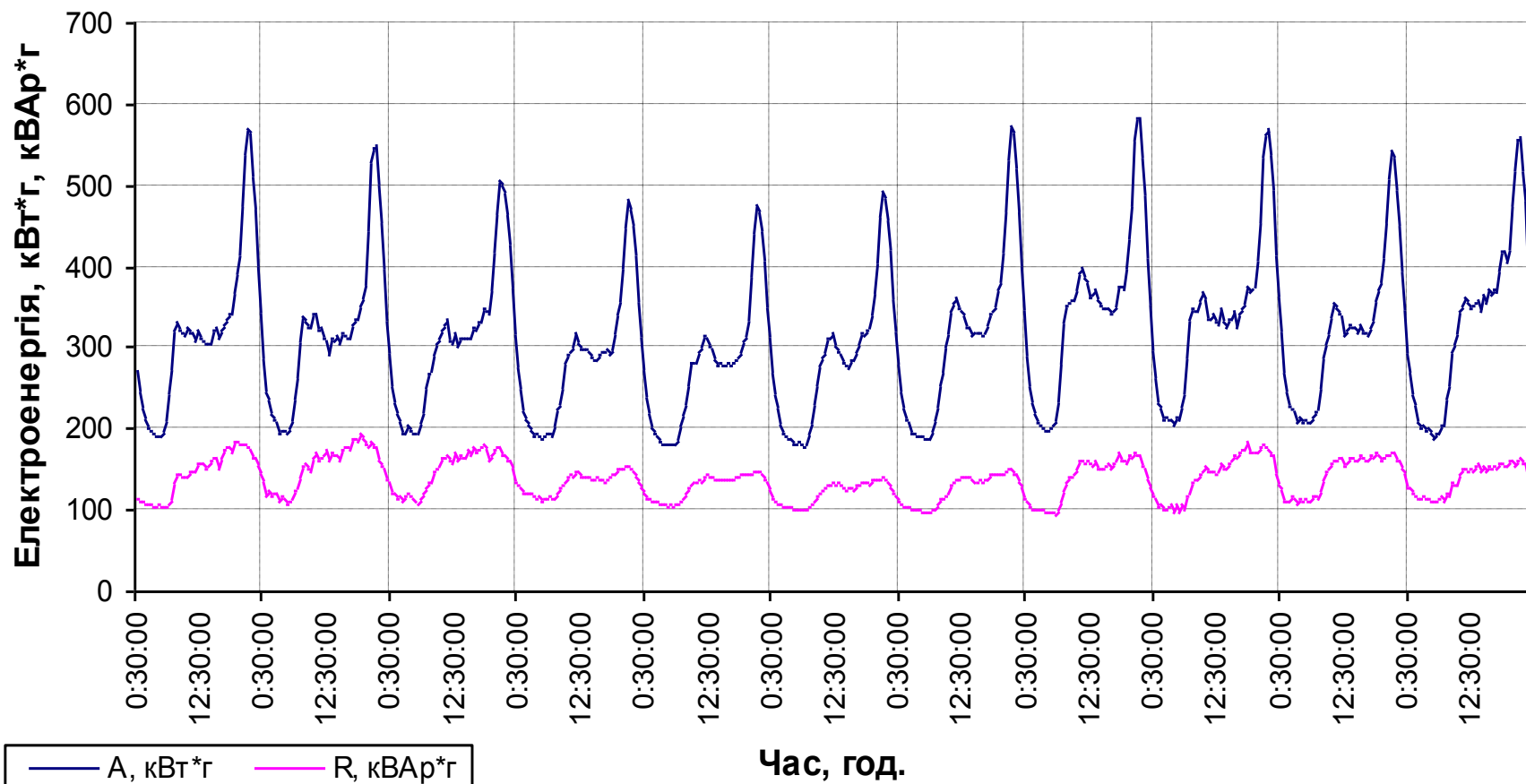


Перелік лічильників, встановлених для балансового обліку електроенергії

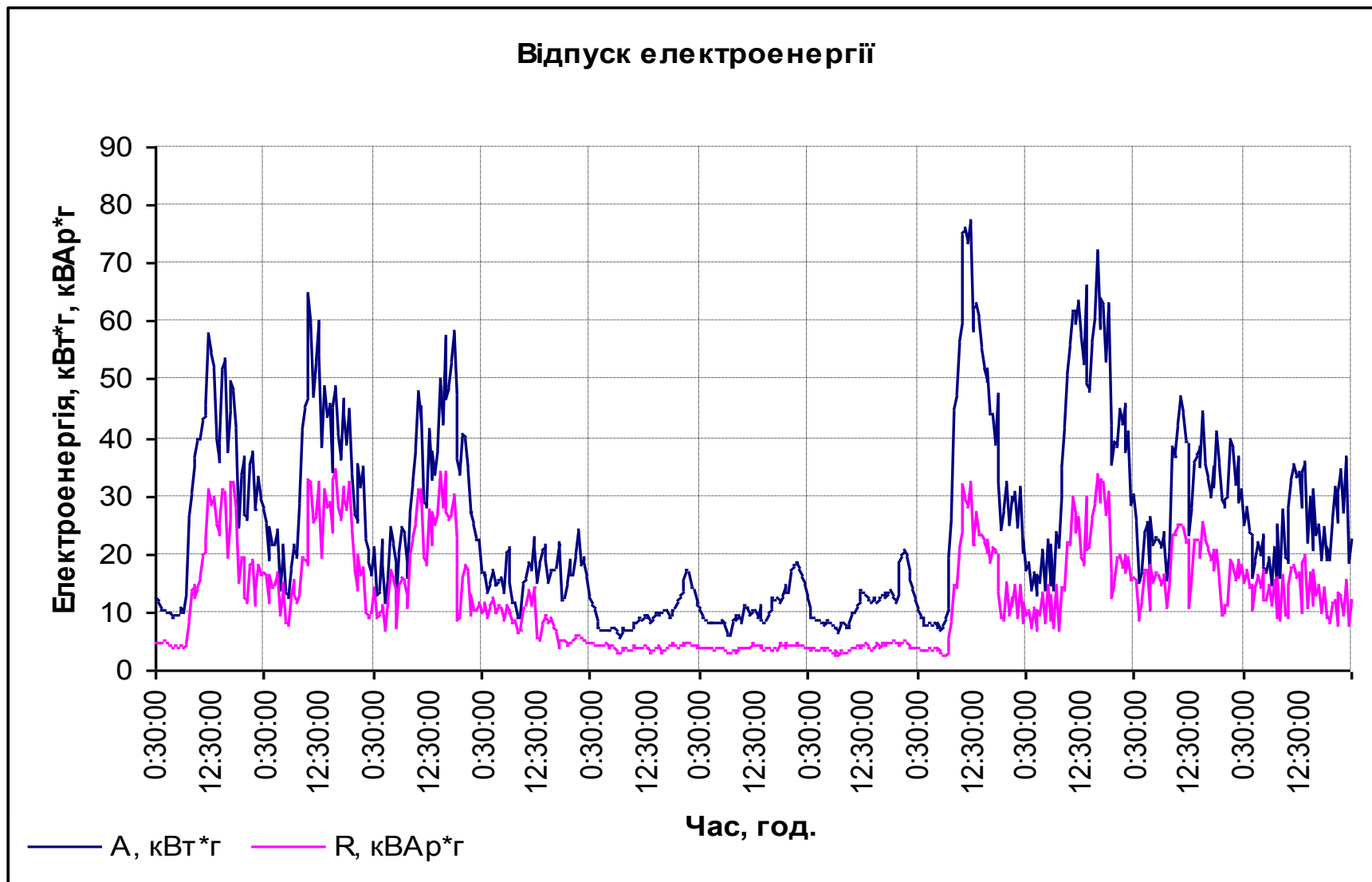
- ТП “Західна” “Елвін” №8506 Кр=6000
- ТП-455 (Т-1) “Арго” №409036 Кр=200
- ТП-455 (Т-2) “Арго” №409022 Кр=200
- ТП-456 (Т-1) “Арго” №404725 Кр=120
- ТП-456 (Т-2) “Арго” №404785 Кр=120
- ТП-457 “Арго” №404700 Кр=200
- ТП-458 “Арго” №402874 Кр=200
- ТП-543 “Арго” №409061 Кр=120

Надходження електроенергії, зафіксоване на шинах ТП 110/10 кВ

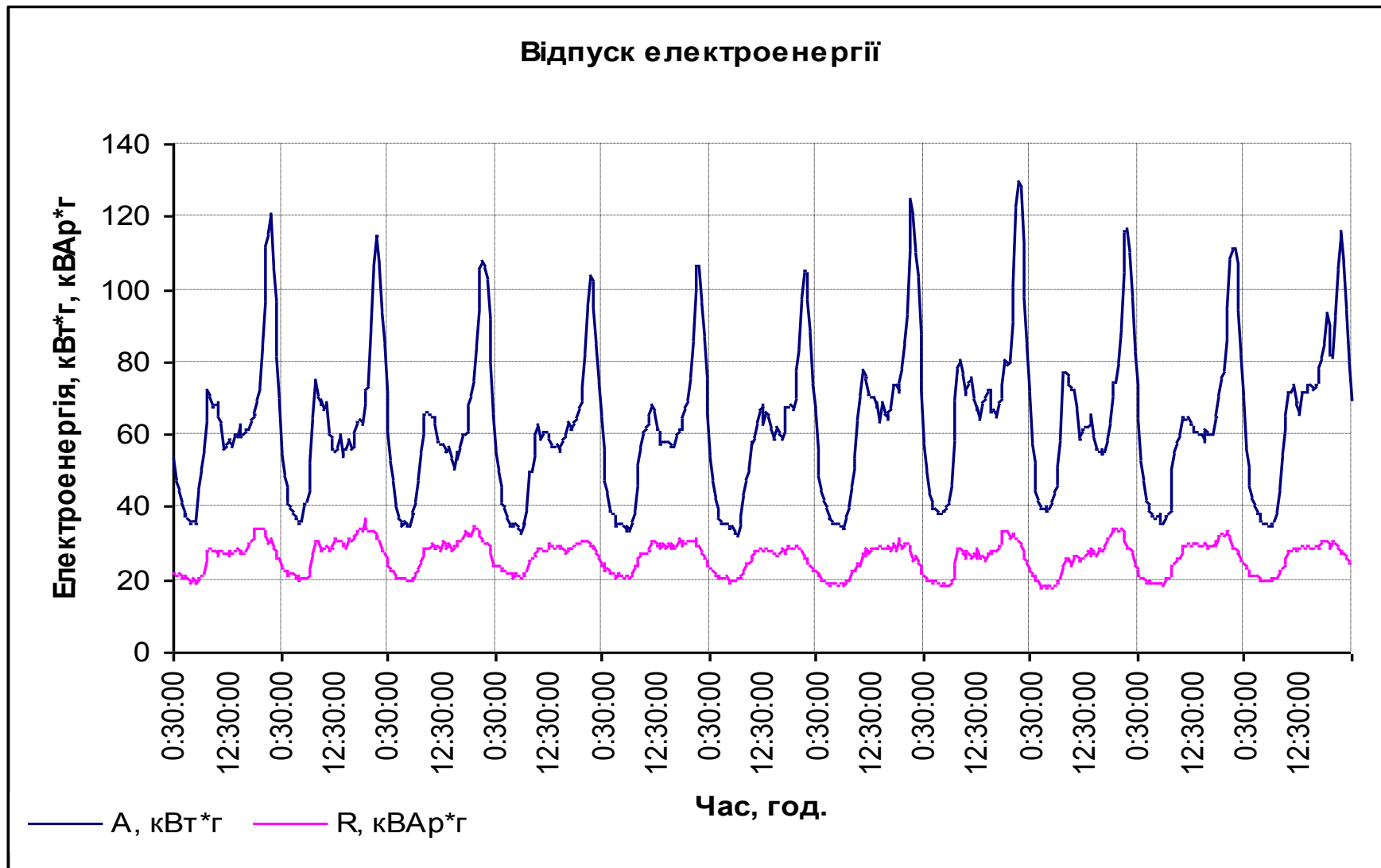
Надходження електроенергії



Відпуск електроенергії, зафіксований на шинах 0,4 кВ ТП-543 (промислова)

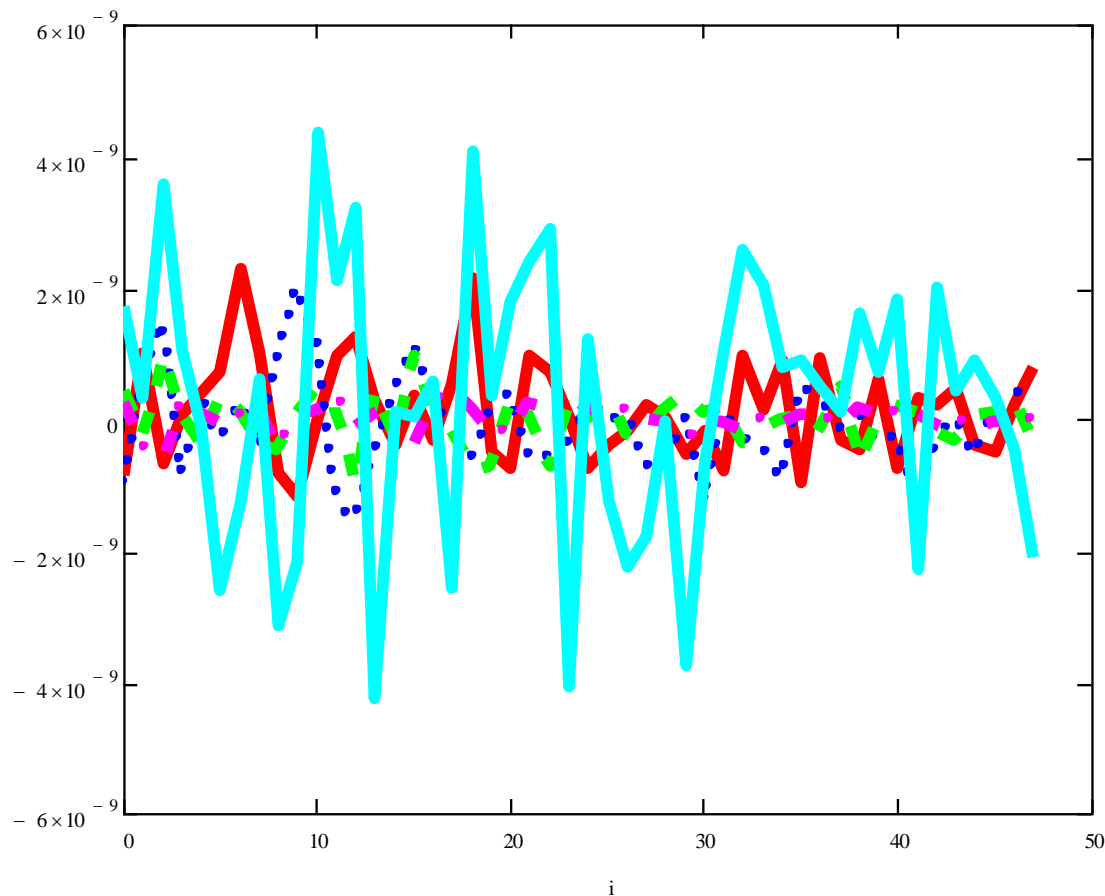


Відпуск електроенергії, зафіксований на шинах 0,4 кВ ТП-457 (побутова)



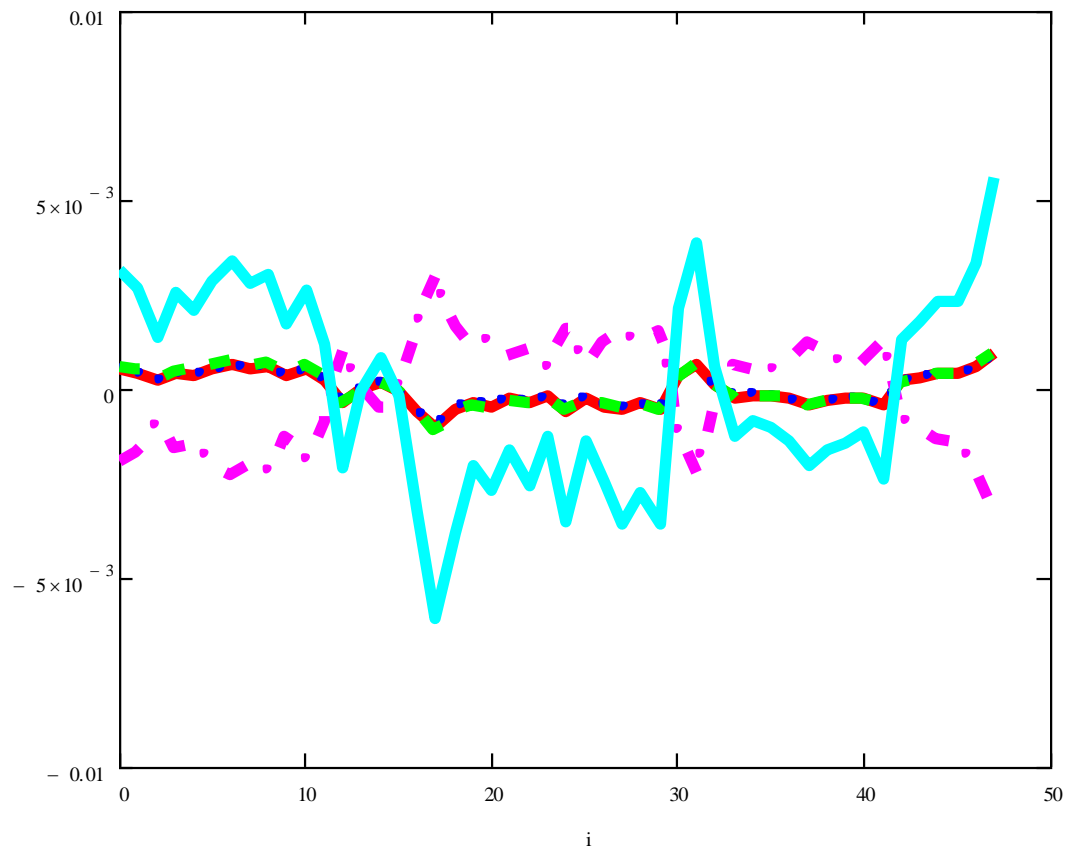
Похибка розрахунків електроспоживання у порівнянні з виміряними значеннями

- 455 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_dost} \right) , 17 , 17 , 0 , 47 \right)_i^T$
—
- 456 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_dost} \right) , 19 , 19 , 0 , 47 \right)_i^T$
•••••
- 457 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_dost} \right) , 21 , 21 , 0 , 47 \right)_i^T$
—
- 458 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_dost} \right) , 23 , 23 , 0 , 47 \right)_i^T$
•••••
- 543 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_dost} \right) , 25 , 25 , 0 , 47 \right)_i^T$
—



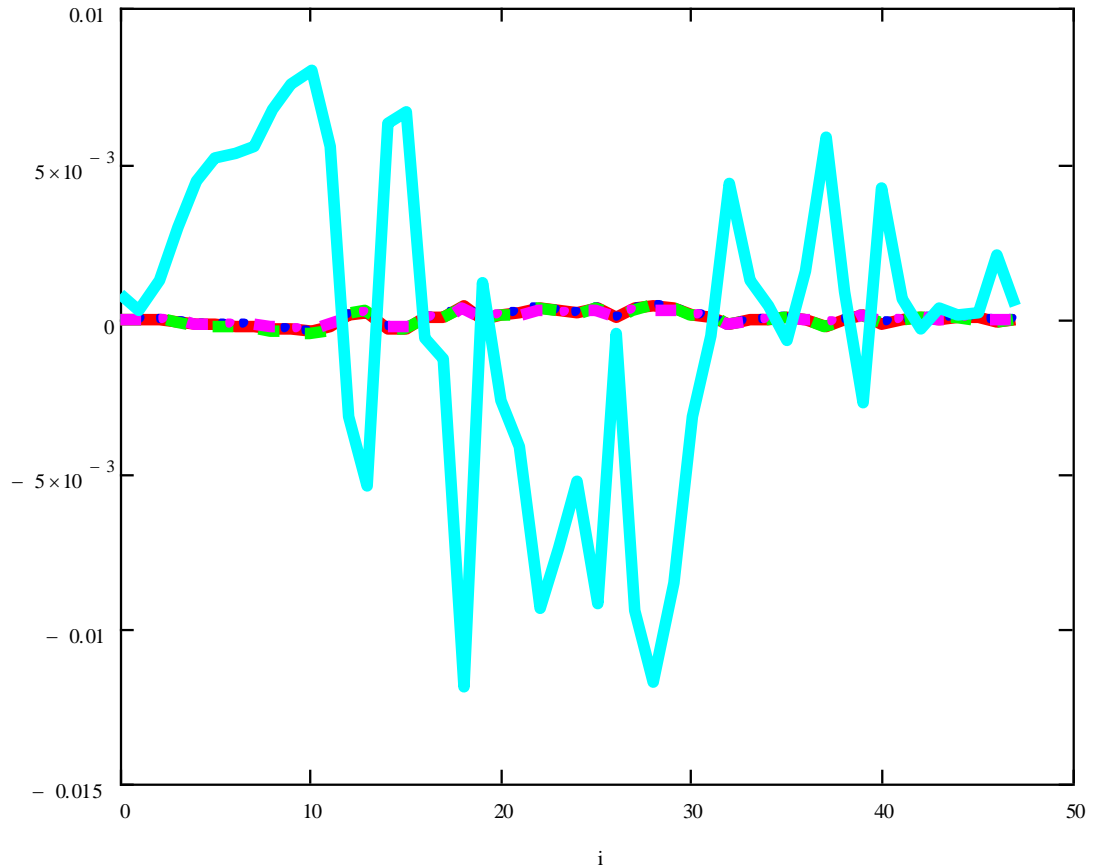
Похибка розрахунків електроспоживання за відсутності вимірів у вузлі ТП-458

- 455 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_nomax} \right) , 17 , 17 , 0 , 47 \right) ^T_i$
- 456 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_nomax} \right) , 19 , 19 , 0 , 47 \right) ^T_i$
- 457 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_nomax} \right) , 21 , 21 , 0 , 47 \right) ^T_i$
- 458 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_nomax} \right) , 23 , 23 , 0 , 47 \right) ^T_i$
- 543 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_nomax} \right) , 25 , 25 , 0 , 47 \right) ^T_i$

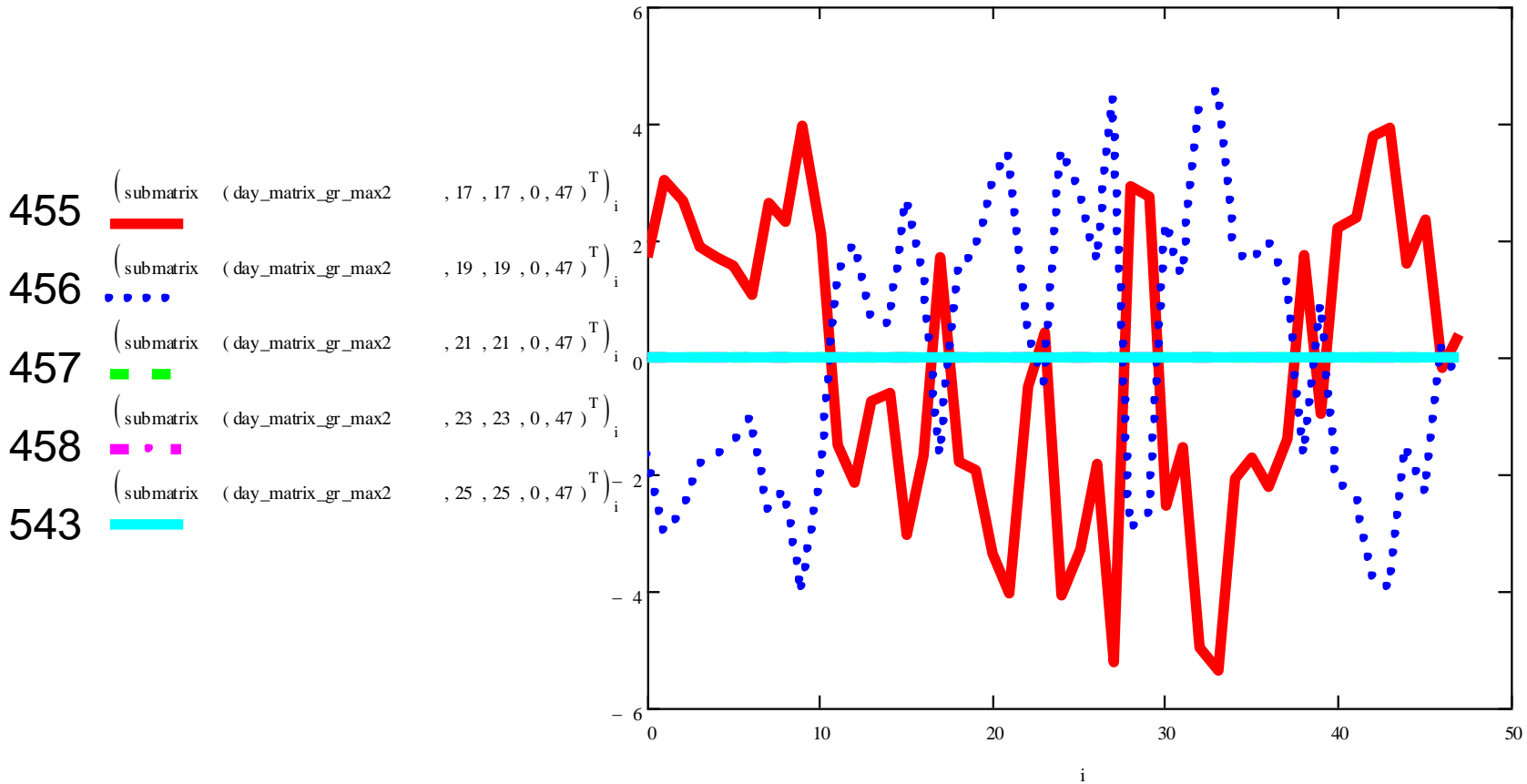


Похибка розрахунків електроспоживання за відсутності вимірів у вузлі ТП-543

- 455 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_no_min} \right) \left(17, 17, 0, 47 \right)^T \right)_i$
- 456 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_no_min} \right) \left(19, 19, 0, 47 \right)^T \right)_i$
- 457 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_no_min} \right) \left(21, 21, 0, 47 \right)^T \right)_i$
- 458 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_no_min} \right) \left(23, 23, 0, 47 \right)^T \right)_i$
- 543 $\left(\text{submatrix} \left(\text{day_matrix_gr_no_min} \right) \left(25, 25, 0, 47 \right)^T \right)_i$

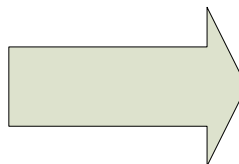
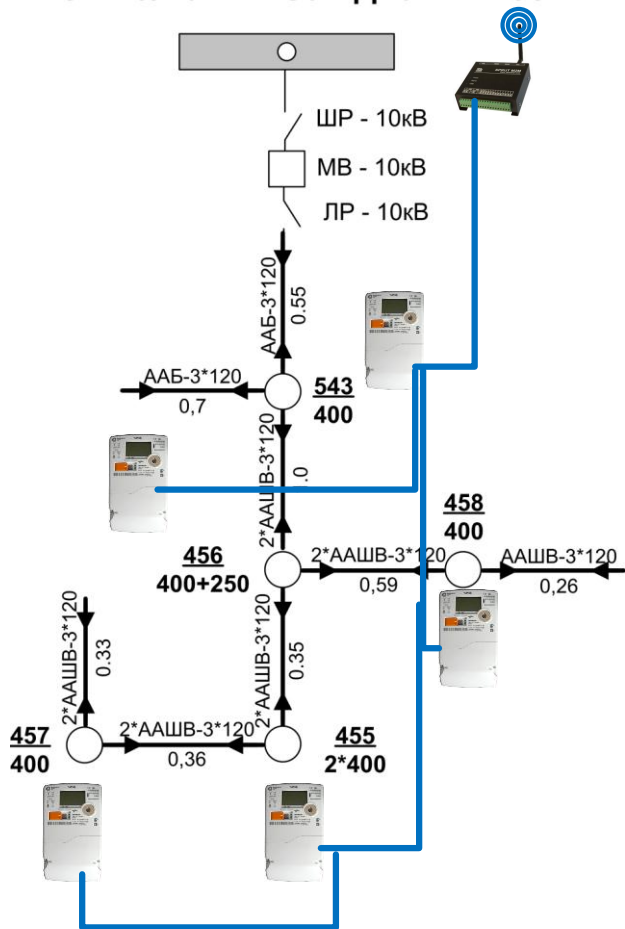


Похибка розрахунків у порівнянні з вимірними значеннями за відсутності вимірів у вузлі ТП-455 та ТП-456

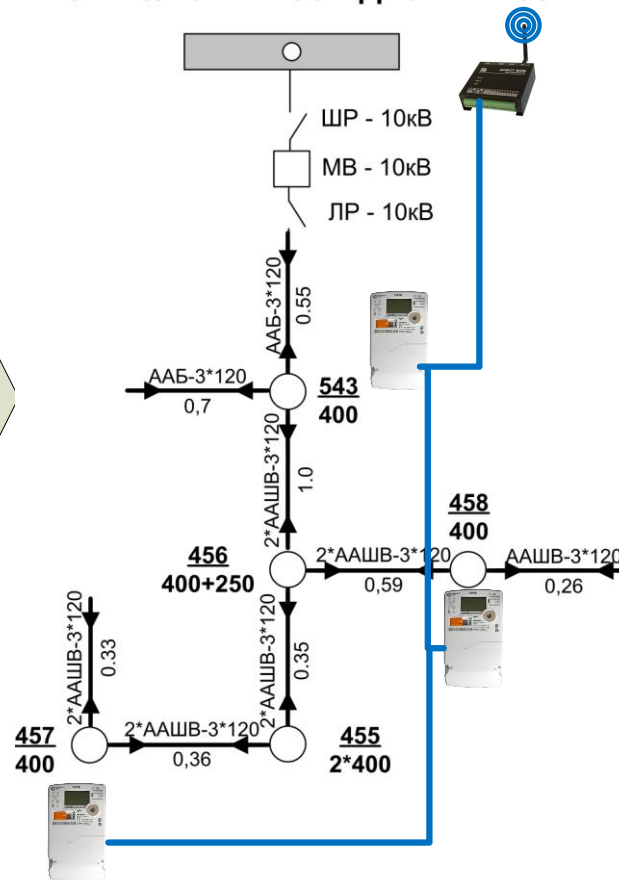


Вибір місця встановлення вимірювальних пристроїв Smart Metering

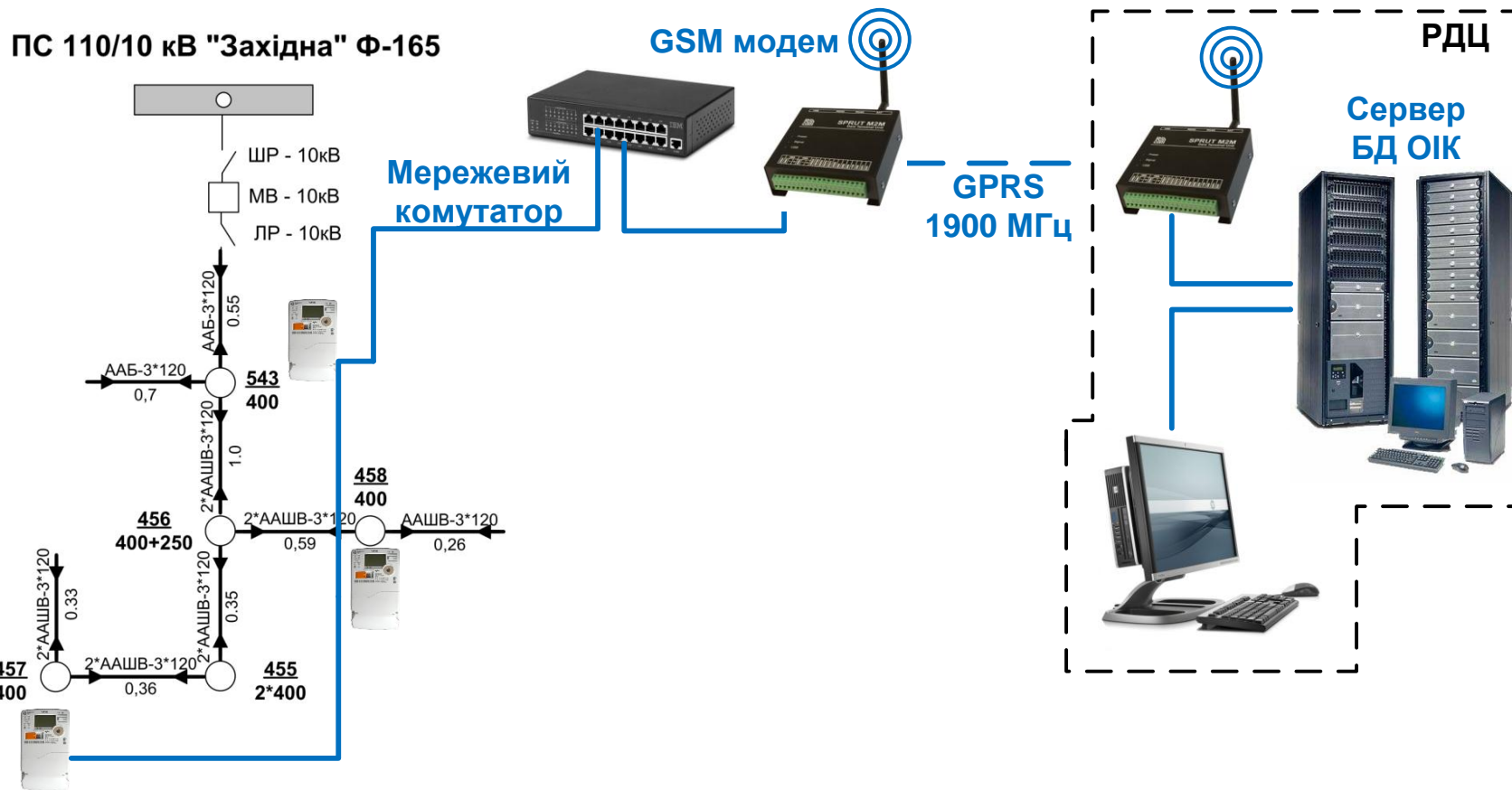
ПС 110/10 кВ "Західна" Ф-165



ПС 110/10 кВ "Західна" Ф-165



Пропонована інформаційна система розподільної електричної мережі на базі концепції Smart Metering



Висновки

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано дослідження сучасних інформаційних технологій в електроенергетиці. В першому розділі роботи наведено основні відомості та поняття про системи передачі інформації, приведено загальну модель комунікаційної мережі. Досліджено модель взаємодії відкритих систем яка підтримується стандартами Міжнародної Електротехнічної Комісії.

В другому розділі магістерської роботи досліджено існуючі галузеві інформаційні документи стосовно інформаційного забезпечення процесів передачі та постачання електроенергії. А саме інформаційного забезпечення САК та АСКУЕ.

Відповідно до теми обраної роботи в третьому розділі розглянуто основні канали зв'язку систем передачі інформації в енергетиці та схеми їх улаштування.

У четвертому розділі досліджено інтелектуальні системи обліку електроенергії Smart Metering, розглянуто основні принципи та види вимірювальних пристроїв.

П'ятий розділ присвячено розробці інформаційної системи розподільної електричної мережі на базі концепції Smart Metering. Виконано аналіз можливості використання наявної інформації АСКОЕ та підвищення спостережності електричних мереж в умовах неповної вхідної інформації. Досліджено методи аналізу режимів розподільних електричних мереж в умовах неповної вхідної інформації.

.

Доповідь завершено, дякую за увагу.