

A TECHNIQUE FOR PARAMETER ESTIMATION OF EQUIVALENT-CIRCUIT MODELS

Filip Mivalt

Bachelor Degree Programme (2), FEEC BUT

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

Supervised by: Petr Sedlak

E-mail: sedlakp@feec.vutbr.cz

Abstract: The paper describes a simple algorithm for parameter estimation of equivalent-circuit models on the basis of comparison calculated and measured electrical impedance. The algorithm searches in multidimensional space in the vicinity of expected results. Despite the simple calculations, the algorithm easily outstrip number of high-order mathematical and algorithmic methods, such as non-linear least squares, neural networks etc. The algorithm is easily realizable and outputs are highly accurate in comparison to experimental data.

Keywords: Mathematical models, Models of electrical components, Estimation, Approximation

1. ÚVOD

Matematické modely slouží k popisu reálných jevů či soustav. Míra složitosti modelu je přímo úměrná míře komplexnosti popisu daného jevu. Modely se využívají k popisu a analýze elektronických součástek, biologických funkcí, mechanických systémů a dalších. U modelů elektronických součástek a některých typů biochemických senzorů je základním úkolem po úspěšném návrhu ideálního obvodu zejména odhad jednotlivých parametrů. Tenhle úkol se stává náročným, pokud odhadujete větší počet součástek stejné série, ale jiných parametrů. Například křemenné mikrováčky o různých tloušťkách aktivní vrstvy. Z těchto důvodů jsem navrhl realizačně jednoduchý algoritmus, který řeší výše zmíněný problém.

Pro realizačně jednoduchý princip cyklické optimalizace nejsou potřeba komplikované numerické metody. Tenhle algoritmus je tedy relativně snadné implementovat v různých programovacích jazycích.

2. ZÁKLADNÍ NÁHRADNÍ MODEL Y REÁLNÝCH ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK

Náhradní ekvivalentní model popisuje chování skutečné elektronické součástky, kde jednotlivé komponenty ideálního obvodu charakterizují vlastnosti modelovaného objektu. Např. odpor a indukčnost kontaktů, odpor dielektrika nebo u biosenzorů kapacita lipidové dvojvrstvy. Jednotlivé modely se používají pro simulaci frekvenčních charakteristik, přechodových dějů, popřípadě jiných charakteristických vlastností.

Popisovaný algoritmus jsem vyvinul pro snadnější odhad parametrů ekvivalentních náhradních modelů. Tyto modely popisují elektrické charakteristiky křemenných mikrováček o různé geometrii a materiálu aktivní vrstvy. Stejný postup jsem úspěšně aplikoval pro náhradní modely kondenzátorů od různých výrobců.

3. APROXIMAČNÍ PREFÁZE

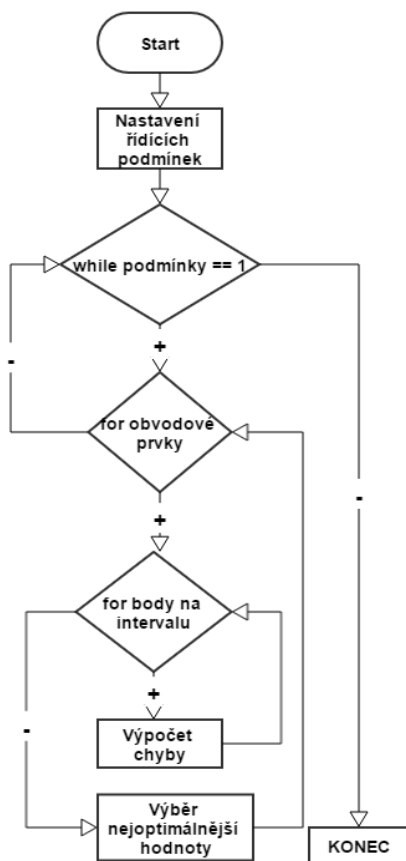
Před samotným použitím algoritmu je potřeba provést rozbor řešené úlohy. Musíme určit požadovanou přesnost modelu a zvážit reálnost této představy. Je potřeba zohlednit zašumění, popřípadě

jiné znehodnocení modelované křivky. Dále musíme rozhodnout, zdali chceme modelovat parazitní rezonance, které se v naměřených datech mohou vyskytovat. Je třeba věnovat zvláštní pozornost správnému nastavení kontrolních parametrů algoritmu. Zejména pokud si přejeme zmíněné parazitní složky vynechat, nebo naopak modelovat se zvýšenou přesností. Neméně důležitým krokem je metodika stanovení prvotního odhadu. Obecně platí, že čím je odhad přesnější, tím větší efektivity můžeme algoritmem dosáhnout. V případě, že nejsme schopni provést dostatečně přesný odhad, potřebujeme znát alespoň řád a přibližné poměry jednotlivých parametrů. Tahle varianta je výpočetně náročnější a také mnohdy dosahuje nižší přesnosti.

Pro dosažení lepších výsledků lze algoritmus modifikovat, avšak s novými modifikacemi přibývá kontrolních parametrů. Jejich správné nastavení pak může být problematické.

4. ALGORITMUS

Základní princip algoritmu spočívá v postupném procházení Euklidovského multidimenzionálního prostoru zvláště pro každou dimenzi. V každé iteraci se snažíme přiblížit globálnímu minimu chybové funkce. Chybovou funkci jsem definoval jako průměr kvadrátů relativní chyby ve všech bodech měřených a modelových dat. To znamená, že hodnoty jednotlivých koeficientů posouváme ve směru gradientu záporného násobku této chybové funkce. Při samotné implementaci to znamená prohledávání předem definovaného intervalu v okolí aktuálních hodnot koeficientů se zvoleným vzorkováním. Vzorkování intervalu volím lineární. Jinou variantou může být vzorkování kvazilogaritmické, kdy se kolem středu prohledávaného intervalu vzorkuje s vyšší hustotou. Tato hustota klesá se vzrůstající vzdáleností od středu intervalu. Druhá zmíněná varianta je riziková. Zejména pokud je nutno zachovat poměry mezi jednotlivými obvodovými prvky.



Obrázek 1: Vývojový diagram algoritmu

5. VSTUPNÍ PARAMETRY, MODIFIKACE ALGORITMU

Řídicími parametry algoritmu jsou: hodnota maximálního počtu iterací, maximální počet iterací bez zlepšení, maximální přípustná relativní chyba a maximální přípustná průměrná relativní chyba mezi modelem a naměřenými hodnotami. Popřípadě další parametry plynoucí z případných modifikací algoritmu.

Pokud jsou měřená data znehodnocena šumem nebo se na nich vyskytnou nechtěné rušivé elementy, je nutno před začátkem modelování tyto elementy odstranit. Avšak pokud se ale jedná o stacionární stochastický proces se zanedbatelnou amplitudou, je možno tenhle šum zanedbat. Nejčastěji se náhradní obvody sestavují v logaritmickém měřítku a se zvyšujícími se frekvencemi roste citlivost systému, která se projevuje zvyšujícím se výkonem šumu. V předchozí úvaze si tedy musím vystačit s předpokladem, že tenhle proces je stacionární, alespoň na určitém intervalu. Délku tohoto intervalu lze definovat jako nejmenší možnou délku, kdy se střední hodnota amplitudy šumu na tomto intervalu rovná nule, nebo se alespoň k nule blíží.

$$RMSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{X_i - Y_i}{X_i} \right)^2 \quad (1)$$

(1) Kvadrát relativní průměrné chyby; X – naměřená data, Y – model, N – počet vzorků

Pro každý bod na prohledávaném intervalu musíme spočítat průměr kvadrátu relativní chyby. V případě nutnosti můžeme kvadrát relativní chyby zaměnit za jinou metodu výpočtu chyby. Obecně výpočet volím podle způsobu, kterým váhuji různé části aproximované křivky. Váhování je důležitý aspekt, kterému je třeba věnovat velkou pozornost. Správné váhování je jedním z největších klíčů k úspěchu u komplikovanějších obvodů. Zvláště pokud modelujeme parazitní části křivky s nenulovou hodnotou druhé derivace. Například parazitní rezonance. Správné rozdělení vah může být rizikové a je tenká hranice mezi správným a přílišným váhováním.

6. VÝSLEDKY

Předloženým algoritmem jsem řešil odhad ekvivaletních náhradních modelů pro popis elektrických charakteristik křemenných mikrovážek. Stejný algoritmus jsem použil pro náhradní modely kondenzátorů od různých výrobců. Algoritmus je testovaný na náhradních modelech až o 28 obvodových prvcích. V naprosté většině jsem dosáhl maximální chyby menší než 10%. Ovšem průměrná chyba byla podstatně menší. Pohybovala se od 2 - 6%. Tato hodnota závisí na míře znehodnocení měřených dat.

Při porovnávání předloženého algoritmu s algoritmy komplexními jako například neuronové sítě bych jako hlavní výhodu zdůraznil relativní realizační nenáročnost. Další důvod proč zvolit právě tenhle algoritmus je mnohem vyšší přesnost odhadovaného náhradního modelu oproti použití běžných funkcí nabízených v Matlabu. Dále vyzdvihuji zejména možnost jednoduché modifikace algoritmu a tím zvýšení přesnosti výsledků, což u předdefinovaných funkcí navzdory jejich mnohým možnostem a nastavením není možné.

REFERENCE

- [1] SCHREIBER, Rob. MATLAB. *Scholarpedia* [online]. 2007, 2(7), 2929 [cit. 2016-03-09]. DOI: 10.4249/scholarpedia.2929. Dostupné z <http://www.scholarpedia.org/article/MATLAB>
- [2] VITÁSEK, Emil a E VITÁSEK. *Numerické metody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987.