

Choosing Membership Function for Method of Localization of Additional Reactive Power Sources in a Power Grid Using Fuzzy Logic

Author

Artur Zbroński

Keywords

reactive power compensation, optimalization, fuzzy logic

Abstract

This paper introduces choosing location for additional reactive power sources for a power grid. The fuzzy logic method for localization is described, with special attention focused on choosing the proper fuzzification method, used for reasoning. Results of using such a method are presented for an example power network.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2013414

1. Introduction

Numerous measures are applied to prevent voltage failures in power systems. One of them is based on placing additional reactive power sources in critical grid nodes, used to increase the voltage stability in the area in which they are installed, to ensure quicker recovery of the system in the event of a failure, as well as to reduce reactive power transfer, which results in reduced transmission losses.

Planning of grid development is aimed at optimisation, which uses artificial intelligence systems and expert systems to facilitate decision-making and to obtain satisfactory solutions. Fuzzy logic is used for reasoning in the method for optimising the location of additional reactive power sources, adopted for analysis in this article. Fuzzy logic proposed in the 1960s by Lotfi Zadeh renounces the simple traditional assignment (an element belongs to the set or not), so it is possible to present some imprecise terms in numeric form. That logic assumes that there are intermediate values between 0 and 1, which indicate the degree of membership in the set. Functions that determine the degree of membership are called membership functions.

Selection of a membership function is a very important element in designing an optimisation method that uses fuzzy sets. Expertise, i.e. subjective method, is used to select a proper function. The wrong choice can result in unbelievable results.

2. The proposed method for locating compensators in a power grid

Three basic issues can be distinguished in the context of the location of additional reactive power sources in a power system. The first of them is to determine the compensator location, i.e. to indicate the node or points in which it is recommended to install an additional reactive power source due to improvement of

voltage stability conditions, improvement of voltage profiles, or reduction of transmission losses. Another distinguished issue is to determine the type of source which should be installed at the particular point on the basis of the specified purpose of control. It may be the simplest capacitor bank or more modern power systems like FACTS (SVC, STATCOM). Then, proper compensator parameters should be selected, for example, power rating and a decision made on whether it should be inductive or capacitive. The developed compensator selection method is focused only on the first and last issue. The presented method is based on an analysis of two criteria: voltage levels and voltage sensitivity of points in the analysed grid. The basis of the method algorithm is to establish the above-mentioned parameters for all points of the examined system in many different variants of grid operation. A coefficient calculated in the load flow program is used as a voltage sensitivity ratio at the point. After application of a proper fuzzy function the set values are used as the basis for calculation of membership coefficient $\mu_v(p(w))$ for voltage, $\mu_k(p(w))$ for voltage sensitivity and characterising point $\mu_i(p(w))$. The value of coefficient $\mu_i(p(w))$ is determined on the basis of the product of the two remaining coefficients. The character of fuzzy functions is discussed in more detail in para. 3 of the article.

Two coefficients which characterise points are used when selecting the location of additional reactive power source: $\mu_v(p(w))$ and $\mu_i(p(w))$. The point for which $\mu_i(p(w))$ reaches the lowest value is chosen for installation of the compensator. The coefficient $\mu_v(p(w))$ is applied to check whether voltage is exceeded in the system. The compensator power is selected in such a way that the reactive power injected by it enables maintaining a voltage value ensuring compliance with the voltage criterion at the point (voltage value at the point must not exceed the minimum or maximum value). The algorithm structure is shown in Fig. 1.

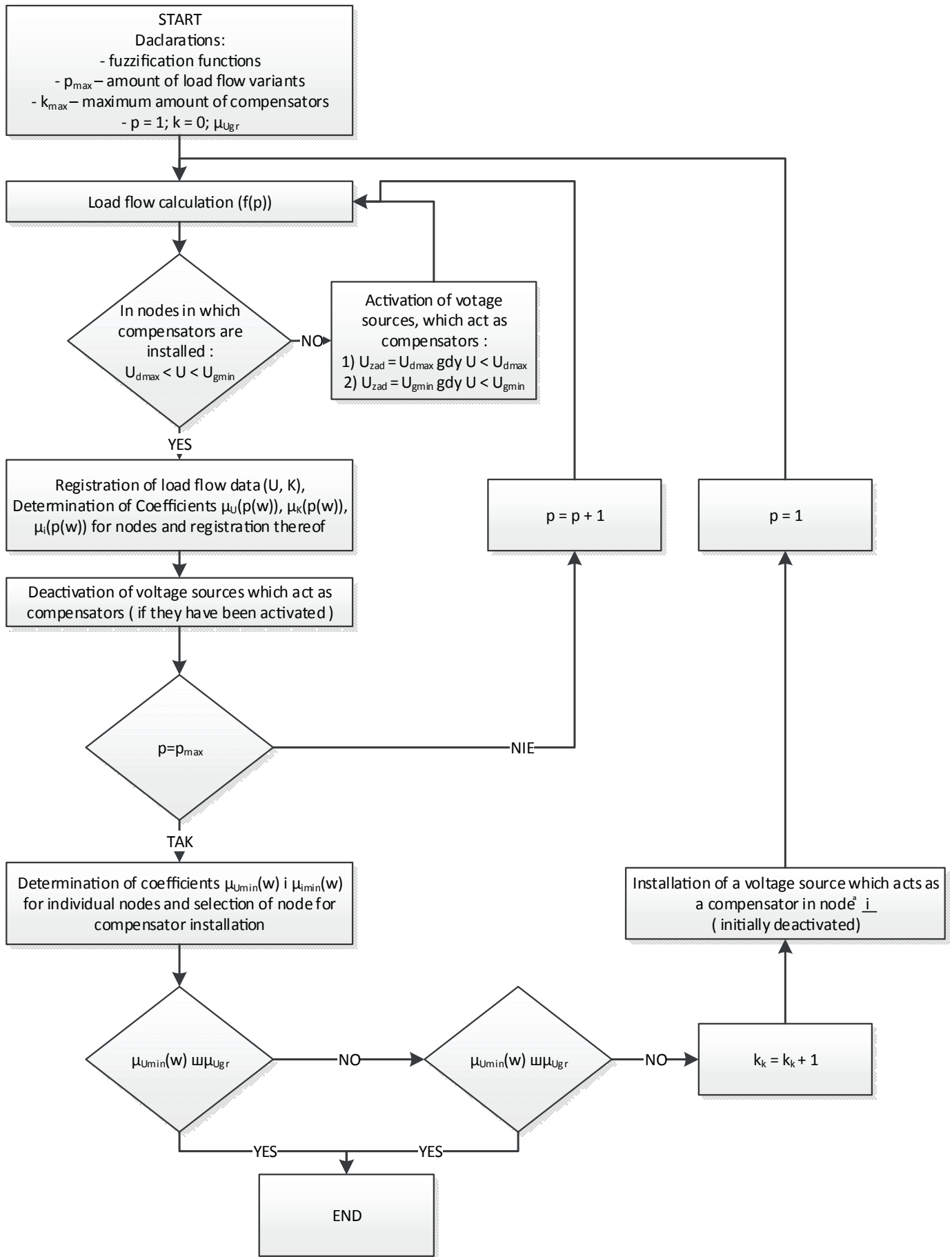


Fig. 1. Algorithm of Method of Localization of Additional Reactive Power Sources in a power system

3. Selection of membership function

In order to obtain reliable results based on the described method it is necessary to properly select membership functions. Membership function maps the variable to the range of [0,1].

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \tag{1}$$

This value, called the degree of membership, indicates the extent to which the element x belongs to the fuzzy set. Many examples of membership functions can be found in the literature [1, 2, 3]. The most common of them are shown below.

3.1. Overview of membership functions

In view of the small number of data needed to define the functions and of easy modification of the function parameters in the course of experiments, polygonal functions are the most common membership functions. The most popular polygonal functions are the triangular function and the trapezoidal function. The so-called intuitive membership function may also be applied; it is assumed that they are differentiable throughout the range of considerations. Such functions include Gaussian function, bell functions or sigmoidal functions. Other forms of membership functions, created for the research purposes on the basis of expert experience, are applied in addition to the ones mentioned above.

Triangular function

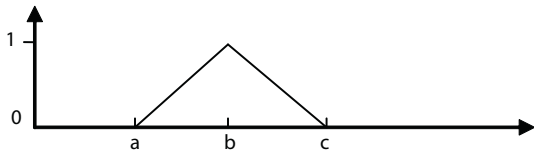


Fig. 2. Example of triangular membership function Trapezoidal function

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{dla } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{dla } x \geq c \end{cases} \tag{2}$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{dla } b \leq x \leq c \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{dla } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{dla } x \geq d \end{cases} \tag{3}$$

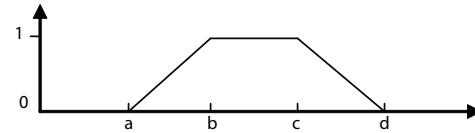


Fig. 3. Example of trapezoidal membership function Bell function

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \tag{4}$$

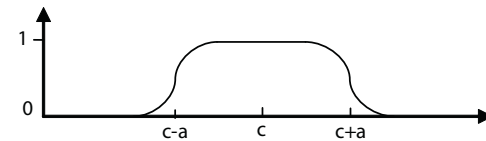


Fig. 4. Example of a bell membership function

3.2. Selection of membership functions to the method applied

The algorithm is based on determination of two parameters, the voltage level at the node and the voltage sensitivity of the point. Membership functions should be set for both of those parameters.

a) Selection of the membership function for voltage level

The voltage level at the point can be defined as “appropriate” when its value is between the set limits U_{min} and U_{max} . Assuming that the term “appropriate” refers to the value greater than zero in Fig. 2-4 shown above, all the above-described membership functions can be assigned to that statement.

Application of the triangular function has been rejected in view of the fact that the range of the voltage for which the appropriate voltage level has a value of 1 is too narrow, and the range is actually narrowed down to a point.

Greater simplicity in use and easy modification of parameters determined the selection of the trapezoidal function as the fuzzy function for voltage in the method applied.

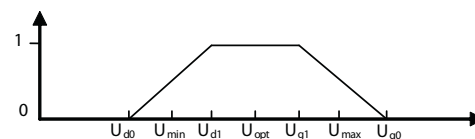


Fig. 5. The membership function for voltage applied in the proposed method

where:

$$U_{d0} = U_{\min} - 0,5 \left(\frac{U_{\max} + U_{\min} - U_{\min}}{2} \right) \quad (5)$$

$$U_{d1} = U_{\min} + 0,5 \left(\frac{U_{\max} + U_{\min} - U_{\min}}{2} \right) \quad (6)$$

$$U_{g1} = U_{\max} - 0,5 \left(U_{\max} - \frac{U_{\max} + U_{\min}}{2} \right) \quad (7)$$

$$U_{g0} = U_{\max} + 0,5 \left(U_{\max} - \frac{U_{\max} + U_{\min}}{2} \right) \quad (8)$$

There is an area around voltage U_{opt} , specified as the centre of the range min-max, for which the voltage is perfectly appropriate, so the value of the membership function is 1. It should be noted that the value of the membership function for the maximum and minimum value is 0.5, even though the value is not “appropriate”. This can be used to differentiate, if voltage is exceeded at several points.

b) Selection of the membership function for voltage sensitivity

The voltage sensitivity value at the point may be defined as “appropriate” if it is as close to 0 as possible, and the voltage at that point does not exceed the limit values. This means that the higher the value, the more the point condition moves away from the “proper” value. The functions presented in para. 3.1 also have their one-sided counterparts, and the one-sided triangular function has been selected due to easy modification. Fig. 6 shows the membership function applied for voltage sensitivity.

It is assumed that K_{max} is equal the inverse of twice the short-

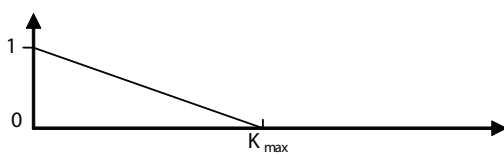


Fig. 6. Membership function for voltage sensitivity applied in the proposed method

-circuit power at the point. With such an operation, an increase in the voltage sensitivity for the point results in reduction of the coefficient that determines the sensitivity value as “appropriate”.

4. Results of model-based tests

Simulations on the tested model were carried out to show the result of operation of the method for selection of compensator location. The selected results illustrating the values of calculated membership coefficients are shown.

The algorithm has indicated that it is necessary to install two compensators in the system. Installation place and ranges set for those power compensators are shown in Tab. 1.

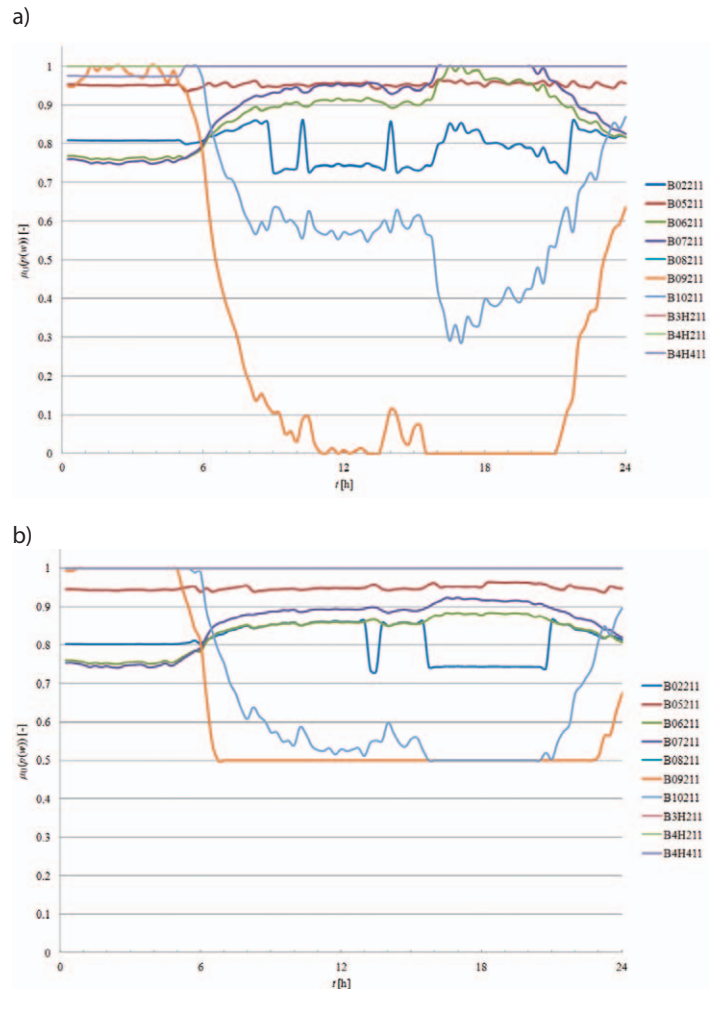


Fig. 7. Results of coefficient $\mu_U(p(w))$ in the points of sample grid: a) output system, b) system after introduction of compensators

Point	Set range of reactive power [Mvar]	
B09211	0	74.8
B10211	-2.9	12.6

Tab. 1. Points selected for installation of compensator and ranges of powers generated in respective variants

Fig. 7a shows the values set for voltages of membership coefficients. As it may be seen, the value of this coefficient exceeds 0.5 at two points. It indicates that the voltage at the point significantly exceeds the range of voltages permitted at the point. Those points have been selected for installation of a compensator and – as shown in Fig. 7b – the membership coefficient does not exceed 0.5, thus they achieve only limit values in those variants. The impact of the installed compensators can be seen in many points of the system.

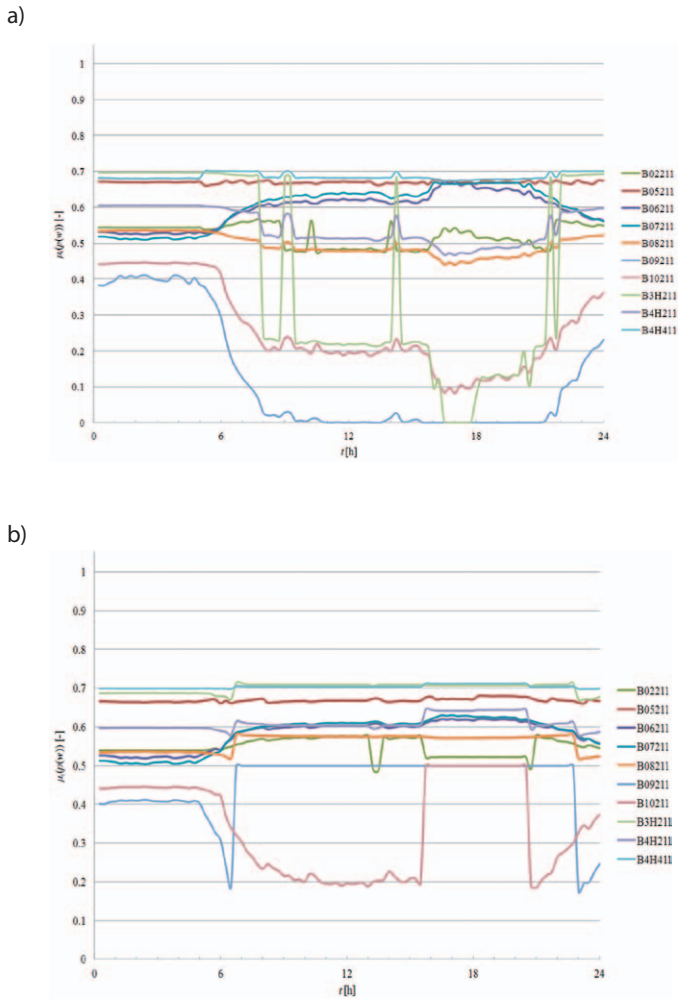


Fig. 8. Results of coefficient $\mu(p(w))$ in the points of sample grid: a) output system, b) system after introduction of compensators

5. Conclusions

Properties of fuzzy sets allow describing phenomena so that they resemble human perception. They help to establish certain intuitive principles, which can be applied in optimisation processes. A very important element of application of fuzzy logic in considerations is the appropriate selection of structure and parameters of the fuzzy function. This requires knowledge of the particular phenomenon. With the application of relevant operations on the obtained results, many parameters may be used for analysis. The presented method is in the development phase, other parameters determining the selection of location may be added, such as reduction of transmission losses or economic analysis. Moreover, the method should be combined with optimisation of flows in the system to avoid introduction of an unnecessary device in the cases where an improper condition can be improved by switching operations.

REFERENCES

1. Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., Introduction to fuzzy control, Warsaw 1996.
2. Jyh-Shing, Jang R., Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Computational Approach to Learning and Machine, 1997.
3. Zadeh L.A., Fuzzy Sets: Information and control, 1965.
4. Kowalak R., Zajczyk R., Zbroński A., Location of reactive power sources in a power system with the use of the fuzzy set method, *Wiadomości Elektrotechniczne* 2013, issue 1.
5. Kowalak R. et al., Static compensators and their location in a transmission network, *Energetyka XXIII OWE*, Katowice 2012.

Artur Zbroński

Gdańsk University of Technology
e-mail: a.zbronski@ely.pg.gda.pl

A graduate of the Faculty of Electrical and Control Engineering of Gdańsk University of Technology, author of the thesis "Power unit, coordination between generator control algorithms and unit transformer control algorithms". He is a doctoral student and assistant at the Faculty of Electrical and Control Engineering of Gdańsk University of Technology.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 172–176. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Wybór funkcji przynależności dla wyszukiwania lokalizacji dodatkowych źródeł mocy biernej metodą zbiorów rozmytych

Autor

Artur Zbroński

Słowa kluczowe

kompensacja mocy biernej, optymalizacja, zbiory rozmyte

Streszczenie

Przedmiotem artykułu jest tematyka związana z wyborem lokalizacji dodatkowych źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym. Opisywana jest metoda wyboru lokalizacji za pomocą optymalizacji z wykorzystaniem logiki rozmytej, przy szczególnym zwróceniu uwagi na wybór funkcji rozmywających stosowanych do wnioskowania. Przedstawione są wyniki stosowania metody w przykładowym systemie elektroenergetycznym.

1. Wstęp

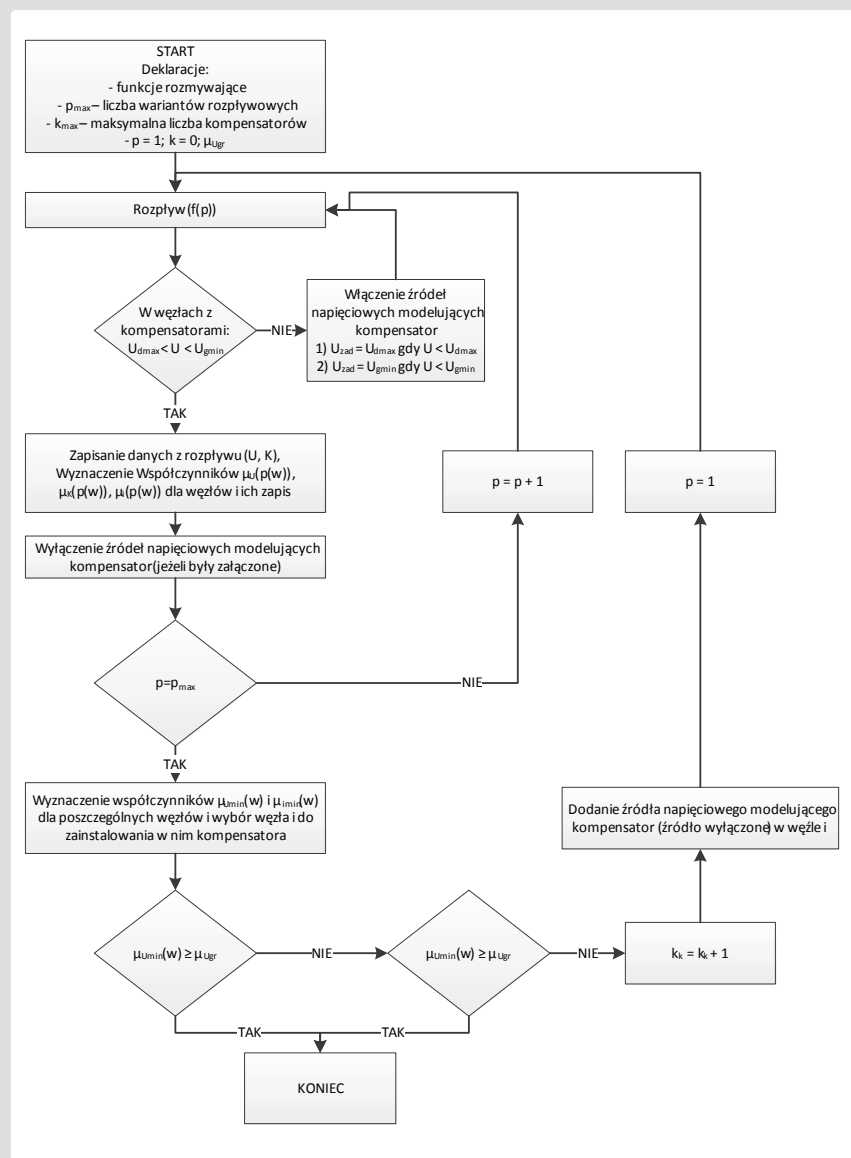
W celu zapobiegania awariom napięciowym systemu elektroenergetycznego stosuje się wiele różnych środków. Jednym z nich jest umieszczanie w niewralgicznych węzłach sieci dodatkowych źródeł mocy biernej, których celem jest zwiększenie stabilności napięciowej obszaru, w jakim są zainstalowane, zapewnienie szybszej odbudowy systemu po wystąpieniu awarii, a także zmniejszenie przesyłu mocy biernej, co skutkuje zmniejszonymi stratami przesyłowymi. Planowanie rozwoju sieci jest zagadnieniem optymalizacyjnym, przy którym korzysta się z systemów sztucznej inteligencji i systemów eksperckich, ułatwiających podejmowanie decyzji oraz pozwalających uzyskać zadowalające rozwiązania.

W przyjętej do badań w tym artykule metodzie, optymalizującej lokalizację dodatkowych źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym, do wnioskowania wykorzystuje się logikę rozmytą. Zaproponowana w latach 60. zeszłego wieku przez Lotfi Zadeha logika rozmyta rezygnuje z prostego tradycyjnego przyporządkowania (element należy do zbioru bądź nie należy), dzięki czemu pozwala na przedstawienie pewnych nieprecyzyjnych pojęć w postaci numerycznej. W logice tej przyjmuje się, że pomiędzy stanami 0 a 1 znajdują się pewne wartości pośrednie, które określają stopień przynależności danego elementu do zbioru. Funkcje określające stopień przynależności nazywa się funkcjami przynależności.

Wybór funkcji przynależności jest bardzo ważnym elementem konstruowania metody optymalizacyjnej wykorzystującej zbiory rozmyte. Do doboru właściwej funkcji korzysta się z wiedzy eksperckiej, czyli w sposób subiektywny. Niewłaściwy dobór funkcji może skutkować niewiarygodnymi wynikami.

2. Proponowana metoda lokalizacji kompensatorów w sieci elektroenergetycznej

Przy omawianiu problematyki rozmieszczenia dodatkowych źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym można wyróżnić trzy podstawowe zagadnienia. Pierwszym jest określenie lokalizacji kompensatora, czyli wskazanie



Rys. 1. Algorytm metody lokalizacji dodatkowych źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym

węzła bądź węzłów, w których wskazane jest zainstalowanie dodatkowego źródła mocy biernej ze względu na polepszenie warunków stabilności napięciowej, poprawę profili napięciowych bądź ograniczenie strat przesyłowych. Drugim wyróżnionym zagadnieniem jest określenie rodzaju źródła, które należy zainstalować w danym węźle, na podstawie określonego celu regulacji. Może to być najprostsza bateria kondensatorów bądź bardziej nowoczesne układy energoelektroniczne typu FACTS (SVC, STATCOM). Następnie należy dobrać odpowiednie parametry kompensatora, takie jak moc znamionowa i określenie, decydując czy ma mieć charakter indukcyjny bądź pojemnościowy. Opracowana metoda doboru kompensatora skupia się wyłącznie na pierwszym oraz ostatnim zagadnieniu.

Prezentowana metoda opiera się na analizie dwóch kryteriów: poziomów napięć oraz podatności napięciowej węzłów analizowanej sieci. Podstawą działania algorytmu metody jest wyznaczenie wyżej wymienionych parametrów dla wszystkich węzłów badanego systemu w wielu różnych wariantach pracy sieci. Jako wskaźnik podatności napięciowej węzła wykorzystywany jest współczynnik obliczany w programie rozplwywowym. Po zastosowaniu odpowiedniej funkcji rozmywającej na podstawie wyznaczonych wartości oblicza się współczynniki przyporządkowania $\mu_U(p(w))$ dla napięcia, $\mu_K(p(w))$ dla podatności napięciowej oraz charakteryzujący węzeł $\mu_i(p(w))$. Wartość współczynnika $\mu_i(p(w))$ wyznacza się na podstawie iloczynu pozostałych dwóch współczynników. Charakter funkcji rozmywających jest szerzej opisany w punkcie 3 artykułu.

Przy wyborze lokalizacji dodatkowego źródła mocy biernej korzysta się z dwóch współczynników charakteryzujących węzły: $\mu_U(p(w))$ oraz $\mu_i(p(w))$. Węzeł, dla którego $\mu_i(p(w))$ osiąga wartość najniższą, typowany jest do zainstalowania w nim kompensatora. Współczynnik $\mu_U(p(w))$ ma na celu sprawdzenie, czy w systemie występują przekroczenia napięciowe. Moc kompensatora dobierana jest w taki sposób, aby wstrzykiwana przez niego moc bierna pozwalała na utrzymanie w węźle takiej wartości napięcia, które zapewni spełnienie kryterium napięciowego (wartość napięcia w węźle nie ma przekraczać wartości minimalnej bądź maksymalnej). Strukturę algorytmu metody zaprezentowano na rys. 1.

3. Dobór funkcji przynależności

Chcąc na podstawie opisanej metody otrzymać wiarygodne wyniki, należy odpowiednio dobrać funkcje przynależności. Funkcja przynależności realizuje odwzorowanie danej zmiennej do przedziału z zakresu [0,1].

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Wartość ta, zwana stopniem przynależności, informuje, w jakim stopniu element x należy do zbioru rozmytego. W literaturze [1, 2, 3] można znaleźć wiele przykładów funkcji przynależności. Poniżej przedstawione zostały najbardziej uniwersalne.

3.1. Przegląd funkcji przynależności

Ze względu na małą liczbę danych potrzebnych do zdefiniowania funkcji oraz łatwość modyfikacji parametrów funkcji w trakcie prowadzenia doświadczeń, najpopularniejszymi

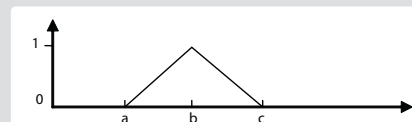
funkcjami przynależności są funkcje wielokątne. Najpopularniejszymi funkcjami wielokątnymi są funkcja trójkątna oraz trapezowa.

Można również stosować tzw. intuicyjne funkcje przynależności, których założeniem jest, że są różniczkowalne w całym zakresie rozważań. Wśród takich funkcji można wyróżnić funkcję Gaussa, dzwonowe funkcje bądź funkcje sigmoidalne.

Poza wymienionymi stosuje się również inne formy funkcji przynależności, stworzone na potrzeby badawcze na podstawie doświadczeń ekspertów.

Funkcja trójkątna

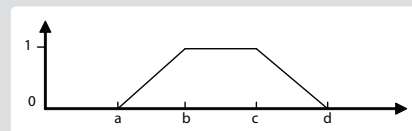
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{dla } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{dla } x \geq c \end{cases} \quad (2)$$



Rys. 2. Przykład trójkątnej funkcji przynależności

Funkcja trapezowa

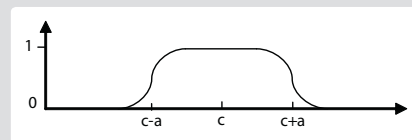
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{dla } b \leq x \leq c \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{dla } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{dla } x \geq d \end{cases} \quad (3)$$



Rys. 3. Przykład trapezowej funkcji przynależności

Funkcja dzwonowa

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (4)$$



Rys. 4. Przykład dzwonowej funkcji przynależności

3.2. Dobór funkcji przynależności do stosowanej metody

Podstawą działania algorytmu jest wyznaczenie dwóch parametrów, poziomu napięcia

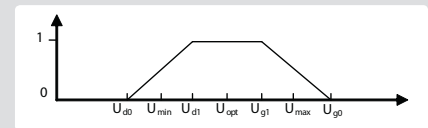
w węźle oraz podatności napięciowej węzła. Dla obu tych parametrów należy wyznaczyć funkcje przynależności.

a) Dobór funkcji przynależności dla poziomu napięcia

Poziom napięcia w węźle można określić jako „właściwy” wtedy, gdy jego wartość zawiera się między ustalonymi granicami U_{min} oraz U_{max} . Przyjmując, że określenie „właściwy” odnosi się do wartości większej niż zero na pokazanych wcześniej rys. 2–4, wszystkie opisane powyżej funkcje przynależności można przypisać do tego stwierdzenia.

Ze względu na zbytnie zawężenie zakresu napięcia, dla którego napięcie ma poziom właściwy o wartości 1, a właściwie sprawdzenie tego zakresu do punktu, odrzucono zastosowanie funkcji trójkątnej.

Większa prostota w korzystaniu oraz łatwość modyfikacji parametrów zdecydowała o wyborze funkcji trapezowej jako funkcji rozmywającej poziom napięcia w zastosowanej metodzie.



Rys. 5. Funkcja przynależności dla napięcia zastosowana w proponowanej metodzie

gdzie:

$$U_{d0} = U_{min} - 0,5 \left(\frac{U_{max} + U_{min}}{2} - U_{min} \right) \quad (5)$$

$$U_{d1} = U_{min} + 0,5 \left(\frac{U_{max} + U_{min}}{2} - U_{min} \right) \quad (6)$$

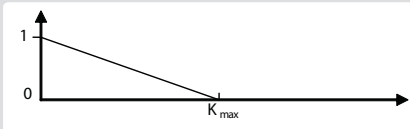
$$U_{g1} = U_{max} - 0,5 \left(U_{max} - \frac{U_{max} + U_{min}}{2} \right) \quad (7)$$

$$U_{g0} = U_{max} + 0,5 \left(U_{max} - \frac{U_{max} + U_{min}}{2} \right) \quad (8)$$

Wokół napięcia U_{opt} , określonego jako środek przedziału min.-max, występuje obszar, dla którego napięcie jest doskonale właściwe, więc funkcja przynależności przyjmuje wartość 1. Należy zauważyć, że wartość funkcji przynależności dla wartości maksymalnej i minimalnej wynosi 0,5, mimo że napięcie nie jest „właściwe”. Można w ten sposób różnicować, jeżeli wystąpi sytuacja, w której w kilku węzłach nastąpi przekroczenie napięciowe.

b) Dobór funkcji przynależności dla wartości podatności napięciowej

Wartość podatności napięciowej węzła można określić jako „właściwą”, jeżeli jest jak najbliższa 0, a napięcie w tym węźle nie przekracza wartości dozwolonych. Oznacza to, że im większa ta wartość, tym bardziej sytuacja węzła oddala się od „właściwej”. Zaprezentowane w punkcie 3.1 funkcje mają również swoje jednostronne odpowiedniki, a ze względu na prostotę modyfikacji wybrano jednostronną funkcję trójkątną. Rys. 6 przedstawia zastosowaną dla podatności napięciowej funkcję przynależności.



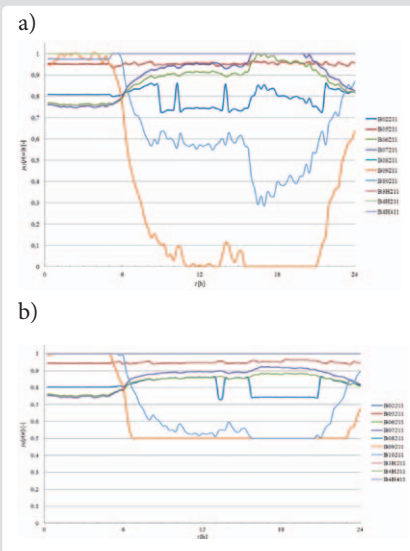
Rys. 6. Funkcja przynależności dla podatności napięciowej zastosowana w proponowanej metodzie

Współczynnik K_{max} przyjęto jako odwrotność dwukrotności mocy zwarciowej węzła. Dzięki takiej operacji, gdy dla węzła podatność napięciowa się zwiększy, zmniejszy się współczynnik określający wartość podatności jako „właściwą”.

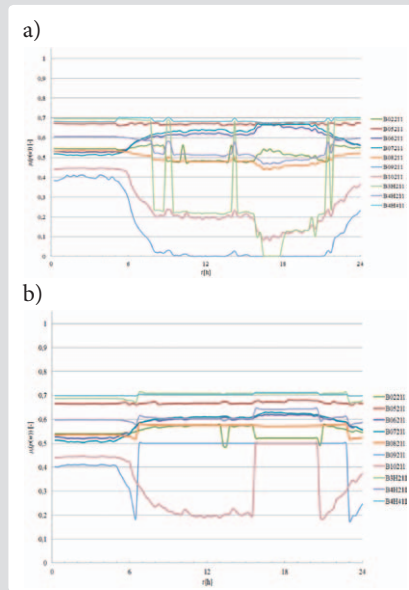
4. Wyniki badań modelowych

Aby przedstawić rezultat działania metody doboru lokalizacji kompensatorów, przeprowadzono badania symulacyjne na testowym modelu. Przedstawiono wybrane wyniki obrazujące, w jaki sposób kształtują się wartości obliczonych współczynników przynależności.

Działanie algorytmu wykazało potrzebę zainstalowania w układzie dwóch kompensatorów. Miejsce zainstalowania oraz zakresy wyznaczonych dla tych kompensatorów mocy przedstawiono w tab. 1.



Rys. 7. Wyniki wartości współczynnika $\mu_i(p(w))$ w węzłach przykładowej sieci: a) układ wyjściowy, b) układ po wprowadzeniu kompensatorów



Rys. 8. Wyniki wartości współczynnika $\mu_i(p(w))$ w węzłach przykładowej sieci: a) układ wyjściowy, b) układ po wprowadzeniu kompensatorów

Węzeł	Wyznaczony zakres mocy biernej [Mvar]	
B09211	0	74,8
B10211	-2,9	12,6

Tab. 1. Węzły wybrane do zainstalowania kompensatora oraz zakresy mocy generowanych w różnych wariantach

Na rys. 7a przedstawiono wartości wyznaczone dla napięć współczynników przynależności. Jak widać, w dwóch węzłach występuje sytuacja, w której wartość tego współczynnika przekracza wartość 0,5. Wynika z tego, że napięcie w węzle znacznie przekracza zakres napięć dozwolonych w danym węzle. Węzły te zostały wytypowane do zainstalowania kompensatora i – jak widać na rys. 7b – wartości współczynnika przynależności nie przekraczają wartości 0,5, tym samym w tych wariantach osiągają jedynie wartości graniczne. Wpływ zainstalowanych kompensatorów widać w wielu węzłach systemu.

5. Wnioski

Własności zbiorów rozmytych pozwalają na przybliżenie zjawisk, tak aby przypominały ludzkie postrzeganie. Pomaga to tak skonstruować pewne intuicyjne zasady, aby można było je zastosować w procesach optymalizacyjnych.

Bardzo ważnym elementem zastosowania logiki rozmytej w rozważaniach jest właściwy dobór kształtu oraz parametrów funkcji rozmywającej. Niezbędna jest do tego wiedza o danym zjawisku. Zastosowanie odpowiednich operacji na otrzymanych wynikach pozwala na wykorzystanie wielu parametrów do analizy.

Prezentowana metoda jest w fazie rozwoju, można dodać inne parametry decydujące o wyborze lokalizacji, takie jak ograniczenie strat przesyłowych bądź analiza ekonomiczna. Należy również połączyć tę metodę z optymalizacją rozptyłów w systemie, aby nie wprowadzać niepotrzebnego urządzenia w sytuacji, gdy niewłaściwy stan można poprawić za pomocą operacji łączeniowych.

Bibliografia

1. Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., Wprowadzenie do sterowania rozmytego, Warszawa 1996.
2. Jyh-Shing, Jang R., Neuro-Fuzzy and Soft Computing, A Computational Approach to Learning and Machine, 1997.
3. Zadeh L.A., Fuzzy Sets: Information and control, 1965.
4. Kowalak R., Zajczyk R., Zbroński A., Lokalizacja źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym z wykorzystaniem metody zbiorów rozmytych, *Wiadomości Elektrotechniczne* 2013, nr 1.
5. Kowalak R. i in., Stacyjne kompensatory bocznikowe i ich lokalizacja w sieci przesyłowej, *Energetyka XXIII OWE*, Katowice 2012.

Artur Zbroński

mgr inż.

Politechnika Gdańska

e-mail: a.zbroński@ely.pg.gda.pl

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, autor pracy magisterskiej pt. „Blok wytworczy, koordynacja algorytmów sterowania generatorem z algorytmami sterowania transformatorem blokowym”. Jest doktorantem oraz asystentem na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej.