

Dobór i optymalizacja konfiguracji zasobnika trakcyjnego

W artykule przedstawiono algorytm doboru magazynów energii elektrycznej. Wybór HESS pozwala na spełnienie warunków obciążenia w sposób optymalny. Jednak ustalenie konfiguracji urządzeń w systemie staje się bardzo złożonym zagadnieniem optymalizacyjnym. Przedstawiono propozycje rozwiązania tego problemu z zastosowaniem algorytmu genetycznego.

1. Wstęp

Zasobniki energii (ESS, ang. energy storage system) stają się jednym z najważniejszych elementów zwiększających ogólną wydajność układów, w których są stosowane. Spektrum zastosowań jest bardzo szerokie: od systemu elektroenergetycznego, pojazdów trakcyjnych do elektroniki mobilnej. Zasobniki energii stosowane w trakcyjnych systemach elektroenergetycznych umożliwiają zarządzanie energią otrzymaną w trakcie hamowania odzyskowego oraz wspomaganie w stanach obniżonego napięcia w sieci trakcyjnej [1]. Magazyny energii o mocy rzędu MW znajdują zastosowanie w systemie elektroenergetycznym, gdzie wykorzystywane są do wyrównywania obciążeń oraz poprawy jakości energii [2]. Prace nad konstrukcją akumulatorów elektrochemicznych, zwłaszcza w technologii litowo-jonowej, wskazują na możliwość zwiększenia ich gęstości energii, która w chwili obecnej wynosi ok. 200Wh/kg, nawet o 300%. Nie mniej, nie są one w stanie dorównać paliwom kopalnym (olej napędowy – 13000Wh/kg). Stają się natomiast poważną alternatywą w przypadku zasilania pojazdów poruszających się w trybie miejskim, w razie ograniczenia dostępu do dostaw ropy oraz w dobie przyspieszających zmian klimatu. Kolejnym problemem w przypadku poszczególnych typów zasobników energii są ograniczenia nie tylko magazynowanej energii, ale także maksymalnej mocy, jaką mogą oddać i przyjąć, liczby cykli, ceny itd. Korzystając z mnogości technologii dostępnych obecnie na rynku oraz różnic w charakterystykach różnych typów zasobników można tworzyć hybrydowe zasobniki energii (HESS, hybryd energy storage system). HESS jest połączeniem dwóch lub więcej typów zasobników w jednym systemie. Takie rozwiązanie pozwala na wykorzystanie zalet poszczególnych magazynów energii i ukrycie ich wad.

Wykorzystanie HESS wymaga opracowania nowych metod doboru i wymiarowania elementów w systemie w zależności od rodzaju aplikacji w jakiej będzie wykorzystywany. W artykule zostanie przedstawiona metoda optymalizacji konfiguracji systemu w oparciu o algorytm genetyczny.

2. Dobór zasobników do obciążenia

Dobór parametrów zasobnika rozpoczyna się od określenia parametrów układu obciążenia. Podstawowe wielkości konieczne do ustalenia to napięcie zasilania U_{DC} , energia E , która ma być zgromadzona w zasobniku, maksymalna moc obciążenia P_{max} , maksymalna moc jaką układ obciążenia będzie oddawał do zasobnika, maksymalny przyrost mocy w czasie dP/dt_{max} oraz temperaturowe warunki pracy układu. Uwzględnić należy również ograniczenia przekształtnika energoelektronicznego, przez który zasobnik jest przyłączony do systemu, jeżeli taki występuje. W przypadku np. superkondensatorów, gdzie wartość napięcia na wyjściu jest w dużym stopniu zależna od stanu naładowania, ograniczona zdolność przekształtnika do podwyższania napięcia nie pozwala na pełne wykorzystanie jego pojemności [3].

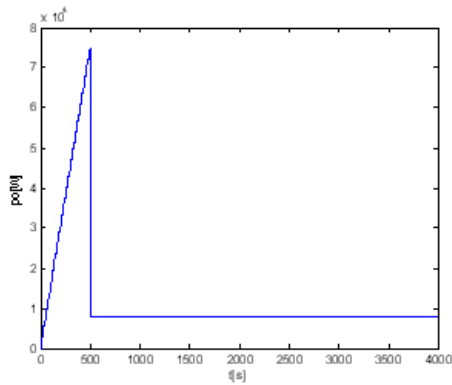
W przypadku wyboru jednolitego typu zasobników spełnienie podanych wyżej parametrów nie jest problemem. Może jednak nastąpić znaczne przewymiarowanie w przypadku jednego z parametrów. Nie będzie to rozwiązanie optymalne, zwłaszcza pod względem kosztów ponieważ obecnie zasobniki energii są najdroższym elementem wielu urządzeń. Wybór HESS pozwala na spełnienie warunków obciążenia w sposób optymalny. Jednak ustalenie konfiguracji urządzeń w systemie staje się bardzo złożonym zagadnieniem optymalizacyjnym. Dlatego do rozwiązania tego problemu wybrano algorytm genetyczny.

3. Implementacja algorytmu oraz wyniki badań

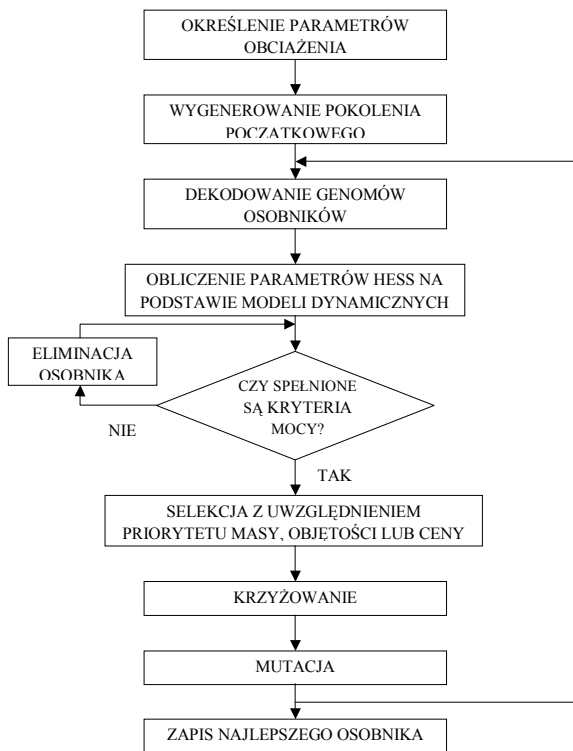
W celu sprawdzenia poprawności działania algorytmu genetycznego wykonano badanie doboru zestawu zasobników do zasilania lekkiego, autonomicznego, elektrycznego pojazdu miejskiego.

• Parametry obciążenia

Przyjęto, że pojazd o masie do 1000kg aby przejechać dystans ok. 80km w cyklu miejskim potrzebuje energii ok. 20kWh. Napięcie $U_{DC}=300V$. Wartości $P_{max}=75kW$ i $dP/dt_{max}=150W/s$ wyznaczono na podstawie krytycznego przebiegu mocy obciążenia pojazdu (rys.1).



Rys. 1. Krytyczny przebieg mocy obciążenia pojazdu.



Rys. 2. Struktura algorytmu genetycznego.

• Parametry elementów HESS

Badania optymalizacji doboru wykonano dla konfiguracji 3 typów zasobników w systemie: superkondensatora jako zasobnika o największej gęstości mocy, akumulatora litowo-jonowego jako zasobnika o największej gęstości energii oraz akumulatora kwasowo-olowiowego jako zasobnika o najniższej cenie w stosunku do gromadzonej energii.

Tabela 1. Parametry zasobników uwzględnionych w optymalizacji.

parametry	superkondensator	Akumulator li-ion	Akumulator lead-acid
Napięcie znamionowe [V]	2,7	3,6	6
Znamionowy prąd rozładowania [A]	30	2,2	1,3
Maksymalny prąd rozładowania [A]	81	4,4	4,5
Pojemność	1200[F]	2,2[Ah]	1,3[Ah]
Masa [kg]	0,26	0,044	0,31
Objętość [m ³]	2,1*10 ⁻⁴	1*10 ⁻⁴	8*10 ⁻⁴
Cena [\$]	30	2	0,5

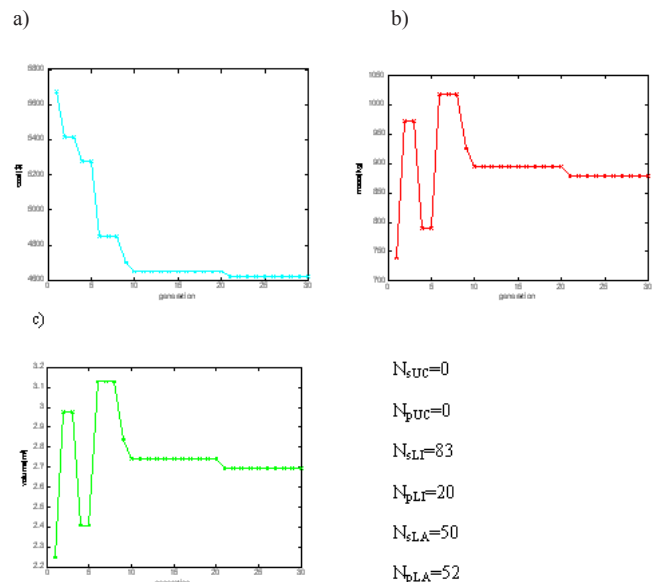
Sprawność przekształtników DC/DC przyjęto na poziomie 0,8, masę $m_c = 0,2\text{kg}$ i cenę 5\$. W układzie wykorzystywany jest przekształtnik półmostkowy typu buck-boost. W związku z tym napięcie zasobnika powinno być nie wyższe niż napięcie U_{DC} i wyższe niż $0,5U_{DC}$ [4]. Przyjęto zatem, że liczba szeregowo połączonych pojedynczych celek zasobników jest stała i równa:

$$N_{si} = \frac{U_{DC}}{U_{Ni}} \quad (1)$$

Gdzie N_{si} i U_{Ni} oznaczają odpowiednio liczbę szeregowo połączonych celek i-tego zasobnika i napięcie pojedynczej celki i-tego zasobnika. Optymalizacji jest poddawana liczba równolegle połączonych gałęzi o liczbie celek wyznaczonych wg (1). W algorytmie istnieje możliwość zmiany priorytetów optymalizacji masy, objętości i ceny, w zależności od potrzeb konkretnego zastosowania.

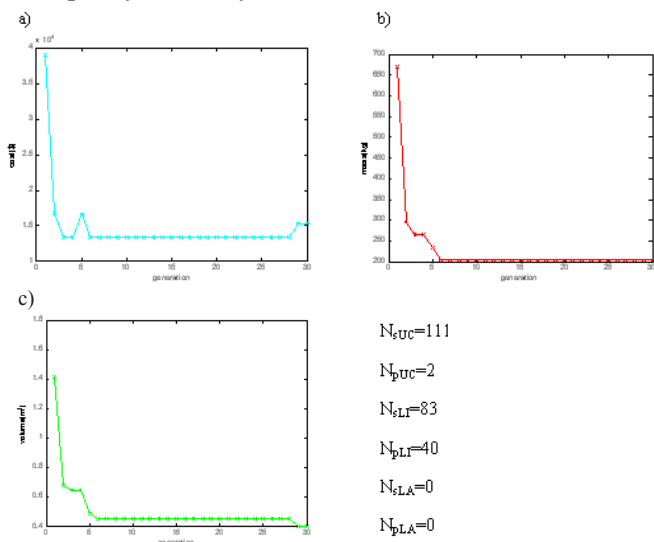
• Wyniki obliczeń algorytmu

Dla priorytetu ceny:



Rys. 3. Wyniki działania algorytmu dla 30 pokoleń i 100 osobników w pokoleniu. Parametry najlepszych osobników w poszczególnych pokoleniach: a) cena, b) masa, c) objętość.

Dla priorytetu masy:



4. Podsumowanie

Wraz z rozwojem technologii magazynowania energii elektrycznej, spektrum zastosowań zasobników hybrydowych będzie rosło [5]. Konieczne zatem będzie opracowanie nowych metod i kryteriów doboru elementów HESS. Jest to złożone zagadnieniem ze względu na różnice w dynamice różnych typów zasobników. Algorytm genetyczny jest dobrym rozwiązaniem ze względu na swoją prostotę oraz możliwość implementacji problemu o dowolnej złożoności.

5. Bibliografia

1. Mohamed I. Daoud, A. S. Abdel-Khalik, A. Elserougi, S. Ahmed, A.M. Massoud; DC Bus Control of an Advanced Flywheel Energy Storage Kinetic Traction System for Electrified Railway Industry. *Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE*, vol., no., pp.6596,6601, 10-13 Nov. 2013.
2. Younghyun Kim, Jason Koh, Qing Xie, Yanzhi Wang, Naehyuck Chang, Massoud Pedram; A scalable and flexible hybrid energy storage system design and implementation. *Journal of Power Sources* 255 (2014) 410e422.
3. Lewandowski M., Orzyłowski M.; Zastosowanie rachunku różniczkowego ułamkowego rzędu do modelowania dynamiki superkondensatorów. *Przegląd Elektrotechniczny* 8/2014, s.13-17.
4. Schupbach R. M., Balda J. C.; Comparing DC-DC Converters for Power Management in Hybrid Electric Vehicles. *IEEE*, 2003.
5. Szelaż A.; Wpływ napięcia w sieci trakcyjnej 3 kV DC na parametry energetyczno-trakcyjne zasilanych pojazdów. *Instytut Naukowo-Wydawniczy SPATIUM*. 2013r.