

NEAR FIELD OF THE DIPOLE ANTENNAS

Vlastimil Beran

Master Degree Programme (2), FEEC BUT
E-mail: xberan27@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Zdeněk Nováček

E-mail: novacek@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

The article describes the field distribution of linear antennas in near field region including possibilities computation of spatial arrangement of electrical and magnetical field intensity components. The formulas of elementary dipole field intensity are used as principle for computation. The subject of article is the method of computation closing length dipole field intensity using formulas for elementary dipole. The discussion about the replacement of symmetrical dipole by elementary dipole for computation purpose is presented at the same time.

1. ÚVOD

Práce popisuje záření dipólových antén v blízké zóně a postup výpočtu dílčích prostorových složek intenzity elektrického a magnetického pole, přičemž jsou sledovány možnosti respektování konečné délky zářiče. V práci je popsáno jak lze pomocí základních vztahů pro pole elementárního dipólu modelovat pole symetrického dipólu konečné délky. Poznatků je využito pro tvorbu procedur, umožňujících výpočet rozložení pole dipólu na vybrané ploše.

2. ROZBOR

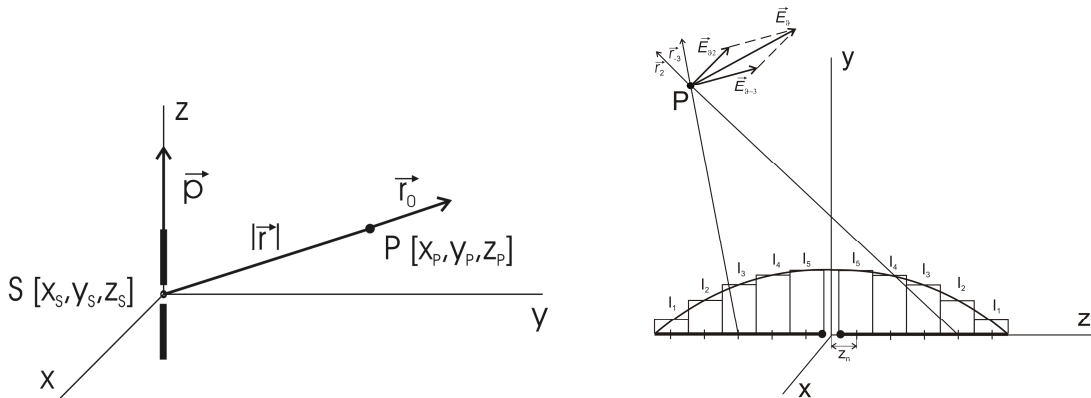
2.1. VÝPOČET POLE ELEMENTÁRNÍHO DIPÓLU

Výpočet složek pole vychází ze vztahů pro záření elementárního dipólu. Vztahy platí za předpokladu, že dipólem protéká harmonický proud, konstantní po celé délce vodiče. Tento předpoklad je splněn, pokud je délka dipólu mnohem menší než vlnová délka. Vyjdeme-li z Maxwellových rovnic, řešených pomocí vektorového potenciálu lze odvodit následující vztahy pro intenzitu elektrického a magnetického pole [1]:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot e^{-j\alpha r} \cdot e^{jk|\vec{r}|} \cdot \left\{ \frac{1}{|\vec{r}|^3} [3\vec{r}_0(\vec{r}_0 \cdot \vec{p}) - \vec{p}] - \frac{jk}{|\vec{r}|^2} [3\vec{r}_0(\vec{r}_0 \cdot \vec{p}) - \vec{p}] - \frac{k^2}{|\vec{r}|} [\vec{r}_0 \times (\vec{r}_0 \times \vec{p})] \right\}, \quad (1)$$

$$\vec{H} = -\frac{j\omega}{4\pi} \cdot e^{-j\alpha r} \cdot e^{jk|\vec{r}|} \cdot \left(\frac{1}{|\vec{r}|^2} - \frac{jk}{|\vec{r}|} \right) \cdot \vec{p} \times \vec{r}_0. \quad (2)$$

kde $k = 2\pi / \lambda$ je vlnové číslo, \vec{r}_0 je jednotkový vektor ve směru od dipólu k místu detekce, \vec{p} je jednotkový vektor směru osy elementárního dipólu a $|\vec{r}|$ je vzdálenost od středu dipólu k místu detekce. Vynásobíme-li jednotkový vektor \vec{p} momentem proudového elementu $I ds \cdot (j / \omega)$, zahrneme tak do vzorce vliv budícího proudu. Obrázek 1a ukazuje tyto vektory, spolu s umístěním dipólu v prostorových souřadnicích.



Obrázek 1: a) Znázornění polohy dipólu v prostoru, b) Symetrický dipól konečné délky

2.2. VÝPOČET POLE SYMETRICKÉHO DIPÓLU KONEČNÉ DÉLKY

Symetrický dipól konečné délky nemá konstantní proudové rozložení jako elementární dipól. Za jistých podmínek lze rozložení proudu na rameni symetrického dipólu považovat za sinusové.

Při modelování symetrického dipólu je jeho rameno nahrazeno soustavou elementárních zářičů v řadě. Budící proudy jednotlivých zářičů odpovídají proudovému rozložení na rameni dipólu. V bodě, kde se určuje výsledná intenzita pole se příspěvky jednotlivých elementárních zářičů sečtou s ohledem na fázi. Při relativně malé vzdálenosti bodu pozorování od dipólu se liší velikosti drah od jednotlivých elementárních zářičů. Tyto dráhové rozdíly je nutné respektovat při výpočtu. Jednotlivé příspěvky mají také různou prostorovou orientaci, což je rovněž nutné respektovat. Obrázek 1b popisuje tuto situaci, je zde rovněž znázorněn součet prostorových složek intenzity pole pro dva elementy s ohledem na orientaci v prostoru.

2.3. VOLBA POČTU ELEMENTŮ

Z důvodu výpočetní náročnosti procedur pro výpočet složek elektromagnetického pole je důležité zvolit optimální počet elementů, na které je rozdělen dipól. Musí se najít maximální možná délka elementu, pro kterou nebude překročena povolená chyba. Maximální délka elementu se určuje ze dvou hledisek. Jednak s ohledem na nepřesnost amplitudy, jednak s ohledem na nepřesnost fáze.

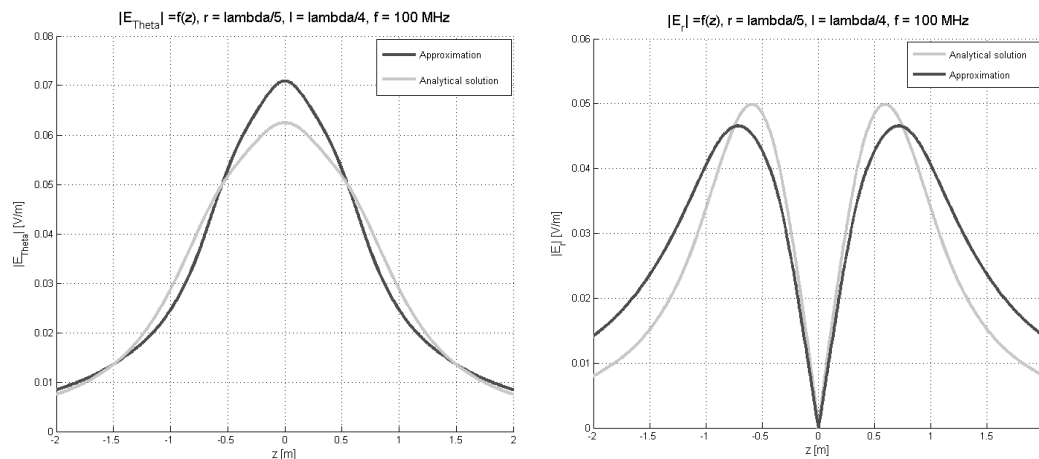
S ohledem na nepřesnost amplitudy vzniká nepřesnost při nahrazení úseku dipólu konstantním proudovým rozložením. Okamžitá hodnota proudu uprostřed elementu se přesně neshoduje s hodnotou integrálu proudového rozložení na daném elementu. Další nepřesnost vzniká s ohledem na odchylky fáze. Při nahrazení části dipólu elementem vychází příspěvek pouze ze středu tohoto elementu. Ve skutečnosti ovšem dipól září po celé délce tohoto elementu, čímž vzniká chyba. Jak amplitudová, tak fázová podmínka vede k podobným výsledkům. V blízké zóně vyjde maximální délka elementu $l = 0,17 \lambda$.

2.4. NÁHRADA SYMETRICKÉHO DIPÓLU ELEMENTÁRNÍM DIPÓLEM

Symetrický dipól konečné délky lze pro účely výpočtu jeho blízkého pole v jistých případech nahradit elementárním dipólem. Tuto náhradu nelze provést pro libovolně dlouhý dipól. I v tomto případě je nutné uvažovat amplitudové a fázové kritérium. Maximální délka ramena dipólu pro tuto náhradu vyjde cca. $0,09\lambda$.

3. SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Pro výpočet pole symetrického dipólu existuje i analytické řešení, které je dáno vztahy pro pole dipólu se sinusovým proudovým rozložením [2]. Simulace jsou provedeny v prostředí MATLAB. Na Obrázku 2 jsou srovnány průběhy intenzity el. pole dipólu pro aproximaci soustavou elementárních zářičů a pro analytické řešení. Jsou sledovány moduly složek intenzity elektrického pole \vec{E}_θ a \vec{E}_r sférické souřadné soustavy. Výsledky jsou vypočteny na rovinné ploše, rovnoběžné s osou dipólu. Zobrazen je pouze řez, procházející osou dipólu. Parametry sledovaného dipólu jsou uvedeny v hlavičce grafů (r je vzdálenost roviny pozorování od dipólu a l je délka ramene dipólu). Při aproximaci soustavou je dipól rozdělen na 2 úseky, což odpovídá výše uvedeným kritériím pro minimální počet elementů. Z grafů je patrné, že se oba průběhy téměř shodují, což ukazuje relevanci uvedené metody výpočtu.



Obrázek 2: Závislosti modulů \vec{E}_r , \vec{E}_θ na z souřadnici pro různé způsoby výpočtu

4. ZÁVĚR

Článek popisuje možnosti výpočtu struktury elektromagnetického pole dipólových antén v blízké oblasti. Je zde popsána metoda výpočtu pole obecného symetrického dipólu. Jsou popsány rovněž základní kritéria pro použití této metody. Pomocí vytvořených procedur pro výpočet elmag. pole jsou zobrazeny průběhy pole dipólu v modelových podmínkách. Procedury mohou být využity např. při ověření rozložení pole při návrhu antén.

LITERATURA

- [1] STRATTON, J.A. Teorie elektromagnetického pole. Praha: SNTL, 1961
- [2] KING, R. W. P. *Theory of Linear Antennas*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1956, 944s.