

طراحی و شبیه‌سازی آنتن ارائه انتقالی با پرتو ایزوفلاکس در باند فرکانسی X

علیرضا امیدوار^۱، نادر کمجانی برچلویی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد ۲- دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران

(دریافت: ۹۸/۰۸/۲۱، پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۷)

چکیده

یک سطح انتقالی دارای قابلیت شکل‌دهی پرتو با تلف کم و پهنای کاری وسیع معرفی شده است. ساخت ساده، قابلیت تنظیم فاز انتقالی از ویژگی‌های این آنتن می‌باشد. پهنای باند شکل بیم زینی این سلول ارائه‌شده بیشتر از ۲۰ درصد و بازدهی دهانه آنتن در حدود ۵۵ درصد در فرکانس مرکزی است. سلول واحد دایپل حلزونی در سطح انتقالی با پرتو زینی شکل استفاده شده است که از ۳ لایه برد فرکانس بالا برای کاربردهای ماهواره‌ای در باند X طراحی شده و نتایج شبیه‌سازی و بهینه‌سازی آن ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: سطح انتقالی، پرتو شکل داده‌شده، سلول دایپل حلزونی، پرتو زینی شکل

۱. مقدمه

داشته باشد و تحت کنترل کامل طراح قرار گیرد.

سنتر این ارائه به کمک روش PSSS^۳ با به‌کارگیری روش بهینه‌سازی عددی انجام شده است. برای این منظور هر سلول واحد به‌صورت مجزا با اصلاح فاز انتقالی با در نظر گرفتن حداکثر دامنه ضریب انتقال در نظر گرفته شده است. مزیت قابل توجه این روش پیشنهادی این است که شکل دادن به پرتو را می‌توان به راحتی با یک روش ساده کنترل فاز به دست آورد. روند ارائه این مقاله به اینصورت است در بخش اول پرتو زینی شکل معرفی شده و با توجه به موقعیت مداری ماهواره به‌طور دقیق محاسبه می‌شود. در بخش بعدی سلول واحد مورد نظر معرفی می‌شود و ضرایب دامنه و فاز انتقالی در بازه فرکانسی ۷ تا ۱۲ گیگاهرتز بررسی می‌گردد و بعد از آن به روش‌های سنتر و بهینه‌سازی آنتن در باند فرکانسی X پرداخته خواهد شد و در بخش آخر نتایج حاصل از شبیه‌سازی و بهینه‌سازی آنتن ارائه خواهد شد.

۲. محاسبه پرتو زینی شکل ایده‌آل

محاسبات کلی سمت‌گرایی^۴ پرتو زینی شکل به کمک روابط ریاضی با تعیین پارامترهای کلی از جمله فاصله ماهواره تا سطح زمین، زاویه تحت پوشش حداکثر بهره، زاویه افق در ایستگاه زمینی و شرح داده خواهد شد.

با توجه به شکل (۱) با در نظر گرفتن اختلاف اندازه $R(\theta)$

آنتن‌های ماهواره‌ها دارای پرتو شعشی گسترده هستند، سطح توان ارسالی بر روی سطح زمین در زاویه دید آنتن ماهواره^۱ (FOV) یکسان است. آنتن‌های متنوعی وجود دارد که پرتو زینی شکل را برای ماهواره‌های ارتفاع کم^۲ LEO فراهم می‌کند. در ادامه برخی از آن‌ها معرفی می‌گردند.

آنتن چوک رینگ در ماهواره Globalstar با زاویه پوشش‌دهی ۱۰۰ درجه و بهره جهتی آنتن کمتر از ۵dB، آنتن رفلکتور شکل داده‌شده به کمک چندین تغذیه فضایی در ماهواره Sorea و آنتن هلیکس چهارتایی پرتو زینی شکل را ایجاد می‌کنند اما از جمله عیب‌های این نوع آنتن‌ها این است که پرتو سطح تراز گلب‌رگ‌های کناری قابل کنترل نیست و پرتویی شبیه به زینی شکل را دارند. همچنین هزینه ساخت رفلکتورهای شکل داده با کیفیت فضایی بسیار زیاد است. آنتن انتقالی معرفی‌شده دارای کنترل الگوی شعشی ساده، وزن کم و قیمت مناسب است [۶-۱].

هدف از ارائه این مقاله طراحی و شبیه‌سازی و بهینه‌سازی آنتن مسطح ارائه انتقالی می‌باشد که سلول واحدهای یکسان با ابعاد مختلف بر روی بردهای مدار چاپی روی آن قرار می‌گیرد. هدف طراحی یک آنتن ساده می‌باشد که عملکرد بسیار مناسبی

* رایانامه نویسنده پاسخگو: n_komjani@iust.ac.ir

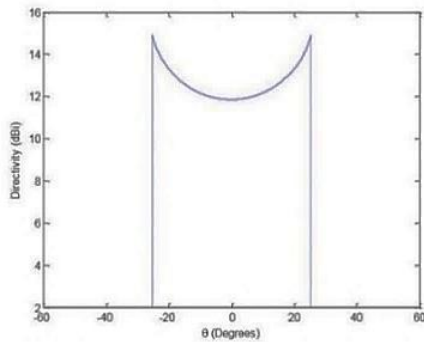
^۱ Field of view

^۲ Low earth Orbit

^۳ Phase shift selective surface

^۴ Directivity

است.

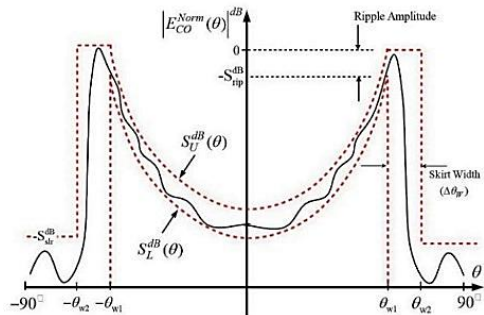


شکل (۲): سمت‌گرایی زینی شکل در فاصله ۸۰۰۰ کیلومتری ماهواره از سطح زمین با زاویه تحت پوشش ۵۰ درجه.

برای انجام سنتز و بهینه‌سازی پرتو تشعشی نرمالیزه ایده آل را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد.

$$S_{Ideal}(\theta) = \begin{cases} 0 & -90 < \theta < -\theta_{FOV} \\ \sqrt{D(\theta) / D(\theta_{FOV})} & -\theta_{FOV} < \theta < \theta_{FOV} \\ 0 & \theta_{FOV} < \theta < 90 \end{cases} \quad (\Delta)$$

برای فراهم کردن شرایط اولیه سنتز باید از روی پرتو تشعشی ایده‌آل حد بالای الگو و پایین پرتو تشعشی را مشخص گردد که در شکل (۳) حدود پرتو تشعشی بر حسب dB بیان شده است.



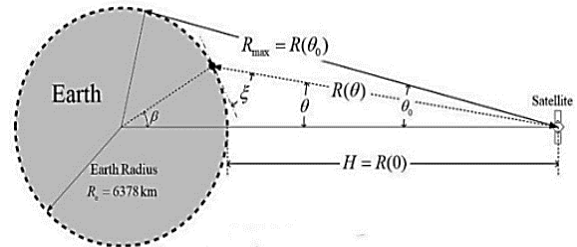
شکل (۳): تعیین حد بالا و پایین برای سنتز پرتو زینی [۷].

ضرایب S_{rip}^{dB} مشخصات مجاز دامنه ریبیل پرتو تشعشی مجاز برای پرتو اصلی می‌باشد همچنین S_{SLR}^{dB} نیز بیان حداکثر تراز مجاز گلبرگ‌های کناری می‌باشد [۸].

۳. طراحی سلول تمام فلزی

سلول واحد دایپل پیچشی یک عنصر محدودشده در اندازه حدود نیم طول موج فرکانس طراحی شده است برای افزایش ابعاد دایپل و تغییر رنج فاز بیشتر به صورت ماریچ طراحی شده است. همچنین برای حفظ تقارن در قطبش‌های افقی و عمودی به شکل متقارن در آمده است. در شکل (۴) نمای کلی سلول واحد

در نقاط گوشه‌ای و مستقیم با توجه به زاویه θ رابطه R برای محاسبه چگالی توان تشعشی روی سطح زمین محاسبه می‌گردد.



شکل (۱): موقعیت ماهواره نسبت به زمین و زاویه فضایی تشکیل شده. [۷]

$$R = \sqrt{R_e^2 + (R_e + H)^2 - 2R_e(R_e + H)\cos\beta} \quad (1)$$

زاویه پوشش‌دهی θ_{FOV} با در نظر گرفتن ارتفاع ماهواره و شعاع کره زمین به صورت زیر تعریف می‌شود [۷]:

$$\theta_{FOV} = \sin^{-1}[R_e \cos \xi_{\min} / (R_e + H)] \quad (2)$$

$U(\theta)$ به عنوان تابع شدت تشعشع و چگالی توان تشعشی $S(\theta) = R^2(\theta)U(\theta)$ تعریف می‌شود با فرض ارسال سطح توان یکسان بر روی سطح زمین در همه زوایای دید آنتن ماهواره رابطه چگالی توان تشعشی برای همه زوایا یکسان در نظر گرفته می‌شود. از این رو رابطه شدت تشعشع به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$U(\theta) = R^2(\theta) \frac{U(0^\circ)}{H^2} \quad (3)$$

برای محاسبه سمت‌گرایی شدت تشعشع را به صورت نرمالیزه در نظر گرفته می‌شود.

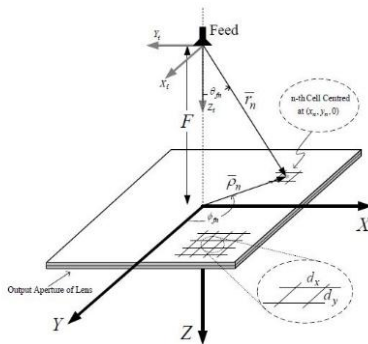
$$D(\theta) = \frac{4\pi U(\theta)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_{FOV}} U(\theta) \sin\theta d\theta d\phi} = \frac{4\pi U(\theta)}{2\pi \int_0^{\theta_{FOV}} U(\theta) \sin\theta d\theta} = \frac{2R^2(\theta)}{\int_0^{\theta_{FOV}} R^2(\theta) \sin\theta d\theta} \quad (4)$$

که با حل عددی انتگرال فوق می‌توان حاصل معادله را به دست آورد به عنوان مثال نتایج حل معادله برای ماهواره‌ای در ارتفاع ۸۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین در شکل (۲) به دست آمده

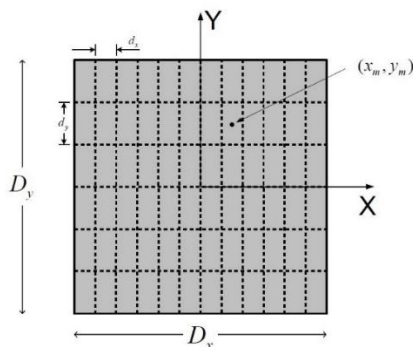
صفحه‌ای در بازه تغییرات طول L بین ۶ تا ۱۴ میلی‌متر پایدار است.

۴. طراحی سطح انتقالی زینی شکل

ساختار و نمای کلی از آنتن انتقالی چاپ‌شده در شکل (۷ و ۸) نشان داده شده است. ارائه انتقالی از قرار گرفتن سلول واحد‌ها در کنار یکدیگر تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل (۸) نشان داده شده است، لایه‌های سلول واحد حلزونی به یک شبکه سلولی تقسیم شده است. هدف از طراحی ساختار آنتن ارائه انتقالی این است که توزیع دامنه انتقالی و فاز انتقالی طوری اصلاح شود که پرتو تشعشی زینی شکل به‌دست آید؛ بنابراین شکل‌های سلول واحد‌ها موجود بر روی دهانه آنتن ارائه انتقالی سلول به سلول از لحاظ ابعاد و اندازه تغییر خواهد کرد تا ضریب انتقالی مناسب برای طراحی مورد نظر فراهم شود. یک آنتن هورن جهت تغذیه مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (۷): ساختار کلی آنتن ارائه انعکاسی [۷].



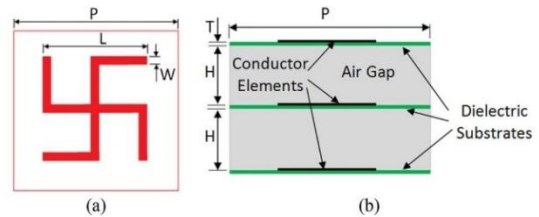
شکل (۸): تقسیم‌بندی سلولی آنتن ارائه انعکاسی [۷].

با توجه به تئوری ارائه‌ها در رابطه (۱۰) ضریب ارائه انتقالی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\overline{E}(\theta, \phi) = \overline{E}^e(\theta, \phi) \sum_{n=1}^{N_x} a_n e^{jk_x x_n \sin \theta \cos \phi} e^{jk_y y_n \sin \theta \sin \phi} = (10)$$

$$\overline{E}^e(\theta, \phi) F(\theta, \phi)$$

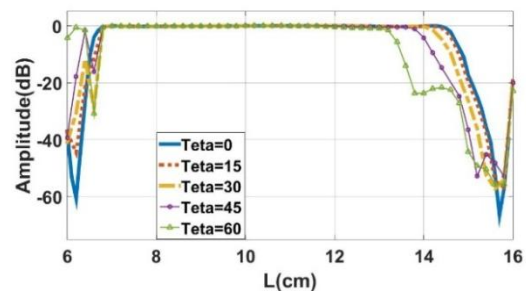
دایبل مارپیچ نمایش داده شده است. دوره تناوب هر سلول واحد برابر $P = 0.6\lambda_0$ و در فرکانس مرکزی $8/5$ گیگاهرتز در حدود $21/93$ میلی‌متر می‌شود عناصر سلول واحد بروی دی‌الکتریک با ضریب $\epsilon_r = 2.574$ با ضخامت $T = 0.5 \text{ mm}$ و فاصله هوایی بین صفحات برابر $H = 6 \text{ mm}$ قرار گرفته است فاصله بین عناصر در حدود یک چهارم طول موج طراحی شده است $H + T \approx \lambda_0 / 4 = 8.75 \text{ mm}$ [۹].



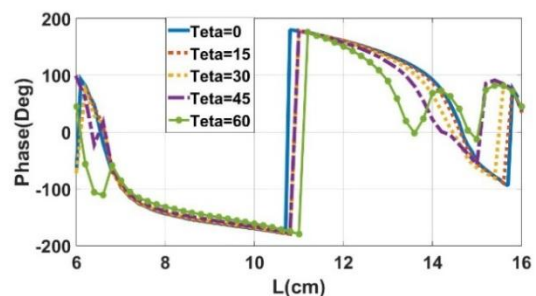
شکل (۴): نمای کلی سلول واحد دایبل چرخان [۹].

با رسم ساختار سلول واحد در محیط CST و شبیه‌سازی ساختارهای پیرویدیک پارامترهای پراکندگی بررسی می‌گردد با انتخاب ضخامت عنصر در حدود $W = 0.1L$ و همچنین تغییرات طول L بین ۶ تا ۱۴ میلی‌متر پارامترهای پراکندگی دامنه و فاز انتقالی در شکل (۵ و ۶) نمایش داده شده است.

در این بخش نتایج حاصل از برخورد میدان‌های تابشی با زوایای مختلف تنا مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از تغییرات فاز با تغییر طول سلول واحد بر اثر زوایای مختلف تابش به شرح زیر است.

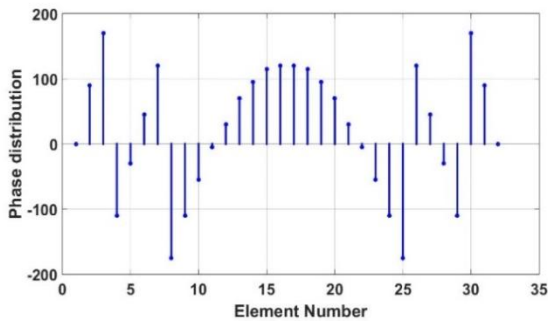


شکل (۵): ضریب دامنه انتقالی در زوایای مختلف تابش در جهت θ



شکل (۶): ضرایب فاز انتقالی در زوایای مختلف تابش در جهت θ .

در شکل (۵ و ۶) مشاهده می‌شود که این سلول واحد در مقابل زوایای مختلف θ تا محدوده تغییرات 45 درجه تابش موج



شکل (۹): فاز مطلوب بیم زینی شکل برای نقطه شروع اولیه سنتر.

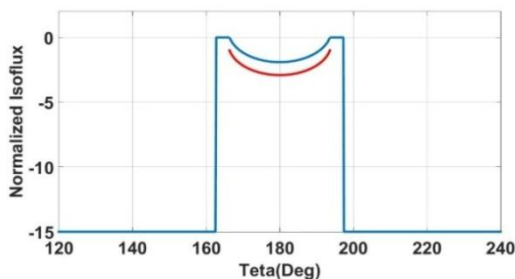
با توجه به اینکه عناصر موجود در ارائه خطی به صورت پیوسته هستند برای تبدیل از حالت پیوسته به گسسته از فاز به دست آمده نمونه برداری می شود. در شکل (۹) نمونه سنتر شده یک بیم زینی شکل برای ارائه خطی ۲۲ تایی نمایش داده شده است که پهنای بیم آن در حدود ۳۰ درجه فرض شده است. با توجه به سنتر آنتن انتقالی در دو بعد ضرایب فاز انتقالی به دست آمده به ضرایب انتقالی جبهه موج صفحه تخت افزوده می شود. رابطه ۱۵ بیانگر ضرایب فاز انتقالی جبهه موج تخت می باشد [۱۲].

$$\psi_i = k (R_i - \vec{r}_i \cdot \hat{r}_o) + \psi_0 \quad (15)$$

که k برابر ثابت انتشار، R_i برابر فاصله مرکز فاز آنتن هورن تا تأمین سلول واحد و ψ_0 فاز ثابت انتقالی می باشد.

۵. بهینه سازی

برای سنتر نهایی و پیدا کردن فازهای نهایی سلول واحدها با تعیین مرزهای بالا و پایین الگوی مورد طراحی بهینه سازی صورت می گیرد. برای این منظور از روش بهینه سازی عددی با تعیین تابع هدف و با استفاده از یک الگوریتم تکرار بهینه سازی الگو صورت می گیرد. علاوه بر محدودیت های مرزهای بالا و پایین محدودیت بر روی تغییرات فاز انتقالی سلول واحدها در بازه بین ۰ تا ۳۶۰ درجه اعمال می گردد. در شکل (۱۰) مرزهای بالا و پایین برای محدوده پوشش دهی ۳۵ درجه مشخص شده است.



شکل (۱۰): ماسک پرتو تشعشعی زینی شکل برای سنتر مرز بالا و پایین زینی شکل.

که Z_{ref} صفحه مبدأ برای محور Z می باشد و X_n, Y_n موقعیت n امین المان در مختصات کارتیزین است.

برای شکل دهی به پرتو تشعشعی در آرایه های خطی یک روش تقریبی تحلیلی وجود دارد که بیش از ۳۰ سال پیش منتشر شده است [۱۱]، که در طراحی اولیه آنتن ارائه انتقالی مورد استفاده قرار می گیرد.

فرض بر این است که یک منبع ارائه خطی پیوسته به طول $2L$ می باشد. که در محور x بین $-L < x < L$ قرار گرفته است. توزیع دامنه در طول منبع خطی با $A(x)$ نمایش داده می شود و فرض می شود که کاملاً معلوم باشد. با توجه به آزمایش های عددی بسیاری که در مقالات صورت گرفته شده [۱۱]، بهترین نتیجه انتقال امواج از دهانه آنتن هنگامی است که دامنه $A(x) = 1$ فرض می گردد. لذا برای سنتر آنتن فقط توزیع فاز تعیین می گردد.

هدف این است که توزیع فاز $\psi(x)$ در طول منبع خطی را به دست آید تا بدین ترتیب یک الگوی تابش در فرم میدان نرمالیزه شده ایجاد گردد. به جای استفاده از x و θ به طور مستقیم در فرمول از مختصات نرمال شده که به صورت زیر تعریف می شود، استفاده می شود.

$$\xi = x/L, -1 \leq \xi \leq 1 \quad (11)$$

$$u = \sin \theta, -1 \leq u \leq 1 \quad (12)$$

$$h(\xi) = \frac{\int_{-L}^x A^2(x) dx}{\int_{-L}^L A^2(x) dx} = \frac{\int_{-1}^u A^2(x) dx}{\int_{-1}^1 A^2(x) dx} \quad (13)$$

با تعریف میدان نرمالیزه مطلوب به صورت F_{norm} مقدار متغیر $h(\xi)$ معین می شود. با حل معادله (۱۳) فاز پرتو تشعشعی u بر حسب موقعیت ها روی منبع ارائه خطی معادله دیفرانسیل به دست می آید. با حل معادله دیفرانسیل (۱۴) توزیع فاز مطلوب $\psi(x)$ برای ارائه خطی به دست می آید.

$$\frac{d\psi(\xi)}{d\xi} = -\frac{2\pi}{\lambda} Lu(\xi), -1 \leq \xi \leq 1 \quad (14)$$

با نمونه برداری از توزیع فاز پیوسته در معادله (۱۴) برای سنتر اولیه الگوی زینی شکل با پهنای بیم ۳۰ درجه توزیع فاز اولیه گسسته بر حسب فاصله مراکز هر کدام از سلول واحدها در شکل (۹) مشاهده می شود.

نمونه‌های میدان در بازه تتا ۰ تا ۱۸۰ درجه ۹۰۰ تا فرض شده است. همچنین با توجه به تعداد المان‌های خطی در هر کدام از محوره‌های آنتن تعداد سلول واحدها ۲۲ تا فرض شده است که در مجموع ۱۹۸۰۰ متغییر در بهینه‌سازی برای به‌دست آوردن پاسخ بهینه لحاظ شده است.

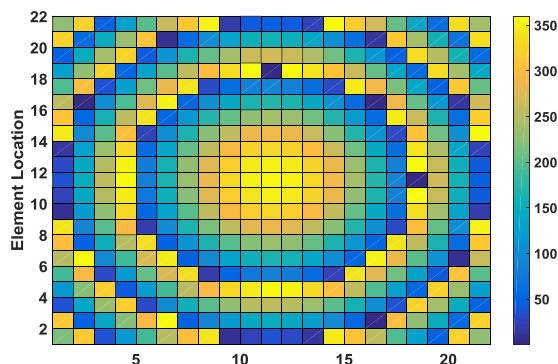
تابع هزینه محاسبه‌شده برای میدان الکتریکی به‌عنوان تابع خطای اختلافی میان میدان الکتریکی محاسبه و میانگین مرزهای بالا و پایین الگوی زینی شکل است که در رابطه (۱۹) بیان شده است.

$$\Lambda_k = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left\{ a_w(\theta_m, \phi_m) \left| 10 \log |E'_{co}(\theta_m, \phi_m)|^2 - 10 \log |E_{co}(\theta_m, \phi_m)|^2 \right| \right\} \quad (19)$$

که در آن، K تعداد تکرارهای الگوریتم بهینه‌سازی می‌باشد. با توجه به تعداد متغیرها و محاسبه میدان در نرم‌افزار متلب هر بار اجرای این روند در حدود ۹ ثانیه به طول می‌انجامد برای رسیدن به حداقل خطای ممکن در بازه اصلی میدان الکتریکی در حدود ۰/۱ الگوریتم ۵۶ بار تکرار شد. که در مجموع ۸/۴ دقیقه زمان انجام محاسبات شده است.

میزان تراز گلبرگ‌های کناری با تعیین مرز که در این طراحی ۱۵dB پایین‌تر از میدان نرمالیزه فرض شده است در روند بهینه‌سازی اعمال می‌گردد.

مقادیر فاز انتقالی بعد از بهینه‌سازی برای سنتز پرتو زینی شکل با در نظر گرفتن شرایط جبهه فاز اولیه تخت و اعمال سنتز خطی اولیه در شکل (۱۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱۱): فاز مطلوب برای محاسبه اولیه پرتو زینی شکل.

۵. نتایج شبیه‌سازی

بعد از انجام مراحل بهینه‌سازی و افزودن مقادیر جدید فاز جهت سنتز پرتو زینی شکل در آنتن ارائه انتقالی ساختار مورد نظر را با سلول واحد دایپل حلزونی در CST رسم می‌شود.

پارامترهای مهم در الگوی زینی شکل برای فاصله ماهواره در حدود ۱۰۰۰۰ کیلومتر و زاویه افق ۱۵ درجه به کمک محاسبات رابطه (۴) به‌دست آمده است و همچنین تراز گلبرگ‌های کناری در حدود ۱۵ dB- فرض شده است. پرتو نرمالیزه شده زینی شکل محاسبه‌شده با زاویه پوشش‌دهی ۳۰ درجه و کمینه بهره ۳dB نسبت به نقاط گوشه‌های الگو در دید مستقیم آنتن ماهواره به‌دست می‌آمده است.

روابط مورد استفاده در الگوریتم Intersection Approach به شرح زیر است که هم محدودیت در الگوی تشعشعی اعمال می‌شود و همچنین بر روی ضرایب انتقال فاز اعمال می‌گردد. با توجه به تعریف میدان الکتریکی تشعشعی برحسب موقعیت هر کدام از المان‌های سلول واحد، ضریب ارائه در رابطه (۱۶) تعریف می‌شود. با تعیین مرزهای بالا و پایین تابع هدف تعیین می‌گردد. رابطه (۱۷) بیانگر تابع تعیین محدوده میدان الکتریکی تشعشعی می‌باشد. با توجه به روش تکرار در بهینه‌سازی در هر بار شرایط مربوط محدوده میدان کنترل می‌گردد و در صورت عدم انطباق با حد مجاز رابطه به کمک رابطه (۱۸) شرایط جدید با توجه به محدوده حدود مرزها بر روی میدان الکتریکی اعمال می‌گردد.

$$\left\{ AR : F = \sum_{(n,m)} a_{nm} e^{j(nx+my)} \right\} \quad (16)$$

$$\left\{ F : M_L(u, v) \leq |F(u, v)| \leq M_U(u, v) \right\} \quad (17)$$

$$E'_{co}(\theta_m) = \begin{cases} \frac{E_{co}(\theta_m)}{|E_{co}(\theta_m)|} S_U(\theta_m) & \text{if } |E_{co}(\theta_m)| > S_U(\theta_m) \\ E_{co}(\theta_m) & \text{if } S_L(\theta_m) \leq |E_{co}(\theta_m)| \leq S_U(\theta_m) \\ \frac{E_{co}(\theta_m)}{|E_{co}(\theta_m)|} S_L(\theta_m) & \text{if } |E_{co}(\theta_m)| < S_L(\theta_m) \end{cases} \quad (18)$$

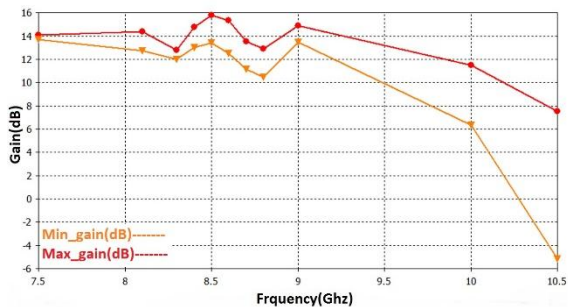
بهینه‌سازی در این طراحی در فرکانس مرکزی سلول واحد طراحی‌شده در فرکانس ۸/۵ گیگاهرتز می‌باشد. در این بهینه‌سازی ۳ پارامتر مهم به‌عنوان‌های متغیرهای فرض شده است که عبارت است از:

فرکانس بهینه‌سازی برای محاسبه الگوی میدان الکتریکی، تعداد المان‌های سلول واحدها در یک بعد و همچنین تعداد نمونه‌های مفروض در محاسبه میدان در جهت‌های مختلف زوایای مختصات کارتزین برای ساده‌سازی روند بهینه‌سازی فرکانس مرکزی این آنتن تنها و ثابت فرض شده است. تعداد

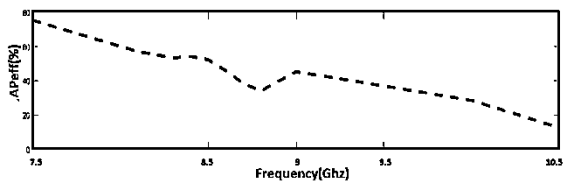
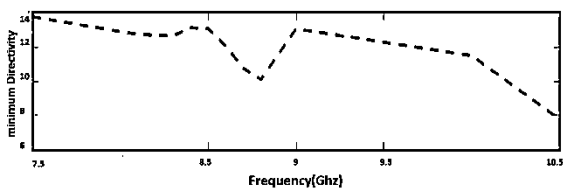
آمده است. در شکل (۱۵) با محاسبه حداقل بهره در تتا ۱۸۰ درجه و حداکثر گین در نقاط گوشه‌ای پترن زینی شکل مشاهده می‌شود که در بازه فرکانسی ۸/۳ گیگاهرتز تا ۹ گیگاهرتز پرتو تشعشی زینی شکل به‌دست آمده است. اما در خارج از این محدوده اختلاف حداکثر بهره و حداقل بهره زیادتر شده است.

دو عامل باعث اعوجاج الگوی تشعشی و اختلاف تراز گلبرگ‌های کناری نسبت به مقدار طراحی شده است که عبارت‌اند از: اثر القایی سلول واحدها نسبت به یکدیگر و اثر تلفاتی فلز مس که سلول واحدها از آن‌ها تشکیل شده است. که در طراحی سلول واحد راهکاری برای حذف اثر القایی در نظر گرفته نشده است.

تراز گلبرگ‌های کناری اندازه‌گیری شده ۹ dB شبیه‌سازی شده است.



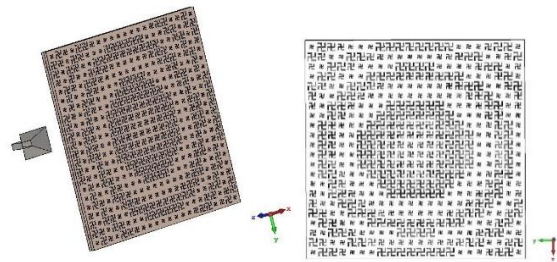
شکل (۱۵): پهنای باند محاسبه‌شده با به‌دست آوردن حداکثر بهره و حداقل بهره پرتو زینی شکل در محدوده پوشش‌دهی.



شکل (۱۶): نمودار حداقل سمت‌گرایی به‌دست‌آمده و بازدهی دهانه به‌دست‌آمده در محدوده ۷٫۵ تا ۱۰٫۵ گیگاهرتز.

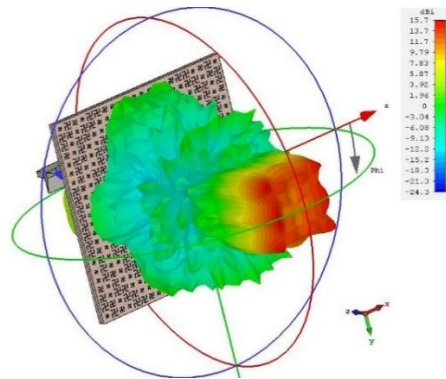
به کمک رابطه سمت‌گرایی و بازدهی دهانه در آنتن‌های مسطح بازدهی دهانه در فرکانس ۸/۵ گیگاهرتز در حدود ۵۵ درصد به‌دست آمده است. با توجه به رابطه (۲۰) بازدهی دهانه برای آنتن‌های مسطح مشاهده می‌شود که با افزایش فرکانس میزان بازدهی دهانه کاهش پیدا می‌کند، همچنین با توجه به شکل (۱۶) با افزایش فرکانس میزان سمت‌گرایی آنتن نیز

در شکل (۱۳) نمای کلی آنتن با تعداد 22×22 عنصر و با فاصله تغذیه فضایی $F/D=0.8$ رسم شده است با توجه به ابعاد سلول واحد و تعداد آن‌ها دهانه آنتن مسطح ۳۸۸ میلی‌متر به‌دست آمده است. در شکل (۱۳) نمای کلی ساختار آنتن نمایش داده شده است.

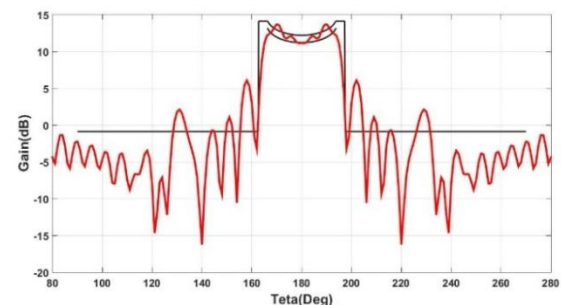


شکل (۱۲): شکل نمای کلی آنتن ارائه انتقالی برای سنتز پرتو زینی شکل با تعداد عناصر 22×22 و فاصله‌گذاری $F/D=0.8$.

نتایج بهینه‌سازی در متلب و شبیه‌سازی در CST در مختصات کارتزین و پرتو تشعشی ۳ بعدی در شکل‌های (۱۳ و ۱۴) نمایش داده شده است.



شکل (۱۳): پرتو سنتز شده زینی شکل در فرکانس ۸/۵ گیگاهرتز.



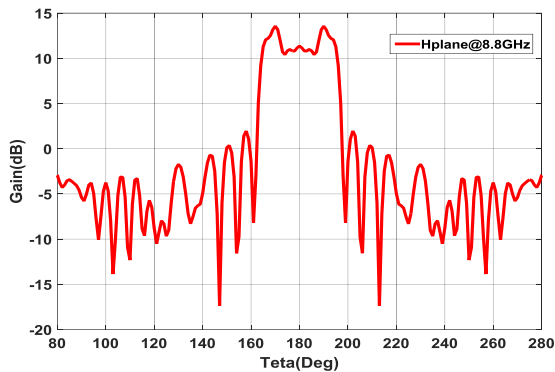
شکل (۱۴): نمای پرتو دوبعدی سنتز شده زینی شکل در باند $X (5/8 @)$ Ghz با تعداد 22×22 المان سلول واحد.

در شکل (۱۴) الگوی بهینه‌سازی با حداکثر بهره ۱۴٫۸dB شبیه‌سازی شده است. در جهت تتا ۱۸۰ درجه با افت ۳dB پرتو تشعشی زینی شکل با محدوده پوشش‌دهی ۳۵ درجه به‌دست

کاهش پیدا کرده است.

$$Ae = \frac{\lambda^2 G}{4\pi \times A} \quad (20)$$

برای بررسی پهنای باند فرکانسی و بررسی الگوی تشعشعی در نمودارهای شکل (۲۰-۱۷) بهره آنتن در فرکانس‌های 8/3 گیگاهرتز و 8/8 گیگاهرتز در صفحات افقی و عمودی نمایش داده شده است.



شکل (۲۰): نمودار بهره در صفحه H در فرکانس ۸/۸ گیگاهرتز.

۶. نتیجه گیری

در این مقاله هدف طراحی پرتو شکل داده شده زینتی شکل در باند فرکانسی X بود که به کمک روش سنتز فاز بروی ساختارهای آنتن ارائه انتقالی با استفاده از سلول واحد دایپل چرخان و با در نظر گرفتن تغییرات فاز کامل ۳۶۰ درجه با به دست آوردن ضرایب بازتابی با دامنه واحد پرتوهای مختلف سنتز شد.

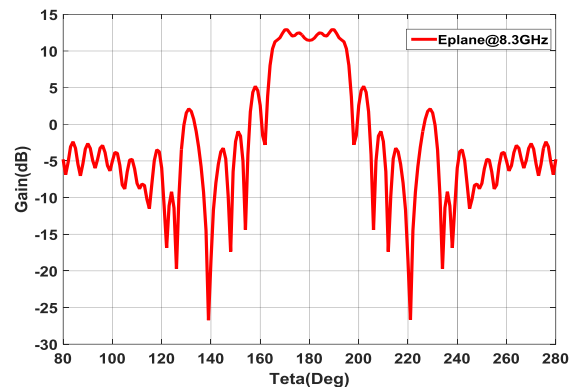
برای سنتز پرتو در ابتدا از یک روش سنتز ارائه خطی پیوسته برای به دست آوردن ضرایب انتقال فاز پیوسته برای الگوی مورد نظر استفاده شد و در ادامه با نمونه برداری از توزیع پیوسته فاز ضرایب انتقالی با توجه به موقعیت سلول واحدها بر روی دهانه مسطح آنتن ارائه بازتابی ضرایب فاز مطلوب برای پترن‌های مختلف به دست آمد.

با در نظر گرفتن ضرایب توزیع فاز مورد نیاز برای سنتز الگوی مشخص به ضرایب مطلوب برای به دست آوردن جبهه فاز تخت افزوده شد. همچنین با افزودن ضرایب فاز یکسان بر روی بروی سطح دوبعدی آنتن توزیع فاز مطلوب برای ارائه مسطح به دست آمد.

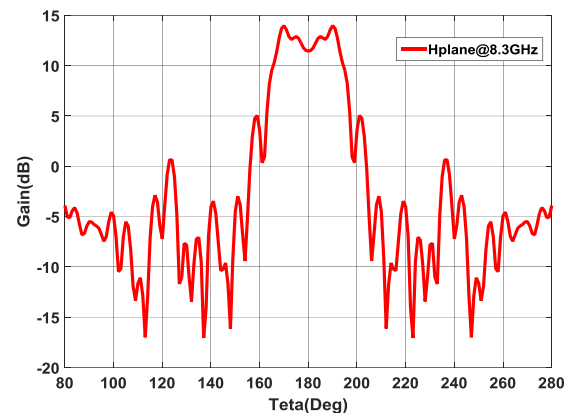
لازم به ذکر است که با توجه به دقت و همچنین نمونه برداری از سنتز ارائه پیوسته برای به دست آوردن پاسخ مطلوب و الگوی نهایی نیازمند بهینه سازی عددی بوده است که با استفاده از روش بهینه سازی عددی مطرح شده پاسخ نهایی را به دست آمد.

۷. مراجع

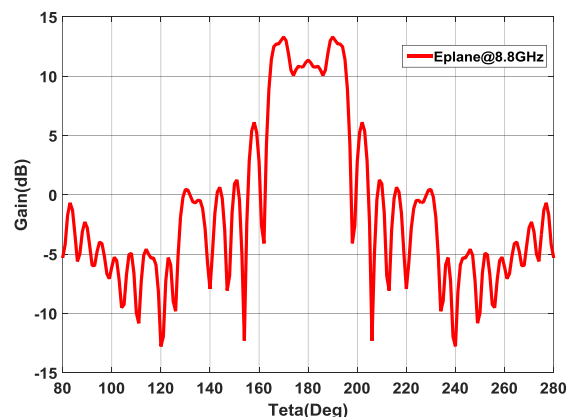
- [1] L. J. Ricardi, R.C. Johnson, "Satellite Antennas", Chapter 36 in: Antenna Engineering Handbook, McGraw, 1993.
- [2] D. G. Bateman, S. G. Hay, T. S. Bird & F. R. Cooray, "Simple Ka-band Earth-coverage antennas for LEO satellites", Proc. Australian Symposium on Antennas, Feb. 1999.
- [3] S. G. Hay, D. G. Bateman, T. S. Bird and F. R. Cooray, "Simple Ka-band earth-coverage antennas for LEO satellites," IEEE Antennas and Propagation Soc., vol.1, pp. 708-711, 1999.



شکل (۱۷): نمودار بهره در صفحه E در فرکانس ۸/۳ گیگاهرتز.



شکل (۱۸): نمودار بهره در صفحه H در فرکانس ۸/۳ گیگاهرتز.



شکل (۱۹): نمودار بهره در صفحه E در فرکانس ۸/۸ گیگاهرتز.

- [9] Abdelrahman, Ahmed H., Atef Z. Elsherbeni, and Fan Yang. "High-gain and broadband transmitarray antenna using triple-layer spiral dipole elements." *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* No.13,pp.1288-1291,2014.
- [10] Tuloti, Seyed Hashem Ramazannia, Pejman Rezaei, and Farzad Tavakkol Hamedani. "High-efficient wideband transmitarray antenna." *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol .17, no. 5, pp. 817-820, 2018.
- [11] A. Chakraborty, B. N. Das and G. S. Sanyal, "Beam shaping using nonlinear phase distribution in a uniformly spaced array", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol.30, pp.1031-1034, Sept.1982.
- [12] Rouzbahani, Shabnam, Abolghasem Zeidaabadi Nezhad, and Mohsen Maddah Ali. "Design of reflectarray with cosecant squared radiation pattern in x-band." In 2016 24th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), pp. 502-506. IEEE, 2016.
- [4] P. Brachat, "Sectoral patern synthesis with primary feeds", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.42, no. 4, pp. 484-491, April 1994.
- [5] P. Metzen, "Satellite communications antennas for Globalstar", *Proc. Int. Antennas Symp. (JINA)*, Nice, France, pp.574-583, Nov.1996.
- [6] L. T. Hildebrand, D. A. McNamara & G. Arbery, "Low-cost physically-small TT&C antennas for LEO satellite applications", *Proc. 11th CASI Conference on Astronautics (ASTRO'2000)*, Ottawa, Canada, 7-9 November 2000.
- [7] Biswas, Mahmud. "An Aperture Synthesis Technique for Cylindrical Printed Lens/Transmitarray Antennas with Shaped Beams." PhD diss., Université d'Ottawa/University of Ottawa, 2013.
- [8] Bucci, Ovidio Mario, Giorgio Franceschetti, Giuseppe Mazzarella, and Gaetano Panariello. "Intersection approach to array pattern synthesis." In *IEE Proceedings H (Microwaves, Antennas and Propagation)*, vol. 137, no. 6, pp. 349-357. IET Digital Library, 1990.

Design and Simulation of X band Transmit Array Antenna with an Isoflux Beam

A. R. Omidvar¹, N. Komjani^{2*}

University of Science and Technology of Iran

(Received: 12/11/2019; Accepted: 27/01/2020)

Abstract

This paper presents a dual polarized isoflux transmit array antenna architecture. The design of a compact antenna is done with spiral dipole elements. The optimization and design process of an isoflux transmit array for a satellite in the low earth orbit (LEO) is presented. Intersection approach optimization algorithm is used to create an isoflux power pattern on the earth surface. An approach is incorporated into the synthesis technique that allows one to constrain the transmission coefficient to values which are selected from an available database of transmission coefficients. The antenna dimension is about 388mm × 388mm × 17.5mm and this transmit array antenna is fed by a horn in the X band frequency. Bandwidth of the beam form is more than 20 percent and aperture efficiency in the center frequency is about 55 percent.

Keywords: Printed lens, transmit array, aperture synthesis, shaped beams, isoflux

* Corresponding author E-mail: n_komjani@iust.ac.ir