

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМ РОЗРАХУНКУ УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ 330/110/35/10 кВ

Лавренова Д.Л., к.т.н., ст. викл., Воскобойник П.О., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Розрахунок режиму роботи енергосистеми є найважливішою задачею в енергетиці. Неможливо проводити диспетчерське та технологічне керування електромережами без розрахунку режиму.

Задачі розрахунку режиму вирішуються програмними комплексами, в основі яких лежать математичні методи розв'язання систем лінійних рівнянь. Головними вимогами до програмних комплексів є:

- швидкість розрахунків – до декількох секунд для великих схем;
- точність розрахунків;
- точний та надійний розрахунок режиму для промислових схем з тисяч вузлів.

Мета роботи. Проаналізувати програми, що реалізують різні методи розрахунку усталеного режиму електричної мережі та порівняти результати їх роботи.

Матеріали та результати досліджень. Згідно з [2], основними методами розрахунку режимів є метод Ньютона, метод Z-режим, що базується на матриці опорів впливу Z_s та метод Z-режим, в основі якого лежить матриця контурних опорів. В даній роботі розглядаються блочно-контурний метод та метод Ньютона.

Блочно-контурний метод реалізовано у програмному комплексі РАОТВ, який є розробкою Галузевої науково-дослідної лабораторії "Автоматизація управління електричними мережами вищих класів напруги" при факультеті електроенерготехніки і автоматики Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" ім. Ігоря Сікорського [1]. Програмний комплекс може проводити наступні дії:

- розрахунок усталеного режиму;
- аналіз характеристик режиму;
- оптимізація втрат шляхом обирання місць розривів та регулюванням коефіцієнтів трансформаторів;
- оптимізація реактивних потужностей.

Також наявна автоматична графіка, що виводить на екран графічне відображення стану системи.

Суть блочно-контурного методу полягає в тому, що замкнена мережа «розімкається» по методу розрізання контурів і формується матриця контурних опорів в місцях «розривів». Тут використовується блочна подвійна факторизація та матриця контурних опорів.

В якості прикладу проведення застосування методу обрано схему 330/110/35/10 кВ (рис. 1).

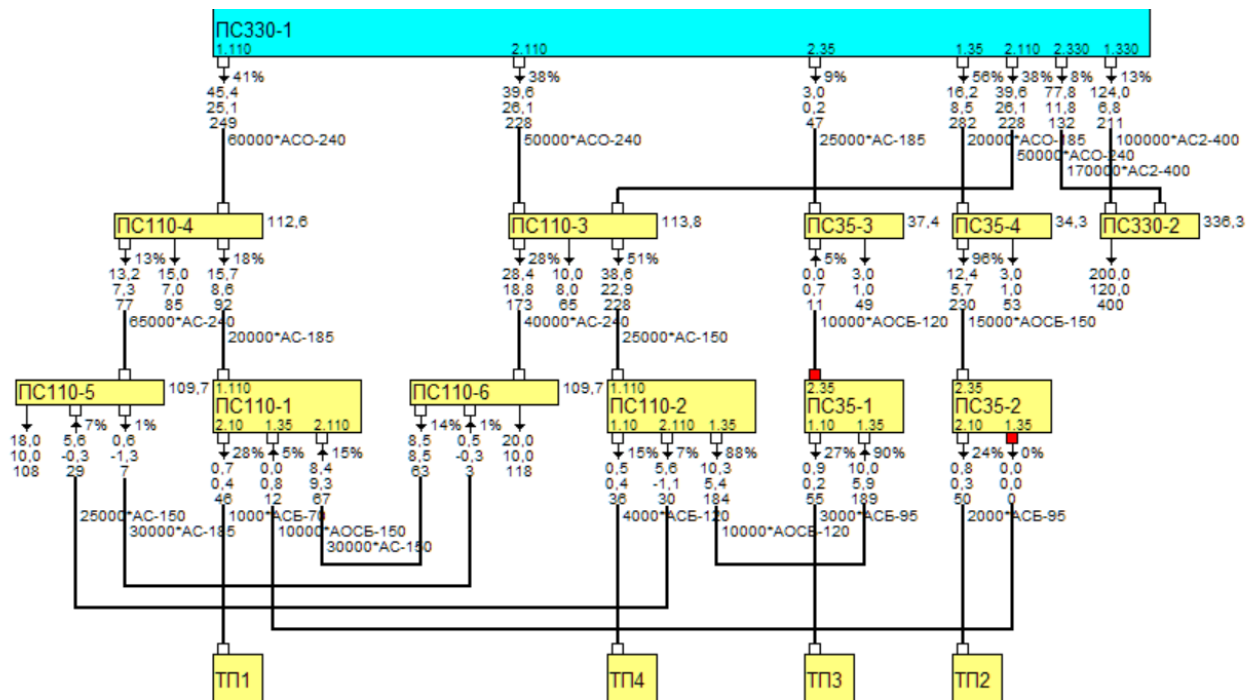


Рисунок 1 – Схема енергомережі 330/110/35/10 кВ

Мережа складається з двох частин – живлячої мережі ПС330-1 та споживаючих підстанцій ПС110-1, ПС110-2, ПС35-1, ПС35-2. Розрахункова схема має режим в допустимій області по напрузі, по завантаженню трансформаторів та ліній. В схемі 47 вузлів та 58 гілок.

Схема має два балансуєчі вузли (1.330 із заданою напругою 340 кВ та 2.330 з напругою 345 кВ). На рис. 2 наведено схему живлячої мережі 330-1 (рис. 2а) та схема мережі 110-1 з вимкненим ШЗВ (рис. 2б).

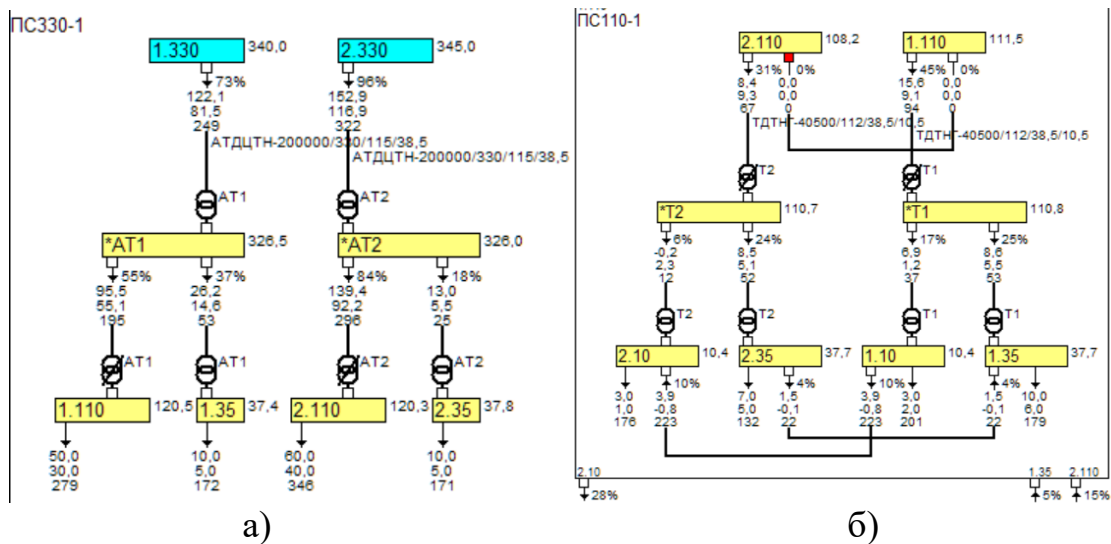


Рисунок 2 – Схема мережі: а) схема живлячої мережі 330-1; б) схема мережі 110-1 з вимкненим ШЗВ.

АТ1 та АТ2 – системні автотрансформатори, вузли *АТ1 та *АТ2 – середні точки. На підстанції ПС110-1 відімкнений шиноз’єднувальний вимикач на шинах 110 кВ, створюючи роздільне живлення Т1 та Т2 по різним транзитним лініям. Т2 живиться через лінію ПС110-3 – ПС110-6, Т1 – через ПС110-4. В системній частині лінія живлення стала двохланцюговою, тобто введена в дію паралельна лінія з ідентичними параметрами.

Результати розрахунків програмного комплексу РАОТВ наведено у табл. 2.

Метод Ньютона реалізовано власною програмою та базою даних для зберігання та обміном режимною інформацією. Розроблена програма має можливість приймати формати файли, які використовуються в РАОТВ. Ця можливість реалізована за допомогою бінарної десеріалізації [3], що дозволяє отримувати та зчитувати дані з файлів і інших програмних комплексів.

Алгоритм роботи програми для розрахунку режиму з використанням методу Ньютона наведено на рис. 3.

Тут використовують загальне рівняння зв’язку струмів та напруг електричної мережі [2].

$$[Y] \cdot [U] = [I]$$

Для довільного вектору $[U]$ вираз за кожним рівнянням має нев’язки I_i , які в точці рішення дорівнюють нулю.

Рішення нелінійної системи методом Ньютона в комплексному просторів має вигляд:

$$[J] \cdot [\Delta X] = -[I]$$

де $[J]$ – матриця Якобі (табл. 1), в якій містяться частинні похідні $\partial I_i / \partial U_i$, $[\Delta X] = [\Delta U]$.

Таблиця 1 – Структура спрощеної матриці Якобі

$(-2G_{11}U_1^2 - \sum p_{1j})/U_1$	$\sum q_{1j}$	$-p_{12}/U_2$	$-q_{12}$	$-p_{13}/U_3$	$-q_{13}$
$(2B_{11}U_1^2 + \sum q_{1j})/U_1$	$\sum p_{1j}$	q_{12}/U_2	$-p_{12}$	q_{13}/U_3	$-p_{13}$
$-p_{21}/U_1$	$-q_{21}$	$(-2G_{22}U_2^2 - \sum p_{2j})/U_2$	$\sum q_{2j}$	$-p_{23}/U_3$	$-q_{23}$
q_{21}/U_1	$-p_{21}$	$(2B_{22}U_2^2 + \sum q_{2j})/U_2$	$\sum p_{2j}$	q_{23}/U_3	$-p_{23}$
$-p_{31}/U_1$	$-q_{31}$	$-p_{32}/U_2$	$-q_{32}$	$(-2G_{33}U_3^2 - \sum p_{3j})/U_3$	$\sum q_{3j}$
q_{31}/U_1	$-p_{31}$	q_{32}/U_2	$-p_{32}$	$(2B_{33}U_3^2 + \sum q_{3j})/U_3$	$\sum p_{3j}$

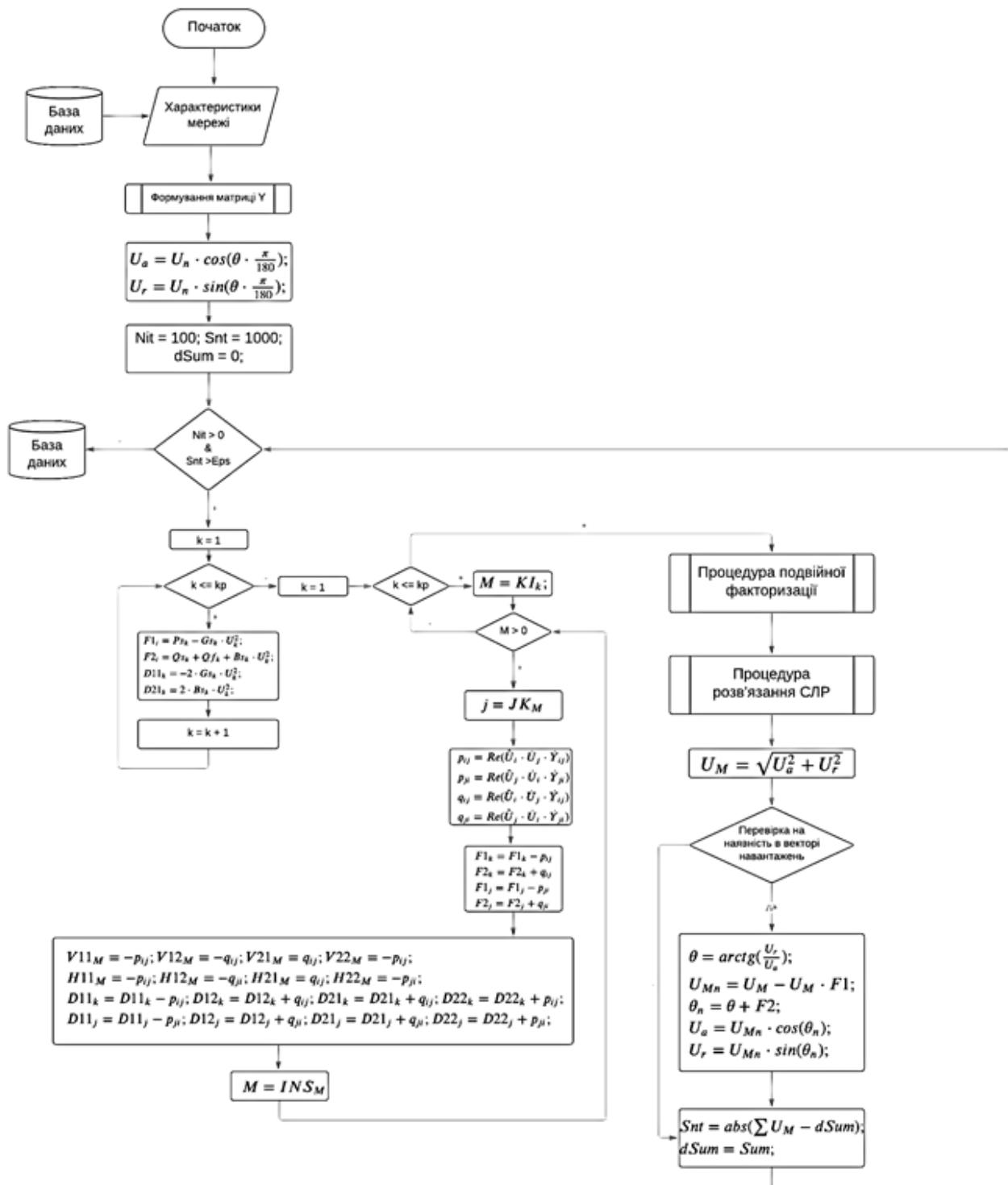


Рисунок 3 – Алгоритм роботи програми для розрахунку режиму з використанням методу Ньютона

Результати розрахунків програмної реалізації методу Ньютона наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння результатів розрахунків усталеного режиму роботи енергомережі 330/110/35/10 кВ (рис. 1)

N вузла	Позначення	Um	РАОТВ		Розроблене ПЗ		Абсолютна похибка	Відносна похибка
			Урозр	Кут	Урозр	Кут		
3	ПС330-1.2.330	345	345,000	0.000	345,000	0.000	0,000	0,0000%
1	ПС330-1.1.330	340	340,000	0.000	340,000	0.000	0,000	0,0000%
2	ПС330-2	330	336,285	-1,942	336,285	-1.942	0,000	0,0000%
111	ПС330-1.*АТ1	330	326,525	-3,650	326,185	-3.652	0,340	0,1041%
112	ПС330-1.*АТ2	330	326,008	-4,508	325,999	-4.509	0,009	0,0028%
4	ПС330-1.1.110	110	120,528	-3,626	120,404	-3.627	0,124	0,1029%
5	ПС330-1.2.110	110	120,297	-4,468	120,295	-4.469	0,002	0,0017%
6	ПС110-4	110	112,591	-7,334	112,026	-7.363	0,565	0,5018%
7	ПС110-3	110	113,765	-7,021	113,759	-7.083	0,006	0,0053%
8	ПС110-5	110	109,674	-8,593	109,613	-8.653	0,061	0,0556%
9	ПС110-6	110	109,739	-8,645	109,883	-8.726	-0,144	-0,1312%
100	ПС110-1.1.110	110	111,469	-7,783	110,624	-7.775	0,845	0,7581%
101	ПС110-1.2.110	110	108,235	-8,884	108,71	-9.023	-0,475	-0,4389%
113	ПС110-1.*Т1	110	110,76	-10,264	112,173	-10.362	-1,413	-1,2757%
114	ПС110-1.*Т2	110	110,685	-10,27	112,082	-10.339	-1,397	-1,2621%
400	ПС110-2.1.110	110	109,874	-8,300	109,838	-8.360	0,036	0,0328%
401	ПС110-2.2.110	110	109,874	-8,300	109,837	-8.360	0,037	0,0337%
415	ПС110-2.*Т1	110	108,154	-12,138	108,094	-12.201	0,060	0,0555%
416	ПС110-2.*Т2	110	111,806	-9,771	111,767	-9.833	0,039	0,0349%
10	ПС35-4	35	34,274	-9,847	34,237	-9.870	0,037	0,1080%
11	ПС35-3	35	37,375	-6,537	37,187	-6.427	0,188	0,5030%
12	ПС330-1.1.35	35	37,436	-5,449	37,406	-5.464	0,030	0,0801%
13	ПС330-1.2.35	35	37,782	-5,398	37,753	-5.402	0,029	0,0768%

Висновки. Аналіз результатів роботи двох програм показав, що максимальна відносна похибка (розбіжність між результатами розрахунку режиму роботи енергосистеми) складає 1,2757% в середній точці трансформатору Т1 на підстанції ПС110-1. Найближчою до цієї похибки – похибка в середній точці трансформатору Т2 на тій же підстанції. Така розбіжність може пояснюватися

тим, що саме ця підстанція внаслідок відключеного шиноз'єднувального вимикача живиться паралельними лініями, що утворилися. Тоді граф, що описує структуру мережі, ускладнюється, в наслідок чого збільшується порядок матриці провідностей.

В цьому випадку класичні методи розрахунку усталеного режиму мережі, такі як метод Ньютона, втрачають точність. Для вирішення цієї проблеми можна запропонувати використати алгоритм Горнера. Цей алгоритм дозволяє вирішити задачу еквівалентування паралельних ліній та трансформаторів без збільшення порядку матриці провідності.

Так можна зменшити похибку результатів обрахунків в програмі на базі методу Ньютона, а також збільшити універсальність альтернативного програмного комплексу, що запропоновано.

В програмному комплексі РАОТВ ця проблема відсутня, оскільки розрахунки базуються на матриці контурних опорів. Однак, слід зазначити, що для блочно-контурного методу, що реалізує РАОТВ, гірша збіжність ітераційного процесу, у порівнянні з методом Ньютона.

Таким чином порівняльний аналіз двох програм, що реалізують різні методи розрахунку усталеного режиму енергомережі показав, що запропонована альтернатива до програмного комплексу РАОТВ на базі методу Ньютона реалізує ті самі завдання без значущої втрати точності. Окрім того, слід окремо зазначити, що використання окремої бази даних для зберігання параметрів мережі та розрахованих параметрів усталеного режиму відповідає [4, 5], що додає універсальності альтернативній програмі.

Перелік посилань

1. РАОТВ - Розрахунок, Аналіз, Оптимізація Технологічних Витрат [Електроний ресурс] – Режим доступу до ресурсу http://www.raotp.com/raotp_main_uk.html
2. Банін Д.Б. Конспект лекцій з дисципліни «Алгоритмізація та програмування електроенергетичних задач» / Банін Д.Б., Банін М.Д., Гнатовський А.В. – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – 140 с.
3. C# 6.0 and the .NET 4.6 Framework / Andrew Troelsen, Philip Japikse / Apress, 2015. – 1625 p.
4. Інтерфейс прикладних програм у системах електроенергетичного менеджменту (EMS-API). Частина 301. Основні положення загальної інформаційної моделі (CIM) (IEC 61970-301:2016, IDT), ДСТУ IEC 61970-301:2017. – [Чинний від 01.01.2018].
5. Інтеграція прикладних програм на електромережних підприємствах. Системні інтерфейси в менеджменті розподілу електроенергії. Частина 11. Розширення загальної інформаційної моделі (CIM) для розподільчих компаній (IEC 61968-11:2013, IDT), ДСТУ IEC 61968-11:2014. – [Чинний від 01.06.2015].