

Modelování blízkého pole soustavy dipólů

J. Puskeľy, Z. Nováček

Ústav radioelektroniky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně
Purkyňova 118, 612 00 Brno

Abstrakt

Tento příspěvek se zabývá modelováním rozložení elektromagnetického pole v blízké zóně soustavy dipólů s rovinným reflektorem. Anténa se může skládat z obecného počtu vyzářujících prvků (dipólů). Algoritmus vytvořený v prostředí MATLAB umožňuje výpočet prostorových složek intenzity elektrického i magnetického pole a výpočet výkonové hustoty záření v blízké zóně antény v zadaném bodě prostoru. Program umožňuje zobrazit jednotlivé složky pole v kartézské, sférické a válcové soustavě.

1 Úvod

Anténa je prvek, které transformuje elektromagnetické pole z napájecího vedení na elektromagnetické pole šířící se volným prostorem. Podle mechanismu šíření vlny jsou od antény vyžadovány různé směrové vlastnosti a podle požadovaného dosahu se mění výkon dodávaný do antény a s tím i vyzářený výkon. Při běžném řešení vyzářovacích vlastností antény se využívá zjednodušujících předpokladů např. bod pozorování je ve vzdáleném oblasti od soustavy zářičů nebo vhodné orientace zářičů. Tato zmíněná zjednodušení se používají v drtivě většině technických aplikací. Pokud uvažujeme blízké oblast je výpočet značně náročný. Pro výpočet v blízké zóně musíme vycházet z kompletních vztahů a pro každý zářič je nutno vypočítat dvě vektorové rovnice komplexního argumentu.

Výpočet blízkého pole je nutný pouze ve speciálních případech. Příkladem může být ověřování hygienických limitů ozáření osob při jejich pohybu v malých vzdálenostech od antény nebo zkoumání rušení mezi komunikačními systémy. Níže bude rozebrána numerická metoda výpočtu záření soustavy dipólů v blízké zóně [1].

2 Metoda výpočtu blízkého pole

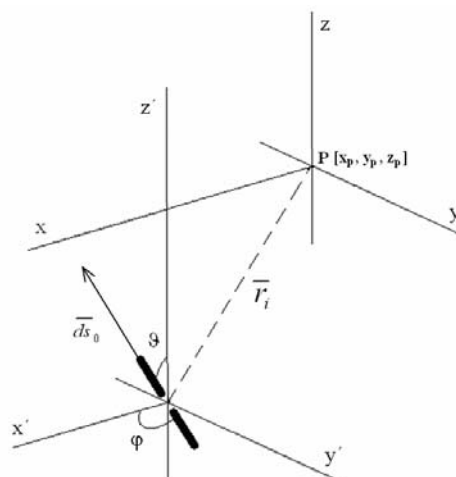
Anténní soustava může mít obecně jakékoliv rozmístění a orientaci zářičů. Budeme uvažovat aktivní buzení všech zářičů. Díky tomu, že pole od jednotlivých zářičů se sčítá, můžeme počítat intenzity od každého zářiče samostatně a příspěvky numericky sčítat. Reflektor lze do výpočtů zahrnout zrcadlovým obrazem. Zrcadlový obraz je vlastně nový prvek, který je symetrický s rovinou reflektoru a zrcadleným prvkem. Počet prvků se tedy díky reflektoru zdvojnásobí. Pokud je nový prvek rovnoběžný s reflektorem, má proud v něm opačnou fázi. Prvek s osou kolmou na reflektor má směr proudu souhlasný.

Analýza pole je založena na vztazích pro záření soustavy elementárních dipólů, neboť tyto vztahy jsou jednoduché a hlavně dostupné. Při řešení se předpokládá znalost amplitud a fází proudů na vstupních svorkách jednotlivých elementárních dipólů. Pokud tedy použijeme jako zdroj záření elementární dipól a budeme řešit soustavu Maxwellových rovnic pomocí vektorového potenciálu, lze podle [2] odvodit následující vztahy pro intenzitu elektrického a magnetického pole

$$\vec{E} = \frac{Ids}{4\pi} \cdot \frac{k^3}{\omega\epsilon} \left\{ j \frac{\vec{r}_{0i} \times (\vec{r}_{0i} \times \vec{ds}_{0i})}{k|r_i|} + \frac{3(\vec{r}_{0i} \cdot \vec{ds}_{0i})\vec{r}_{0i} - \vec{ds}_{0i}}{(k|r_i|)^2} - j \frac{3(\vec{r}_{0i} \cdot \vec{ds}_{0i}) \cdot \vec{r}_{0i} - \vec{ds}_{0i}}{(k|r_i|)^3} \right\} \cdot e^{-jk|r_i|}, \quad (1)$$

$$\vec{H} = \frac{Ids}{4\pi} \cdot k \left\{ j \frac{1}{k|r_i|} + \frac{1}{(k|r_i|)^2} \right\} \cdot (\vec{ds}_{0i} \times \vec{r}_{0i}) \cdot e^{-jk|r_i|}. \quad (2)$$

Vztahy pro výpočet intenzity elektrického a magnetického pole jsou ve vektorovém tvaru a respektují orientaci i buzení dipólu. Pro ilustraci situace je vhodný Obr. 1. Vektory $d\vec{s}_{oi}$ a \vec{r}_i jsou jednotkové vektory směřu osy elementárního dipólu a průvodiče r_i vedeného od středu dipólu k bodu pozorování P . Symboly i u každého z vektorů značí příslušnost i -tému dipólu. Po sečtení příspěvků od všech dipólů získáme složky intenzity pole E_x, E_y, E_z (H_x, H_y, H_z). Modul intenzity pole E (H) charakterizující úroveň výsledného pole v uvažovaném bodě P vypočteme sečtením dílčích složek pole s respektováním jejich prostorové orientace a fáze.



Obr 1: K výpočtu intenzity pole

Z obou známých složek intenzit elektromagnetického pole v daném bodě jsme schopni vypočítat výkon nesený vlnou. Tento výkon je charakterizován Poyntingovým vektorem, který se vypočítá vztahem

$$\vec{\Pi} = \vec{E} \times \vec{H}^* \quad (3)$$

Ve vztahu (3) je \vec{H}^* komplexně sdružená hodnota intenzity magnetického pole. Význam hustoty výkonu je komplexní výkon nesený elektromagnetickou vlnou plochou. Směr Poyntingova vektoru je shodný se směrem šíření vlny a jeho reálná složka udává střední hodnotu činného výkonu na jednotkovou plochu, kolmou na směr šíření vlny [3].

2.1 Možnosti zobrazení složek intenzity pole

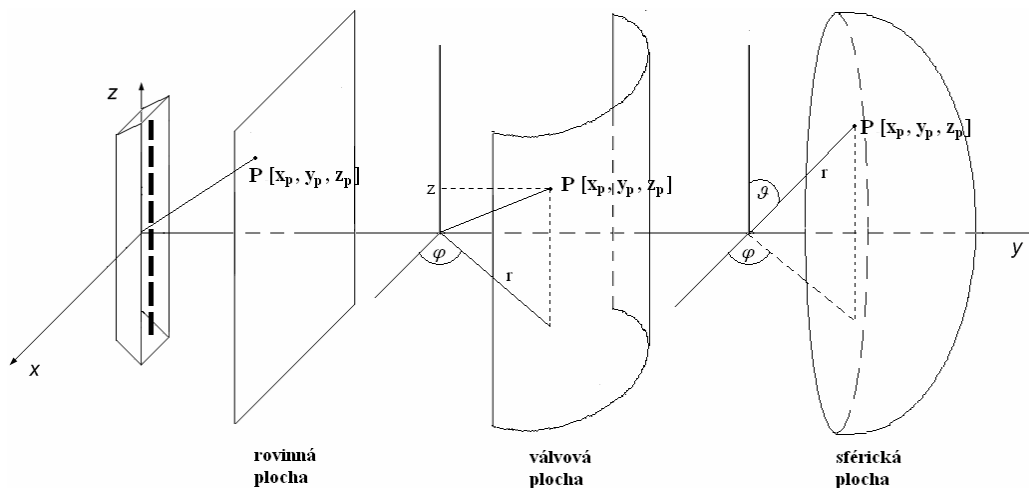
Vytvořený program umožňuje zobrazit složky intenzity pole blízké oblasti na kulové, rovinné a válcové ploše (Obr. 2.). Transformace válcových souřadnic na kartézské má tento tvar

$$x_p = r \cdot \cos(\varphi), \quad y_p = r \cdot \sin(\varphi), \quad z_p = z,$$

kde r udává vzdálenost bodu od osy z , φ udává úhel průmětu průvodiče bodu do roviny xy od osy x a z určuje polohu bodu na ose z . Transformace sférických souřadnic na kartézské se provede takto

$$x_p = r \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\vartheta), \quad y_p = r \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\vartheta), \quad z_p = r \cdot \cos(\vartheta),$$

kde r udává vzdálenost bodu od počátku souřadnic, úhel ϑ je úhel průvodiče bodu pozorování od osy z a úhel φ je úhel průmětu průvodiče r do roviny xy od osy x .

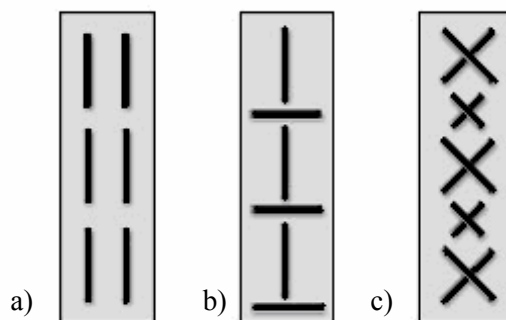


Obr 2 : Zobrazení v kartézské, válcové a sférické soustavě

3 Model antény tvořený soustavou dipólů

Obecně se dipóly sestavují do anténních soustav za účelem zlepšení směrových (a tedy i ziskových) vlastností. Vlastnosti anténní soustavy závisí především na buzení jednotlivých zdrojů záření. Různého buzení lze docílit buď samostatným napájením každého prvku a řízením amplitudy a fáze proudu na vstupních svorkách, nebo vhodným prostorovým uspořádáním soustavy. Pro analýzu blízkého pole použijí jeden z modelů GSM antény.

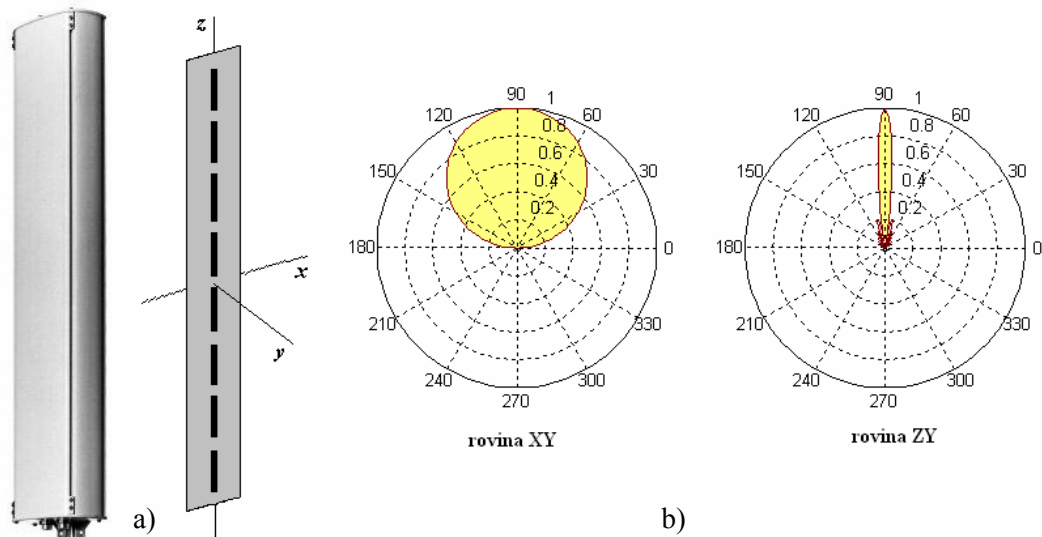
Nejpoužívanější směrovou anténou pro GSM je tzv. panelová anténa [4]. Je to soustava dipólů před reflektorem (plochým popř. zalomeným) umístěná ve svislé poloze. Nejčastější způsoby rozmístění dipólů před reflektorem jsou na Obr. 3. Starší konstrukce antén používaly soustavu dipólů pouze pro vertikální polarizaci (Obr. 3a). Později byly vyvinuty antény, které dokázaly přijímat navíc signály s horizontální polarizací pro diverzifikační systém s polarizačním výběrem (Obr. 3b). Postupný vývoj dospěl k dnešní podobě nejnovějších anténních soustav, které používají polarizaci X a mohou být konstruovány pro obě pásma GSM (Obr. 3c).



Obr 3: Typy konstrukce panelových antén

Rozmístění dipólů před reflektorem má kromě polarizace také pochopitelně vliv na směrové charakteristiky. Počet dipólů nad sebou má vliv zejména na vertikální směrovou charakteristiku, na její úzkopásmovost.

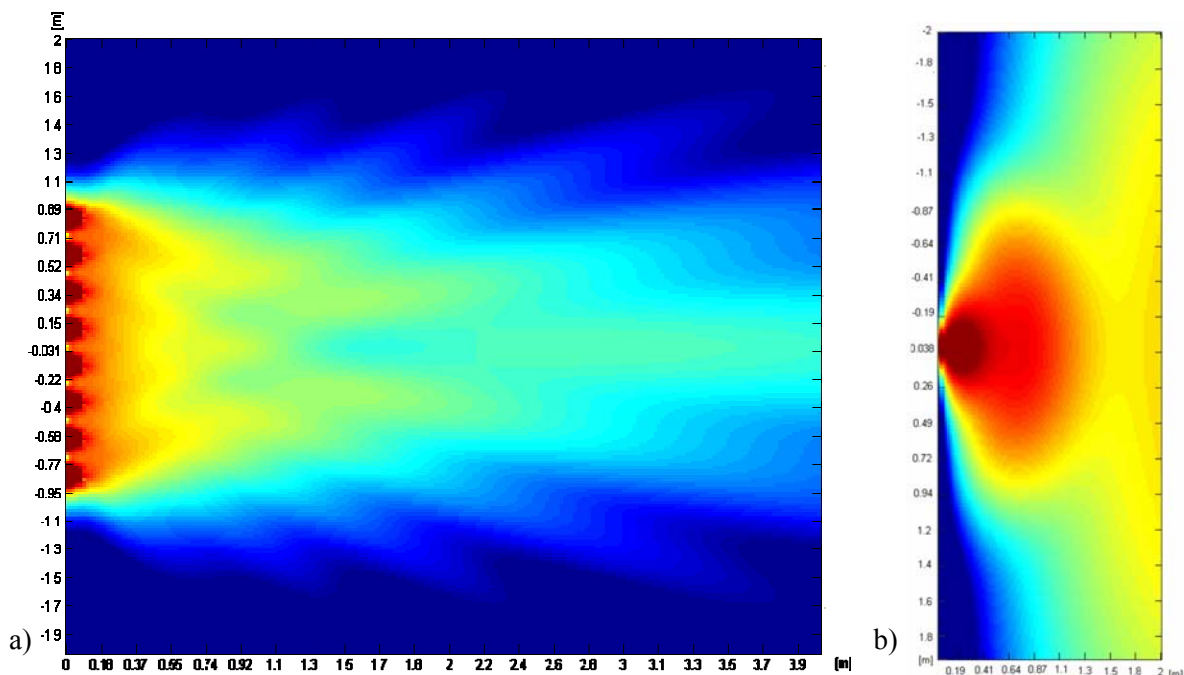
Výše popsanou numerickou metodou bude provedena analýza blízkého pole směrové antény pro pásmo GSM 900. Rozmístění dipólů před reflektorem je vidět na Obr. 4a. Anténa je složena z osmi vertikálních dipólů (souhlasně orientovaných s osou z) a z reflektoru, který je v rovině ZX viz Obr. 4a. Prvky anténní řady jsou umístěny do rastru s rozestupem 24 cm ve svislém směru a 2,8 cm od roviny reflektoru. Směrové charakteristiky antény odpovídající souřadné soustavě podle Obr. 4a jsou vidět na Obr. 4b.



Obr 4: a) Provedení a konstrukce antény GSM 900
 b) Směrové charakteristiky antény GSM 900 ve vzdálené oblasti

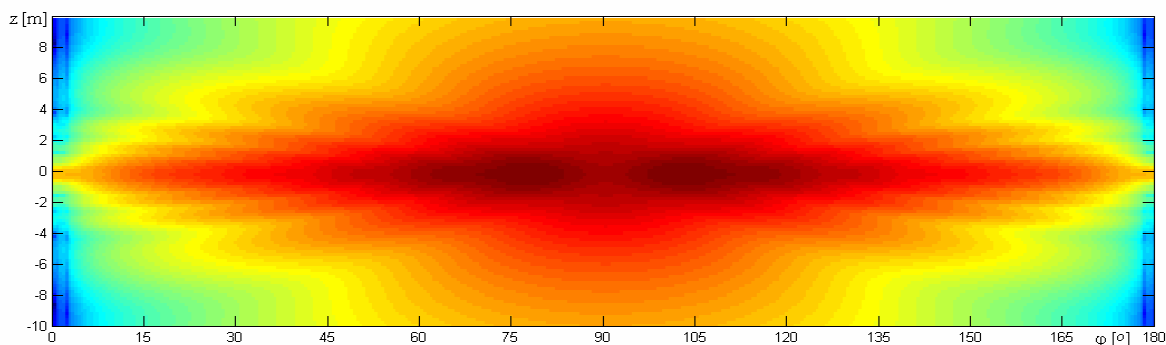
4 Analýza blízkého pole antény GSM 900

Při řešení se předpokládá aktivní buzení všech zářičů a znalost amplitud a fází proudů na vstupních svorkách jednotlivých dipólů soustavy, tedy prvky anténní řady byly napájeny soufázově se stejnými amplitudami. Na obrázcích (Obr. 5a a Obr. 5b) je vykreslen pohled na pole hustoty výkonu kolem GSM antény. Osm červených oblastí na Obr. 5a je 8 zářičů GSM antény. Pohled na řadu dipólů shora je na Obr. 5b. Anténa soustředí výkon ve vertikální rovině do poměrně úzkého laloku (Obr. 5a) a v horizontální rovině je směrová charakteristika široká (Obr. 5b). Jde tedy přesně o požadavky na sektorovou anténu, která má vertikálně pokrývat jen vybraný úhel prostoru. Ostatně tyto vlastnosti vyjadřují i směrové charakteristiky na Obr. 4b.



Obr 5: Rozložení hustoty výkonu – GSM anténa 900; a) rovina yz; b) rovina xy

Na ukázkou je zde vložen obrázek rozložení hustoty výkonu na rozvinutém povrchu válcové plochy o poloměru 1,5m s výškou 20m viz. Obr. 6



Obr 6: Rozložení hustoty výkonu na povrchu válcové plochy o poloměru 1,5m a výšce 20m

5 Závěr

Prostředí MATLAB bylo zvoleno především proto, že odpadají problémy s definováním procedur na výpis matic, snadné zobrazení charakteristik, a v neposlední řadě i proto, že v MATLABu je jednoduchá práce s vektorovými vztahy.

Vytvořený program počítá složky intenzity elektrického a magnetického pole a hustotu výkonu pro libovolný bod prostoru v kartézských, sférických a válcových souřadnicích. Vzhledem k použitým vztahům lze počítat s libovolným počtem prvků a s libovolnou jejich orientací. Program je sice omezen pouze na řešení soustavy elementárních dipólů, ale vzhledem k tomu, že stačí jen v jedné části programu vyměnit vztahy pro elementární dipól za jiné, bude program fungovat pro libovolný zářič.

Vzhledem k skutečnosti, že tento program počítá s obecným počtem prvků a s libovolnou orientací, bude dále využít u bezfázového měření vyzářovacích charakteristik anténní řady v blízkém poli. Platnost vypočtených hodnot bude ověřena měřením rozložení pole na válcové ploše.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory grantu GACR 102/07/1084 “Blízké pole anténních soustav“.

Literatura

- [1] HLADÍLEK, A. Záření antén v blízké zóně. Brno: VUT v Brně, FEKT, 2006. 69 s.
- [2] STRATTON, J.: Teorie elektromagnetického pole. SNTL Praha 1961, 592s.
- [3] NOVÁČEK, Z.: Elektromagnetické vlny, antény a vedení. Skriptum VUT Brno 2002, 135 s.
- [4] SNÁŠEL, J. Antény systému GSM. dostupné na : <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04031/index.html>

Jan Puskely
e-mail: xpuske01@stud.feec.vutbr.cz

Zdeněk Nováček
e-mail: novacek@feec.vutbr.cz