

SOFTWARE FRAMEWORK FOR A DEVELOPMENT OF EQUIVALENT-CIRCUIT MODEL

Filip Mivalt

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xmival00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Sedlak

E-mail: sedlakp@feec.vutbr.cz

Abstract: The paper describes a software for development of equivalent-circuit models and its parameters estimation on the basis of experimental data. The software engine contains set of features necessary for impedance computing of any circuit composed of only linear, passive elements. Functions are implemented with regard to possibility of algorithm extension with voltage and current sources or active components. Software engine also contains features for evaluation of equivalent-circuit models and basic elements of artificial intelligence as artificial neural networks with basic learning method.

Keywords: Software engine, equivalent-circuit model, node voltage method, artificial neural network

1 ÚVOD

Impedanční ekvivalentní náhradní modely zaujímají v praktickém světě nenahraditelnou pozici při popisu reálných elektronických součástek a systémů, jako jsou například elektrody, rozhraní elektroda-kůže, některé typy biosenzorů a další. Samotné modely bývají sestavovány buď na základě znalostí popisovaného systému, nebo empiricky. Odborníci na problematiku modelovaného systému a uživatelé z odborné praxe ke své činnosti využívají sofistikované programy zaměřené na tuto problematiku. Ve velkém množství funkcí se však uživatel často ztrácí nebo naopak některé funkce postrádá. Zejména možnost odhadu jednotlivých hodnot parametrů u již sestavených obvodů. Dále je nevýhodou velmi omezená možnost sdílení dat s jinými programy, popřípadě jejich export. Tato práce se zabývá implementací sady funkcí potřebných k realizaci grafického vývojového prostředí pro tvorbu impedančních ekvivalentních náhradních modelů a k odhadu jejich parametrů.

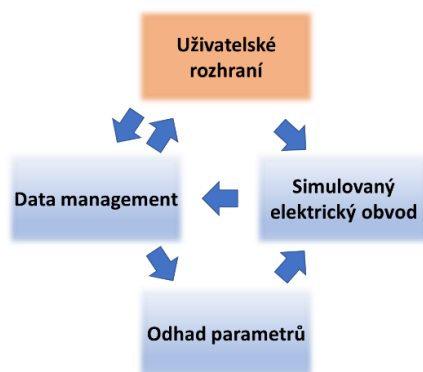
2 NÁVRH STRUKTURY SOFTWARE

Navrhované vývojové prostředí pro impedanční ekvivalentní náhradní modely lze rozdělit do dvou hlavních skupin. Tou první je uživatelské rozhraní, které by mělo poskytovat intuitivní a funkční rozhraní, ve kterém bude uživatel navrhovat samotný model, tedy elektrický obvod. Zároveň bude uživateli poskytována zpětná vazba formou grafu a základních popisných informací pro srovnání modelu s referenčními daty. Druhou skupinou je softwarový framework, který se skládá z několika entit. Tou první a do značné míry klíčovou částí je entita plnící funkci elektrického obvodu. Tento objekt obsahuje uspořádanou strukturu obvodu s možností libovolné modifikace, jako přidání nových obvodových prvků, popřípadě jejich odstranění, či změna jejich atributů. Dále obsahuje řadu funkcí pro zmíněné úpravy spolu s ošetřením vstupů. Dále je třeba implementovat algoritmy pro detekci nezávislých uzlů, větví mezi těmito nezávislými uzly a nezávislých smyček. Nezávislý uzel je definován jako uzel, ke kterému jsou připojeny alespoň tři větve. Nezávislá smyčka je taková smyčka, která v sobě neobsahuje žádnou menší smyčku. Z nezávislých uzlů a nezávislých smyček lze sestavit soustavu rovnic, ze které budou stanoveny obvodové veličiny. Ze spočtených obvodo-

vých veličin se pak dá jednoduše určit impedance obvodu a následně sestavit celá impedanční charakteristika.

Další entita zajišťuje správu dat, která zahrnuje načítání, ukládání dat a jejich export a import z požadovaných formátů s možností implementace nových datových formátů. Dále nabízí možnost exportu grafů do základních obrazových formátů a také do vybraných softwarových prostředí.

Poslední entita zajišťuje analýzu referenčních dat. Tato analýza se zakládá na detekci zájmových oblastí, jako například hlavní rezonanční frekvence nebo velikost impedance v rezonanci. Dalšími detekovanými oblastmi jsou některé typické morfologické tvary modelované křivky. Entita následně umožňuje odhad parametrů simulovaného obvodu tak, aby chyba mezi modelem a referenčními daty dosáhla globálního minima. Tato entita má implementovány základní algoritmy pro vyhodnocování chyby mezi modelem a referenčními daty. Dále jsou zde implementovány základní principy umělé inteligence jako některé vybrané typy neuronových sítí, shlukové analýzy a expertních fuzzy systémů.



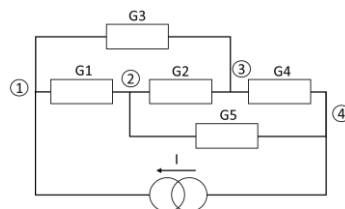
Obrázek 1: Navržené schéma struktury softwaru

Tato práce se zabývá implementací některých funkcí pro navrhovaný software.

3 SIMULOVANÝ ELEKTRICKÝ OBVOD

Hlavními prvky simulovaného obvodu jsou pasivní součástky, které mají frekvenčně závislou impedanci a zdroj elektrického proudu. Každý prvek je v softwaru definován typem obvodového prvku, tedy jedná-li se o odpor, kondenzátor nebo cívku. Dále hodnotou jeho parametru a jménem, čímž se každý obvodový prvek stává unikátním. Pozice v samotném simulovaném obvodu je definována dvěma uzly, do kterých je simulovaný prvek připojen.

Obvod je vyhodnocován metodou uzlových napětí (MUN) [1][1]. Jako referenční uzel byl v případě ukázkového obvodu uzel číslo 4, viz Obrázek 2:.



Obrázek 2: Příklad simulovaného obvodu

Na základě Kirchhoffových zákonů jsou sestaveny rovnice pro všechny uzly s výjimkou uzlu referenčního. Soustava rovnic je zapsána do matice. Tím je vytvořena tzv. vodivostní matice obvodu. Uzlová napětí jsou vypočtena násobením inverzní vodivostní matice obvodu s vektorem, který obsahuje nezávislé zdroje proudu. Pokud je potřeba, můžeme z výsledného vektoru uzlových napětí

určit všechny obvodové veličiny. Avšak pro určení impedance obvodu postačí znalost napětí v uzlech 1, 4 a hodnota proudu, protékajícího simulovaným obvodem. Soustava rovnic pro ukázkový obvod z Obrázek 2: zapsána do matic pak vypadá následovně.

$$\begin{pmatrix} G1 + G3 & -G1 & -G3 \\ -G1 & G1 + G2 + G5 & -G2 \\ -G3 & -G2 & G2 + G3 + G4 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} U1 \\ U2 \\ U3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

4 ODHAD PARAMETRŮ EKVIVALENTNÍHO NÁHRADNÍHO MODELU

Odhadem parametrů ekvivalentního náhradního modelu se rozumí odhad parametrů ideálních obvodových prvků modelu tak, aby obvod modeloval měřená data reálného systému. Implementovaný algoritmus provádí iterativní optimalizaci uzlových napětí, respektive optimalizaci hodnot inverzní matice maticí vodivostní. Z optimalizované matice je následně vypočtena nová vodivostní matice obvodu. Řešením soustavy rovnic, kterou představuje tato nová vodivostní matice, dostáváme hodnoty parametrů ideálních součástek. Impedance modelu se pak blíží impedanci reálného systému, který modelujeme.

Samotný proces optimalizace spočívá v minimalizaci střední kvadratické odchylky mezi požadovanou hodnotou impedance a hodnotou aktuální impedance obvodu. Pokud proudový zdroj dodává proud 1A pak impedance obvodu na Obrázek 2: odpovídá uzlovému napětí v uzlu 1. Relativní chyba ε pro jednu iteraci optimalizačního procesu je stanovena jako relativní rozdíl mezi požadovanou a aktuální hodnotou impedance, potažmo napětí v uzlu 1. Následující vztah pro úpravu uzlových napětí je aplikován postupně pro optimalizaci napětí ve všech uzlech.

$$U_{n+1} = U_n + \mu \cdot \varepsilon \cdot U_n \quad (2)$$

U_{n+1} je hodnota napětí pro daný uzel na konci iterace, U_n je aktuální hodnota napětí na začátku iterace a μ je koeficient rychlosti učení.

Následně je vypočtena nová vodivostní matice. Z této matice je následně vytvořena soustava rovnic. Řešením této soustavy rovnic jsou hodnoty parametrů jednotlivých obvodových elementů. Řešení této soustavy rovnic je prováděno Gaussovou eliminační metodou.

5 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá návrhem struktury softwaru vývojového prostředí a realizací frameworku pro toto prostředí. Práce popisuje softwarovou realizaci simulovaného obvodu, výpočet jednotlivých obvodových veličin metodou uzlových napětí a výpočet impedanční charakteristiky obvodu. Dále popisuje implementovaný algoritmus pro iterativní odhad hodnot parametrů obvodových elementů ekvivalentního náhradního modelu. Dále byly implementovány funkce pro načítání, ukládání a export dat. Funkce jsou testovány a jsou ošetřeny vstupy. Předložené algoritmy jsem použil pro odhad ekvivalentních náhradních modelů reálných kondenzátorů. Algoritmy jsou koncipovány tak, aby byly schopny efektivně a relativně rychle odhadovat parametry i pro velmi složité modely.

6 REFERENCE

- [1] BRANČÍK, Lubomír. *Elektrotechnika*. B.m.: VUTIUM, 2004 [cit. 2017-03-06].
- [2] KOZUMPLÍK, Jiří, PROVAZNÍK, Ivo. *Umělá inteligence v medicíně*. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, 2007.
- [3] BEČVÁŘ, Jindřich. *Maticový a tenzorový počet*. B.m.: Matfyzpress, 2007 [cit. 2017-03-06].
- [4] PRESS, William H., ed. *Numerical recipes in C: the art of scientific computing*. 2nd ed. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 1992. ISBN 978-0-521-43108-8.