

Aproximace přenosových charakteristik výkonového zesilovače

Bc. Jakub Eichler, Ing. Miroslav Novák, PhD

Abstrakt

Návrh proudového zdroje pro magnetická měření vyžaduje dobrou aproximaci charakteristik výkonového zesilovače. Při aproximaci racionální funkcí s využitím procedury `fminsearch` MATLABu lze při dostatečném počtu pokusů dosáhnout velmi dobré aproximace: odchylka amplitudové charakteristiky může být menší než 1 dB a u fázové dokonce klesne pod 1°.

Úvod a teorie

Epsteinův přístroj slouží ke snadnému měření magnetických vlastností vzorků feromagnetických materiálů, aniž by bylo nutno je předem speciálně upravit. Nejlepších výsledků se dosáhne při buzení harmonickým proudem, který vyžaduje poměrně složitý zpětnovazební regulační systém. Poněvadž se musí napájet induktivní nelineární zátěž, je nutná detailní analýza (či simulace) návrhu. Vhodným prostředkem je např. oblíbený komerční systém Simulink.

Nedílnou součástí navrhovaného zdroje proudu je výkonový nízkofrekvenční zesilovač. Důkladná simulace v prostředí Simulink vyžaduje kvalitní aproximaci jeho charakteristik. Přístupů je celá řada, zde se omezíme na základní. V učebnicích, např. [1], se nejjednodušší aproximace provádí lomenou čarou. Numerické výpočty nabízejí širší výběr, přehled je např. v práci [2]. U analytických funkcí, které se tvarem podobají přenosovým, je kvalita aproximace omezena malým počtem volitelných parametrů. U velmi populární polynomické regrese zase vadí kmitání aproximace. Jako nejvhodnější se tedy jeví použití racionální lomené funkce. Pro její zavedení jsou i fyzikální důvody. V teorii obvodů [1] jsou obvodové funkce obvykle podílem dvou polynomů s různými mocninami frekvence a komplexními koeficienty.

Pro aproximaci přenosové charakteristiky $F(j\omega)$ jsme použili racionální funkci se stejným stupněm čitatele i jmenovatele ve tvaru:

$$F(j\omega) = K \frac{1 + \hat{A}_1 \omega + \hat{A}_2 \omega^2 + \dots + \hat{A}_n \omega^n}{1 + \hat{B}_1 \omega + \hat{B}_2 \omega^2 + \dots + \hat{B}_n \omega^n} \quad (1)$$

kde ω je úhlová frekvence, K, A_i, B_i ($i=1, 2, \dots, N$) jsou obecně komplexní koeficienty, jejichž optimální hodnoty je nutno nalézt. Komplexní přenosová funkce (1) se obvykle prezentuje jako dvojice reálných charakteristik, amplitudové a fázové. Častý popis přenosové funkce (1) je pomocí nul (kořeny čitatele) a pólů (kořeny jmenovatele). K získání numerických hodnot je nutno ještě dodat koeficient K ve vztahu (1).

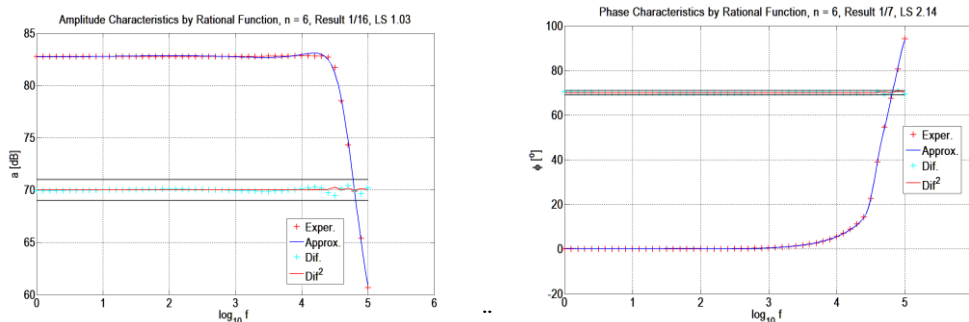
Experiment a numerické metody

Přenosové frekvenční charakteristiky zesilovače SDA500NPN jsme měřili ve standardním zapojení. Zdrojem signálu byl funkční generátor signálu HP 33120A a záznam signálů zajišťoval analyzátor Norma 5000. Měření i jeho vyhodnocení bylo plně automatizováno pomocí skriptu v MATLABu. Rozsah frekvencí byl od 1 Hz do 100 kHz v logaritmické stupnici. Naměřené hodnoty byly uloženy do datových souborů.

K nalezení optimálních hodnot koeficientů přenosu (1) jsme použili funkce `fminsearch`. Výsledky této procedury závisí na počátečních hodnotách hledaných koeficientů. Tyto hodnoty jsme volili náhodně a jako kritérium úspěšné aproximace jsme použili maximální přípustný součet čtverců odchylek. Parametry úspěšných aproximací jsme uložili do datových souborů.

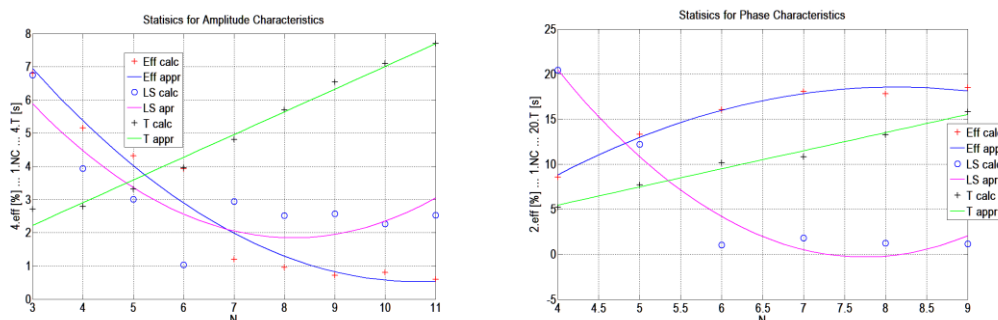
Výsledky a diskuze

K dosažení dobré aproximace bylo nutno volit přísné kritérium, takže výpočet musel proběhnout mnohokrát, stokrát až tisíckrát. Nejlepší aproximace amplitudové a fázové charakteristiky jsou na obr. 1. V grafech se též uvádí odchylka aproximace a její čtverec, u amplitudové charakteristiky nepřekročí 1 dB, u fáze je pod 1° , viz hranice na obr. 1.



Obrázek 1. Nejlepší aproximace charakteristik

Zajímavé je i sledování úspěšnosti algoritmu, počet úspěšných aproximací a hodnota součtu čtverců jsou uvedeny graficky na obr. 2. Z obr. 2 je vidět, že se zvyšujícím se řádem aproximace narůstá doba výpočtu zhruba lineárně. Avšak úspěšnost algoritmu pro amplitudovou charakteristiku z počátku klesá, pro fázovou z počátku roste, ale od 7 řádu zůstává zhruba konstantní v obou případech.



Obrázek 2. Výsledek testování algoritmu mez 10 pro amplitudovou a 70 pro fázovou charakteristiku

Závěr

Aproximace racionální lomenou funkcí je velmi úspěšná metoda, pokud se provede dostatečný počet pokusů, což při dnešní rychlosti počítačů není problém. Ač byla odzkoušena jen na přenosové funkci, lze ji nepochybně použít i jinde, např. pro vstupní charakteristiky.

Poděkování

Tato práce byla podpořena Studentským grantem Technické univerzity v Liberci č. 21065 „Progresivní mechatronické, řídicí a měřicí systémy s aplikací vyspělých simulačních metod“. Prof. RNDr. Ing. Miloslav Košek, CSc. poskytl autorům cenné rady a pomohl s programy v MATLABu.

Reference

- [1] Mikulec M., Havlíček V.: Základy teorie elektrických odvodů 1. ISBN 80-01-02519-5, ČVUT Praha (1997).
- [2] Novák M., Eichler J., Košek M.: Efficient and Robust Approximation of Magnetizing Characteristics, Technical Computing Prague 2013, p. 46.