

SERAFIN Ewa

MODELOWANIE URZĄDZEŃ W ELEKTROENERGETYCE

Streszczenie

Niniejszy artykuł przedstawia komputerowe metody stosowane do modelowania i symulacji urządzeń elektroenergetycznych. Omówiono zasady modelowania obiektów technicznych, podano przykładowe klasyfikacje modeli i metody modelowania. Zaprezentowano niedawno opracowany symulator KSE.

WSTĘP

Zastosowane technik komputerowych do modelowania i symulacji zjawisk w procesie generacji energii i jej przesyłania pozwala na bardzo elastyczne podglądanie, często niedostępnych w inny sposób zależności. Jest to przydatne w technice - zarówno do analizy zjawisk, jak i do weryfikacji pomysłów konstrukcyjnych. Zachowanie systemów dynamicznych może być śledzone poprzez analizę ich opisów (modeli) matematycznych [7].

W klasycznym podejściu, model matematyczny zjawiska jest zazwyczaj formułowany w odniesieniu do czasu ciągłego (model ciągły). W przypadku komputerowej symulacji, ciągły model należy zamienić na model dyskretny. Ta transformacja nie jest jednoznaczna, gdyż różniczkowanie lub całkowanie może być w różny sposób przedstawiane w modelu dyskretnym.

Wybór określonej metody modelowania w istotny sposób wpływa na właściwości modelu cyfrowego. Po to, aby można było zbudować numeryczny model rzeczywistego obiektu, a uzyskiwane z takiego modelu wyniki obliczeń odpowiadały rzeczywistości, niezbędna jest wiedza i doświadczenie praktyczne na temat zjawisk fizycznych zachodzących w rzeczywistych obiektach poddawanych modelowaniu numerycznemu [1].

Niniejszy artykuł dotyczy metod komputerowych stosowanych do modelowania i symulacji urządzeń elektroenergetycznych.

1. MODELOWANIE OBIEKÓW TECHNICZNYCH

Modele tworzymy po to, by za ich pomocą badać interesujące nas zjawiska. Modele to zazwyczaj układy równań lub symulacje komputerowe.

Model powinien być użyteczny, co oznacza, że:

- jego badanie nie powinno być trudniejsze od badania zjawiska, które opisuje;
- zachowanie modelu powinno być zbliżone do modelowanego zjawiska.

Pierwszym krokiem budowania modelu jest określenie celu modelowania, związane z tym wymagania i środki użyte do budowy modelu oraz ustalenie jaki fragment rzeczywistości ma odzwierciedlać model [3,4].

Podjęte decyzje są podstawą dla ustalenia postaci modelu, a w rezultacie dla określenia jego klasy. Dwie główne klasy modeli to **modele strukturalne**, które odzwierciedlają wybrane elementy systemu oraz relacje między nimi oraz **modele funkcjonalne**, które odzwierciedlają wpływ wybranych elementów i relacji na sposób funkcjonowania i sterowania systemem.

Innym kryterium klasyfikacji są środki wykorzystane do budowy modelu, przy uwzględnieniu sposobu odzwierciedlenia wybranych własności, procesów i związków zachodzących w modelowanym systemie oraz celu badań, któremu jest podporządkowany charakter poszukiwanych informacji. Według takich kryteriów, modele można podzielić na:

1. modele materialne,
2. modele idealne,
3. modele sformalizowane,

W zależności od charakteru badanego zjawiska, model może mieć różną postać. Modele można zatem dzielić na różne rodzaje lub typy, z punktu widzenia różnych kryteriów klasyfikacyjnych. Modele można klasyfikować modele ze względu na:

1. rodzaj prawidłowości statystycznych,
 - modele struktury (rozkładu),
 - modele dynamiki i wahań (tendencji rozwojowej),
 - modele związku w czasie,
 - modele związku w przestrzeni,
2. liczbę zmiennych w modelu,
 - modele z jedną zmienną objaśniającą,
 - modele z wieloma zmiennymi objaśniającymi,
3. postać analityczną związku funkcyjnego,
 - modele liniowe,
 - modele nieliniowe,
4. uwzględnienie czynnika czasu,
 - modele statyczne,
 - modele dynamiczne,
5. liczbę równań w modelu,
 - modele oparte na jednym równaniu,
 - modele wielorównaniowe,

Przytoczone powyżej klasyfikacje modeli są często stosowane ale nie wyczerpują wszystkich możliwości klasyfikowania.

1.1. Zasady modelowania matematycznego

Określenie struktury modelu następuje na podstawie praw rządzących zjawiskami, danych doświadczalnych i innych danych uzyskanych w procesie obserwacji oraz wnioskowania logicznego. Celem tego działania jest uzyskanie możliwie wiernego odwzorowania struktury i związków między zmiennymi modelu

Model fizyczny

Skład i struktura modelu fizycznego powinny odzwierciedlać w uproszczonej formie fragmenty składu i struktury modelowanego systemu,. W rezultacie wyboru badanego segmentu systemu oraz uproszczeń dokonanych przez badacza zostaje określony zbiór zmiennych, i co za tym idzie reguł interakcji w modelu fizycznym.

Model matematyczny

Modelami matematycznymi systemów dyskretnych i ciągłych są najczęściej układy równań.

Zmienne opisowe modelu zgodnie z kryteriami matematycznymi można podzielić na dwie grupy, a mianowicie:

a) funkcje czasu $w(t)$, które przyporządkowują każdemu zdarzeniu określoną wielkość i reprezentują zmienne wejścia, wyjścia i stanu. Funkcje te tworzą wektor:

$$w(t) = [w_1(t), w_2(t), \dots, w_r(t), \dots, w_n(t)]^T \quad (1)$$

W zależności od charakteru modelowanego systemu i przyjętego sposobu opisu, współrzędne $w_r(t)$, mogą być funkcjami zdeterminowanymi, probabilistycznymi lub stochastycznymi;

b) parametry s_k , spełniają ważną rolę w sformalizowanym opisie modelu fizycznego. Są to zmienne, ale w danym modelu matematycznym pozostają stałe. Parametry te tworzą wektor s wielkości, które opisują skład i strukturę badanego modułu systemu:

$$s = [s_1, s_2, \dots, s_k, \dots, s_m]^T \quad (2)$$

gdzie: $k = 1, 2, \dots, m$ - skończony ciąg indeksów.

Przy założeniu, że istnieje operator $\Psi(t)$, dla którego zmienne oraz parametry można zapisać w postaci wektorów, ogólna postać modelu matematycznego może być przedstawiona w postaci []:

$$\Psi(t)[z(t), \frac{dz(t)}{dt}, \frac{d^2z(t)}{dt^2}, s, t] = 0 \quad (3)$$

Jest to ogólna, różniczkowa postać zapisu modelu matematycznego, który jest odzwierciedleniem modelu fizycznego, badanego modułu systemu [1,2].

Użyteczny model matematyczny, powinien zapewniać:

- istnienie i jednoznaczność rozwiązania równań, z których jest zbudowany,
- możliwość uzyskania wyników ilościowych,
- możliwość empirycznego porównania tych wyników z wielkościami wytwarzanymi przez modelowany system.

Modele matematyczne, uzyskane w rezultacie omówionego procesu modelowania, pozwalają rozwiązywać *zadania analizy, identyfikacji i syntezy*.

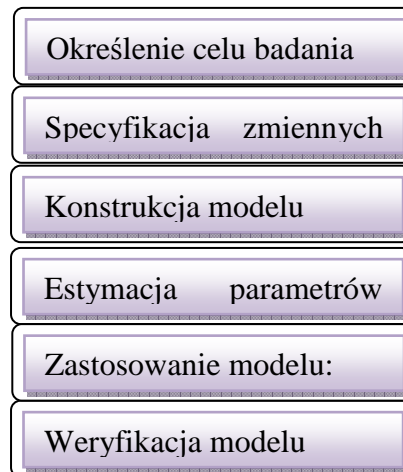
1.2. Istota symulacji i eksperymentu symulacyjnego

Problemy występujące w rzeczywistym świecie są na tyle złożone, że stosowane modele matematyczne (lub inne formalne modele) zjawisk związanych z tymi problemami nie wystarczą do ich odwzorowania. Symulacja pozwala na obserwację zachowania systemu.

Symulacja komputerowa jest to, metoda wnioskowania o zachowaniu się obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji programów komputerowych symulujących to zachowanie. Stosowana, gdy bezpośrednie obserwowanie zachowania się obiektu jest trudne lub niemożliwe.

Model symulacyjny można przedstawić na różne sposoby: przy pomocy języka naturalnego, schematów graficznych, wzorów matematycznych, a także bezpośrednio w języku programowania wysokiego poziomu (języku symulacyjnym).

Schemat postępowania w trakcie badania:



Ważnym elementem projektowania modelu symulacyjnego jest dokładne określenie związków, relacji, zachowań obiektów i ich cech z systemu rzeczywistego do algorytmów sterujących zachowaniem się modelu. Tylko prawidłowe i wierne odwzorowanie obiektu za pomocą modelu symulacyjnego pozwala na osiągnięcie postawionego celu. Poziom szczegółowości takiego odwzorowania jest determinowany przez modelującego system.

1.3. Problem walidacji i weryfikacji modeli symulacyjnych

Weryfikacja jest sprawdzeniem poprawności przekształcenia modelu matematycznego (formalnego) do postaci programu komputerowego. Walidacja (zasadność) modelu polega na wykazaniu i udowodnieniu, że model komputerowy w środowisku eksperymentu posiada zadowalający stopień dokładności, zgodny z zamierzonym zastosowaniem modelu. Czynności walidacji i weryfikacji modeli symulacyjnych realizowane są na trzech zasadniczych poziomach symulacji: systemu rzeczywistego, modelu konceptualnego, modelu operacyjnego.

1.4. Testowanie

Jednym ze sposobów podniesienia jakości jest testowanie. Najprostsze testowanie przeprowadza się interaktywnie, poprzez uruchomienie aplikacji, wykonaniu kilku operacji i obejrzenie wyników. Postulat nieinteraktywności testów wymaga jednak by aplikacja była testowana bez ingerencji człowieka.

Do automatycznego testowania konieczny jest bliższy dostęp do aplikacji niż tylko przez jej najwyższą warstwę - interfejs użytkownika. Stabilniejszą podstawę testów stanowi tzw. model aplikacji.

2. ELEMENTY SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Jedną z najbardziej znanych metod analizy systemu elektroenergetycznego jest metoda analizy stanu ustalonego dla sinusoidalnych prądów i napięć, gdzie zakłada się pełną liniowość elementów obwodu (układ LTI – linowy niezmienny w czasie). Wielkości układowe (prądy, napięcia, moce) są tutaj reprezentowane w postaci wartości bezwzględnych i kąta fazowego, a odbiorniki opisuje się za pomocą zespolonej impedancji wyznaczonej dla częstotliwości podstawowej.[5]

Do opracowania modelu obiektu niezbędne są dane wejściowe o wymaganej jakości formie i liczności. Jest to etap wstępny, umożliwiający uzyskiwanie pewnego poglądu na rozwiązanie problemu, w tym informacji o nowych metodach, które mogą być zastosowane do jego rozwiązania. Ponadto dane wejściowe pozwalają na opracowanie modelu procesu o

odpowiedniej szczegółowości według zasady minimalnej liczby obiektów, wymaganych do osiągnięcia celów projektu w sposób jak najprostszy. Do podstawowych informacji o budowanym modelu urządzenia w SEE można zaliczyć:

- dane o obiektach systemu (rodzaj i liczba urządzeń, plany konserwacji i napraw),
- wydajność systemu,
- proces technologiczny,
- kolejność wykonywania operacji,
- liczbę i kwalifikacje pracowników,
- koszty surowców, robocizny bezpośredniej,
- inne.

3. SYMULATOR KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTRO-ENERGETYCZNEGO

We wrześniu br. został oddany do użytkowania Symulator KSE uważany przez specjalistów za jeden z najnowocześniejszych ośrodków szkoleniowych dla służb ruchowych OSP i OSD. Symulator wiernie odtwarza działanie dziesiątków tysięcy elementów systemu i umożliwia zarówno szkolenia dyspozytorów jak i realizację funkcji analitycznych, np. analizę rzeczywistych awarii, jak i badanie działania automatyki systemowej [2].

Symulator odtwarza działanie KSE - wszystkie stacje i rozdzielnie w sieci przesyłowej najwyższych i wysokich napięć oraz odbiory energii po stronie średnich napięć. W modelu, jak podają wykonawcy systemu, opisanych jest ponad 2,7 tys. stacji, 3,8 tys. rozdzielni, prawie 5,5 tys. linii, prawie 800 transformatorów, 610 generatorów (źródeł) i ponad 4,6 tys. odbiorów. Dokładnie lub dość dokładnie odwzorowuje też systemy sąsiednich krajów.

Symulator naśladuje nie tylko działanie samej sieci, ale i charakterystyczne zachowania urządzeń do niej podłączonych, zarówno źródeł energii jak i jej odbiorców. Odtwarza on całą hierarchiczną strukturę dyspozycji mocy, od poziomu krajowego przez Obszarowe Dyspozycje Mocy, po poszczególnych odbiorców, których dyspozytorzy muszą wykonywać polecenia dyspozycji mocy, więc umożliwia ćwiczenie współpracy służb dyspozytorskich.

Symulator KSE pracuje w trybie czasu rzeczywistego, ma możliwość równoległej symulacji pracy kilku niezależnych systemów asynchronicznych oraz symulacji zarówno zjawisk wolnozmiennych jak i szybkozmiennych.

PODSUMOWANIE

Polityka energetyczna Polski do 2030 r. wskazuje na szereg przedsięwzięć do realizacji przez przedsiębiorstwa związane z podsektorem elektroenergetyki w celu: poprawy efektywności działania. Modelowanie stanowi pierwszy etap formalnego ujęcia zagadnień związanych zarówno z analizą działania jak i syntezą systemów. Pozwala ono odtworzyć, uwzględniając wymagany stopień wierności odwzorowania, zasady organizacji i funkcjonowania systemu, co umożliwia uzyskanie informacji o samym modelowanym systemie [6].

Zasadność działań związanych z budową i wykorzystaniem modeli zależy od ich jakości, jest to problem identyfikacji obiektu, która może dotyczyć zarówno budowy modeli obiektu jak i odtworzenia stanu badanego obiektu.

Budowa modelu systemu energetycznego wymaga zastosowania odpowiedniej metodologii, która w znacznym stopniu determinuje późniejsze praktyczne zastosowanie modeli. W praktyce oprócz interdyscyplinarnej wiedzy niezbędnej w tego typu pracach, istotne znaczenie ma również doświadczenie zespołu badawczego.

BIBLIOGRAFIA

1. Kurowski W. : *Modelowanie obiektów technicznych*. Płock 2001.
2. Świdziński J.: PSE - pamięć o Stefani Kasprzyk, <http://energetykon.pl/>.
3. Zeigler B: *Teoria modelowania i symulacji*. PWN,1984.
4. Findensein W., Gutenbnaum J.: *Modele w analizie systemowej. Analiza systemowa – podstawy i metodologia*.
5. KAMIŃSKI J.: Modelowanie systemów energetycznych: Ogólna metodyka budowy modeli, POLITYKA ENERGETYCZNA, Tom 13 _ Zeszyt 2 _ 2010.
6. Serafin E.: *Efektywność w elektroenergetyce*, materiały seminarium PRad, 2011.
7. Serafin E.: *Komputerowe wspomaganie pracy elektrowni*, Wiadomości Elektrotechniczne, Nr 7-8, 2005.

MODELING OF EQUIPMENT FOR POWER SYSTEM

Abstract

This article is about the computer methods used for modeling and simulation of electrical equipment. The principles of modeling technical objects are presented as well as examples of classification models and methods of modeling. There was also described the simulator of Power System in Poland

Autorzy:

dr inż. **Ewa Serafin** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, WTiE