

ŠTRUKTUROVANÁ CYLINDRICKÁ ANTÉNNÁ SÚSTAVA (STRUCTURED CYLINDRICAL ANTENNA ARRAY)

Štefan BENÍK, Peter HAJACH

Katedra rádioelektroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity,
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, tel.: 02/60291 223, E-mail: hajach@kre.elf.stuba.sk

SUMMARY

Often goal interference and wittingly obstruction are antenna systems use in radar technology alternatively in communication systems. A expedient on solving problems incident with activity interferences and unwanted signals is applique adaptive antenna systems. Specific facilities this systems are used on safekeeping of radars and communication systems from interference, when a tendency of approach interference isn't noted in advance. Antenna array is important component of adaptive antenna system. It realizes a lot of-channel middle of receipts of signals. On achievement spatial selectivity is needs implement receipts of signals with antenna system, which is composite from two alternatively several spatial arrangement elements. For area adaptive antenna systems are used prefer linear antenna systems and singular plane antenna systems in period. For many applications in smart technology is needed to design antenna system with much good directional alternatively omnidirectional properties. Appropriate procedure what is used on achievement directional alternatively omnidirectional facilities is to configure individual antenna elements from those is created antenna array into various geometrical structures.

The article allocates on solution directional functions structured cylindrical antenna system, by means of which is possible to form wide spectrum radiation patterns for different application exploitation. The structured cylindrical antenna system we classe among space distributed antenna system. In this article is mention contrasts in solution antenna systems with different oriented dipoles. A solution of antenna system with dipoles oriented other as in tendency z-axis is essentially serious from aspect analytical solution but also by numeric solution on computing technics. This antenna array is assigned for applications in region adaptive antenna systems, where it exploit preferences omnidirectional pattern.

Keywords: uniform linear antenna array, cylindrical antenna array, complex array factor, radiation pattern, structured antenna array

1. ÚVOD

K riešeniu vyžarovania štrukturovanej cylindrickej anténnej sústavy (SCAA), t.j. anténnej sústavy vytvorenej umiestnením žiaričov na povrchu fiktívneho valca viedla snaha využiť vlastnosti adaptívnych anténnych sústav pre špeciálne podmienky zisťovania parametrov elektronického rušenia a požadovaného signálu v prostredí s mimoriadne veľkým počtom zdrojov oboch signálov. Dôležitou požiadavkou pri riešení takejto anténnej štruktúry je získanie všesmerovej charakteristiky, ktorá bude vhodná pre aplikácie zamerané na elektronický prieskum.

Štrukturovaná cylindrická AS, ktorú je možné vytvoriť umiestnením sústredených kruhových AS horizontálne nad sebou je schopná pri aplikovaní teórie adaptívnych AS generovať $N - 1$ priestorových núl v niekoľkých rovinách súčasne. Vytvorenie $N - 1$ priestorových núl v horizontálnej rovine je potrebné pre určenie parametra *azimutu* vzdušného objektu. Vytvorením jednotlivých úrovní alebo vrstiev vzniknú zase vo vertikálnej rovine lineárne anténne sústavy, ktoré umožnia vytvoriť $N - 1$ priestorových núl vo vertikálnej rovine. Táto vlastnosť je dôležitá pre určenie *elevačného uhla* vzdušného objektu. Použitím tohto druhu anténnej sústavy bude možné realizovať dvojrozmernú adaptáciu smerovej funkcie anténnej sústavy. Analýza

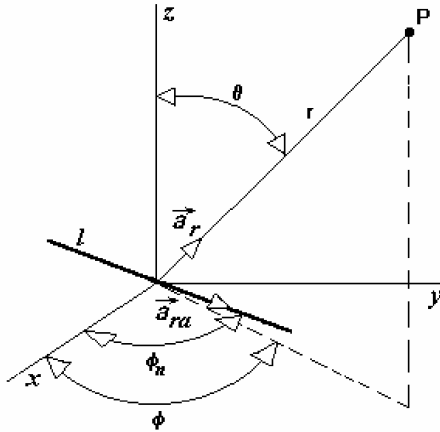
vyžarovania SCAA má opodstatnenie pri riešení úloh v oblasti adaptívnych anténnych sústav. Adaptívne AS, v ktorých je aplikovaná štrukturovaná cylindrická anténna sústava je možné dnes použiť v množstve aplikácií, kde je požadované široké priestorové pokrytie. Pomocou tejto anténnej sústavy je možné dosiahnuť smerové charakteristiky s uvažovaním fázových posunov medzi jednotlivými prvkami a simulovať anténnu sústavu, v ktorej sú jednotlivé anténne prvky umiestnené nad rovinou (rovinný reflektor). Ako anténne žiariče predpokladáme dipóly a preto v prvej časti článku je riešené vyžarovanie dipólu ľubovoľne orientovaného v priestore. V druhej časti článku je riešená interferenčná funkcia štrukturovanej cylindrickej anténnej sústavy. V závere sú vyhodnotené niektoré smerové charakteristiky konkrétnych štrukturovaných cylindrických anténnych sústav.

2. VYŽAROVANIE DIPÓLU ĽUBOVOĽNE ORIENTOVANÉHO V PRIESTORE

Dipóly distribuované v kruhovej anténnej sústave môžu byť orientované v smere osi z , rovnobežne s rovinou $(X-Y)$, alebo v smere súradnice ϕ . V prípade orientácie v smere osi z je smerová funkcia dipólov nezávislá od súradnice ϕ [1],[2],[5]. Ak sú však dipóly orientované rovnobežne s rovinou $(X-Y)$, alebo v smere súradnice ϕ ,

potom pri ich umiestnení do kruhovej anténnej sústavy sú dotyčnicami tejto anténnej sústavy. V takomto prípade je však každý dipól orientovaný iným smerom. Z tohto dôvodu je potrebné analyzovať vyžarovanie ľubovoľne orientovaného dipólu v rovine $(X-Y)$.

Predpokladajme, že dipól je umiestnený v rovine $(X-Y)$ a mení svoju polohu v tejto rovine o uhol ϕ_n , podľa obr. 1.



Obr. 1 Ľubovoľne orientovaný dipól v priestore
Fig. 1 Arbitrary oriented dipole in the space

Pri riešení vyžarovania sa vychádza zo známeho rozloženia prúdu pozdĺž elementárneho dipólu. Vo väčšine aplikácií je prednostný záujem o smerovú charakteristiku anténnej sústavy vo vzdialenej zóne. Pre elektrický dipól tomu zodpovedá vzdialenosť, pre ktorú platí $r \gg \lambda$, resp. $kr = 2\pi r/\lambda \gg 1$. Smerovú charakteristiku reálneho dipólu možno potom získať integráciou polí zo súčtu jednotlivých elementárnych dipólov. Z riešenia Maxwellových rovníc vyplýva [2]:

$$\dot{\vec{E}} = \frac{1}{j\omega\epsilon\mu} \int_{-l}^l [\text{rot rot } \vec{A}]_{kr \gg 1} dz' \quad (1)$$

kde \vec{A} je vektorový potenciál, $k = 2\pi/\lambda$ je vlnové číslo voľného priestoru, l predstavuje dĺžku ramena reálneho dipólu a dz' dĺžku elementárneho elektrického dipólu.

Ak je dipól orientovaný v smere osi z , vo výsledku sa objaví iba jedna zložka poľa E_θ , ktorá je nezávislá od súradnice ϕ . Pri riešení vyžarovania dipólu ľubovoľne orientovaného v priestore, získame dve zložky elektrického poľa, ktoré charakterizujú výsledné pole vo vzdialenej zóne E_θ a E_ϕ .

Výsledné pole je potom dané vektorovým súčtom jednotlivých zložiek elektrického poľa:

$$\dot{E}_\theta = E_0 \frac{k}{2} \frac{e^{-jkr}}{r} \begin{pmatrix} -\cos\theta \cos\phi \cos\phi_n \\ -\cos\theta \sin\phi \sin\phi_n \end{pmatrix} D(\theta, \phi) \quad (2)$$

$$\dot{E}_\phi = E_0 \frac{k}{2} \frac{e^{-jkr}}{r} (\sin\phi \cos\phi_n - \cos\phi \sin\phi_n) D(\theta, \phi) \quad (3)$$

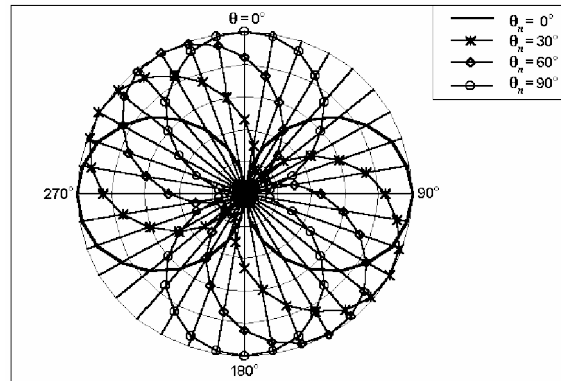
kde

$$D(\theta, \phi) = \int_{-l}^l \dot{I}(z') e^{jkz' M_{Fin}} dz' \quad (4)$$

$$M_{Fin} = \sin\theta (\cos\phi \cos\phi_n + \sin\phi \sin\phi_n)$$

pričom

$E_0 = jk (2\pi\omega\epsilon)^{-1}$ je budiaca konštanta, $\dot{I}(z')$ je rozloženie prúdu. Na obr. 2 sú zobrazené smerové charakteristiky dipólu, meniaceho orientáciu v rovine $(X-Y)$, teda v E rovine.



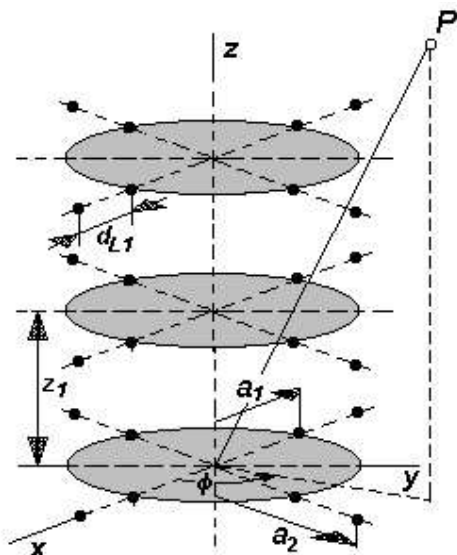
Obr. 2 Smerové charakteristiky dipólu v E rovine
Fig. 2 Radiation patterns of dipole in the E plane

3. ŠTRUKTUROVANÁ CYLINDRICKÁ ANTÉNNÁ SÚSTAVA

V tejto časti je riešenie vyžarovania štrukturovanej cylindrickej anténnej sústavy (SCAA), znázornenej na obr. 3. Jednotlivé žiariče predstavujú lineárne antény. Po aplikácii vlastností lineárneho prostredia pri výpočte žiarenia anténnej sústavy sčítame príspevky jednotlivých prvkov [7] v ľubovoľnom bode P , ktorý sa nachádza vo vzdialenom poli (*Fraunhoferova oblasť, zóna žiarenia*). Využitím vlastností Fraunhoferovej zóny [2] získame vzťah, ktorý definuje tvar interferenčnej funkcie pre cylindrickú anténnu sústavu. Ak uvažujeme izotropické žiariče, potom interferenčnú funkciu pre prvky umiestnené v cylindrickej súradnicovej sústave možno vyjadriť v tvare:

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N \exp \left(jk \begin{pmatrix} a \sin\theta \cos(\phi - \phi_n) \\ + z_n \cos\theta \end{pmatrix} \right) \quad (5)$$

kde a je polomer cylindrickej anténnej sústavy, z_n je súradnica n -tého prvku v smere osi z . Súradnice polohy n -tého prvku v tejto anténnej sústave sú potom $[a, \phi_n, z_n]$.



Obr. 3 Štrukturovaná cylindrická anténna sústava
Fig. 3 Structured cylindrical antenna array

Interferenčnú funkciu možno vyjadriť aj vo vektorovom tvare:

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N \exp\left(|\vec{r}_{fn}| (\vec{a}_r \cdot \vec{a}_{r_{fn}})\right) \quad (6)$$

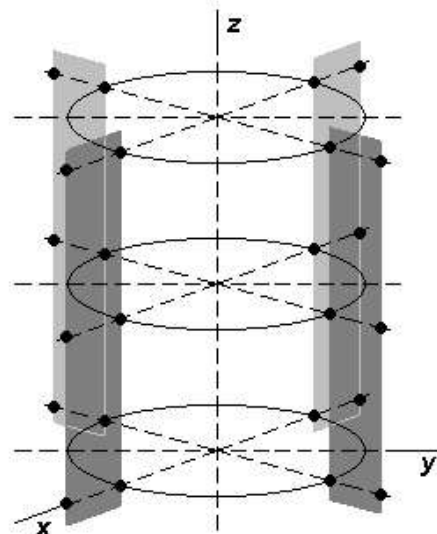
Fázové pomery vo všeobecnosti možno definovať skalárnym súčinom jednotkového polohového vektora \vec{a}_r a jednotkového polohového vektora $\vec{a}_{r_{fn}}$ viazaného na stred anténneho prvku. Modul r_{fn} predstavuje vzdialenosť n -tého prvku od počiatku súradnicovej sústavy.

Riešenie štrukturovanej cylindrickej anténnej sústavy môžeme realizovať viacerými spôsobmi. Prvým spôsobom je aplikovanie všeobecného vzťahu (6), alebo jeho konkretizáciou v tvare (5). Ak využijeme predpoklad periodicky rozmiestnených prvkov, môžeme použiť metódu postupných transformácií [1], [2], ktoré sú zobrazené na obr. 3 a 4. Obr. 3 predstavuje riešenie jednotlivých sústredných kruhových anténnych sústav a potom riešenie lineárnej anténnej sústavy s prvkami v smere osi z . Obr. 4 predstavuje riešenie jednotlivých lineárnych anténnych sústav umiestnených na kruhovej anténnej sústave (KAS) s postupným riešením lineárnej anténnej sústavy (LAS). Všetky tieto postupy vedú k identickým výsledkom riešenia. Pri predpoklade všesmerových prvkov, pre elektrickú zložku poľa platí:

$$\vec{E}(\theta, \phi) = E_0 \frac{e^{-jkr}}{r} \times \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left(\exp(ka_m \sin\theta \cos(\phi - \phi_n)) \times \exp(kz_p \cos\theta) \right) \quad (7)$$

kde N je počet prvkov kruhovej anténnej sústavy (tento je vo všetkých KAS konštantný), a_m je polomer m -tej sústredenej KAS, z_p je vzdialenosť

jednotlivých vrstiev tvorených sústrednými KAS v smere osi z a ϕ_n je poloha n -tej LAS, ktorými je tvorená KAS.

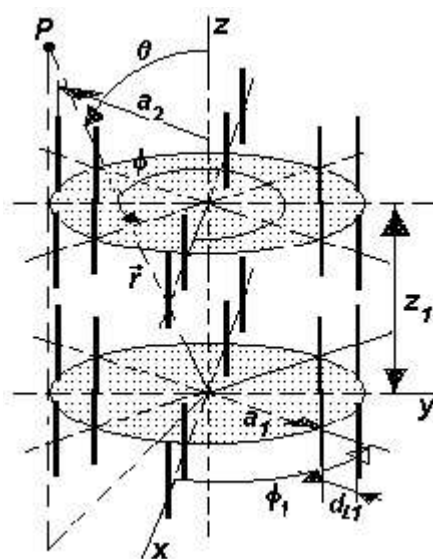


Obr. 4 Linárne AS na kruhovej AS
Fig. 4 Linear AS on the cylindrical AS

Potom komplexná interferenčná funkcia štrukturovanej anténnej sústavy podľa obr. 3 a 4 bude:

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left(\exp(ka_m \sin\theta \cos(\phi - \phi_n)) \times \exp(kz_p \cos\theta) \right) \quad (8)$$

Ak zdroje v takto definovanej anténnej sústave sú dipólové žiariče (obr. 5) orientované v smere osi z ,

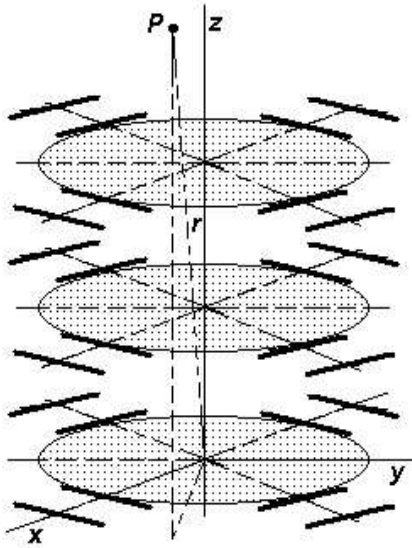


Obr. 5 SCAA s dipólmi na osi z
Fig. 5 SCAA with dipoles on the z -axis

potom výslednú elektrickú zložku poľa možno vyjadriť vo všeobecnom tvare

$$\begin{aligned} \dot{E}(\theta, \phi) = \dot{E}_0 \frac{k e^{-jkr}}{2 r} \times \\ \times A \dot{F}(\theta, \phi) \int_{-l}^l \dot{I}_Z(z') \exp(jkz' \cos \theta) \sin \theta dz' \end{aligned} \quad (9)$$

kde integrál predstavuje všeobecné vyjadrenie smerovej funkcie dipólu orientovaného v smere osi z . Štrukturovaná cylindrická anténa sústava (obr. 5) a (obr. 6) teda predstavuje zoskupenie lineárnych anténnych sústav na povrchu hypotetického valca s konštantným polomerom a_1 . Podstava tohoto zoskupenia je kruh, stenu alebo povrch tohto valca tvoria rovinné anténne sústavy, ktoré sú periodicky rozmiestnené po obvode tejto kružnice (obr. 6).



Obr. 6 SCAA s dipólmi v rovine X - Y
Fig. 6 SCAA with dipoles in the X - Y plane

Jednotlivé žiariče (LAS) sú rozmiestnené na povrchu valca, samotná orientácia dipólu a jeho veľkosť hrajú dôležitú úlohu pri riešení rozloženia elektromagnetického poľa. Predpokladajme, že povrch cylindrickej anténnej sústavy je tvorený jednotlivými samostatnými zdrojmi (LAS), ktoré možno transformáciou zoskupiť do lineárnych anténnych sústav. Riešenie rozloženia elektromagnetického poľa štrukturovanej cylindrickej anténnej sústavy potom spočíva vo vyjadrení elektromagnetického poľa od jednotlivých zdrojov (dipólov). Potom je nutné riešiť rozloženie poľa lineárnych anténnych sústav, ktoré tvoria jednotlivé prvky na povrchu valca a sú tvorené predtým riešenými zdrojmi. Takýmto spôsobom transformujeme jednotlivé lineárne anténne sústavy do jednej roviny a dostaneme kruhovú anténu sústavu. Vzťah (9) definuje rozloženie poľa pre prípad geometrickej konfigurácie anténnej sústavy ($N \times M \times P$) podľa obr. 5. Výsledné pole je určené smerovou funkciou

dipólu orientovaného v smere osi z a výsledná elektrická zložka poľa má iba zložku E_θ .

Ak uvažujeme cylindrickú anténu sústavu podľa obr. 6, musíme využiť úvahy vyplývajúce z rovníc (1) až (4). Riešením tejto geometrickej konfigurácie riešime dve zložky vektora elektrického poľa. Potom výsledné zložky poľa \dot{E}_θ a \dot{E}_ϕ možno vyjadriť v tvare:

$$\begin{aligned} \dot{E}_\theta(\theta, \phi) = E_0 \frac{k e^{-jkr}}{2 r} \times \\ \times \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left(R_{\theta n, m, p} \int_{-l}^l \dot{I}(z')_{n, m, p} \exp(jkz' M_{FI n, m, p}) dz' \times \right. \\ \left. \times \exp[k a_m \sin \theta \cos(\phi - \phi_n)] \exp[k z_p \cos \theta] \right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_\phi(\theta, \phi) = E_0 \frac{k e^{-jkr}}{2 r} \times \\ \times \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left(R_{\phi n, m, p} \int_{-l}^l \dot{I}(z')_{n, m, p} \exp(jkz' M_{FI n, m, p}) dz' \times \right. \\ \left. \times \exp[k a_m \sin \theta \cos(\phi - \phi_n)] \exp[k z_p \cos \theta] \right) \end{aligned} \quad (11)$$

kde

$$R_{\theta n, m} = \begin{pmatrix} -\cos \theta \cos \phi \cos \phi_{n, m} \\ -\cos \theta \sin \phi \sin \phi_{n, m} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$R_{\phi n, m} = (\sin \phi \cos \phi_{n, m} - \cos \phi \sin \phi_{n, m}) \quad (13)$$

pričom $M_{FI n, m}$ vyplýva zo vzťahu (4). Výsledný vektor elektrického poľa je teda daný vektorovým súčtom jednotlivých zložiek vyjadrených vzťahmi (10) a (11).

Pri použití záverov publikovaných v prácach [1] a [5], vzťah (9) po matematických úpravách možno vyjadriť aj v aproximovanom tvare:

$$\begin{aligned} \dot{E}(\theta, \phi) = \dot{E}_0 \frac{k e^{-jkr}}{2 r} \times N \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \left[J_0(k a_m \sin \theta) \times \right. \\ \left. \exp(k z_p \cos \theta) \right] \times \\ \times \int_{-l}^l \dot{I}_Z(z') \exp(jkz' \cos \theta) \sin \theta dz' \end{aligned} \quad (14)$$

Ak predpokladáme umiestnenie SCAA v strede súradnicovej sústavy a využijeme závery z prác [1] a [2], pre riešenie LAS ak orientácia dipólov je v smere osi z (obr. 5), možno vzťah (14) vyjadriť nasledovne:

$$\begin{aligned} \dot{E}(\theta, \phi) = \dot{E}_0 \frac{k e^{-jkr}}{2 r} \times \\ \times N \frac{\sin \frac{P}{2}(k z_1 \cos \theta)}{\sin \frac{1}{2}(k z_1 \cos \theta)} \sum_{m=1}^M J_0(k a_m \sin \theta) \times \\ \times \int_{-l}^l \dot{I}_Z(z') \exp(jkz' \cos \theta) \sin \theta dz' \end{aligned} \quad (15)$$

kde z_1 je vzdialenosť jednotlivých sústredených KAS na osi z . Vzťah (15) reprezentuje zjednodušené vyjadrenie elektrickej zložky poľa SCAA s využitím aproximácie kruhovej AS a vyriešením geometrického radu opisujúceho LAS. Použitím tohto vzťahu sa však stráca možnosť vyhodnotiť fázové pomery v anténnej sústave.

3.1 Zovšeobecnená komplexná interferenčná funkcia

Interferenčná funkcia SCAA, v ktorej sú jednotlivé prvky tvorené dvojprvkovou lineárnou sústavou, má tvar

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N \exp \left[\left(ka_1 \sin \theta \cos (\phi - \phi_n) + kz_p \cos \theta \right) \times \right. \\ \left. \times (1 + kd \sin \theta \cos (\phi - \phi_n)) \right] \quad (16)$$

kde d je vzdialenosť medzi prvkami v LAS.

Ak $z_p = 0$ a $d = 0$, potom pre interferenčnú funkciu kruhovej AS platí:

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N \exp \left(ka_1 \sin \theta \cos (\phi - \phi_n) \right) \quad (17)$$

Ak $a_1 = 0$ a $z_p = 0$, potom s využitím vlastností goniometrických funkcií možno získať interferenčnú funkciu dvojprvkovej AS s prvkami umiestnenými na osi y :

$$AF(\theta, \phi) = 1 + \exp (kd \sin \theta \sin \phi) \quad (18)$$

Ak $a_1 = 0$ a $\phi_n = 90^\circ$, vtedy získame interferenčnú funkciu rovinnej AS s prvkami distribuovanými v rovine (X - Y):

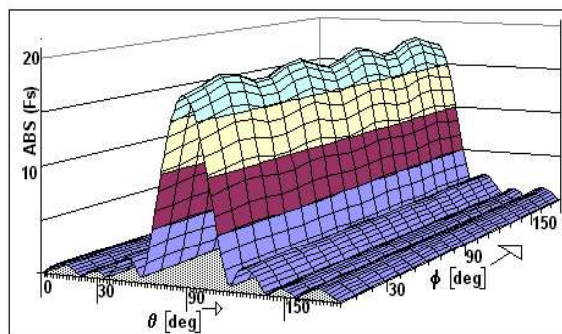
$$AF(\theta, \phi) = \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N \exp \left[\left(kz_p \cos \theta \right) (1 + \exp (kd \sin \theta \sin \phi)) \right] \quad (19)$$

Ak predpokladáme $d = 0$, získame interferenčnú funkciu cylindrickej anténnej sústavy v tvare:

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{p=1}^P \sum_{n=1}^N \exp \left[ka_1 \sin \theta \cos (\phi - \phi_n) + kz_p \cos \theta \right] \quad (20)$$

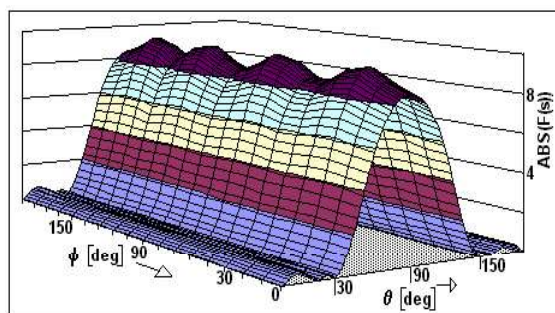
4. VYŽAROVANIE ŠTRUKTUROVANEJ CYLINDRICKÉJ ANTÉNNEJ SÚSTAVY

Priestorové zobrazenie smerovej charakteristiky SCAA ($8 \times 4 \times 2$) s dipólmi orientovanými v smere osi z je znázornené na obr. 7. Z priebehu smerovej charakteristiky je zrejma všesmerovosť SCAA v H rovine.



Obr. 7 Smerová charakteristika SCAA v rovine H
Fig. 7 Radiation pattern of SCAA in the H plane

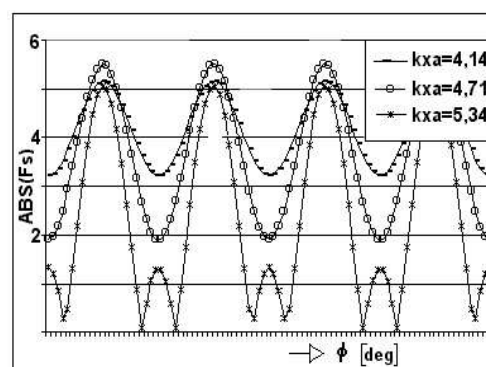
Priestorové zobrazenie SCAA ($8 \times 2 \times 2$) s dipólmi orientovanými v smere osi z je znázornené na obr. 8. Aj v tomto prípade pozorujeme všesmerovosť smerovej charakteristiky v H rovine.



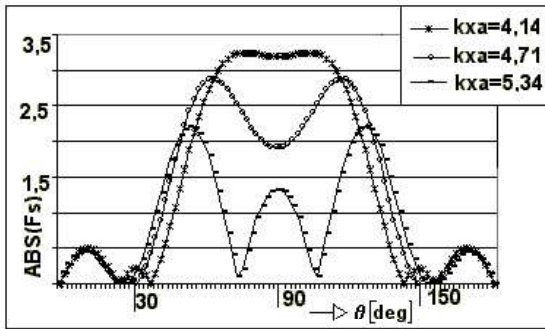
Obr. 8 Smerová charakteristika SCAA v rovine H
Fig. 8 Radiation pattern of SCAA in the H plane

Z tvaru smerových charakteristík pri zmene vzdialenosti dipólových žiaričov vyplýva, že so zväčšovaním vzdialenosti medzi prvkami sa hlavný lalok smerovej charakteristiky zužuje a bočné laloky sa zväčšujú.

Grafické závislosti na obr. 9 a 10 reprezentujú smerové charakteristiky pri zmene polomeru a v základných polarizačných rovinách H a E .



Obr. 9 Závislosť smerových charakteristík v rovine H od polomeru SCAA
Fig. 9 Dependence of radiation patterns in the H plane on the radius SCAA



Obr. 10 Závislosť smerových charakteristík v rovine H od polomeru SCAA

Fig. 10 Dependence of radiation patterns in the H plane on the radius SCAA

5. ZÁVER

Použitím kruhovej anténnej sústavy je možné eliminovať kruhové otáčanie anténnej sústavy [4]. Toto zjednodušenie môže viesť k zníženiu nákladov na výrobu anténnej sústavy, zníženie nákladov na údržbu a kontrolu mechanického systému otáčania. Využitím štrukturovanej cylindrickej anténnej sústavy v špeciálnych aplikáciách je možné dosiahnuť zníženie nákladov na montáž, údržbu a riadenie anténnej sústavy. Táto anténa sústava je vhodným prvkom zabezpečujúcim ochranu obsluhu radarových systémov pred protiradarovými prostriedkami a s využitím triangulačných metód je schopná detekovať vzdušné objekty nad pomerne veľkými územnými celkami.

Použitím štrukturovanej cylindrickej anténnej sústavy je možné dosiahnuť takmer všesmerovú vyžarovaciu charakteristiku. Táto anténa sústava je predurčená na aplikáciu v adaptívnych anténnych sústavách. V danej konfigurácii je použiteľná ako prostriedok včasnej výstrahy pre obsluhu radarových systémov, prípadne pre detekciu vzdušných objektov s malou efektívnou odraznou plochou (RCS). Napokon s takouto anténou sústavou je možné prekryť priestory radarových systémov s menšou prevdepodobnosťou detekcie vzdušných objektov.

LITERATÚRA

- [1] Balanis, C. A.: Antenna Theory, Part 1 and 2, Harper & Row, New York 1982.
- [2] Collin, R. – Zucker, F.: Antenna theory, Part 1, McGraw-Hill, Inc. New York 1969.
- [3] Andrews, C. L.: Special Functions of Mathematics for Engineers, McGraw Hill, New York 1992.
- [4] Zatman, M.: Circular Array STAP, IEEE Transactions on aerospace and electronic Systems, Vol. 36, No.2, pp. 510-517, apríl 2000.
- [5] King, R. W. P. – Mack, B. R. – Sandler, S. S.: Arrays of cylindrical dipoles. Cambridge, 1968.
- [6] Černohorský, D. – Nováček, Z. – Raida, Z.: Elektromagnetické vlny a vedení, VUT Brno, VUTIUM, 1999.
- [7] Hajach, P. – Beník, Š.: Adaptive antenna arrays – Solving radiation patterns of two concurrently oriented elements, In: Conference Proceedings, Radioelektronika 2000, Bratislava, Sept. 2000, pp. 110-111.

BIOGRAPHY

Štefan Beník (Ing.) was born in Bratislava, Slovak Republic, on April 1964. He received the Ing. Degree in electrical engineering from the VVTŠ of Liptovský Mikuláš, in 1988. His research interests include adaptive antennas.

Peter Hajach (doc., Ing., Ph.D.) was born in Bratislava, Slovak Republic, on June 1946. He received the Ing. Degree in electrical engineering from the Slovak Technical University of Bratislava, in 1969, and the Ph.D. degree in radioelectronics from the STU Bratislava, in 1984. He is currently the Associate professor at the Radioelectronic department of the STU Bratislava. His research interests include microwave antennas.