

# Modální analýza vodivých struktur šasi televizního přijímače

Jan Mráz

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací, Západočeská univerzita v Plzni

## Modal Analysis of Conducting Structures of TV Receiver Chassis

### Abstract

*The highly competitive market of TV receivers brings the implementation of new functions as a must. This has to be carried out without a significant increase in price for the end consumer. The present introduction of digital broadcasting systems offers a possibility of antenna-system integration into TV sets. A means for carrying out this without a substantial rise of total costs is utilizing the existing structures within the appliance. This paper deals with the issues of the analysis of these conductors by means of the theory of characteristic modes.*

### Keywords

Antenna systems, digital broadcasting, modal analysis, eigenvalues.

### Úvod

V době vzniku tohoto příspěvku dochází k postupnému zavádění televizního vysílání v digitální podobě. Systémy digitální televize jsou koncipovány tak, aby maximálně využily vlastností daného sdělovacího kanálu. V případě pozemního příjmu je tedy explicitně počítáno s mnohocestným šířením, které je důsledkem existence překážek mezi vysílačem a přijímačem. Použití interních antén je u analogových systémů omezené na nenáročný přenosný příjem, a to za předpokladu dostatečné intenzity pole v místě příjmu. I tak je ale vzhledem k existenci mnohocestného šíření nutné počítat s několikanásobným obrazem. Spolu se zavedením digitálního televizního příjmu je možné připustit příjem bez významného zastoupení přímé vlny (Rayleighův model radiového kanálu), a tak realizovat příjem na statickém přijímači prostřednictvím integrované antény.

Přestože je možné (a v případě integrovaného příjmu nutné) počítat s nižším výkonem anténní soustavy, který je dán relativně malým objemem dostupným pro anténu v rámci přijímače, je vhodné návrh antény optimalizovat za účelem dosažení maximální možné úrovně signálu na jejích svorkách. Vzhledem k požadavku výrobců nabídnout spotřebiteli maximální hodnotu produktu za minimální možnou cenu je vhodné uvažovat o využití stávajících vodivých struktur, které jsou v přijímačích přítomné buď jako mechanické díly nebo části realizující ochranu v rámci elektromagnetické kompatibility.

### Numerické metody analýzy anténních struktur

Při analýze vodivých struktur, kdy je známo prostorové rozložení proudu, je možné přímou aplikací Maxwellových rovnic získat vyzářované pole. Pokud ale takovéto rozložení není známo, což je běžný případ obecných anténních struktur, dochází k definici problému coby integrální rovnice. Řešení integrálních rovnic lze realizovat numericky s využitím momentové metody, která integrální rovnici transformuje na soustavu algebraických rovnic, které jsou řešitelné pomocí maticových počítačových algoritmů.

Podrobný popis momentové metody je obsažen v [3], v tomto textu je pouze ve stručnosti zmíněn její princip. Obecně lze momentovou metodu popsat operátorovou rovnicí

$$L(f) = g, \quad (1)$$

kde  $L$  představuje lineární operátor<sup>1</sup> (realizující v daném případě integraci),  $g$  je známá zdrojová funkce a  $f$  je hledaná neznámá funkce (v tomto případě proudové rozložení). Pokud existuje jedinečné řešení problému, je možné ho vyjádřit pomocí inverzního lineárního operátor  $L^{-1}$

$$f = L^{-1}(g). \quad (2)$$

Nalezení inverzního operátoru v uzavřené podobě ale představuje problém, který momentová metoda řeší nepřímou na základě rozepsání hledané funkce  $f$  do řady

$$f = \sum_{n=1}^N \alpha_n f_n, \quad (3)$$

kde  $\alpha_n$  představují neznámé koeficienty a  $f_n$  báze funkce. Ty jsou voleny tak, aby co nejméněji aproximovaly hledanou funkci  $f$  v rámci superpozice, a to v co nejmenším počtu.

Řešení, které poskytuje momentová metoda, splňuje hraniční podmínky pouze v diskretních bodech, kdy je tečná složka intenzity elektrického pole na povrchu vodivé struktury nulová. Aby se zajistilo maximální přiblížení řešení hraničním podmínkám ve všech bodech vodivého povrchu, používá se metoda vážených reziduí. Zavádějí se váhové funkce  $w_m$ , které se aplikují prostřednictvím skalárního součinu<sup>2</sup> na soustavu rovnic (1):

$$\sum_{n=1}^N \alpha_n \langle w_m, Lf_n \rangle = \langle w_m, g \rangle. \quad (4)$$

Takovouto soustavu rovnic je potom možné zapsat v maticové podobě jako

$$[l_{mn}] [\alpha_n] = [g_m], \quad (5)$$

kde

$$[l_{mn}] = \begin{bmatrix} \langle w_1, Lf_1 \rangle & \langle w_1, Lf_2 \rangle & \cdots \\ \langle w_2, Lf_1 \rangle & \langle w_2, Lf_2 \rangle & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix}, \quad [\alpha_n] = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad [g_m] = \begin{bmatrix} \langle w_1, g \rangle \\ \langle w_2, g \rangle \\ \vdots \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Řešení pak lze obdržet za předpokladu nesingularity matice  $[l_{mn}]$  jako

$$[\alpha_n] = [l_{mn}^{-1}] [g_m]. \quad (7)$$

## Modální analýza vodivých struktur

Momentová metoda aplikovaná v oboru elektromagnetického pole nabízí mj. řešení integrálního rovnice elektrického pole, kde jako argument operátoru  $L$  vystupuje proudová hustota  $J$  a jako zdrojová funkce intenzita elektrického pole  $E$ . Zjišťuje-li se vyzařování nebo rozptyl uvažovaného vodivého tělesa, poskytuje momentová metoda znalost proudového rozložení  $J$  na základě působícího zdrojového pole  $E$ . Odtud je pak možné určit vyzařování struktury. Tento přístup umožňuje stanovit vyzařování dané struktury při konkrétním buzení, nenabízí ale prakticky využitelné poznatky pro efektivní optimalizaci podoby tělesa a buzení z hlediska vyzařovacích vlastností.

Teorie charakteristických módů pro vodivá tělesa nabízí nalezení množiny vážených, vzájemně ortogonálních vidů proudových rozložení na tělese a rovněž vyzařovacích

<sup>1</sup> Definiční obor operátoru  $L$  je oborem platnosti všech dále zmíněných funkcí.

<sup>2</sup> Běžnou formou skalárního součinu dvou funkcí je následující podoba:  $\langle f, g \rangle = \iint_S f \cdot g dS$ .

diagramů ve vzdáleném poli. Podrobně o této metodě pojednává text [2], který aplikuje poznatky obsažené v [1]. Další informace jsou obsaženy rovněž v [3].

Princip je založen na operátorové rovnici v podobě

$$[L(J) - E^{dop}]_s = 0 \quad (8)$$

tečných složek elektrického pole na povrchu vodivého tělesa  $S$ . Operátor  $L(J)$  popisuje intenzitu elektrického pole v důsledku protékajících proudů  $J$

$$L(J) = j\omega A(J) + \nabla\Phi(J), \quad (9)$$

kde  $\omega$  představuje úhlový kmitočet,  $A$  vektorový potenciál<sup>3</sup> v důsledku elektrického proudu a  $\Phi$  skalární potenciál<sup>4</sup>.

Fyzikálně tedy  $-L(J)$  představuje elektrickou intenzitu  $E$  v jakémkoliv bodě v prostoru jako důsledek proudu  $J$  na povrchu  $S$ . Rozměr operátoru  $L$  je stejný jako impedance, a proto se používá označení

$$Z(J) = [L(J)]_t. \quad (10)$$

Z principu reciprocity plyne, že  $Z$  je symetrický operátor, a tak může být rozdělen na reálné hermitovské části  $Z = R + jX$ , kde  $R$  a  $X$  jsou reálné symetrické operátory.  $R$  je navíc pozitivně definitní<sup>5</sup> (všechny proudy vyzařují nějaký výkon).

V rámci teorie charakteristických módů se uvažuje rovnice vlastních hodnot

$$Z(J_n) = v_n M(J_n), \quad (11)$$

kde  $v_n$  jsou vlastní hodnoty,  $J_n$  jsou vlastní funkce a  $M$  je zvolený váhový operátor. Volba  $M = R$  zajistí ortogonalitu vyzařovacích diagramů. Takto lze rovnici vlastních hodnot přeformulovat do podoby

$$X(J_n) = \lambda_n R(J_n), \quad (12)$$

kde  $\lambda_n = -j.(v_n - 1)$ .

## Modální analýza pravoúhlé plošné struktury

Realizace modální analýzy je prakticky možná s využitím libovolného programu realizujícího výpočet elektromagnetického pole s využitím momentové metody. Volně dostupný Numerical Electromagnetic Code (NEC2) je typickým představitelem řešení pole s využitím jazyka C (přepsáno z jazyka Fortran). Pokud je extrahována impedanční matice, je možné např. po zařazení balíku funkcí, jako je LAPACK, realizovat výpočet vlastních hodnot a vlastních funkcí, jako je tomu např. v [5].

Alternativou je využití modelování s matematickým programovým prostředím MATLAB, s jehož pomocí byl realizován i tento příspěvek. Pramen [4] poskytuje konkrétní příklady řešení elektromagnetického pole momentovou metodou, jejichž modifikací a s využitím funkcí pro výpočet vlastních hodnot v rámci toolboxu *Matrix functions* bylo nalezeno několik vlastních řešení pro zvolenou pravoúhlou vodivou strukturu, které odpovídají konkrétním vlastním hodnotám.

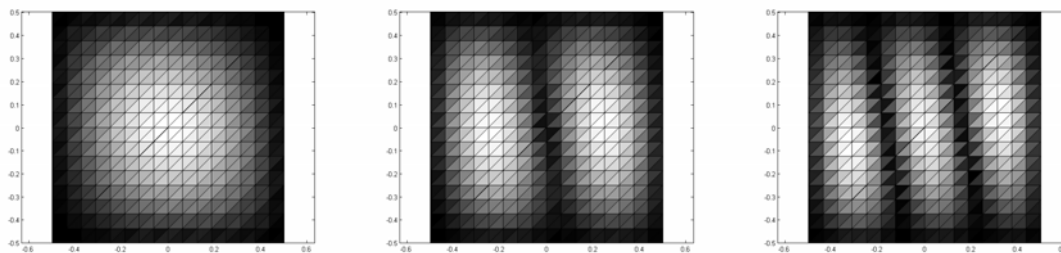
<sup>3</sup>  $A(J) = \mu \iint_S J(r') G(r, r') dS'$ ,  $r$  popisuje bod, ve kterém působí pole,  $r'$  popisuje bod zdroje pole,  $\mu$  je permeabilita prostředí.

<sup>4</sup>  $\Phi(J) = \frac{-1}{j\omega\epsilon} \iint_S \nabla' \cdot J(r') G(r, r') dS'$ ,  $\epsilon$  je permitivita prostředí a  $G(r, r') = \frac{e^{-jk|r-r'|}}{4\pi|r-r'|}$ , kde  $k$  je

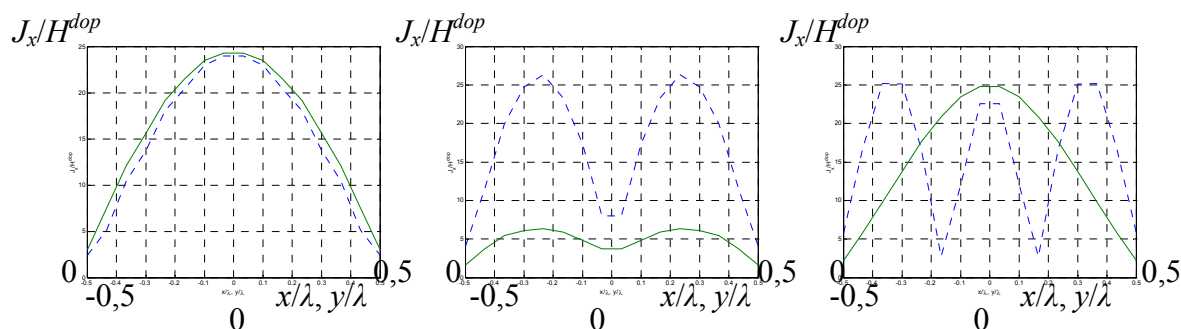
vlnové číslo.

<sup>5</sup> Podmínkou je, že se uvnitř tělesa nenacházejí rezonanční pole.

Řešením je potom množina vektorů vlastních funkcí, kde každému odpovídá vlastní hodnota, která popisuje míru zastoupení určeného vidu při dané frekvenci. Čím blíže je vlastní hodnota nule, tím blíže je daný mód rezonanci. Několik významných módů vybuzených na analyzované vzorové struktuře je možné vidět na následujících obrázcích:



**Obrázek 1: Graf relativní velikosti proudové hustoty na povrchu vodivé struktury pro jednotlivé vidy (osy jsou relativní souřadnice v rámci povrchu tělesa)**



**Obrázek 2: Průběh relativní velikosti proudu  $J_x$  v závislosti na relativní souřadnici v rámci povrchu vodivého tělesa (plně je vyznačena závislost na  $y$ , čárkovaně na  $x$ )**

## Závěr

V tomto příspěvku byla diskutována možnost aplikace teorie charakteristických módů za účelem návrhu interního anténního systému televizního přijímače digitální televize. Po uvedení podstatných souvisejících poznatků z oblasti numerických výpočtů elektromagnetického pole byla aplikována modální analýza na jednoduchou vodivou strukturu. Další využití prezentovaných poznatků bude součástí autorovy dizertační práce.

## Literatura

- [1] Garbacz, R. J., Turpin, R. H. : A generalized expansion for radiated and scattered fields. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, roč. 19, č. 3, květen 1971, s. 348-358.
- [2] Harrington, R. F., Mautz, J. R. : Theory of characteristic modes for conducting bodies. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, roč. 19, č. 5, září 1971, s. 622-628.
- [3] Harrington, R. F. : Field computation by moment methods. New Jersey : IEEE Press Series on Electromagnetic Waves, 1992. ISBN 0-7803-1014-4.
- [4] Makarov, S. N. : Antenna and EM modelling with MATLAB. New York : John Wiley, 2002. ISBN 0-471-21876-6.
- [5] Fandie, C. T. : Small antennas radiation performance optimization in mobile communications. (Dizertační práce) Duisburg-Essen : Universität Duisburg-Essen, 2007.