

УДК 536.162

О.В.Дудік, В.І.Марчук

Луцький національний технічний університет

АЛГОРИТМ КЛОНОВОГО ВІДБОРУ В ОПТИМІЗАЦІЇ СИЛОВОГО ФІЛЬТРУ

Відповідно до природних імунних механізмів, штучні методи імунної оптимізації (англ. AIO – Artificial Immune Optimization) були успішно застосовані для вирішення численних проблем оптимізації, які перевершують можливості класичних технік оптимізації. Алгоритм клонового відбору (АКВ) – (CSA – Clonal Selection Algorithm) один з найбільш широко використовуваних, який заснований на імунних підходах для обробки задач оптимізації. У цій статті запропонований АКВ для знаходження оптимальних параметрів (значень індуктора і конденсатора) пасивного фільтру у діодному повномостовому ректифікаторі. Результати моделювання демонструють, що підхід, заснований на АКВ, може знайти оптимальні параметри LC фільтру з певними критеріями для розробки силового фільтру.

Ключові слова: штучна імунна система, оптимізація, алгоритм клонового відбору, пасивний фільтр, гармонійне спотворення.

I. ВСТУП

Природні імунні системи - складні і громіздкі самостійні системи з широкими можливостями навчання, запам'ятовування, і адаптації [1]. Штучна імунна система (англ. AIS – Artificial Immune System), побудована на природних імунних системах, може розглядатися як свого роду біологічні обчислювальні методи розвідки, до яких вчені мають значний дослідницький інтерес за останнє десятиліття [2]-[5]. Як подібні до AIS, методи з алгоритмом клонового відбору були успішно застосовані для обробки різних проблем оптимізації з перевагою над класичними підходами [6] [7]. Сучасна наука і техніка багаті на проблеми, що пов'язані з оптимізацією. У цій статті, продемонстровано ефективність АКВ в оптимізації розробки силового фільтру в повномостовому діодному ректифікаторі.

II. АЛГОРИТМ КЛОНОВОГО ВІДБОРУ

AIS – новий вид обчислювальних відомостних методологій, що пов'язані природною імунною системою для вирішення реальних світових проблем [8]. На CSA засновано принцип клонового відбору (CSP – Clonal Selection Principle), який пояснює, як дається імунна відповідь, коли не сам алергенний шаблон розпізнається осередками В [9]. Це є еволюційним процес в природних імунних системах, впродовж яких тільки антитіла, які можуть розпізнати впровадження антигенів вибрані, щоб поширюватися через клонування [10]. Точніше принцип CSA – це теорія, що осередки (антитіла), здатні до визначення неоднорідних осередків, що можуть поширюватися.

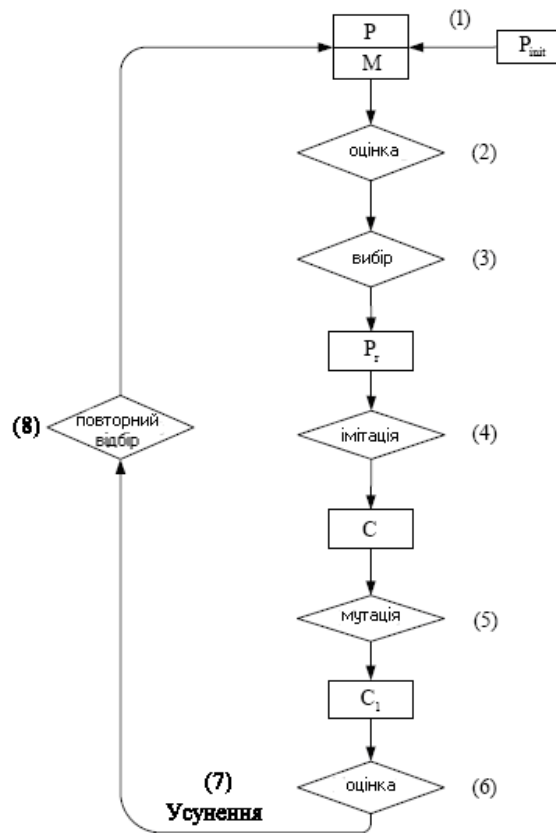
Основні ідеї запропонованого АКВ, взяті у CSP, подані нижче [11]:

- обслуговування елементів пам'яті функціонально роз'єднано від набору;
- вибір і клонування найбільше стимульованих антитіл;
- пригнічення осередків, що не симулюють;
- дозрівання спорідненості і повторний вибір імітацій з вищою спорідненістю;
- норма мутації пропорційна до клітинної спорідненості.

Блок-схема нашого АКВ-основаного алгоритму показана на мал. 1, в якому перехід кроків пояснюється як зазначено нижче.

1. Ініціалізувати (P_{init}) сховище антитіла, у тому числі підмножину елементів пам'яті (M).
2. Оцінити придатність усіх індивідуумів популяції P . Придатність тут посиляється на спорідненість мати розміри.
3. Вибрати кращих кандидатів (P_r) від популяції P_{init} згідно з їх придатністю (спорідненістю з антигеном).
4. Імітувати дані кращі антитіла в тимчасове сховище (C).
5. Генерувати видозмінене сховище (C_1) антитіла. Норма мутації кожного індивідуума обернено пропорційна до його придатності.
6. Оцінити усі хромосоми в C_1 .
7. Виключити антитіла, подібні до тих, що у C , і оновити C_1 .

8. Повторно вибрати індивідууми з кращою придатністю від C_1 , щоб компоувати множину пам'яті M . Інші поліпшені індивідууми C_1 можуть замінити деякі елементи у P_{init} , щоб підтримати різноманітність антитіла.



Мал. 1. - Блок-схема алгоритму клонового відбору.

Ми повинні підкреслити що, імітаційний розмір в кроці 4 загалом визначається, як також монотонна функція спорідненості змінних або постійних значень [11]. У нашому алгоритмі є множина констант. Очевидно, процес CSA є дуже подібний до процесу в генетичному алгоритмі (GA – Genetic Algorithm). Проте порівняно з GA, швидкість конвергенції CSA зазвичай повільніша. Щоб подолати цей недолік ми знаходимо новий оператора мутації в кроці 5, через який видозмінені значення індивідуумів є обернено-пропорційні до їх придатності за допомогою відбору іншої варіації мутації. Варто сказати, індивідуум має кращу придатність, чим менше він змінюється. Інший фактор дія швидкості конвергенції - схожість кандидатів через спосіб системного розширення. Ідея пригнічення отримується з імунної мережевої теорії, щоб виключити нові генеровані антитіла, які подібні до тих, що вже в сховищі кандидата (Крок 7). Засноване на наших правилах, сховище антитіла урізноманітнюється, і CSA може, таким чином, уникати попадання в локальні мінімуми.

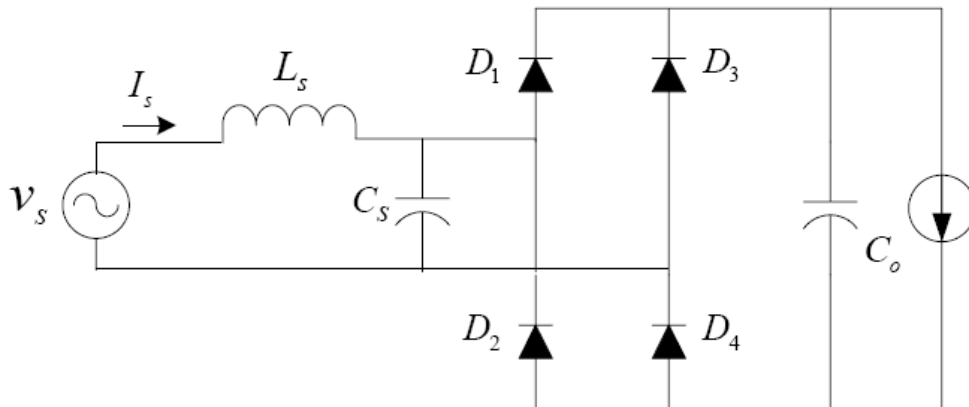
III. ОДНОФАЗНІ ДІОДНІ РЕКТИФІКАТОРИ

У сучасній силовій електроніці, вигідними для використання є недорогі ректифікатори з діодами, щоб перетворювати вхідний AC у вихідний DC у безконтрольній формі. Ці ректифікатори широко застосовуються у більшості пристроїв силової електроніки, як наприклад DC перемикачі і двигуни керування AC/DC [12]. Великий конденсатор як фільтр в частині DC використаний, щоб зарядитись близько до піку вхідної напруги AC. Проте, результати застосування цих електролітичних конденсаторів у бідному силовому факторі (англ. PF – Power Factor) настільки ж високі як і спотворений потік AC від утиліти. Загалом, силовий фільтр (активний або пасивний) застосовується для формування вхідних форм хвилі. Доведено, що користуючись активними фільтрами, ми можемо поліпшити PF, який дуже близький до одиниці з

маленькими гармонійними потоками. Проте, цей підхід збільшує складність і схемні витрати також. Альтернативно, пасивні фільтри є більш привабливіші через їх надійність простої конфігурації, і простої реалізації, особливо у разі специфічного завантаження [13]. Отже, вони стали ефективним методом для задач виправлення PF і гармонійного поточного зниження. Малюнок 2 ілюструє типову топологію схеми пасивного LC фільтру для повномостових ректифікаторів. Індуктор L_s і конденсатор C_s може бути використаний в кон'юнкції з діодним ректифікованим мостом, щоб поліпшити потік форми хвилі. Фактично, великий індуктор має негативну дію на асоційованого посилюючого регулятора управління стратегією викликане підвищенням регулюванням напруги джерела DC. Отже, нам доведеться вибрати такі маленькі індуктори наскільки можливо в розробці нашого пасивного фільтру [14].

Аналіз однофазної діодної повномостової ректифікованої системи побудований на ствердженні двох припущень:

- Конденсатор C_o є досить великим, таким чином, що вихідна напруга - вільна постійна DC напруга.
- AC напруга і діоди D_1 , D_2 , D_3 , і D_4 є ідеальні компоненти.



Мал. 2. - Типова топологія схеми пасивного LC фільтру для повномостових ректифікаторів.

Добре відомо, що виконання пасивного фільтру визначене не лише його схемною топологією, але і значеннями індуктора і включеного конденсатора. Численні методи розробки пасивного фільтру були представлені для оптимізації цих LC параметрів для того, щоб отримати кращу вхідну поточну форму хвилі. Наприклад, дві недавніх версії відстоюють Moo і Chen. Moo розробив комп'ютерну програму, щоб створити контурні карти PF, підсумок гармонійного спотворення (THD – Total Harmonic Distortion), і напруга DC в розрахунку пасивного LC фільтру [13]. Показник оптимальної операції може бути вибраний через практичні розглядами, так добре як необхідні специфікації. Проте, створення таких контурних карт завжди віднімає багато часу, і інші спроби вимагають, щоб різні карти були перераховані. Замість традиційних градієнтних методів, впродовж недавніх років з'явилися деякі нові підходи до оптимізації. Наприклад, Chen представив GA для проектування пасивного фільтру [15]. Як обговорювалось вище, порівняно з GA, наш CSA може здійснювати як локальний, так і глобальний пошук.

У наступній частині ми розглянемо нову CSA-орієнтовану схему, щоб оптимізувати параметри LC діодного повномостового ректифікатора (показано на мал. 2) з наступними трьома критеріями:

1. маленький індуктор для LC вхідного фільтру;
2. великий PF;
3. низький THD.

Треба зробити наголос на те, що CSA гнучкий в розподілі з різними критеріями виконання оптимізації.

IV. МОДЕЛЮВАННЯ

Чотирьох види програмного забезпечення, а саме, MATLAB, SIMULINK SimPowerSystems, і Piece-wise Linear Electrical Circuit Simulation (PLECS), використовуються в нашому комп'ютерному моделюванні.

А. Параметри моделювання

Як L_s , так і C_s пасивного фільтру передбачені для оптимізації за допомогою CSA, кожне антитіло, у формі дійсного числа, включає два під-сегменти, які представляють значення L_s і C_s , відповідно. Їх пошукові діапазони мають бути спочатку вибраними в CSA. Грунтуючись на попередніх знаннях, ми встановлюємо $L_s \in [0, 200\text{mH}]$ і $C_s \in [0, 20\mu\text{F}]$ [13]. Функція придатності (спорідненість) має бути визначена заздалегідь також.

Тут розглядаються дві проблеми.

1. Максимальний PF.
2. Такий маленький L_s як можливо.

Очевидно, краща придатність призводить б до більшого PF і більше меншого індуктора. Об'єкт є досягнення в пасивному фільтрі в ректифікаторі AC/DC - отримати максимальний PF і мінімальний THD. Як вищезгаданий, вищий внутрішній початковий L_s , більше спотворення напруги. Маленький індуктор завжди бажаний, хоча це не є головною метою оптимізації. Іншими словами, більш менше значення з L_s вважається за краще, якщо його можна досягти злегка нижчим, але відповідний PF. Отже, придатність антитіл записана, як зважена комбінація L_s і PF [15]:

$$\text{придатність} = PF - k \log_{10} L_s. \quad (1)$$

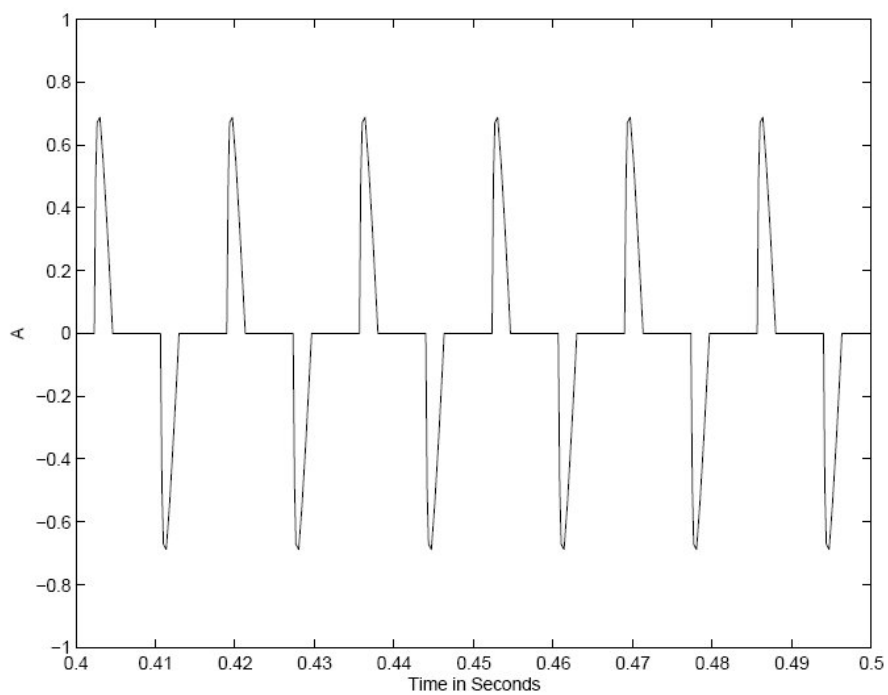
Визначуваний користувачем коефіцієнт k забезпечує міру свободи, щоб регулювати дію L_s на придатність і PF із AC. Пам'ять встановила M в CSA дії, як сховище, щоб пристосувати усі антитіла (можливі L_s і C_s) з високою спорідненістю. Отже, усі параметри з наших моделювань подані в Таблиці 1. Наголосимо на тому, щоб прискорити конвергенцію CSA видозмінені значення антитіл обернено пропорційно до спорідненості індивідуума.

Таблиця 1. - Параметри системи.

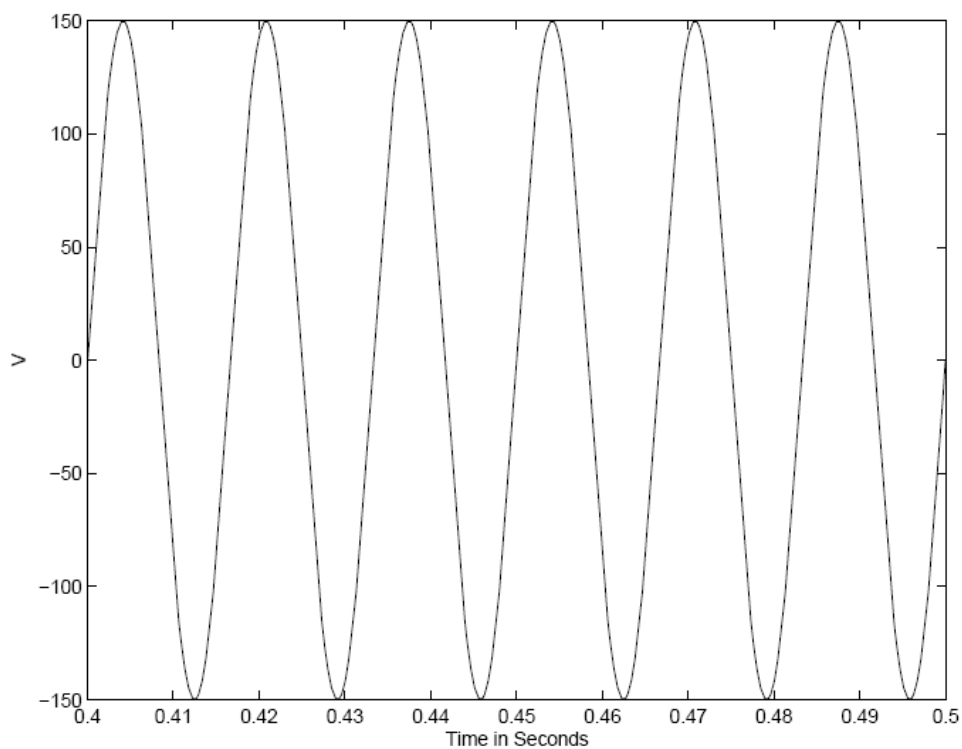
| Параметр | Значення |
|-----------------------------|----------|
| Розмір популяції | 20 |
| Імітований розмір | 4 |
| Вага k | 0.001 |
| $C_s(\mu\text{F})$ діапазон | 0-20 |
| $L_s(\text{mH})$ діапазон | 0-200 |

В. Результати моделювання

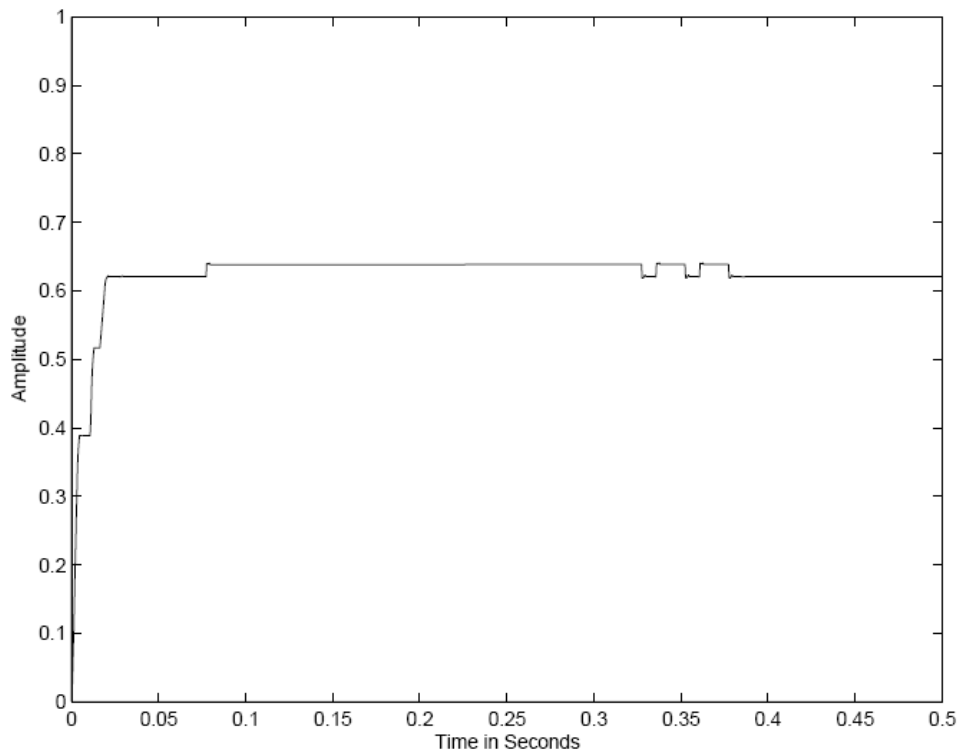
Для діодного повномостового ректифікатора на мал. 2 без пасивного LC фільтру, симульований вхідний потік I_s , напруга живлення v_s , PF, і THD ілюструються на мал. 3 (a), (b), (c) і (d), відповідно. Без пасивного LC фільтру PF для AC складає 0.62, і вхідний поточний THD - 115% для потоку завантаження $I_0 = 0.4\text{A}$ з вихідним конденсатором $C_0 = 220\mu\text{F}$. Бажаний PF встановлений 0.98.



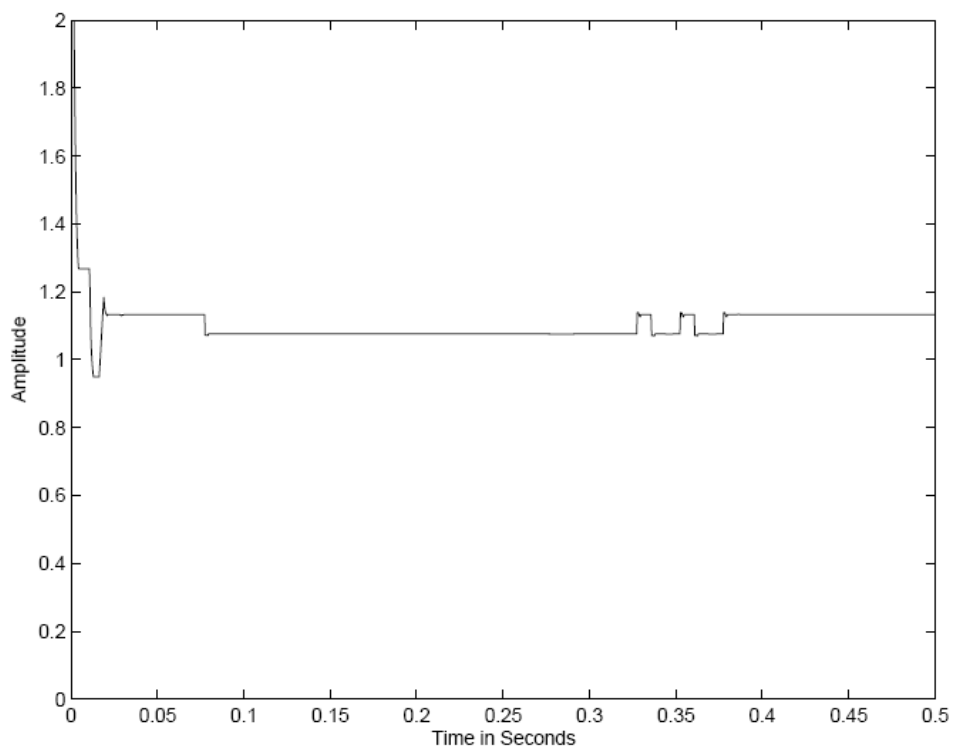
(a)



(b)



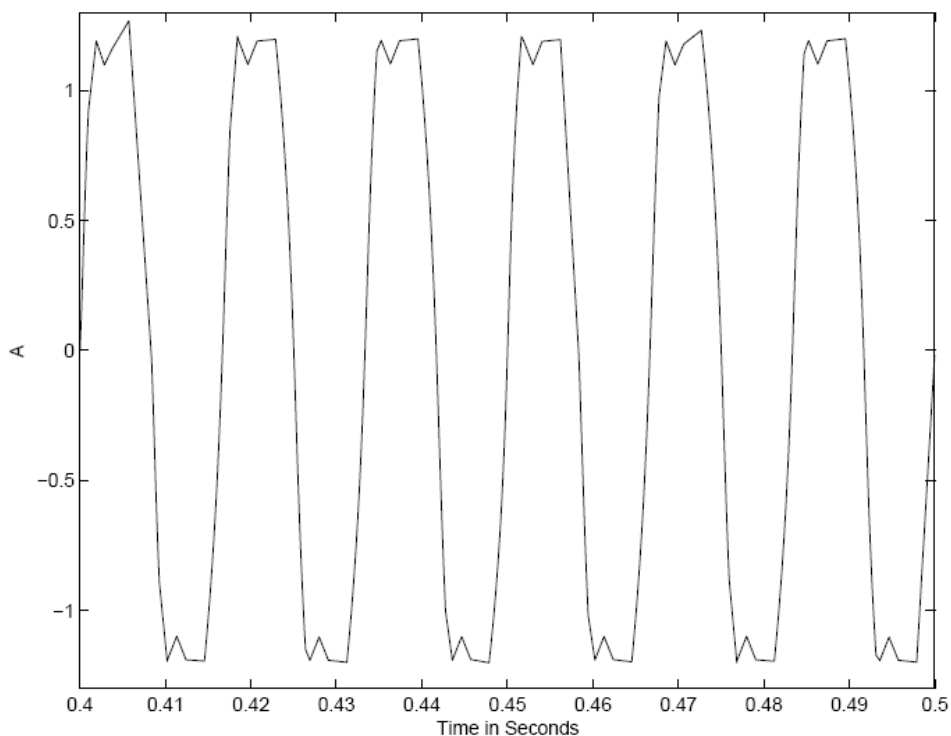
(c)



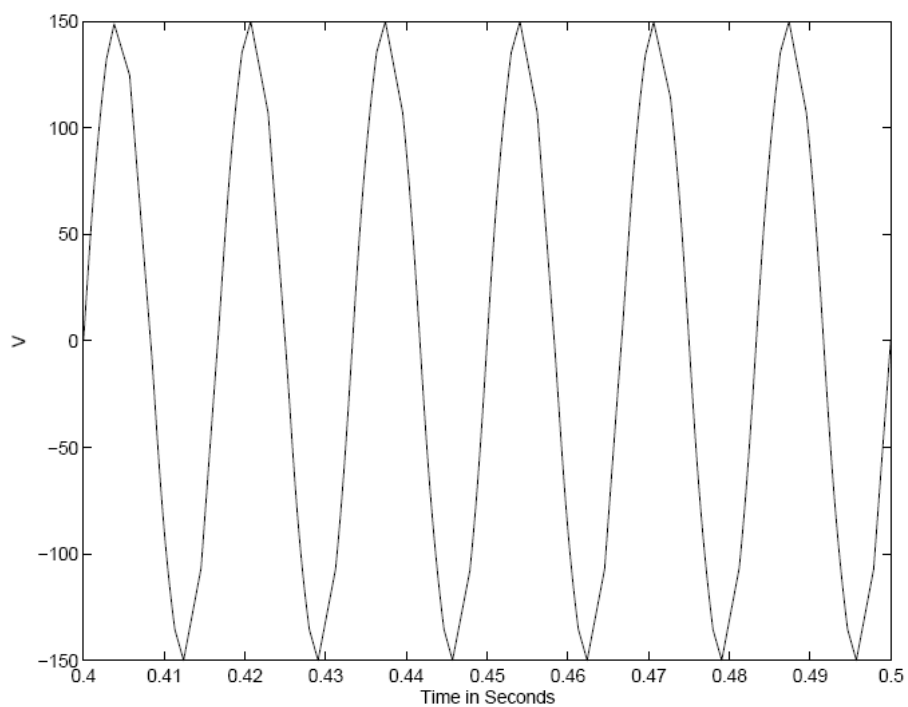
(d)

Мал. 3. - Форми хвилі I_s , v_s , PF, і THD на мал. 1 без пасивного LC фільтр:
(a) I_s , (b) v_s , (c) PF, і (d) THD.

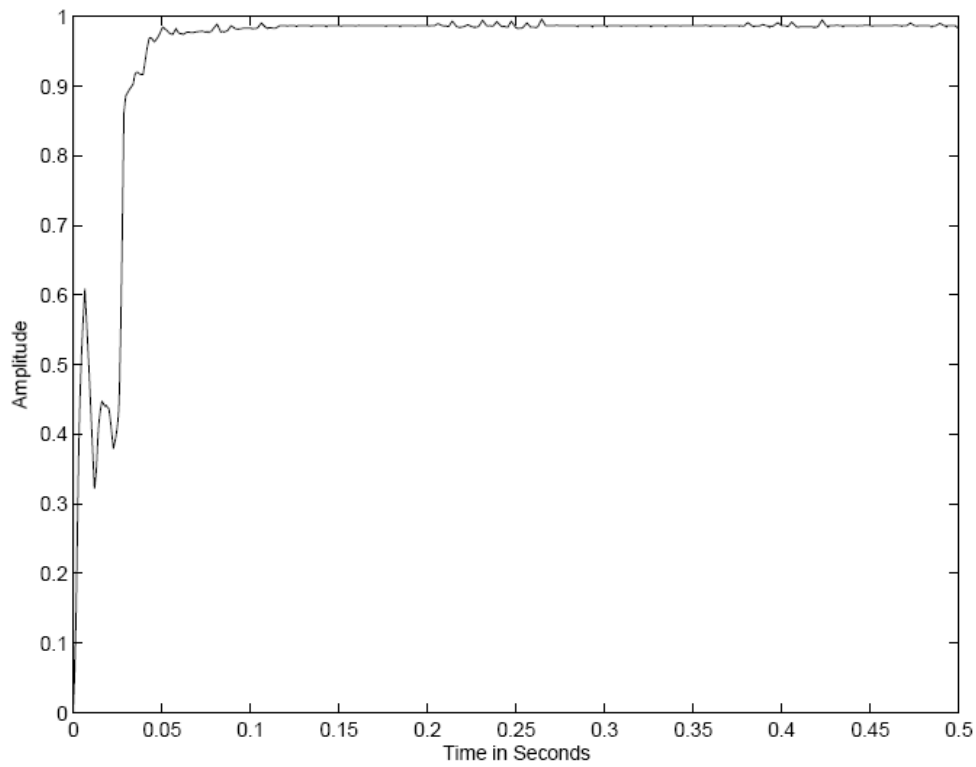
У нашій оптимізації LC фільтру пасивної форми, потік завантаження встановлений $I_0 = 0.8\text{A}$, і бажаний PF складає 0.98. Форми хвилі I_s, v_s , PF, і THD для цього випадку ілюстровані на мал. 4 (а), (b) (c) і (d), відповідно, які є подані в таблиці 2. Нове L_s і C_s складають 146 mH і 5.6 μF , відповідно. Явно, що CSA може оптимізувати як L_s , так і C_s , щоб досягти бажаного PF = 0.98. Тим часом, THD також був зменшений до 16.9%. Ми повинні зробити наголос на усіх результатах оптимізації, виходячи тільки за ідеальних умов, тобто, чотири ідеальні діоди і значення індуктора і конденсатора - точно 100%.



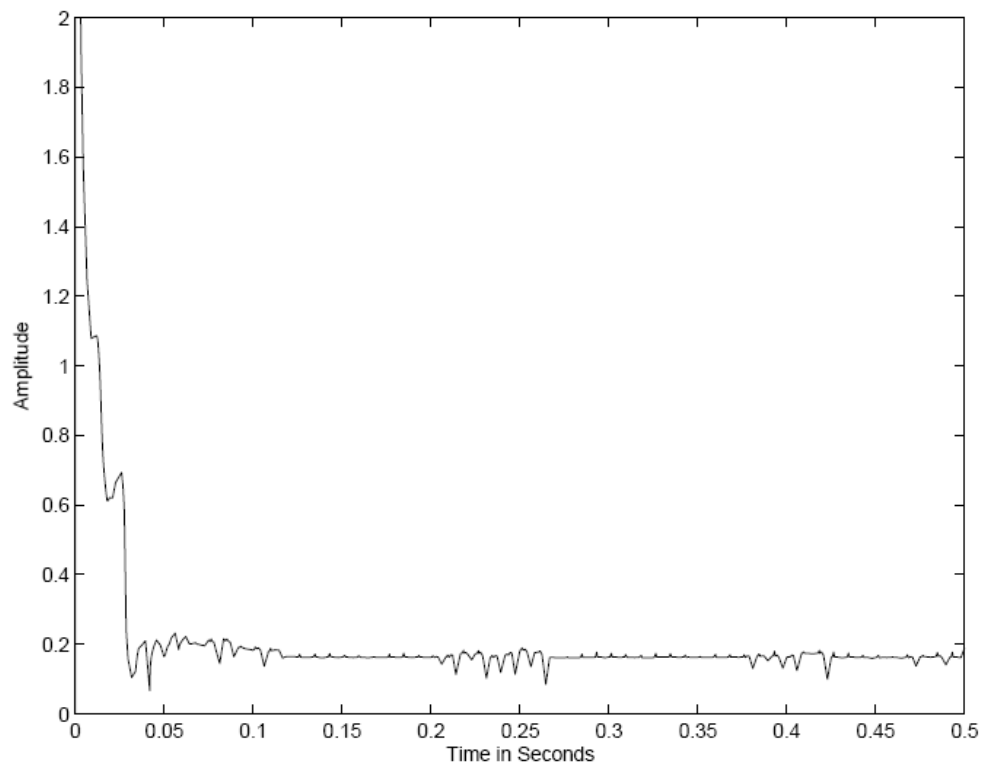
(a)



(b)



(c)



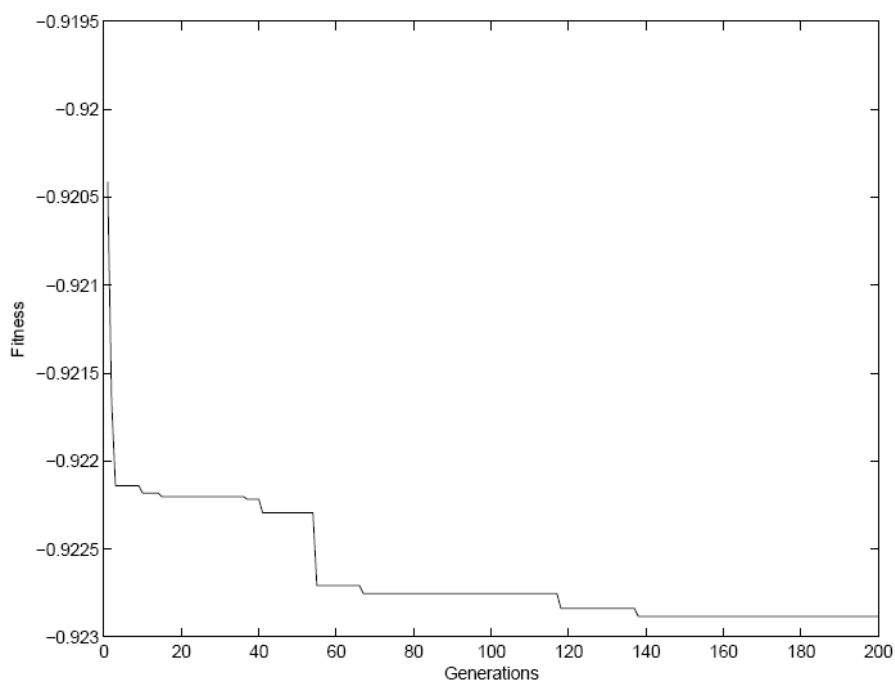
(d)

Мал. 4. - Форми хвилі I_s , v_s , PF, і THD вибору III:
(a) I_s , (b) v_s , (c) PF, і (d) THD.

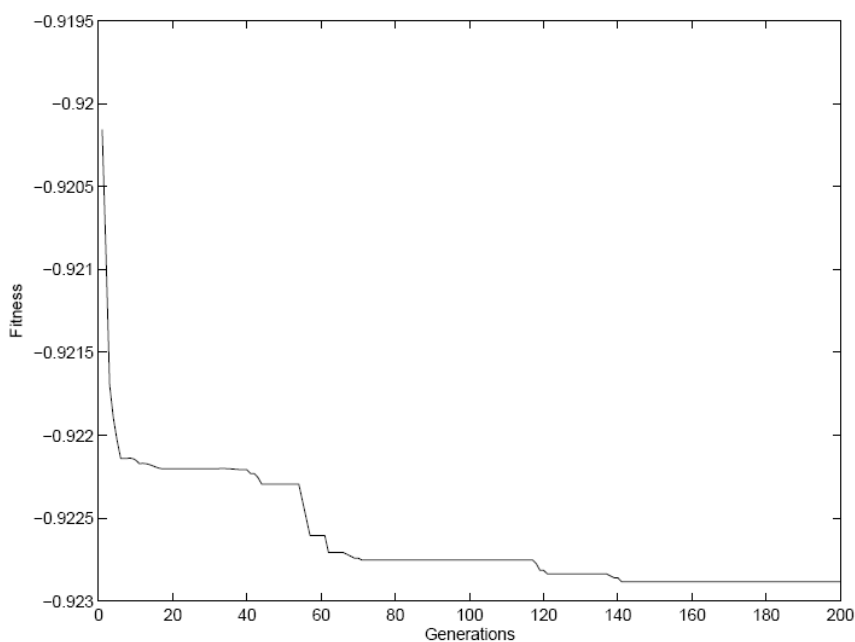
Таблиця 2. - C_0 , L_s , C_s , PF, і THD.

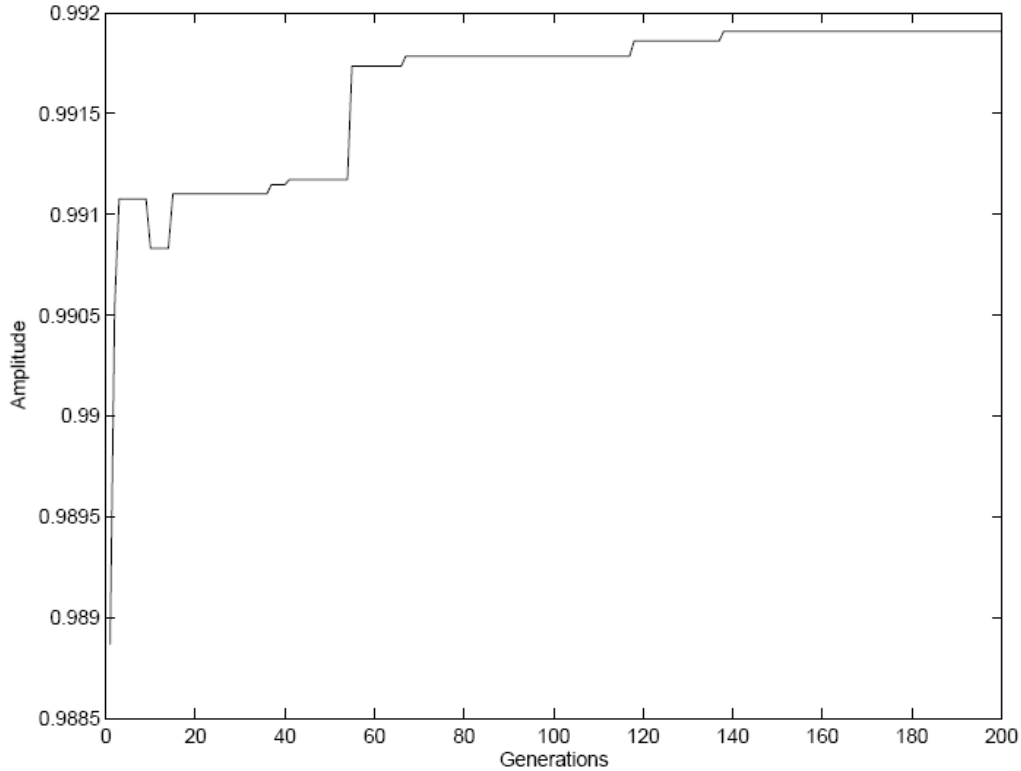
| Параметр | I_0 (A) | C_0 (μ F) | L_s (mH) | C_s (μ F) | PF | THD (%) |
|----------|-----------|------------------|------------|------------------|------|---------|
| Значення | 0.8 | 220 | 146 | 5.6 | 0.98 | 16.9 |

Щоб сприяти демонстрації характеристик оптимізації наш CSA, еволюційні поведінки кращої і середньої величин придатності в кожному породженні також як і PF показані на мал. 5 (a), (b) і (c), відповідно. У цьому прикладі після 200 породжень, PF був вдосконалений до 0.9918, і THD скоротився до 12.7%. Крім того, мал. 5 (a), (b) і (c) ілюструє, що процедури конвергенції з кращими і середніми придатностями подібні, що свідчить CSA здатний одночасно шукати багатоптимальну конфігурацію LC фільтру пасивної форми.



(a)





Мал. 5. - Еволюційні поведінки алгоритму клонового відбору в оптимізації пасивного LC фільтру: (a) найкраща придатність, (b) середня придатність, (c) PF.

Одно істотна перевага запропонованого CSA над GA є те, що CSA також бере до уваги спорідненість серед антитіл. CSA тому може забезпечити групу різних антитіл з кращою спорідненістю. Таблиця 3 ілюструє таке сховище, що пристосовує різних кандидатів з низькою спорідненістю до себе. Усі комбінації LC в таблиці 3 можуть поліпшити PF теж бути PF=0.94 ($I_o=0.4A$). Різноманітність цих кандидатів може запропонувати гнучкіші альтернативи, які мають великі потенціали в техніці.

Таблиця 3. - LC параметри з PF = 0.94.

| L_s (mH) | C_s (μ F) | THD (%) |
|------------|------------------|---------|
| 172.47 | 1.96 | 33.2 |
| 174.50 | 1.92 | 33.4 |
| 178.79 | 1.76 | 32.8 |
| 188.96 | 3.35 | 30.8 |
| 189.16 | 3.59 | 29.8 |
| 191.95 | 3.71 | 29.0 |
| 192.74 | 2.86 | 34.1 |
| 193.65 | 3.39 | 29.9 |
| 197.11 | 1.87 | 35.0 |
| 197.93 | 1.96 | 35.0 |
| 199.13 | 3.30 | 31.6 |

ВИСНОВКИ

У цій статті, новий підхід оптимізації близький до CSA запропонований для того, щоб проектувати LC фільтр пасивної форми. Моделювання демонструє запропонований метод на базі

CSA для створення LC фільтру з оптимальними параметрами з певними критеріями, як наприклад бажаний PF і THD. Як відомо, GA прагне схилити цілу популяцію з індивідуумів у напрямі кращого рішення кандидата [6]. Проте продемонстровано, що CSA може уникати входження в локальні мінімуми, також як і забезпечити більше альтернатив через його різноманіття сховища кандидатів. Тому ми робимо висновок, що CSA є ефективним і гнучким методом оптимізації для обробки різних технічних проблем.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] L. N. de Castro, F. J. von Zuben, and G. A. de Deus Jr., "The construction of a Boolean competitive neural network using ideas from immunology," *Neurocomputing*, vol. 50, pp. 51-85, January 2003.
- [2] A. Acan, "Clonal selection algorithm with operator multiplicity," in *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation*, Portland, OR, June 2004, pp. 1909-1915.
- [3] J. Yoo and P. Hajela, "Immune network simulations in multicriterion design," *Structural Optimization*, vol. 18, no. 2-3, pp. 85-94, 1999.
- [4] S.-J. Huang, "Application of immune-based optimization method for fault-section estimation in a distribution system," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 17, no. 3, pp. 779-784, July 2002.
- [5] N. Tang and V. R. Vemuri, "An artificial immune system approach to document clustering," in *Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, Santa Fe, NM, March 2005, pp. 918-922.
- [6] L. N. de Castro and F. J. von Zuben, "Learning and optimization using the clonal selection principle," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, no. 3, pp. 239-251, June 2002.
- [7] X. Wang, X. Z. Gao, and S. J. Ovaska, "Artificial immune optimization methods and applications – a survey," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, The Hague, The Netherlands, October 2004, pp. 3415-3420.
- [8] D. Dasgupta, "Information processing mechanisms of the immune system," in *New Ideas in Optimization*, D. W. Corne, M. Dorigo, and F. Glover (Ed.), Berkshire, UK: McGraw-Hill, 1999.
- [9] G. L. Ada and G. J. V. Nossal, "The clonal selection theory," *Scientific American*, vol. 257, no. 2, pp. 50-57, 1987.
- [10] L. N. de Castro and J. Timmis, *Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach*. London, UK: Springer-Verlag, 2002.
- [11] L. N. de Castro and F. J. von Zuben, "Artificial immune systems: Part I • Basic theory and applications," Technical Report RTDCA 01/99, FEEC/UNICAMP, Brazil, 1999.
- [12] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. New York, NY: John Wiley & Sons, 1995.
- [13] C. S. Moo, H. L. Cheng, and S. J. Guo, "Designing passive LC filters with contour maps," in *Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, Singapore, May 1997, pp. 834-838.
- [14] A. R. Prasad, P. D. Ziogas, and S. Manlas, "A novel passive waveshaping method for single-phase diode rectifiers," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 37, no. 6, pp. 521-530, December 1990.
- [15] Y.-M. Chen, "Passive filter design using genetic algorithms," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 202-207, February 2003.