

روشی ساده برای کاهش گلبُرگهای فرعی در آنتن آرایه فازی خطی با وزندهی یکنواخت و غیر یکنواخت با ایده از فن SLC

بیژن عباسی آرند^۱

محمد حکاک^۲، وحید انصاری^۳

چکیده

کاهش گلبُرگهای فرعی ساختارهای آنتنها همواره به عنوان یک هدف عمده در طراحی آنتن مطرح است. در این مقاله روشی جدید برای کاهش گلبُرگهای فرعی الگو تشعشی یک آنتن آرایه فاز با وزندهی یکنواخت ارائه شده است. در این روش به کمک اصلاح وزن المانهای آرایه و یا با اضافه نمودن المانهای اضافی همانند تکنیک SLC میتوان به الگوی با گلبُرگهای فرعی کوچک دست یافت. در این روش میتوان با توجه به ضرورت طراحی مقدار SLL را تا 10 dB - در گلبُرگ فرعی اول کاهش داد به گونه ای که پهنای بیم اصلی کمتر از 3% تغییر کند و مقدار بهره نیز تغییرات ناچیز و قابل قبولی داشته باشد. از آنجایی که در عمل و با توجه به کاربرد از وزن دهی های غیریکنواخت نیز استفاده می شود، لذا روشی جدید نیز برای کاهش گلبُرگهای فرعی الگو تشعشی یک آنتن آرایه فاز که از وزندهی تیلور استفاده میکند، ارائه شده است. در این روش با استفاده از نتایج بدست آمده از روش وزندهی یکنواخت بردار وزن المانهای آرایه بگونه ای اصلاح خواهد شد که در الگو منتهجه کاهش گلبُرگهای فرعی محسوس باشد. در این روش میتوان با توجه به ضرورت طراحی مقدار SLL را تا 10 dB - نسبت به وزندهی تیلور اولیه کاهش داد به گونه ای که پهنای بیم اصلی در حدود 1% الی 2% تغییر کند و مقدار بهره ی آرایه نیز تغییرات ناچیز و قابل قبولی داشته باشد. از آنجایی که در آنتن های آرایه فاز میتوان بیم اصلی را به صورت الکترونیکی و با اعمال فاز مناسب در زاویه ی دلخواه قرار داد، کارایی این روش در حالت اسکن الگو، در هر دو حالت نیز بررسی شده است.

کلید واژه

ساختار SLC، فاکتور آرایه، کاهش گلبُرگهای فرعی.

۱. دانش آموخته دکتری برق - دانشگاه تربیت مدرس abbasi@modares.ac.ir

۲. استاد دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

۳. دانشکده برق، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲ تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۱۴

مقدمه

آنتن های جهتی که سطح گلبُرگهای فرعی آنها پایین باشد، به دلیل کاهش تداخل کاربردهای وسیعی دارند. آنتن های آرایه بدلیل امکان تنظیم توزیع دامنه ی المانها و انتخاب مناسب وزن دهی برای رسیدن به چنین منظوری مناسبند. در این مقاله فرض میشود آرایه ای مورد نظر، خطی منطبق بر محور Z هاست که فاصله ی بین المانها برابر با نصف طول موج می باشد. وزندهی یکنواخت چنین آرایه های، هرچند بهره ی بیم اصلی ماکزیمم خواهد داشت ولی گلبُرگهای فرعی آن نیز بالا خواهد بود [۱]. لذا روشهای تحلیلی و عددی بسیاری برای تعیین وزنه های اعمالی به المانهای یک آرایه وجود دارد که هر یک وزنه های مناسب برای رسیدن به سطوح گلبُرگ فرعی مناسب بدست می دهند [۲ و ۱]. برخی روشهای متکی بر الگوریتم ژنتیک نیز در [۳ و ۴] شرح داده شده اند. در سالهای اخیر روشهای عددی از اهمیت ویژه ای برخوردار شده اند و روشهای بهینه سازی خطی و غیر خطی به موازات روشهای وفقی توسعه ی زیادی یافته اند [۵ و ۷]. در ابتدای این مقاله روابط و نمادهای مورد استفاده معرفی شده است. سپس در بخش دوم کاهش گلبُرگ های فرعی در آرایه ای که به صورت یکنواخت وزندهی شده، با روشی جدید ارائه خواهد شد. در بخش سوم و با توجه به نتایجی که از وزن دهی یکنواخت بدست آمده، بردار وزن غیر یکنواختی (تیلور) بمنظور دستیابی به الگو تشعشی با سطوح گلبُرگ فرعی پایین تر و به کمک شبیه سازی اصلاح خواهد شد. در هر یک از دو بخش اخیر نیز نتایج را در حالت اسکن فضا مورد بررسی قرار گرفته است.

روابط و نماد گذاری ها

میدان کل ناشی از آرایه ای با المانهای مشابه برابر است با:

$$E(\text{total}) = [E(\text{single element at reference point})] \times [\text{Array Factor}] \quad (1)$$

در فرم دادن میدان تشعشی کل، الگو هر المان و فاکتور آرایه دخیل است. اگر المانهای آرایه را معلوم فرض کنیم، در این صورت آنچه در دست طراح برای فرم دادن الگو منتهی قرار دارد، فاکتور آرایه است. در حالت کلی فاکتور آرایه از رابطه ی زیر بدست می آید [۱]:

$$AF = w^2 v(k) \quad (2)$$

در این رابطه w بردار ستونی شامل وزنه های اعمالی به آرایه و $V(k)$ بردار هدایت است که به صورت

زیر تعریف میشوند:

$$w^H = [w_0^* \ w_1^* \ w_2^* \ \dots \ w_{N-1}^*] \quad (۳)$$

$$v(k) = \begin{bmatrix} e^{-jk^T P_0} \\ e^{-jk^T P_1} \\ \vdots \\ e^{-jk^T P_{N-1}} \end{bmatrix}, k = \frac{\omega}{c} \begin{bmatrix} -\sin \theta \cos \phi \\ -\sin \theta \sin \phi \\ -\cos \theta \end{bmatrix}, P_i = \begin{bmatrix} P_{x_i} \\ P_{y_i} \\ P_{z_i} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

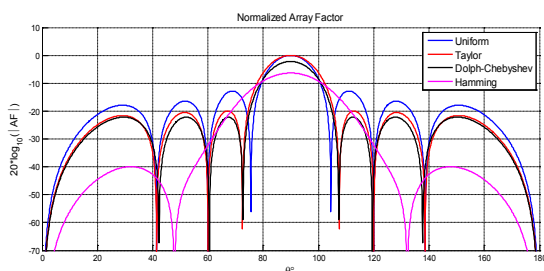
که مکان المان i ام آرایه میباشد. لذا فاکتور آرایه را میتوان به صورت زیر نوشت:

$$AF = \sum_{i=1}^N w_i e^{-jk^T P_i} \quad (۵)$$

به راحتی میتوان نشان داد فاکتور آرایه ی نرمالیزه شده حاصل از وزندهی یکنواخت به صورت زیر است [۲]:

$$\left\{ \begin{array}{l} AF = \frac{1}{N} \cdot \left(\frac{\sin \frac{N\phi}{2}}{\sin \frac{\phi}{2}} \right) \\ \phi = k_z d, k_z = -\frac{2\pi}{\lambda} \cos \theta = -k_0 \cos \theta \end{array} \right. \quad (۶)$$

همچنین از میان انواع روشهای وزندهی غیر یکنواخت، با هدف دستیابی به باریکترین بیم و کمترین سطح گلبرگ فرعی، سه روش وزندهی تیلور، چبیشف و همینگ دارای اهمیت ویژه ای می باشند. شکل ۱ فاکتور آرایه ی حاصل از چهار نوع وزندهی را نشان میدهد.



شکل (۱) فاکتور آرایه به ازاء بردار وزندهی مختلف در آرایه ای شامل ۸ المان

در این شکل وزنه‌های تیلور و چبیشف برای رسیدن به سطح گلبرگ فرعی 20dB تنظیم شده اند. همانگونه که شکل دیده میشود به ازاء وزندهی واحد، باریکترین پهنای بیم و بزرگترین گلبرگهای فرعی را داریم. وزندهی چبیشف برای رسیدن به سطح گلبرگ فرعی داده شده کمترین پهنای بیم را در بین روشهای وزندهی غیر واحد دارد و تمامی گلبرگها را در این سطح نگه می دارد. وزندهی تیلور نسبت به چبیشف پهنای بیم پهن تری را نتیجه میدهد ولی دامنه گلبرگهای فرعی الگو منتهجه از آن رفتار بهتری دارند. وزندهی همینگ نیز سطح گلبرگ فرعی 40dB - را نتیجه میدهد که البته پهنای بیم بیشتر را به دنبال دارد. هر یک از سه بردار وزن مطرح شده در نرم افزار Matlab با استفاده از سه دستور زیر تولید می شود:

$$1-Wt = \text{taylorwin}(N, \text{nbar}, \text{sll})$$

این دستور برداری ستونی به طول N تولید می نماید که تعداد nbar گلبرگ فرعی کنار گلبرگ اصلی فاکتور آرایه ی ناشی از آن دارای سطوح گلبرگ فرعی (sll)dB خواهد بود. در ضمن سایر گلبرگهای فرعی سطح گلبرگ فرعی پایین تری خواهند داشت.

$$2-WC = \text{chebwin}(N, r)$$

این دستور برداری ستونی به طول N تولید می نماید که گلبرگهای فرعی فاکتور آرایه ی ناشی از آن دارای سطوح گلبرگ فرعی (r)dB خواهند بود.

$$3-WH = \text{hamming}(N)$$

این دستور برداری ستونی با بعد N تولید می نماید که گلبرگ فرعی اول فاکتور آرایه ی ناشی از آن در حدود 40dB خواهند بود. سایر گلبرگهای فرعی سطح گلبرگ فرعی پایینتری دارند.

استفاده از دو المان کمکی

در فن SLC از یک یا چند المان (که این المانها میتوانند از آرایه ای اصلی باشند یا به آرایه اضافه شوند) به عنوان کانال کمکی استفاده میشود. در اینجا با ایده گرفتن از این روش (به کارگیری کانال کمکی)، الگو گلبرگهای فرعی کانال اصلی شبیه سازی می شوند و سپس با انجام تفاضل بین الگو کانال اصلی و فرعی به الگوی با گلبرگهای فرعی پایین خواهیم رسید. از آنجایی که یک تک المان فاکتور آرایه ای با اندازه ی یک در تمام جهات است لذا با آن نمی توان گلبرگهای فرعی را شبیه سازی

نمود. فاکتور آرایه ناشی از دو المان، که آن را با Af_a نشان می دهیم در حالت کلی از دو مولفه تشکیل شده است:

$$AF_a = w^H v'(k) = [w_0^* \ w_1^*] \begin{bmatrix} e^{-jk^T p'_0} \\ e^{-jk^T p'_1} \end{bmatrix} = w_0^* e^{-jk^T p'_0} + w_1^* e^{-jk^T p'_1} \quad (7)$$

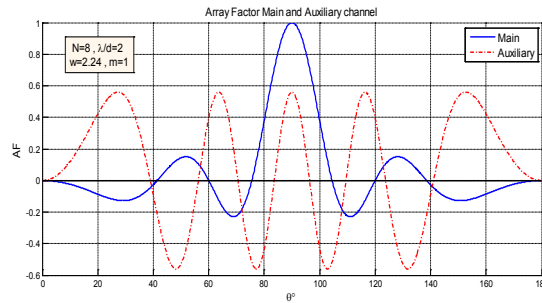
همان طور که دیده میشود این عبارت در حالت کلی مختلط است. از سویی فاکتور آرایه ی بدست آمده در رابطه ی (۶)، که هدف اصلاح آن است، حقیقی است. لذا اولین موضوعی که باید در نظر گرفته شود حقیقی کردن رابطه (۷) است. البته این موضوع، یعنی حقیقی کردن رابطه ی (۷) سبب سادگی در تحلیل نیز میشود. با توجه به رابطه ی اوپلر یک راه حل ساده برای این موضوع تنظیم پارامترهای رابطه ی (۷) به گونه ای است که نتیجه یک تابع سینوسی یا کسینوسی شود. اگر چنانچه ضرائب توابع نمایی یکسان و فاز آنها قرینه هم باشد، در این صورت این خواسته تحقق خواهد یافت. این بدان معناست که اولاً باید وزنهاى دو کانال کمکی برابر بوده و ثانیاً المانهای کمکی باید به صورت متقارن در طرفین آرایه واقع شده باشند. اگر وزنها به صورت $w=w_1^*=w_2^*$ و فاصله بین دو المان کانال کمکی L در نظر گرفته شود، در این صورت:

$$AF_a = w e^{jk^T \frac{L}{2}} + w e^{-jk^T \frac{L}{2}} = 2w \cos(k_0 \frac{L}{2} \cos \theta) \quad (8)$$

اگر رابطه ی بین L و d و N به صورت $L = (N + m)d$ در نظر گرفته شود، در این صورت:

$$AF_a = 2w \cos((N + m) \frac{\Phi}{2}) \quad (9)$$

برای مشخص شدن ایده ی کار، هر دو رابطه ی (۶) و (۹) در شکل ۲ رسم شده است. اولین گام در شبیه سازی گلبرگهای فرعی، منطبق کردن صفرهای این دو منحنی بر یکدیگر است.



شکل ۲) فاکتور آرایه ای کانال اصلی و فرعی

تعیین فاصله ی بین المانها

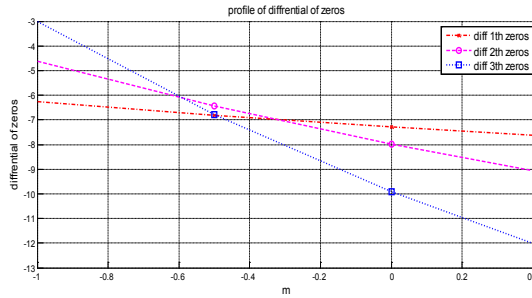
جدول ۱ صفرهای این دو فاکتور آرایه را در حالت کلی نشان میدهد. همانطور که از جدول دیده میشود برای انطباق صفرها بر هم، تنها یک پارامتر، L ، در اختیار است. با توجه به آنکه تعداد صفرها بیش از یکی است، مشخصاً در این صورت جواب یکتایی برای L نداریم. اما از آنجا که هدف انطباق حد اکثری صفرها بر هم است، اختلاف بین صفرها را به عنوان ملاک تعیین L انتخاب می کنیم.

θ_n	θ'_n	شماره صفر
$\pm \cos^{-1}(\lambda/Nd)$	$\pm \cos^{-1}(\lambda/\sqrt{L})$	صفر اول
$\pm \cos^{-1}(2\lambda/Nd)$	$\pm \cos^{-1}(3\lambda/\sqrt{L})$	صفر دوم
$\pm \cos^{-1}(3\lambda/Nd)$	$\pm \cos^{-1}(5\lambda/\sqrt{L})$	صفر سوم
$\pm \cos^{-1}(4\lambda/Nd)$	$\pm \cos^{-1}(7\lambda/\sqrt{L})$	صفر چهارم
.....

جدول ۱) لیست صفرهای فاکتور آرایه ای کانال اصلی و فرعی

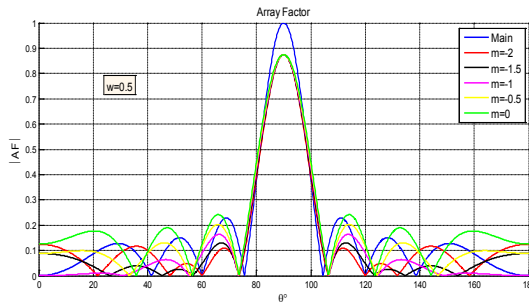
برای حل مسئله تعداد المانهای کانال اصلی برابر با ۸ و نسبت طول موج به فاصله ی بین المانها برابر ۲ باشد. شکل ۳ منحنی مربوط به اختلاف بین صفرهای متوالی کانال اصلی و کانال فرعی را به ازاء مقادیر مختلف m نشان می دهد. فاکتور آرایه کانال اصلی در محدوده ی دید، شش صفر دارد که به دلیل تقارن مسئله تنها بررسی روی نیمی از صفرها انجام شده است. از این شکل میتوان برای انتخاب مقدار مناسب m استفاده نمود. فاصله ی بین المانها باید بگونه ای انتخاب گردد که اولاً سطح کلیه

گلبرگهای فرعی کانال منتهجه کاهش یابد، ثانیاً تا جایی که امکان دارد اختلاف بین صفرهای متوالی کم شود.



شکل ۳) نمایه اختلاف بین صفرهای کانال اصلی و کمکی

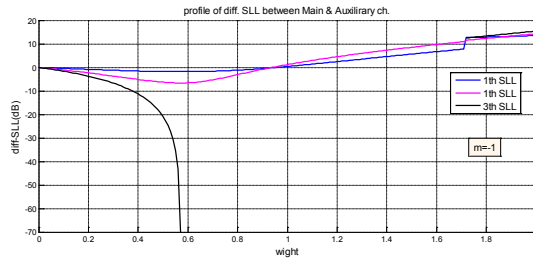
چنانچه m در بازه ۰ تا ۲- قرار گیرد در این صورت اختلاف بین صفرها حداکثر ده درجه خواهد بود. شکل ۴ اندازه ی فاکتور آرایه کانال اصلی و منتهجه ناشی از چند مقدار m در بازه ی گفته شده و به ازاء وزن دلخواه ۰/۵ را نشان میدهد. به ازاء $m = -1$ کاهش مناسبی در سطح تمام گلبرگهای فرعی نهایی رخ خواهد داد.



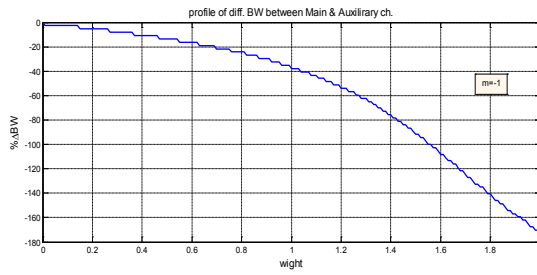
شکل ۴) اندازه فاکتور آرایه منتهجه به ازاء مقادیر مختلف m

تعیین وزن کانال کمکی

بمنظور تعیین وزنها، ملاک بهترین تضعیف در گلبرگهای فرعی بگونه ای است که پهنای بیم و بهره تغییرات چندانی نداشته باشد. اختلاف بین سطوح گلبرگ فرعی و پهنای بیم به ازاء مقادیر مختلف وزن اعمالی به کانال کمکی در شکل ۵ آمده است. به ازاء وزنها بزرگتر از یک گلبرگهای فرعی افزایش خواهند داشت اما به ازاء وزن ۰/۴۸ نه تنها تضعیف در سطح گلبرگهای فرعی داریم، بلکه تغییرات پهنای بیم اصلی چندان زیاد نخواهد بود.



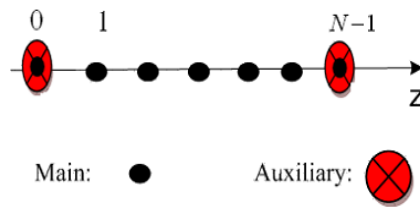
(الف)



(ب)

شکل (۵) نمایه اختلاف الف) سطوح گلبرگ فرعی ب) پهنای بزم

با توجه به این مباحث، ساختار بهینه در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل (۶) ساختار بهینه ی آرایه

الگوی منتجه از رابطه زیر بدست می آید:

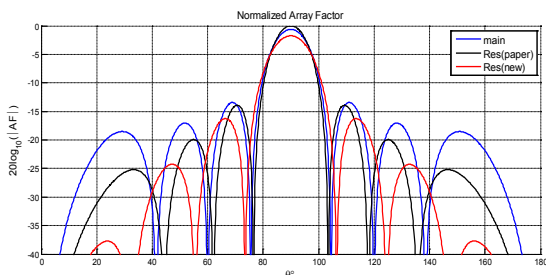
$$AF_R = \left(\sin \frac{N\Phi}{2} / \sin \frac{\Phi}{2} \right) - 2 \times 0.48 \times \cos \left((N-1) \frac{\Phi}{2} \right) \quad (10)$$

از آنجایی که المانهای کمکی اضافه شده بر المانهای اول و آخر منطبق است، لذا با اصلاح بردار وزن از یکنواخت، به صورت زیر میتوان به کاهش گلبرگ فرعی دست یافت.

(۱۱)

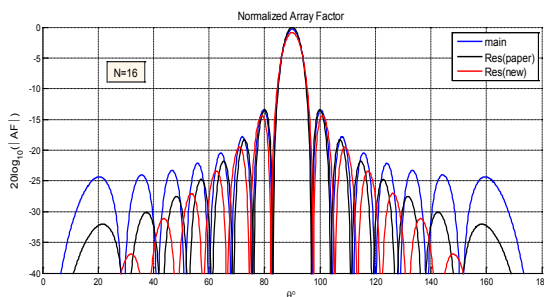
$$w = [0.52, 1, 1, \dots, 1, 1, 0.52]$$

در [۸] با دیدگاه کاهش گلبرگهای فرعی نه تنها معیار تعیین فاصله بین المانها و وزندهی اعمالی مشخص نیست بلکه برای رسیدن به کاهش گلبرگها دو المان به ابتدا و انتهای کانال اصلی اضافه شده است، در صورتی که در اینجا علاوه بر مشخص بودن روند دست یابی به فاصله ی بین المانها و وزن اعمالی، به این نتیجه رسیدیم که دو المانی که باید اضافه گردد بر دو المان ابتدایی و انتهایی آرایه اصلی منطبق است. یعنی نیازی به اضافه نمودن کانال اضافی نیست و تنها با اصلاح وزندهی اعمالی به المانهای آرایه میتوان به نتیجه مطلوب دست یافت. شکل ۷ الگو کانال اصلی و منتجه حاصل از دو روش را نشان میدهد.



شکل ۷ الگو فاکتور آرایه $\lambda=N$

همانطور که دیده میشود کاهش گلبرگهای فرعی ناشی از این روش بیشتر است هر چند از نظر گین و پهنای بیم نتایج حاصل بهتر از [۸] است. اگر کار [۸] را با وجود استفاده از کانال کمکی اضافه شده، یک روش وزندهی آرایه‌های با ده المان در نظر بگیریم در این صورت این نتایج منطقی است زیرا هرچه المانهای آرایه بیشتر باشد، گین الگو منتجه از آن آرایه بیشتر و پهنای بیم باریک تری خواهیم داشت. البته زمانی که تعداد المانهای آرایه بیشتر هستند اثرات نامطلوب که در گین و پهنای بیم مشاهده شد، کمتر خواهد بود. به عنوان مثال فاکتور آرایه به ازاء تعداد ۱۶ المان در شکل ۸ رسم شده است.



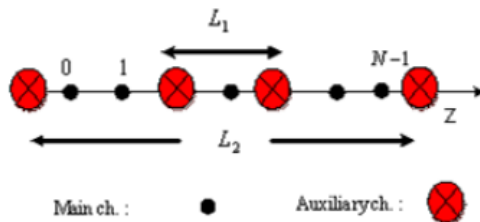
شکل ۸) الگو فاکتور آرایه با $N=16$

استفاده از چهار کانال فرعی

در بخش قبل مشاهده شد که در انطباق صفرهای دو منحنی تنها یک پارامتر در اختیار بود. به منظور دستیابی به شرایط بهتر، به این معنا که پارامترهای بیشتری در منطبق کردن دو منحنی در اختیار قرار گیرد، ایده ی افزایش تعداد کانال کمکی مد نظر قرار گرفت. اگر تنها یک کانال کمکی دیگر اضافه شود در این صورت فاکتور آرایه شامل سه جمله ی نمایی میشود که حقیقی کردن آن به راحتی امکان پذیر نیست. لذا تعداد کانال کمکی چهار المان در نظر گرفته می شود. اگر مطابق شکل ۱۰ فاصله بین دو المان کانال کمکی درونی را L_1 و فاصله بین دو المان بیرونی را L_2 بنامیم و همچنین اگر $A1=w0^*=w3^*$ و $A2=w1^*=w2^*$ در نظر گرفته شود در این صورت خواهیم داشت:

$$AF_a = w^H v'(k) = [w_0^* \ w_1^* \ w_2^* \ w_3^*] \begin{bmatrix} e^{-jk^T p'_0} \\ e^{-jk^T p'_1} \\ e^{-jk^T p'_2} \\ e^{-jk^T p'_3} \end{bmatrix} \tag{12}$$

$$= w_0^* e^{-jk^T p'_0} + w_1^* e^{-jk^T p'_1} + w_2^* e^{-jk^T p'_2} + w_3^* e^{-jk^T p'_3}$$



شکل ۹) آرایه خطی با چهار کانال کمکی

از آنجایی که بررسی صفرهای این تابع در حالت کلی دشوار است و از طرفی با توجه به اینکه فرم

فاکتور آرایه کانال اصلی سینوسی می‌باشد فرض ساده کننده ی یکسان بودن وزن کانالهای کمکی $(A=-A_1=A_2)$ نیز در نظر گرفته میشود. با فرض $L_2 = (N + m_2)d$ و $L_1 = (N + m_1)d$ فاکتور آرایه کانال کمکی به صورت زیر در خواهد آمد:

$$AF_a = -4A \sin\left(\left(\frac{N}{2} + \frac{m_2+m_1}{2}\right)\Phi\right) \sin\left(\left(\frac{m_2-m_1}{4}\right)\Phi\right) \quad (13)$$

حال اگر $m_2=-m_1=m$ باشد، در این صورت فاکتور آرایه ی کانال کمکی به صورت زیر در خواهد آمد:

$$AF_a = -4A \sin\left(\frac{N}{2}\Phi\right) \sin\left(\frac{m\Phi}{2}\right) \quad (14)$$

لذا با تعاریف مناسب و ساده از سوئی و تعداد المان کمکی بیشتر، شباهت میان تابع کانال اصلی و کمکی به میزان زیادی بهبود یافته است.

۴-۱- تعیین فاصله بین المانهای کمکی

صفرهای کانال کمکی از معادله زیر بدست می آید:

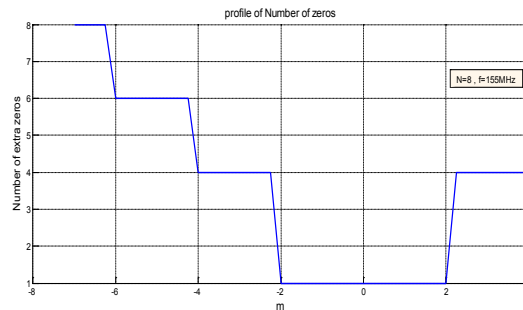
$$\sin\left(\frac{N}{2}\Phi\right) = 0, \quad \sin\left(\frac{m\Phi}{2}\right) = 0 \quad (15)$$

مشخصاً در این حالت علاوه بر صفرهای کانال اصلی، صفرهای دیگری نیز اضافه شده است. از آنجایی که در اینجا هدف منطبق نمودن این صفرهای اضافی بر صفرهای کانال اصلی است، لذا این صفرها در جدول ۲ لیست شده اند. از جدول ۲ چند نکته حائز اهمیت برداشت می شود. اولاً به ازاء هر مقدار از m حتماً در زاویه ۹۰ درجه (بیم اصلی) صفر وجود دارد. وجود صفر در این بخش از الگوی کانال کمکی سبب می شود که بعد از عمل تفاضل، در بیم اصلی کانال منتهجه تضعیف زیادی نداشته باشیم. همچنین این امر به ازاء هر مقدار m رخ میدهد و لذا در تعیین مقدار m با هر معیاری این مزیت وجود خواهد داشت. ثانیاً در حالت کلی این صفرهای اضافی بر صفرهای کانال اصلی منطبق نیستند که این امر از کارایی این روش می کاهد. برای آرایه ی مشخص، این نقیصه را تنها با یک روش میتوان بر طرف نمود و آن اینکه مقدار m به گونه ای انتخاب شود که به غیر از صفر اجباری که در ۹۰ درجه داریم سایر صفرها خارج زاویه دید آرایه یعنی محدوده ی ۰ تا ۱۸۰ درجه واقع شود.

θ_n	θ'_n	شماره صفر
$\pm \cos^{-1}(\lambda/Nd)$	۹۰	صفر اول
$\pm \cos^{-1}(\lambda/Nd)$	$\pm \cos^{-1}(\lambda/md)$	صفر دوم
$\pm \cos^{-1}(3\lambda/Nd)$	$\pm \cos^{-1}(3\lambda/md)$	صفر سوم
$\pm \cos^{-1}(4\lambda/Nd)$	$\pm \cos^{-1}(4\lambda/md)$	صفر چهارم
...

جدول ۲: لیست صفرهای کانال اصلی و کمکی

برای آرایه مورد بحث، شکل ۱۰ تعداد صفرهای اضافی کانال کمکی به ازاء مقادیر مختلف m را نشان می دهد.

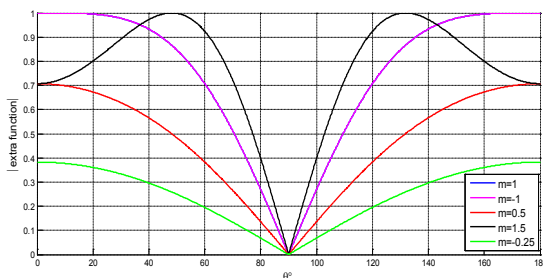


شکل ۱۰: تعداد صفرهای اضافی کانال کمکی

با توجه به مباحث مطرح شده، میتوان ایده ی اولیه در خصوص تعیین مقدار مناسب m را بدست آورد. در حقیقت مقدار m را بگونه ای انتخاب می کنیم که در زاویه دید تنها یک صفر داشته باشیم. همانطور که دیده می شود به ازاء مقادیر m در بازه ی -2 تا 2 تعداد صفرهای اضافی یکی است. شکل ۱۱ اندازه ی ترم دوم فاکتور آرایه کانال کمکی به ازاء چند مقدار m در این بازه را نشان می دهد. ضمن اینکه به ازاء این مقدار m ، تغییرات تابع کم است که موجب می شود بیم اصلی بعد از اعمال تکنیک زیاد خراب نشود. لذا $m=1$ به عنوان مقدار بهینه انتخاب می شود.

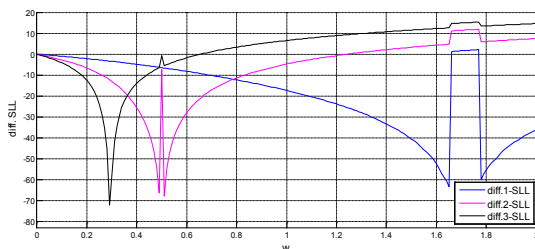
تعیین وزن اعمالی به المانهای کمکی

در این حالت نیز میتوان همان معیارهای قبلی را به کار برد.

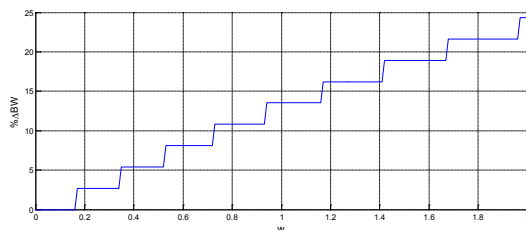


شکل ۱۱) اندازه ی ترم دوم فاکتور آرایه کانال کمکی به ازاء مقادیر مختلف m

نتایج شبیه سازی اختلاف سطوح گلبرگهای فرعی و اختلاف پهنای بیم در شکل ۱۲ آمده است. به ازاء وزن 0.24 افت مناسبی در هر سه گلبرگ داریم. اندازه ی فاکتور آرایه به ازاء این مقدار در شکل ۱۳ رسم شده است. همانگونه که مشاهده شد در این حالت نیز دو المان از چهار المانی فرضی که به عنوان کانال کمکی در نظر گرفته بودیم در درون آرایه ی اصلی قرار گرفت. این بدان معناست که عملاً کفایت وزن اعمالی به دو المان یکی مانده به انتهای آرایه ی اصلی را اصلاح نموده و تنها دو المان با فاصله ای برابر با فاصله ی بین المانهای کانال اصلی به دو انتهای آرایه ی اصلی با وزنی که از تحلیل های همین بخش بدست آمد، اضافه نماییم. هر چند در این روش مجبور به اضافه نمودن دو المان هستیم ولی به بهبودی در حدود 10db ، 30db و 5dB در گلبرگهای فرعی سوم، دوم و اول دست یافتیم بدون آنکه در بهره و پهنای بیم شاهد تغییری مشاهده گردد.

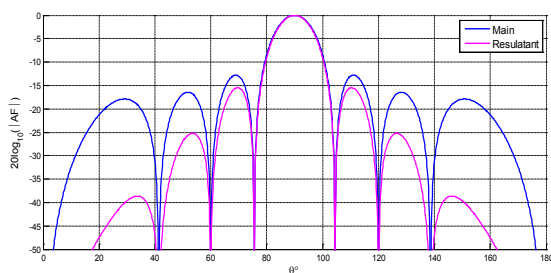


(الف)



(ب)

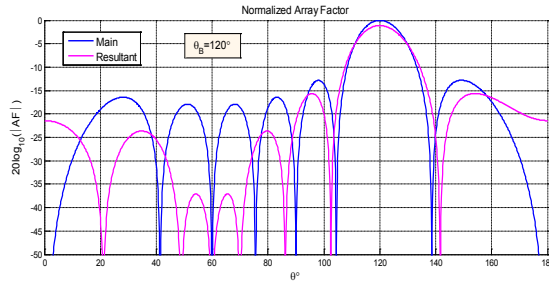
شکل ۱۲: نمایه اختلاف الف) سطوح گلبرگ فرعی ب) پهنای بیم



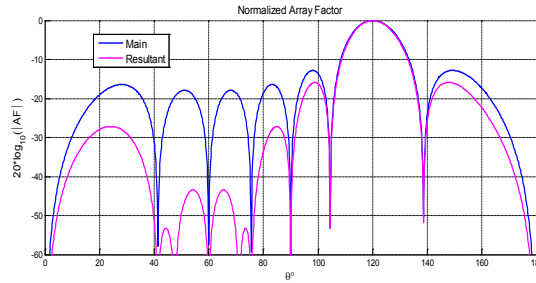
شکل ۱۳) اندازه‌ی فاکتور آرایه کانال اصلی و منتهجه

بررسی اثر اسکن الگو

از ویژگی‌های اصلی انتن آرایه فاز چرخش بیم با اعمال فاز مناسب می‌باشد. در بخش قبل وزنه‌های اعمالی حقیقی بودند. یعنی چرخش بیم وجود نداشت. از آنجا که اساس این روش بر انطباق صفرهای کانال اصلی و کمکی استوار است، لذا چنانچه حرکت الگو آرایه‌ی اصلی و کمکی را با هم هماهنگ کنیم، نتایج حاصل در بخش قبل حفظ خواهد شد. به عبارت دیگر میتوان گفت این روش در برابر اسکن الگو مقاوم خواهد بود. شکل ۱۴ و ۱۵ الگو اولیه و اصلاح شده با ایده‌ی دو و چهار کانال کمکی و در زاویه اسکن ۱۲۰ درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴) فاکتور آرایه در زاویه اسکن ۱۲۰ درجه با ایده ی دو کانال کمکی



شکل ۱۵) فاکتور آرایه در زاویه اسکن ۱۲۰ درجه با ایده ی چهار کانال کمکی

طرح مسئله در حالت وزندهی غیر یکنواخت

در حالت غیر یکنواخت، فرض میشود (20, 5, -35) Taylorwin تولید کننده ی بردار وزن باشد. برای بررسی کارایی روش های مختلف، علاوه بر ترسیم الگو از سه پارامتر زیر نیز استفاده شده است:

$$1-\Delta BW=BW_m-BW_r$$

$$2-\Delta SLL_i=SLL_{mi}-SLL_{ri}$$

$$3-\Delta G=G_m-G_r$$

این پارامترها به ترتیب میزان تغییرات پهنای باند، سطوح گلبرگ فرعی و بهره، قبل و بعد از اعمال فن را نشان می دهند. ویژگیهای مهم الگو حاصل از این بردار وزن دهی در جدول ۳ آمده است.

BW	N-Gain (dB)	Side Lobe Level(dB)								
		1 th	2 th	3 th	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th
6.8°	0	35.12	35.01	35.14	36.02	36.02	36.68	37.2	37.55	37.72

جدول ۳) مشخصات الگو با وزندهی (taylorwin (20, 5, -35)

در این بخش با اعمال تکنیکی مناسب بردار وزن اولیه به گونه ای اصلاح شده که الگو منتهی آن ویژگی های مطلوب تری نسبت به ویژگی هایی که در جدول ۳ آورده شده است، داشته باشد.

حل مسئله با استفاده از دو کانال کمکی فرضی

در این بخش با ایده از بخش ۳، شبیه سازی و همین طور با استفاده از برخی روشهای وزندهی غیر یکنواخت دیگر مانند چیبیشف و همینگ، میتوان به الگوی با مشخصات مطلوبتر نسبت به آنچه در جدول ۳ آمده است دست یافت. در این بخش وزن اعمالی به دو المان فرضی که بر المانهای اول و آخر آرایه ی اصلی منطبق است، با انواع وزندهی ها مطرح شده در بخش ۲ انتخاب و مورد شبیه سازی قرار گرفت که در ادامه شرح داده خواهد شد.

روش ۱) اعمال وزن یکنواخت

ابتدا با ایده گرفتن از روش وزندهی یکنواخت، وزن 0.48 اعمال شد. این وزن به عنوان پارامتر شبیه سازی تغییر داده شد. در این حالت به ازاء وزن 0.1 بهترین شرایط را داشتیم.

روش ۲) استفاده از بردار تیلور همراه با وزندهی اضافی

ابتدا بردار وزن تیلوری به صورت (taylorwin (20, 5, -50) تولید شده سپس مولفه ی اول و آخر از این بردار را با وزندهی اضافی ۱ به کانالهای کمکی داده شدند. در این حالت nbar و SLL و وزن اضافی به عنوان پارامترهای شبیه سازی تغییر داده شدند که به ازاء مقادیر مذکور بهترین نتایج حاصل شد.

روش ۳) استفاده از بردار همینگ همراه با وزندهی اضافی

ابتدا بردار وزن همینگ به صورت hamming (20) تولید شد. سپس مولفه های اول و آخر این بردار به همراه وزن دهی اضافه ی $1/5$ به کانالهای کمکی داده شدند. در این حالت وزن اضافی به عنوان پارامترهای شبیه سازی تغییر داده شد که به ازاء مقدار $1/5$ بهترین نتیجه حاصل شد.

روش ۴ (استفاده از بردار چیبیشف همراه با وزندهی اضافی)

ابتدا بردار وزن چیبیشفی به صورت $(20, 40)$ chebwin تولید شد. سپس مولفه های اول و آخر از این بردار را با وزندهی اضافی ۱ به کانال های کمکی داده شدند. در این حالت I و وزن اضافی به عنوان پارامترهای شبیه سازی تغییر داده شدند که به ازاء مقادیر مذکور بهترین نتایج حاصل شد. ویژگیهای مربوط به الگو ناشی از این چهار روش وزندهی در جدول ۴ و ۵ آمده است.

	ΔSLL_i (dB)								
	1 th	2 th	3 th	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th
۱	-3.48	-0.91	1.08	2.55	3.95	5.64	7.79	10.3	12.39
۲	-3.995	-1.12	1.1	2.97	4.26	6.31	9.19	13.46	19.12
۳	-4.07	-1.27	0.948	2.645	4.285	6.365	9.335	13.885	20.595
۴	-4.018	-1.24	0.96	2.647	4.267	6.317	9.227	13.567	19.477

جدول ۴) مشخصات پهنای بیم و بهره

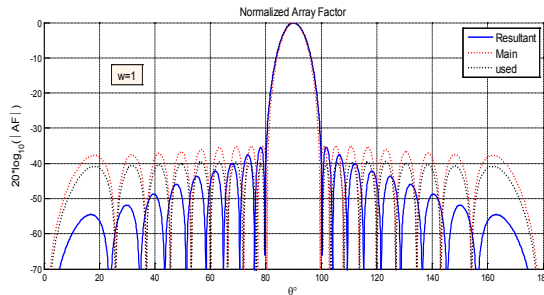
	ΔBW	$\Delta Gain$ (dB)
۱	0.12°	0.08
۲	0.14°	0.1
۳	0.14°	0.105
۴	0.15°	0.103

جدول ۵) مشخصات سطوح گلبرگ فرعی

از جدول مشاهده می شود هرچند رفتار گلبرگهای فرعی تا حد زیادی مطلوبتر شده ولی در تمامی این روشها سطح گلبرگ فرعی اول به طور متوسط در حدود 3dB افزایش داشت. به منظور رفع این مشکل در ادامه روشهای دیگری ارائه می شود.

روش ۵ (وزندهی تیلور-تیلور همراه با وزندهی اضافی)

بمنظور عدم افزایش در سطوح گلبرگ فرعی اول و دوم، فاکتور آرایه از تفاضل کانال اصلی وزن داده شده با بردار وزن تیلور به صورت $(20, 5, -40)$ taylorwin و کانال کمکی وزن داده شده با مولفه ی ابتدا و انتهای برداری به صورت $(20, 5, -60)$ taylorwin که با بهره ی ۱ برداشته میشود، بدست آمد. در عنوانی که برای این روش انتخاب شده است بخش اول بردار وزن استفاده شده برای کانال اصلی، بخش دوم مربوط به بردار وزن استفاده شده برای کانال کمکی و بخش سوم بهره ای است که مولفه های ابتدا و انتهای بردار وزن بخش دوم به کانال کمکی اعمال میشود. برای مشاهده ی نتیجه ی بدست آمده فاکتور آرایه در شکل ۱۶ آمده است.



شکل ۱۶) الگو آرایه کانال اصلی اولیه، کانال اصلی استفاده شده و منتجه

همان گونه که از شکل دیده میشود با این روش نه تنها گلبرگهای فرعی اول و دوم در الگو منتجه افزایش نیافته است بلکه کاهش مناسبی در سایر گلبرگهای فرعی داریم. در این حالت پارامترهای بردارهای تیلور بکار گرفته شده و بهره ی اعمالی جزء متغیرهای شبیه سازی بودند که به ازاء مقادیر مذکور بهترین نتایج بدست آمد.

روش ۶ (وزندهی تیلور-همینگ همراه با وزندهی اضافی)

در این روش فاکتور آرایه از تفاضل کانال اصلی وزن داده شده با بردار وزن تیلور به صورت $(20, 5, -40)$ taylorwin و کانال کمکی وزن داده شده با مولفه ی ابتدا و انتهای برداری به صورت (20) hamming که با بهره ی ۱ برداشته میشود، بدست آمد. در این حالت پارامترهای بردار تیلور بکار گرفته شده و بهره ی اعمالی جزء متغیرهای شبیه سازی بودند که به ازاء مقادیر مذکور بهترین نتایج بدست آمد.

روش ۷ (وزندهی تیلور-چبیشف همراه با وزندهی اضافی)

در این روش فاکتور آرایه از تفاضل کانال اصلی وزن داده شده با بردار وزن تیلور به صورت $(20, 5, -40)$ taylorwin و کانال کمکی وزن داده شده با مولفه ی ابتدا و انتهای برداری به صورت $(20, 40)$ chebwin که با بهره ی ۰/۷ برداشته می شود، بدست آمد. در این حالت پارامترهای بردار تیلور و بردار چبیشف بکار گرفته شده و بهره ی اعمالی جزء متغیرهای شبیه سازی بودند که به ازاء مقادیر مذکور بهترین نتایج بدست آمد.

انتخاب بهترین روش

جدول ۶ و ۷ ویژگیهای این روشها را نشان می دهند.

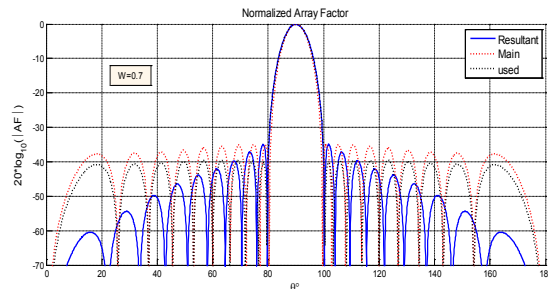
	ΔBW	$\Delta Gain(dB)$
۱	0.12°	0.08
۲	0.14°	0.1
۳	0.14°	0.105
۴	0.15°	0.103
۵	0.44°	0.064
۶	0.46°	0.07
۷	0.46°	0.07

جدول ۶) اختلاف پهنای باند و بهره قبل و بعد از اعمال روشهای مختلف

	ΔSLL_i (dB)								
	1 th	2 th	3 th	4 th	5 th	6 th	7 th	8 th	9 th
۱	-3.48	-0.91	1.08	2.55	3.95	5.64	7.79	10.3	12.39
۲	-3.995	-1.12	1.1	2.97	4.26	6.31	9.19	13.46	19.12
۳	-4.07	-1.27	0.948	2.645	4.285	6.365	9.335	13.885	20.595
۴	-4.018	-1.24	0.96	2.647	4.267	6.317	9.227	13.567	19.477
۵	0.273	2.498	4.837	6.618	7.628	9.238	11.47	14.268	16.798
۶	-0.125	2.18	4.593	6.56	7.73	9.56	12.22	16.07	20.62
۷	-0.225	2.08	4.533	6.54	7.76	9.66	12.48	16.78	22.68

جدول ۷) اختلاف سطوح گلبرگ فرعی قبل و بعد از اعمال روشهای مختلف

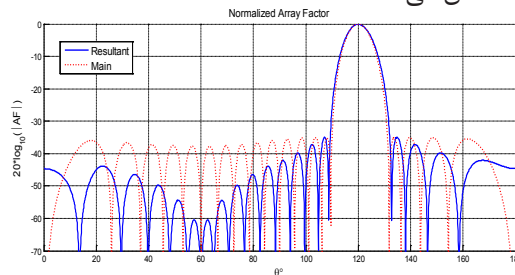
از جدول ۵ مشاهده می شود که به ازاء روشهای مختلف، تغییرات چندانی در گین و پهنای باند رخ نمی دهد. بهترین اختلافات بین سطوح گلبرگ فرعی در جدول ۷ مشخص شده اند. در مجموع روش ۷ بهترین نتیجه را از نظر گلبرگ فرعی نتیجه بدست می دهد. شکل ۱۷ الگو آرایه کانال اصلی، الگو فاکتور آرایه ی به کار گرفته شده در روش ۷ و الگو منتجه را نشان می دهد.



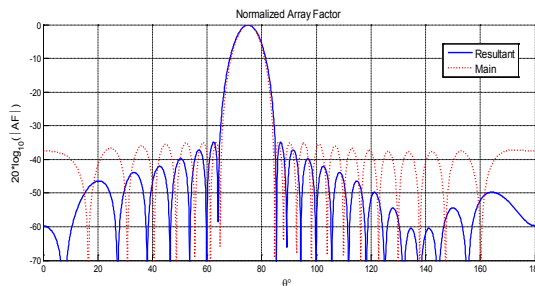
شکل ۱۷) الگو فاکتور آرایه حاصل از روش وزن دهی روش ۷

بررسی اثر اسکن الگو

در بخش قبل فرض بر آن بود که حداکثر بهره ی آرایه در زاویه ی ۹۰ درجه قرار داشته باشد. به عبارت دیگر فرض کرده بودیم که فضا اسکن نمی شود. اگر به روش ارائه شده دقت نمائیم متوجه این خواهیم شد که تمامی وزنه‌های اعمالی اعداد حقیقی هستند. بدین معنا که در آنها فازی اعمال نشده است. از آنجا که اساس این روش نیز بر انطباق صفرهای کانال اصلی و کمکی استوار است، چنانچه حرکت الگو آرایه ی اصلی و کمکی را با هم هماهنگ کنیم، در این صورت نتایج حاصل در بخش قبل حفظ خواهد شد و در این شرایط نیز کاهش گلبرگهای فرعی را خواهیم داشت. به عبارت دیگر می توان گفت این روش نیز در برابر اسکن الگو مقاوم خواهد بود. چنانچه آرایه اصلی با اعمال جابجایی فاز بزرگترین بیم خود را در موقعیت زاویه ای θ_B قرار داد، تنها کافی است با اعمال یک وزن مختلط حرکت بیم اصلی هر دو کانال را با هم هماهنگ کنیم. دامنه ی این وزن مختلط همان اعداد بدست آمده از تحلیل های بخش قبل و فاز آن بردار هدایت آرایه ای است که در آن به جای زاویه ی ۹۰ زاویه ی θ_B جایگزین شده باشد. در این صورت موقعیت صفرهای هر دو کانال نسبت به هم تغییری نخواهد کرد و پس از تفاضل کاهش گلبرگها را خواهیم داشت. شکل ۱۸ و ۱۹ الگو فاکتور آرایه را در دو زاویه ی اسکن مختلف نشان می دهد.



شکل ۱۸) فاکتور آرایه اصلی و منتجه از روش ۷ در زاویه ی اسکن ۱۲۰ درجه



شکل ۱۹) فاکتور آرایه اصلی و منتجه از روش ۷ در زاویه ی اسکن ۷۵ درجه

نتیجه‌گیری

در این روشی ساده بمنظور کاهش گلبه‌های آنتن آرایه‌ی خطی با ایده از تکنیک SLC در حالت وزندهی یکنواخت و غیر یکنواخت ارائه شد. همانطور که مشاهده شد کاهش مطلوبی، مخصوصاً برای گلبه‌های فرعی سوم به بعد در حدود -15dB الی -20dB (به ازاء تغییرات پهنای باند و بهره جزئی) نسبت به الگو منتجه از وزندهی تیلور حاصل شد. همچنین نشان دادیم این روش در حالت اسکن الگو نیز کارایی خود را حفظ خواهد کرد. همچنین فرموله کردن این روش در حالت وزندهی غیر یکنواخت در دست بررسی است که در مقالات بعدی ارائه خواهند شد.

مراجع

- [1] Constantine A. Balanis “Antenna Theory: Analysis and Design”, 2nd Edition John Wiley & Sons, USA, 1997, pp. 249-327.
- [2] W.L. Stutzman and G.A Thiele, “Antenna theory and Design”, Second Edition, John Wiley and Sons, USA, 1998, pp. 349-356.
- [3] K. K. Van, and Y. Lu, “Sidelobe reduction in array pattern synthesis using genetic algorithm” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, July 1997, vol. 45, No.7, pp. 1117-1122.
- [4] A. Tennant, M. M. Dawoud, and A. P. Anderson, “Array pattern nulling by element position perturbation using a genetic algorithm”, Electronic Lett., Feb. 1994, vol. 30, No.3, pp. 174-176.
- [5] Y. C. Jiao, W. Y. Weir, L. W. Huang, and H. S. Wu, “A new low sidelobe pattern synthesis technique for conformal array” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, June 1993, vol. 41, pp 824-831.
- [6] C. A. Olen, and R. T. Compton, “A numerical pattern synthesis for arrays” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1990, vol. 38, pp.

1666-1676.

[7] Akdagli, and K. Guney, “Array pattern nulling by phase and position perturbation with the use of modified Tabu search algorithm” Turk Jr. of Elect. Eng. , 2002, Vol. 10, NO.3, pp. 449-458.

[8] Abdullah H. Aboud B.Sc & Khalil A. Sayidmarie B.Sc, “Reduction of Sidelobe Structure in Phased Array by Auxiliary Antenna” IEEE, 2004, Vol. 20, NO.5, pp. 239-243.