

АНАЛІЗ ЕКВІВАЛЕНТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВІЗУАЛЬНІЙ МОДЕЛІ ЗАСОБАМИ ПОШУКОВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Ягуп В. Г., Ягуп К. В., Бобровський О. Д., Олійник В. І.

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Запропоновано застосування використання пошукової оптимізації для визначення параметрів еквівалентного навантаження на візуальній моделі.

Постановка проблеми. У зв'язку з перспективою впровадження інтелектуальної електричної системи Smart Grid розширюються можливості компенсації реактивної потужності і симетрування мережних струмів шляхом введення симетрокомпенсуючих пристроїв із застосуванням мікроконтролерів. В таких системах можливо виконати вимірювання у будь-якій точці таких електричних величин, як струми, напруги та потужності [1]. Однак при виборі симетрокомпенсуючого пристрою постає актуальним питання про визначення параметрів прийнятої еквівалентної заступної схеми лінійного навантаження, яка може мати будь-яку топологію і будь-які параметри. Застосування матричних методів не вирішує у повній мірі проблеми ідентифікації еквівалентного навантаження і для цієї мети використовують наближенні схеми заміщення [2].

Мета статті. Пропонується дослідити застосування оптимізаційних методів для визначення параметрів і топології еквівалентної схеми заміщення навантаження на візуальній моделі.

Основні матеріали дослідження. Досліджується узагальнена система заміщення (рис. 1, а) представляє собою симетричну трифазну систему безкінечної потужності.

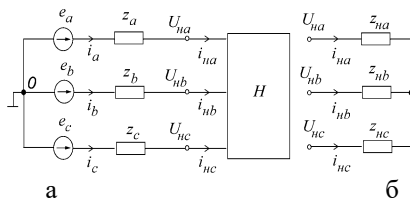


Рисунок 1 – Узагальнена трифазна трипровідна система

Амплітуди всіх джерел напруги прийняті рівними 100 В, а їх фази зміщені одна відносно іншої на 120 ел. градусів. Лінії електропередач представлені комплексними опорами однакової величини $z_a=z_b=z_c=0,1+j\omega 10^{-3}$.

Блок Н – відповідає навантаженню, яке має лінійних характер, із топологією яку необхідно визначити.

Реальне навантаження (рис. 1, б) приймемо з'єднаним за схемою "зірка" із комплексними опорами $Z_{na}=0,7+j\omega 0,005$; $Z_{nb}=1+j\omega 0,01$; $Z_{nc}=2+j\omega 0,04$.

Умова адекватного вибору схеми заміщення полягає у тому, що еквівалентне навантаження повинно забезпечувати такі самі значення електричних величин (напруг та струмів) у точці приєднання еквівалентного навантаження, що відповідає реальному навантаженню. Слід зазначити, що система рівнянь, що описує процеси у досліджуваній системі є недовизначеною, що значно ускладнює її розрахунок.

Пошукова оптимізація надає можливість отримати безліч рішень, які залежать від початково заданих значень параметрів оптимізації.

Пошукова оптимізація на моделі здійснюється використанням цільової функції, яка формується шляхом порівняння струмів верхньої і нижньої частин моделі (рис. 2): де верхня частина представляє собою вихідну систему, що задає електричні величини в точках приєднання несиметричного лінійного навантаження, а нижня – в нижній здійснюється пошук параметрів опорів та індуктивностей еквівалентного навантаження.

Параметри вихідної моделі відповідають прийнятим параметрам схеми на рис. 1.

Параметри нижньої частини розраховуються в процесі оптимізації і представляють собою параметри оптимізації, а саме активні опори R_{na}, R_{nb}, R_{nc} і індуктивності L_{na}, L_{nb}, L_{nc} у відповідних фазах.

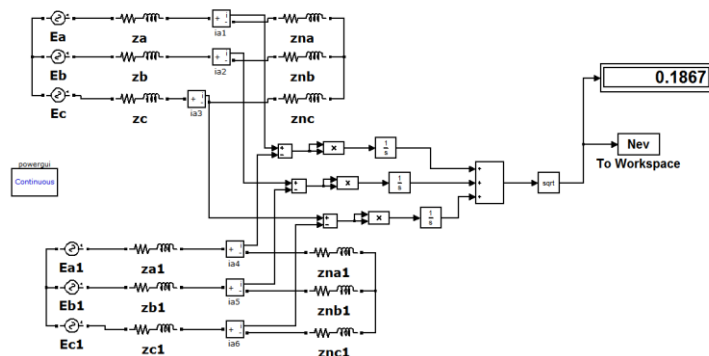


Рисунок 3 – Візуальна модель системи аналізу еквівалентного навантаження

У якості критерію оптимізації обрана шарова метрика, яка складається з інтегралів квадратів різниці миттєвих значень струмів вихідної і еквівалентної схем. Значення цільової функції передається в робочий простір програми MATLAB через блок To Workspace. Обробка отриманих даних виконується головною програмою, яка визиває функцію `fminsearch()`, що виконує оптимізацію методом Нелдера-Міда. Параметрами цієї функції виступають ім'я файл-функції, в якій формується значення цільової функції, і значення початково заданих параметрів (табл. 1). Файл функція передає дані головній програмі шляхом запуску моделі.

Таблиця 1 - Початково заданими параметрами та значення параметрів схеми

<i>Rna</i>	<i>Rnb</i>	<i>Rnc</i>	<i>Lna</i>	<i>Lnb</i>	<i>Lnc</i>
Початково задані параметри					
2	3	4	1	3	1
Параметри після виконання оптимізації					
1.4629	0.2	2.103	0.0056	0.0102	0.032

В результаті виконання 596 ітерацій, із початково заданими параметрами, що вказані в верхньому рядку табл. 1 пошукова оптимізація закінчила процес розрахунку і вийшла на значення параметрів схеми, представлені в нижньому рядку табл. 1.

При зміні значень початково заданих параметрів (табл. 2) змінюються і параметри еквівалентної схеми.

Таблиця 2 – Початково задані параметри і параметри еквівалентної схеми

<i>Rna</i>	<i>Rnb</i>	<i>Rnc</i>	<i>Lna</i>	<i>Lnb</i>	<i>Lnc</i>
Початково задані параметри					
9	7	5	0,2	0,5	0,7
Параметри після виконання оптимізації					
2,09995	0	0,156	0,0038	0.01275	0.0249

В візуальній моделі для фіксованого значення зміщення напруги загального вузла навантаження відносно нульового вузла джерел рівним $U_0=40-j30$ між точкою загального з'єднання джерел і точкою загального з'єднання навантаження підключено джерело напруги (рис. 3).

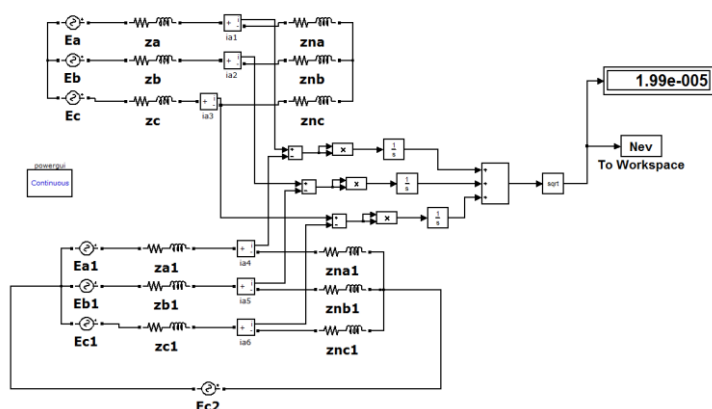


Рисунок 3 – Візуальна модель системи аналізу еквівалентного навантаження із завданням напруги відносно нульового вузла джерел

Параметри, що вводяться в блок Ec2 розраховуються відповідно формулам визначення амплітуди і кута зсуву джерела (рис. 4).

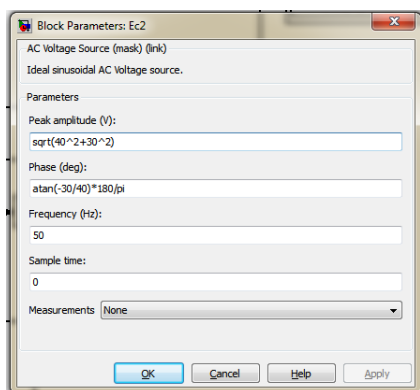


Рисунок 4 – Параметри блоку джерела напруги, що задає фіксоване значення зміщення напруги загального вузла

В результаті виконання 1092 ітерацій пошукова оптимізація вийшла на значення вказані в табл. 3.

Таблиця 3 – Значення інерційної пошукової оптимізації

<i>Rna</i>	<i>Rnb</i>	<i>Rnc</i>	<i>Lna</i>	<i>Lnb</i>	<i>Lnc</i>
0,303	1,313	2,8715	0,0057	0,00895	0,043

Для перевірки адекватності проведених експериментів, виконано дослідження, в якому підключене джерело напруги має такі самі параметри, що і значення напруги в точці загального з'єднання в вихідному режимі, а саме $37,556-j16,11$. Ознакою правильного рішення є вихід процесу оптимізації на ті ж значення навантажень по фазам, що і у вихідній схемі, які були вказані вище.

Після виконання процесу оптимізації величини навантаження набули значень, які наведені в табл. 4.

Порівнюючи отримані результати з вихідними даними можна сказати, що активні опори в таблиці прак-

тично співпадають з вихідними даними фактичного навантаження.

Таблиця 4 - Величини навантаження

R_{na}	R_{nb}	R_{nc}	L_{na}	L_{nb}	L_{nc}
0,734	0,87	0,704	0,005	0,0103	0,042

Виконання симетрування системи електропостачання здійснюється симетро-компенсуючим пристроєм, який складається з косинусних конденсаторів, що підключені між фазами трифазної трипровідної системи (рис. 5).

Параметри симетро-компенсуючого пристрою визначаються шляхом застосування пошукової оптимізації.

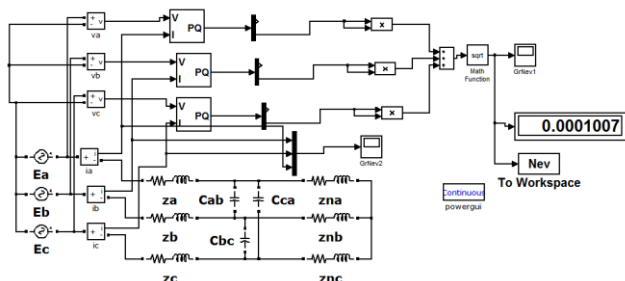


Рисунок 5 – Візуальна модель системи аналізу еквівалентного навантаження

Критерієм оптимізації в моделі виступає шарова метрика складена з активних потужностей заміряних в кожній фазі системи. Проведено чотири досліди, в яких розраховані вище данні еквівалентного навантаження завантажувалися в робочий простір програми MATLAB. Параметрами оптимізації виступали величини ємностей косинусних конденсаторів. Результати виконання пошукової оптимізації, що застосовується для синтезу симетро-компенсуючого пристрою зведені в табл. 5. Також в таблиці вказана велчина сходи мості процесу оптимізації нев'язка Nev і кількість здійснених ітерацій iter.

Таблиця 5 - Результати виконання пошукової оптимізації для синтезу симетро-компенсуючого пристрою

	C_{ab}	C_{bc}	C_{ca}	N_{ev}	$iter$
1	561.1599	180.7419	33.9048	0,00002	316
2	537.6621	190.8148	40.9009	0,0001	323
3	561.4953	182.7029	37.5395	0,00015	296
4	560.3257	180.0123	31.5390	0.00015	313

Для всіх чотирьох варіантів величини ємностей конденсаторів приблизно однакові, а процес оптимізації зійшовся.

Висновки. З наведеного матеріалу можна зробити такі висновки:

- застосування пошукової оптимізації дозволяє вирішити задачу визначення еквівалентної схеми заміщення, яка є недовизначеною і має безліч рішень;
- значення параметрів еквівалентної схеми заміщення залежать від початково заданих параметрів оптимізації;
- при точному завданні значень потенціалів в точці приєднання навантаження, отримуємо такі ж самі параметри навантаження в еквівалентній схемі, що і в вихідній, що свідчить про адекватність досліджуваної моделі;

- знайдені параметри симетро-компенсуючого пристрою для всіх варіантів параметрів еквівалентного навантаження приблизно однакові.

Список використаних джерел

1. Pan A., Zhou J. Power quality analysis and harmonic tracing in the city. Proc. 23rd International Conference on Electricity Distribution. Lyon, 15-18 June 2015. - P. 1-4.
2. Саенко Ю.Л., Калужный Д.Н., Свергуненко С.В. Идентификация линейной обобщенной нагрузки в задаче распределения фактических вкладов в искажения напряжений в трехфазных четырехпроводных сетях. Технічна електродинаміка. 2018. - № 2. С. 67–74.

Аннотация

АНАЛИЗ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ НАГРУЗКИ НА ВИЗУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СРЕДСТВАМИ ПОИСКОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Ягуп В. Г., Ягуп Е.В.,
Бобровский А. Д., Олейник В. И.

Предложено применение поисковой оптимизации для определения параметров эквивалентной нагрузки на визуальной модели.

Abstract

ANALYSIS OF EQUIVALENT LOAD ON A VISUAL MODEL BY SEARCHING OPTIMIZATION

V. Yagup, E.Yagup,
A. Bobrovsky, V. Oleinik

The application of search optimization to determine the parameters of the equivalent load on the visual model is proposed.