

NEAR FIELD OF THE DIPOLE ANTENNAS

Vlastimil Beran

Master Degree Programme (1), FEEC BUT
E-mail: xberan27@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Zdeněk Nováček
E-mail: novacek@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

The thesis describes the radiation of linear antennas in near field area. The scope of interest is the comparison of spatial arrangement electrical field intensity components in different distances from the antenna position. The partial space field components are derived for elementary dipole and for dipole of closing length. The thesis shows the rate of possibility to use simplified far field formulas for this application.

1. ÚVOD

Práce popisuje záření dipólových antén v blízké zóně a postup výpočtu dílčích prostorových složek intenzity elektrického pole, přičemž jsou sledovány možnosti respektování konečné délky zářiče. Rozložení intenzity elektrického pole lze v blízké oblasti zobrazit na rovinné, nebo válcové ploše pomocí systému kartézských, válcových, či sférických souřadnic.

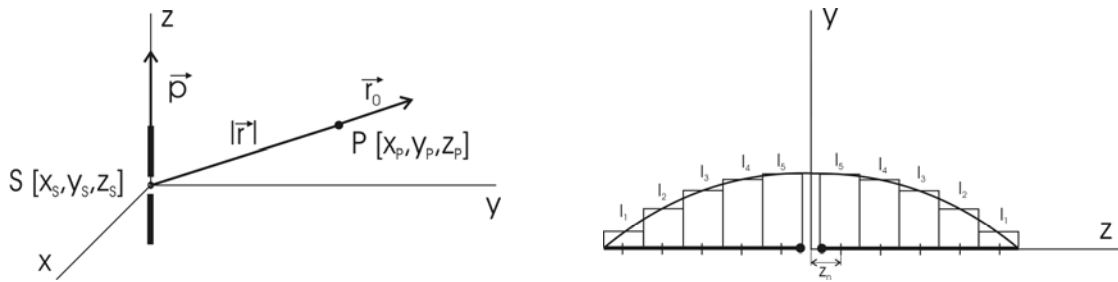
2. ROZBOR

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 vztah pro intenzitu elektrického pole, [1]:

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

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



Obr. 1 a) Znázornění polohy dipólu v prostoru, b) Skutečný dipól konečné délky

2.2. VÝPOČET POLE SKUTEČNÉHO DIPÓLU KONEČNÉ DÉLKY

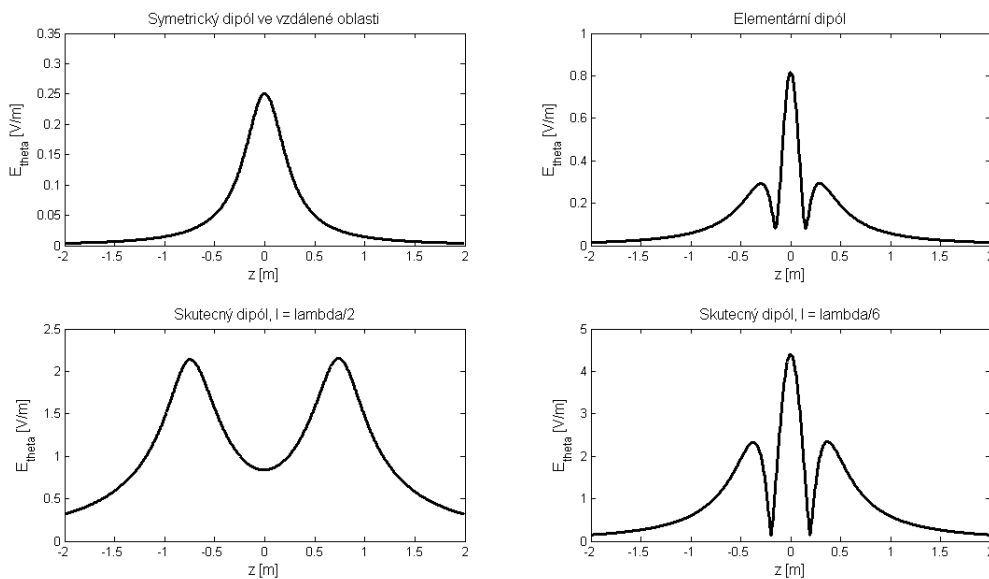
Při modelování skutečného dipólu nahradíme dipól soustavou elementárních zářičů v řadě. Budící proudy jednotlivých zářičů odpovídají sinusovému rozložení, viz. Obr. 1b. V bodě pozorování P se příspěvky jednotlivých elementárních zářičů sečtou s ohledem na fáze. Při relativně malé vzdálenosti bodu pozorování od dipólu se liší velikosti drah od jednotlivých elementárních zářičů, tyto dráhové rozdíly musíme respektovat. Intenzita je dána vztahem:

$$E = \sum_{n=1}^N E_n = 60I_0 \cdot \left[\sum_{n=1}^N \frac{I(z_n)}{I_0} \cdot e^{jk\Delta r_n} \cdot F_{Dnf}(\psi_n) \right] \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2)$$

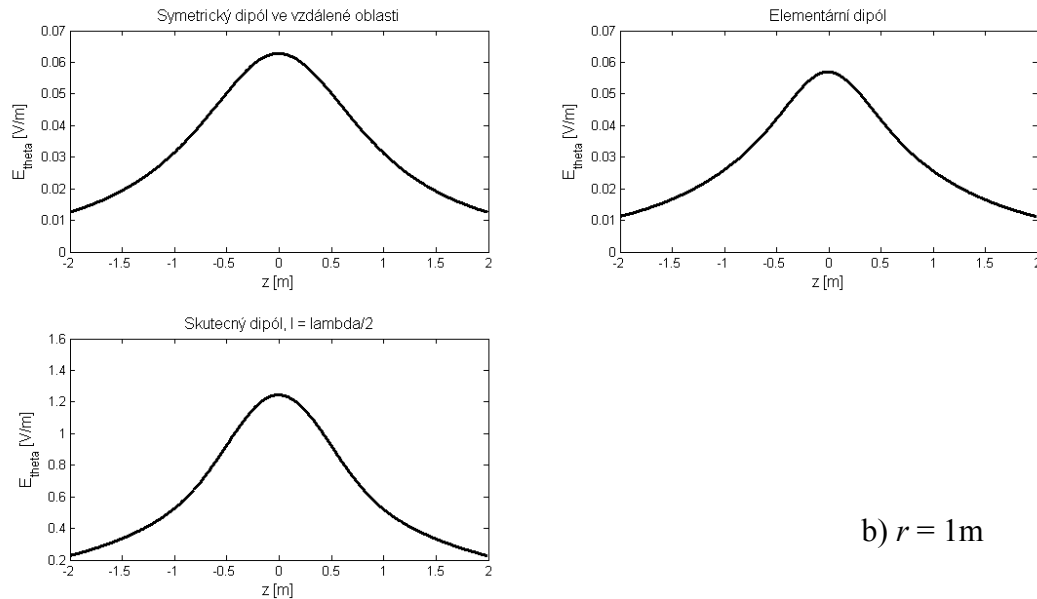
kde N je počet délkových elementů, $I(z_n)$ je proud v daném elementu, Δr_n je dráhový rozdíl průvodičů k bodu pozorování a $F_{Dnf}(\psi)$ je funkce záření dipólu v blízké oblasti závislá na úhlu, který svírá průvodič s osou dipólu.

2.3. SLEDOVÁNÍ ROZLOŽENÍ INTENZITY ELEKTRICKÉHO POLE

Rozložení intenzity elektrického pole je sledováno v rovině, rovnoběžné s osou z podle Obr.1a. Rovina je tedy rovnoběžná s osou dipólu. V průbězích je sledován modul složky intenzity elektrického pole \vec{E}_g , která má směr vektoru \vec{g} sférické souřadné soustavy. Pro lepší názornost není zobrazeno rozložení na celé ploše, ale pouze v řezu, procházejícím osou dipólu. Pro každou vzdálenost dipólu od roviny jsou zobrazeny tři průběhy složky \vec{E}_g a to průběh pole pro symetrický dipól vypočtený pro vzdálenou oblast podle (3), dále průběh pole pro elementární dipól podle (1) a průběh pole pro skutečný dipól podle (2).



a) $r = 0.25\text{m}$



b) $r = 1\text{ m}$

Obr. 2 Rozložení intenzity elektrického pole pro vzdálenost od dipólu a) 0,25 m, b) 1 m.

Pole symetrického dipólu ve vzdálené oblasti vypočteme podle vztahu (3). Lze tak vypočítat složku pole \vec{E}_g dipólu obecné délky l ve vzdálenosti r , v grafech je uveden průběh pro dipól délky $l = \lambda/2$ (rameno dlouhé $\lambda/4$).

$$E_g = 60 \cdot jI_m \cdot \frac{[\cos(kl/2 \cdot \cos \vartheta) - \cos(kl/2)]}{\sin \vartheta} \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (3)$$

Na Obr. 2 jsou zobrazeny průběhy intenzity elektrického pole na kmitočtu $f = 100\text{ MHz}$ při budícím proudu $I = 1\text{ mA}$ pro dvě různé vzdálenosti. Je patrné, že v relativně blízké oblasti od zářiče nelze použít vzorec pro symetrický dipól ve vzdálené oblasti, protože průběh se značně liší od průběhu pro elementární dipól. Zajímavou vlastnost sledujeme pro skutečný dipól konečné délky. Zatímco při délce dipólu $l = \lambda/2$ se závislost velmi liší od průběhu pro elementární dipól, tak při snížení délky dipólu na $l = \lambda/6$ se obě závislosti téměř shodují. Ve vzdálené oblasti se závislosti pro všechny tři stavy téměř shodují. Z průběhů vidíme, že intenzita elektrického pole je největší při nulové z souřadnici, tedy ve středu dipólu. Pokles intenzity mimo tento střed je dán převážně zvětšením vzdálenosti bodu pozorování.

3. ZÁVĚR

V této práci je uveden postup výpočtu intenzity elektrického pole v blízké oblasti pro elementární dipól a pro skutečný dipól konečné délky. Dále jsou zde porovnány průběhy modulu složky \vec{E}_g těchto dipólů pro dvě různé vzdálenosti roviny pozorování od dipólu. Pro srovnání je doplněna závislost intenzity pole symetrického dipólu ve vzdálené oblasti. Podobně jako intenzitu elektrického pole lze vypočítat a zobrazit rovněž intenzitu magnetického pole.

LITERATURA

- [1] STRATTON, J.A. Teorie elektromagnetického pole. Praha: SNTL, 1961