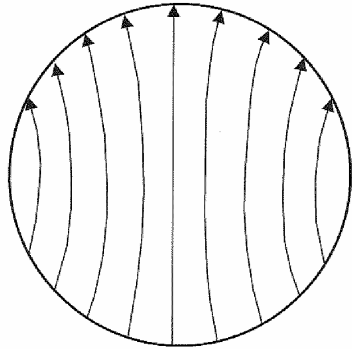
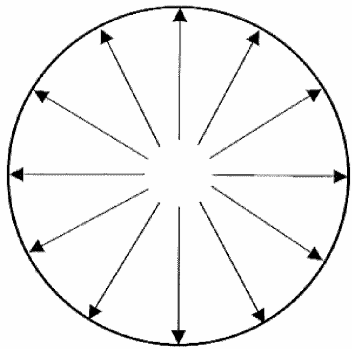


طراحی بهینه و ساخت آنتن قلمی شکل

محمد خلیج امیرحسینی و محمدرضا فطوره‌چی



شکل ۱: الگوی میدان الکتریکی در مود TE_{11} .



شکل ۲: الگوی میدان الکتریکی در مود TM_{11} .

می‌گردند. در بخش ۲ نحوه تشعشع آنتن قلمی شکل با استفاده از تشعشع یک روزنه توضیح داده می‌شود و در بخش ۳ ضریب چستی آن بدست می‌آید. در بخش ۴ نحوه طراحی پروب تغذیه این آنتن ارائه شده و سپس در بخش ۵ یک آنتن در باند X طراحی و شبیه‌سازی می‌شود. آنتن طراحی و شبیه‌سازی شده، ساخته شده و آزمایش می‌گردد که نتایج آزمایش در بخش ۶ ارائه می‌گردند.

۲- اصول تشعشع آنتن قلمی شکل

در این بخش نحوه تشعشع یک روزنه که موجی صفحه‌ای بر آن می‌تابد را مرور می‌کنیم و سپس بر اساس آن نحوه تشعشع آنتن قلمی شکل را توضیح می‌دهیم. البته این توضیح بصورت کیفی ولی ساده است و توضیح کمی که طولانی است در مرجع [۵] بتفصیل آمده است. شکل ۴ سطح مقطع عرضی یک روزنه باریک و بلند در یک هادی کامل را نشان می‌دهد که بر آن یک موج صفحه‌ای یکنواخت بصورت مایل می‌تابد. جبهه‌های فاز (صفحات با فاز ثابت) با خطوط موازی نشان داده شده‌اند. اگر جهت انتشار موج صفحه‌ای زاویه θ را با صفحه هادی بسازد، تغییر فازی برابر $-\beta z$ در راستای عرض روزنه بوجود می‌آید که β ثابت فاز در راستای محور z می‌باشد. تغییر فاز در جهت انتشار برابر $\Delta\varphi = -k\Delta r$ (عدد موج است) و در جهت روزنه $\Delta\varphi = -\beta\Delta z$ است

چکیده: در این مقاله آنتن خاصی که آنرا آنتن قلمی شکل می‌نامیم معرفی می‌شود. این آنتن دارای ساختار بسیار ساده بوده و از برش مایل انتهای یک موجبر دایروی بوجود می‌آید. ویژگی مهم این آنتن امکان تشعشع مناسب آن هنگام تحریک توسط مود متقارنی مثل TM_{01} می‌باشد. ابتدا نحوه تشعشع آن بصورت کیفی توضیح داده می‌شود و سپس نحوه طراحی آن ارائه می‌گردد. یک آنتن قلمی شکل در باند X طراحی و شبیه‌سازی شده و سپس ساخته می‌شود. نهایتاً آنتن ساخته شده آزمایش و نتایج آن ارائه می‌گردد.

کلیدواژه: آنتن قلمی شکل، برش مایل، موجبر دایروی، مود TM_{01} .

۱- مقدمه

یک روش مناسب برای تشعشع از موجبرهای دایروی استفاده از دهانه بوقی برای آنها است که حاصل آن آنتن بوقی مخروطی می‌باشد. لازم به ذکر است که آنتن مذکور در صورتی مفید است که موجبر دایروی آن توسط مود نامتقارن و غالب TE_{11} تحریک شده باشد (شکل ۱). اما در بعضی کاربردها از جمله بعضی از لامپ‌های مایکروویو توان بالا نیاز به تشعشع از یک موجبر دایروی تحریک شده توسط مود متقارن TM_{01} می‌باشد (شکل ۲). به علاوه تحریک مود TM_{01} بسیار ساده‌تر از تحریک مود TE_{11} بوده و به صورت محوری می‌باشد. اشکال این مود آن است که امکان تشعشع به صورت پرتو باریک^۱ و با بهره زیاد توسط آن وجود ندارد. علت این موضوع تقارن این مود و در نتیجه عدم تشعشع در راستای عمود بر دهانه موجبر می‌باشد.

یک راه برای تشعشع پرتو باریک توسط مود متقارن TM_{01} تبدیل آن با استفاده از روشهای مختلف به مود نامتقارن TE_{11} می‌باشد [۱]. این روشها معمولاً پیچیده و هزینه‌بر هستند، ولی یک راه ساده دیگر آنست که برشی مایل در دهانه یک موجبر دایروی ایجاد کنیم [۲] و [۳]. شکل ۳ این برش را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود وقتی موجبر دایروی را بصورت مایل برش دهیم، ساختار حاصله شبیه به یک قلم تراشیده شده در می‌آید که به همین دلیل آنتن حاصله را آنتن قلمی شکل می‌نامیم. این آنتن به راحتی ساخته می‌شود و می‌تواند به عنوان یک آنتن روزنه‌ای ساده حتی در کاربردهای عادی نیز بکار رود. این موضوع به ویژه در کاربردهایی که در آنها از موجبرهای دایروی با قطر بزرگ استفاده می‌شود، حائز اهمیت است.

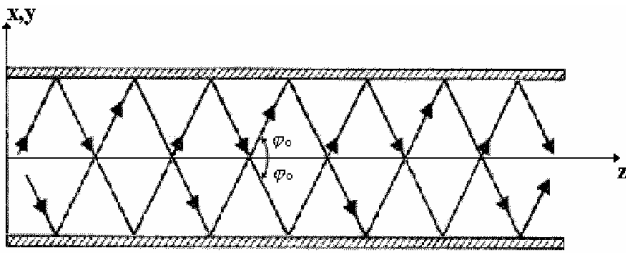
در این مقاله (که نسخه کاملتر مقاله شماره [۴] می‌باشد) ضمن معرفی آنتن قلمی شکل، اساس کار و خصوصیات آن بطور تئوری و عملی تشریح

این مقاله در تاریخ ۷ اردیبهشت ماه ۱۳۸۴ دریافت و در تاریخ ۲۵ اسفند ماه ۱۳۸۴ بازنگری شد.

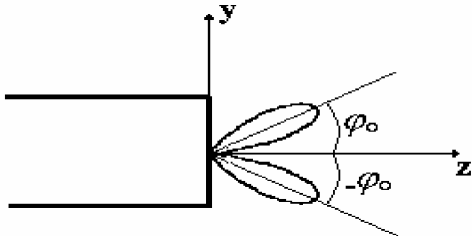
محمد خلیج امیرحسینی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران کدپستی ۱۶۸۴۴، ایران (email: khalaja@iust.ac.ir).

محمدرضا فطوره‌چی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران کدپستی ۱۶۸۴۴، ایران.

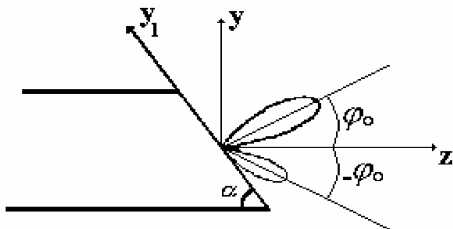
1. Conical Horn
2. Narrow Beam



شکل ۵: انتشار موج در یک موجبر به صورت جمع دو موج صفحه‌ای.



شکل ۶: نمایش الگوی تشعشی یک موجبر با برش قائم.



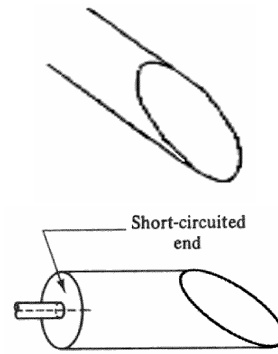
شکل ۷: نمایش الگوی تشعشی یک موجبر با برش مایل.

حال با توجه به نحوه تشعشع یک روزنه، در مورد تشعشع از دهانه یک موجبر نیز می‌توان انتظار داشت که حداکثر تشعشع آن در جهات انتشار دو موج رونده داخل موجبر باشد. بنابراین اگر انتهای یک موجبر را به صورت قائم برش دهیم، تشعشی شبیه شکل ۶ خواهد داشت که دارای دو لوب اصلی است که با محور موجبر زاویه‌های $\pm\varphi_0$ را می‌سازند. حال اگر دهانه این موجبر را بجای برش قائم برشی بصورت مایل و با زاویه α نسبت به محور آن دهیم چه اتفاقی خواهد افتاد؟ انتظار می‌رود دامنه لوبی که به راستای فلز دهانه مورب نزدیک می‌شود کاهش یابد. در نتیجه با کاهش شیب زاویه برش، به تدریج دامنه یکی از لوبها کمتر شده و نهایتاً به زاویه‌ای بهینه می‌رسیم که به ازای آن الگوی تشعشی تک‌لوب^۱ داشته باشیم. لوب دیگر نیز که با توجه به همراستا شدن با دهانه موجبر توانش کم شده است، به عنوان لوب کناری^۳ تلقی خواهد شد. زاویه بهینه وقتی رخ می‌دهد که $\alpha \approx \varphi_0$ شود. شکل‌های ۷ و ۸، این موضوع را نشان می‌دهند. بنابراین با توجه به (۲) و (۴)

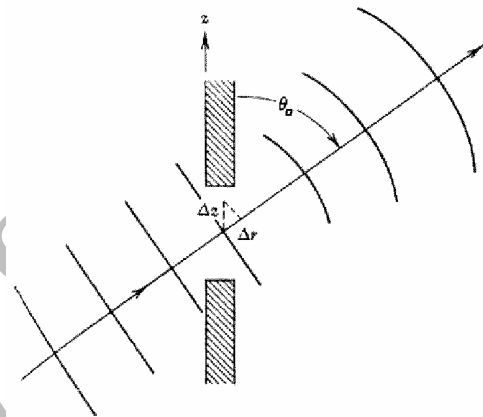
$$\alpha_{opt} = \sin^{-1}(f_c / f) = \sin^{-1}\left(\frac{2,4 \cdot 5c}{2\pi a f}\right). \quad (5)$$

با توجه به (۲) تا (۵)، نتیجه می‌گیریم که زاویه دارای حداکثر تشعشع و در نتیجه زاویه برش بهینه را هم فرکانس کار و هم قطر موجبر تعیین می‌کنند. لازم به ذکر است که به شرایط تشعشع که در بالا ذکر شد باید دو

1. Main Lobe
2. Single Lobe
3. Side Lobe



شکل ۳: موجبر دایروی با برش مایل bevel-cut در دهانه آن و نیز نمونه‌ای از نحوه تحریک مود TM_{۱۰}.



شکل ۴: یک روزنه طویل و باریک در یک هادی که از طرف چپ یک موج صفحه‌ای یکنواخت بطور مایل به آن می‌تابد.

که با توجه به آنکه $\Delta r = \Delta z \cos(\theta)$ می‌باشد، $\beta = k \cos(\theta)$ خواهد بود. به راحتی می‌توان دید که تشعشع روزنه به صورت پرتو باریک بوده و حداکثر آن در راستای حرکت موج تابشی و به عبارتی با زاویه θ نسبت به محور z می‌باشد [۶].

از طرف دیگر می‌دانیم که موج داخل یک موجبر را می‌توان حاصل جمع دو موج رونده در داخل آن دانست، شکل ۵. سرعت فاز موج داخل موجبر در جهت محور آن عبارتست از

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}}, \quad (1)$$

که در آن c سرعت نور و f_c فرکانس قطع موجبر می‌باشد که برای مود TM_{۱۰} برابر است با

$$f_c = \frac{2,4 \cdot 5c}{2\pi a}. \quad (2)$$

همچنین سرعت فاز هر کدام از دو موج صفحه‌ای داخل موجبر و در جهت محور آن طبق شکل ۵ عبارتست از

$$v_p = \frac{c}{\cos(\varphi)}. \quad (3)$$

با مقایسه (۱) و (۳) می‌توان زاویه حرکت دو موج صفحه‌ای داخل موجبر را بصورت زیر نوشت

$$\sin(\varphi) = \frac{f_c}{f}. \quad (4)$$

۴- طراحی پروب تغذیه آنتن قلمی شکل

جهت تغذیه آنتن قلمی شکل، از یک پروب^۳ محوری در انتهای موجبر آنتن استفاده می‌شود تا حداکثر کوپلینگ را با میدان الکتریکی محوری مود TM_{۰۱} داشته باشد. میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی موجود در مود TM_{۰۱} عبارتند از

$$E_z = AJ_0(k_c r) \exp(-j\beta z), \quad (9)$$

$$E_r = \frac{j\beta}{k_c} AJ_1(k_c r) \exp(-j\beta z), \quad (10)$$

$$H_\phi = \frac{1}{Z_w} E_r, \quad (11)$$

که در آنها A دامنه موج، $\beta = k\sqrt{1 - f_c^2/f^2}$ ثابت فاز موجبر، $k_c = 2\pi f_c/c = 2\pi \cdot 4.05/a$ امپدانس موجبر و $Z_w = \eta\sqrt{1 - f_c^2/f^2}$ عدد موج قطع می‌باشد. توان انتقالی این مود چنین است

$$P = \frac{1}{2Z_w} \int_0^{a/2} \int_0^{2\pi} |E_r|^2 r d\phi dr = -\frac{A^2}{4} P_{01} \quad (12)$$

با توجه به مباحث مربوط به تحریک موجبرها [۷]، دامنه موج حاصل از یک پروب نازک به طول d و دارای توزیع جریان سینوسی چنین به دست می‌آید

$$A = \frac{\sqrt{I_m}}{P_{01}} \int_0^d \sin(k(d-|z|)) \cos(\beta z) dz \quad (13)$$

$$= \frac{\sqrt{k}}{P_{01} k_c} I_m (\cos(\beta d) - \cos(kd))$$

در (۱۲) و (۱۳)، P_{01} چنین است

$$P_{01} = \frac{-2}{Z_w} \int_0^{a/2} \int_0^{2\pi} \frac{\beta^2}{k_c^2} J_1^2(k_c r) r d\phi dr \quad (14)$$

$$= \frac{-2\pi(k_c a)^2}{\eta k_c^2} \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 \times$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} (J_1^2(k_c a) - J_0(k_c a)J_2(k_c a))$$

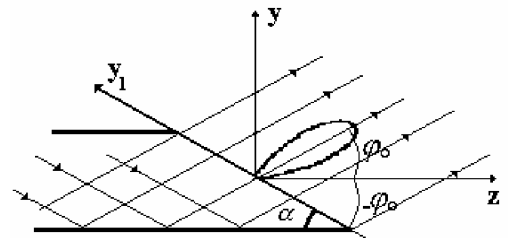
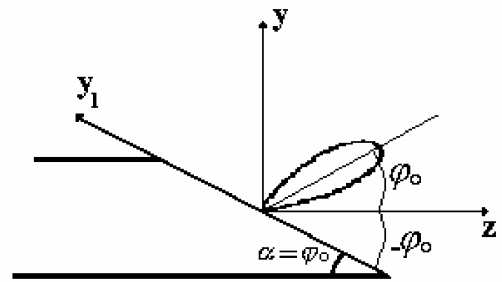
$$= \frac{-0.260}{k_c^2} \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$$

نهایتاً با توجه به (۱۲) تا (۱۴)، مقاومت ورودی پروب محوری نازک بدین صورت خواهد شد

$$R_{in} = \frac{2P}{I_m^2} = \frac{2P}{I_m^2 \sin^2(kd)} = \frac{-2k^2}{P_{01} k_c^2} \frac{(\cos(\beta d) - \cos(kd))^2}{\sin^2(kd)} \quad (15)$$

$$= \frac{\gamma\gamma}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \frac{(\cos(\beta d) - \cos(kd))^2}{\sin^2(kd)}$$

شکل ۹ مقاومت ورودی پروب نازک تغذیه را در باند X و به ازاء شکل ۹ مقاومت ورودی پروب نازک نشان می‌دهد. $a = 2.38$ cm



شکل ۸: نمایش الگوی تشعشی یک موجبر با برش مایل در حالت بهینه.

شرط دیگر را نیز افزود. اولاً با توجه به اصل هم‌ارزی سطحی^۱، جهت تشعشع از یک روزنه نیاز به میدان الکتریکی مماسی وجود دارد چرا که این میدان‌ها معادل با جریان‌های مغناطیسی روی هادی کامل می‌باشند. بنابراین مدهای مفید باید از نوع TM باشند. ثانیاً برای آنکه تشعشع منابع معادل در روبروی روزنه غیر صفر و حداکثر باشد، بایستی میدان‌های الکتریکی مماسی روی سطح روزنه حتی‌المقدور هم‌جهت و هم‌فاز باشند. این شرط برای میدان الکتریکی محوری تمامی مدهای دایروی متقارن وجود ندارد زیرا تصویر آنها روی سطح روزنه مورب آنتن قلمی شکل کاملاً متقارن و مختلف‌الجهت بوده و بنابراین اثر یکدیگر را حذف می‌کنند. ولی این شرط برای میدان الکتریکی محوری TM_{۰۱} وجود دارد زیرا تصویر آن روی روزنه مورب آنتن قلمی شکل میدانی هم‌راستا و متمرکز در مرکز روزنه بوده و بنابراین حداکثر تشعشع را خواهد داشت. با توجه به نکات فوق می‌توان نتیجه گرفت که مود TM_{۰۱} بهترین گزینه جهت استفاده در آنتن قلمی شکل می‌باشد.

۳- سمتگرایی آنتن قلمی شکل

سمتگرایی^۲ هر آنتنی را می‌توان با استفاده از رابطه زیر بیان نمود

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e \quad (6)$$

که در آن A_e سطح مؤثر آنتن و λ طول موج می‌باشد [۶]. با توجه به اینکه برای آنتن‌های دهانه‌ای، کارایی دهانه در عمل حدود ۵۰٪ می‌باشد، آنگاه برای آنتن قلمی با دهانه‌ای بیضوی چنین داریم

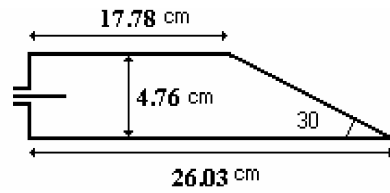
$$A_e \approx 0.5\pi ab = 0.5\pi a \frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{0.5\pi a^2}{\sin(\alpha)} \quad (7)$$

که در آن $2a$ قطر کوچک (قطر موجبر) و $2b$ قطر بزرگ دهانه بیضوی آنتن و α نیز زاویه برش دهانه می‌باشد. با ادغام (۶) و (۷) در یکدیگر و با توجه به (۵)، سمتگرایی آنتن‌های قلمی شکل چنین خواهد شد

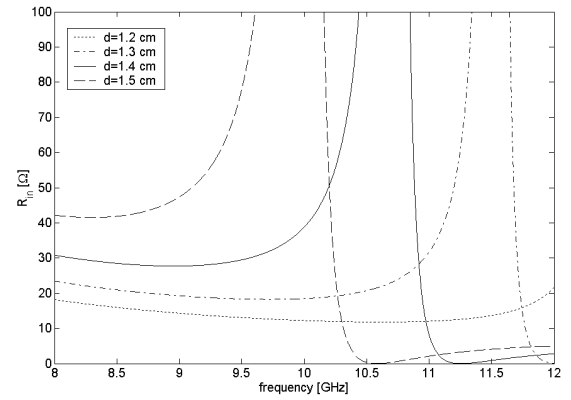
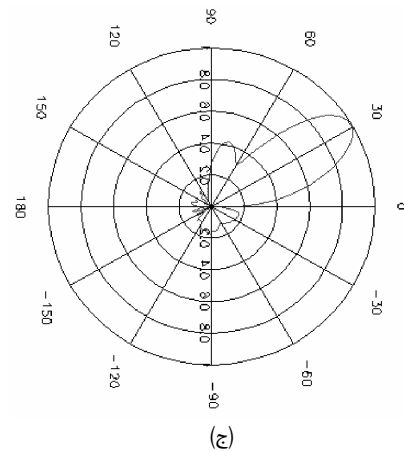
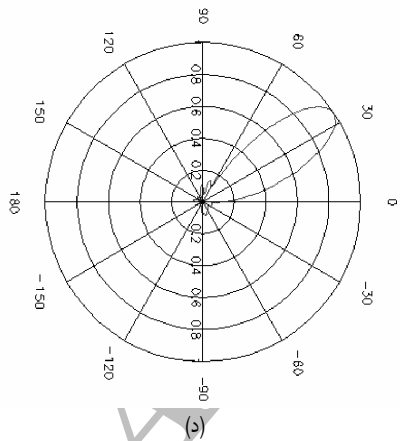
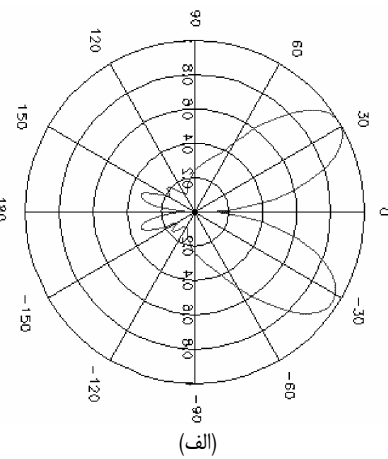
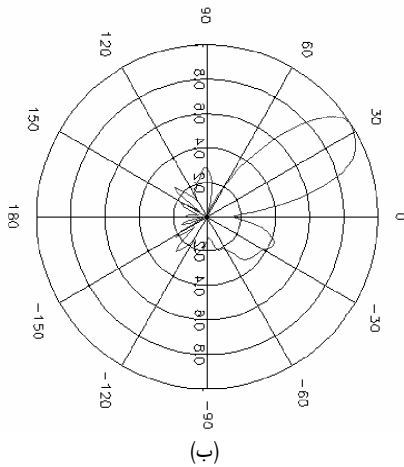
$$D = \frac{2\pi^2 a^2}{\sin(\alpha)\lambda^2} = \frac{4\pi^2 a^2 f^2}{2.405 c^2} \quad (8)$$

1. Surface Equivalence

2. Directivity



شکل ۱۰: ابعاد نمای طولی آنتن طراحی شده.

شکل ۹: مقاومت ورودی پروب نازک تغذیه بطول d در باند X .شکل ۱۱: الگوی تشعشی صفحه E آنتن قلمی طراحی شده در فرکانس طراحی (شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار HFSS)؛ (الف) بدون برش، (ب) برش ۶۰ درجه، (ج) برش ۴۵ درجه و (د) برش ۳۰ درجه.

آنتن، باید طول موجبر آنتن نسبت به طول موج بزرگ باشد که در اینجا برابر $5\lambda > 17.78 \text{ cm}$ در نظر گرفته شده است. شکل ۱۰ ابعاد نمای طولی آنتن طراحی شده را نشان می‌دهد.

جهت اطمینان از صحت طراحی انجام شده و نیز مطالعه خواص آنتن‌های قلمی شکل، آنتن طراحی شده توسط نرم‌افزار HFSS شبیه‌سازی شد. شکل ۱۱ الگوی تشعشی صفحه E آنتن (صفحه شامل قطر بزرگ دهانه آنتن) را در چهار حالت بدون برش و برش با زوایای ۶۰ و ۴۵ و ۳۰ درجه نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینیم با رسیدن به زاویه برش بهینه ۳۰ درجه، کاهش دامنه لوب فرعی ادامه دارد. شکل ۱۲ الگوی تشعشی سه‌بعدی آنتن را در حالت برش بهینه نشان می‌دهد. همچنین سمتگرایی آنتن توسط شبیه‌سازی $D = 13.45 \text{ dB}$ بدست می‌آید که البته اختلاف

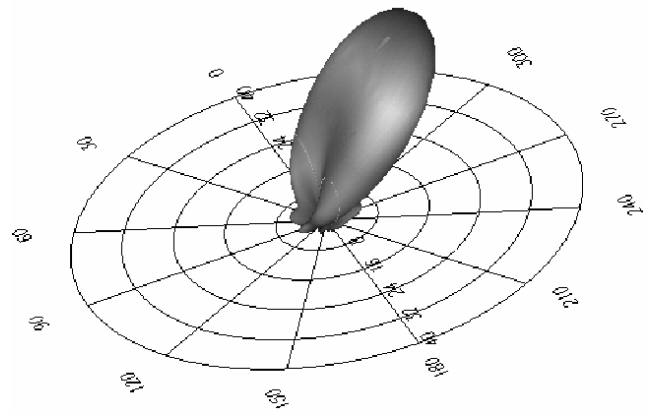
۵- طراحی و شبیه‌سازی آنتن قلمی شکل

چهار پارامتر f ، a ، α و D توسط (۵) و (۸) به یکدیگر مرتبط می‌باشند و بنابراین با معین بودن دو پارامتر، دو پارامتر دیگر بدست خواهند آمد. برای طراحی بهینه یک آنتن قلمی شکل معمولاً بهتر است پارامترهای f و D را تعیین نماییم تا دو پارامتر a و α بدست آیند.

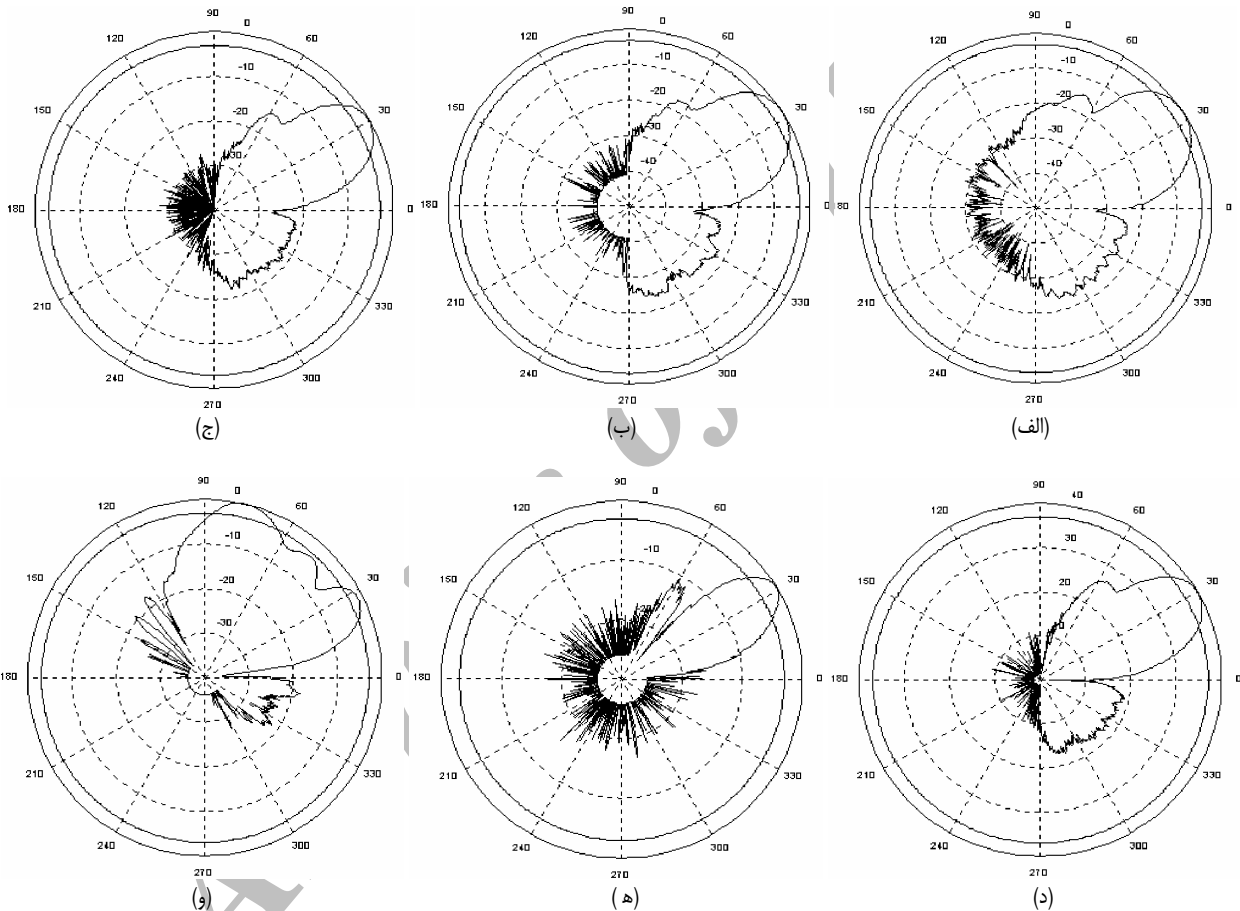
در اینجا یک آنتن قلمی شکل در فرکانس $f = 9.6 \text{ GHz}$ و با سمتگرایی $D = 13.6 \text{ dB}$ طراحی می‌کنیم. سپس آنرا هم شبیه‌سازی نموده و هم ساخته و اندازه‌گیری می‌نماییم. با استفاده از (۵) و (۸)، شعاع موجبر آنتن $a = 2.38 \text{ cm}$ و زاویه برش بهینه آنتن $\alpha = 30.2^\circ$ بدست می‌آیند. همچنین برای اطمینان از ایجاد مود TM_{01} توسط پروب تغذیه



شکل ۱۳: تصویر آنتن قلمی ساخته شده.



شکل ۱۲: الگوی تشعشی سه بعدی آنتن قلمی طراحی شده در فرکانس طراحی (شبیه سازی شده توسط نرم افزار HFSS).



شکل ۱۴: الگوی تشعشی صفحه E آنتن قلمی ساخته شده؛ (الف) فرکانس ۸٫۷ GHz (ب) فرکانس ۹٫۰ GHz (ج) فرکانس ۹٫۶ GHz (د) فرکانس ۱۰٫۰ GHz (ه) فرکانس ۱۰٫۷ GHz و (و) فرکانس ۱۱٫۰ GHz.

فاصله آنتن فرستنده و گیرنده r برای آزمایش میدان دور می بایست از رابطه زیر پیروی نماید [۶]

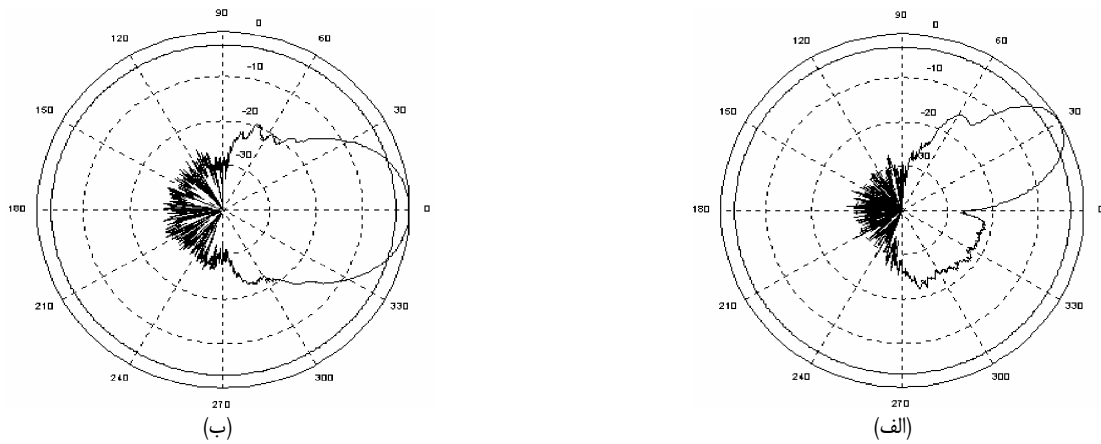
$$r > \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (۱۶)$$

که در آن D بزرگترین بُعد دهانه آنتن می باشد. این فاصله برای آنتن ساخته شده در حداکثر فرکانس اندازه گیری ۱۲ GHz برابر ۷۲٫۵ cm می شود. آنتن قلمی ساخته شده در آزمایشگاه آنتنی دارای اتاق جاذبی بطول ۶ متر آزمایش شد. شکل ۱۴ الگوی تشعشی صفحه E (صفحه شامل قطر بزرگ دهانه آنتن) آنتن را به ازای شش فرکانس ۸٫۷ و ۹٫۰ و ۹٫۶ و ۱۰٫۰ و ۱۱٫۰ و ۱۲٫۰ گیگاهرتز نشان می دهد. دیده می شود که الگوی تشعشی آنتن در فرکانس طراحی مناسب می باشد. همچنین

زیادی با مقدار مطلوب طراحی ندارد. حال با توجه به الگوهای تشعشی و سمتگرایی حاصل از شبیه سازی می توان به طراحی انجام شده اطمینان حاصل نمود.

۶- ساخت و آزمایش آنتن قلمی شکل

پس از اطمینان از صحت طراحی، آنتن طراحی شده با استفاده از تراش دادن یک میله توپر فلزی از جنس برنج ساخته شد. شکل ۱۳ تصویر آنتن ساخته شده را نشان می دهد. ضخامت دیواره آنتن ساخته شده ۵ mm می باشد. برای تغذیه آنتن از کانکتور نوع N استفاده شده است. طول پروب تغذیه نیز جهت داشتن مقاومت ورودی ۵۰Ω و با توجه به شکل ۹ برابر $d = ۱٫۴۵$ cm در نظر گرفته شد.



شکل ۱۵: الگوی تشعشی آنتن قلمی ساخته شده در فرکانس طراحی؛ (الف) صفحه E و (ب) صفحه H .

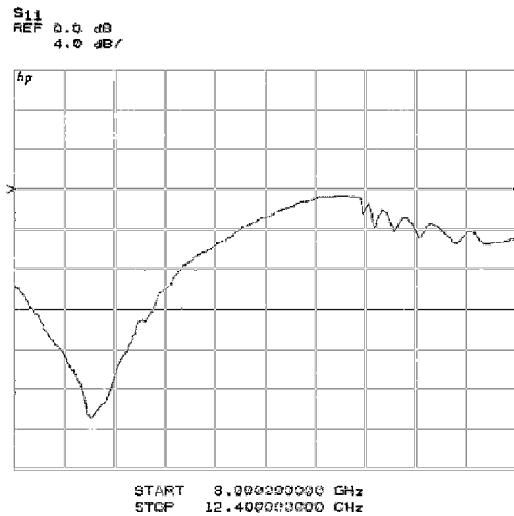
که در آن θ_H° و θ_E° زوایای نیم‌توان به ترتیب در صفحه E و صفحه H و بر حسب درجه می‌باشند. با توجه به آنکه $\theta_E^\circ \approx 27^\circ$ و $\theta_H^\circ \approx 35^\circ$ اندازه‌گیری شده‌اند، بنابراین بهره آنتن ساخته شده تقریباً $G = 14.4 \text{ dB}$ خواهد بود که اختلاف زیادی با مقدار مطلوب طراحی ندارد. در واقع نتیجه می‌شود که فرض ۵۰٪ کارایی برای دهانه آنتن قلمی شکل (البته در فرکانس طراحی) تا حد زیادی صحیح می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

آنتن قلمی شکل معرفی و نحوه تشعشع آن توضیح داده شد. در صورتیکه انتهای یک موجبر دایروی را با زاویه‌ای مشخص برش دهیم، آنتن قلمی شکل حاصل می‌شود. این آنتن به راحتی توسط یک پروب محوری تغذیه شده و الگوی تشعشی بصورت تک‌پرتو و با کارایی حدود ۵۰٪ مساحت دهانه بیضوی آن خواهد داشت. در طراحی این آنتن به دو پارامتر فرکانس کار و مقدار سمتگرایی نیاز است. یک آنتن قلمی در باند X طراحی، شبیه‌سازی و آزمایش شد. نتایج شبیه‌سازی و آزمایش پیش‌بینی نحوه تشعشع آنتن و مقدار سمتگرایی آنرا تأیید می‌کنند.

مراجع

- [۱] ب. بیات، م. خلج امیرحسینی و م. واجد سمیعی، "طراحی و ساخت مود گردان دایروی TM_{11} با استفاده از صفحات مشبک"، یازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، جلد دوم، صفحات ۴۳۴-۴۳۸، اردیبهشت ۱۳۸۲.
- [2] R. K. Dahlstrom, L. J. Hadwin, B. G. Ruth, and L. F. Libelo, "Reflector design for an X-band vlasov antenna," in *Proc. IEEE International Antenna Propagation Symp.*, pp. 968-971, May 1990.
- [3] B. G. Ruth, R. K. Dahlstrom, C. D. Schlesiger, and L. F. Libelo, "Design and low-power testing of a microwave vlasov mode convertor," in *Proc. IEEE MTT Symp.*, pp. 1277-1280, 1989.
- [۴] م. خلج امیرحسینی و م. فطوره‌چی، "طراحی، ساخت و آزمایش آنتن قلمی شکل"، دوازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مجموعه مقالات مخابرات، صفحات ۵۵۴-۵۴۹، اردیبهشت ۱۳۸۳.
- [۵] م. فطوره‌چی، طراحی، ساخت و تست آنتن قلمی در باند X ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، اردیبهشت ۱۳۸۲.
- [6] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons Inc, Newyork, 1981.
- [7] R. E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, McGraw-Hill Co., 1966.



شکل ۱۶: نمودار ضریب انعکاس آنتن قلمی ساخته شده در باند X (هر واحد افقی برابر ۴۴۰ MHz و هر واحد عمودی برابر ۴٫۰ dB می‌باشد).

شکل ۱۵ هر دوی الگوهای تشعشی صفحه E (صفحه شامل قطر بزرگ دهانه آنتن) و صفحه H (صفحه شامل قطر کوچک دهانه آنتن) آنتن ساخته شده را در فرکانس کار نشان می‌دهد. مسلماً الگوی تشعشی صفحه E نسبت به الگوی تشعشی صفحه H سمتگرایی بیشتری دارد که علت آن هم مربوط به تفاوت اندازه قطرهای بیضی دهانه در دو صفحه مربوطه می‌باشد. شکل ۱۶ نیز نمودار اندازه‌گیری شده ضریب انعکاس ورودی را در باند X نشان می‌دهد. دیده می‌شود که فرکانس مربوط به بهترین تطبیق کمتر از فرکانس طراحی می‌باشد. از جمله علل این موضوع ممکن است ضخامت غیر صفر پروب، طول محدود موجبر آنتن و راکتانس ناشی از مدهای میرا باشد. لذا باید طول پروب را کمی کوچکتر نمود تا فرکانس بهترین تطبیق بیشتر شود.

جهت اندازه‌گیری بهره آنتن از اندازه‌گیری زوایای نیم‌توان^۱ استفاده می‌کنیم. سمتگرایی آنتن‌های دهانه‌ای را می‌توان با اندازه‌گیری زوایای نیم-توان الگوی تشعشی صفحه E و صفحه H از رابطه تقریبی زیر بدست آورد [۶]

$$G \approx \frac{26000}{\theta_E^\circ \theta_H^\circ} \quad (17)$$

1. Half Power Angles

محمد رضا فطوره‌چی در سال ۱۳۵۵ در شهر تهران بدنیا آمد. وی در سال ۱۳۷۸ موفق به گذراندن دوره کارشناسی الکترونیک در دانشگاه گیلان شد و در سال ۱۳۸۲ در رشته مخابرات دانشگاه علم و صنعت ایران دانش آموخته گردید.

محمد خلیج امیرحسینی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق - مخابرات بترتیب در سالهای ۱۳۷۰، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۷ در دانشگاه علم و صنعت ایران به پایان رسانده است و هم اکنون عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق همین دانشگاه می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: الکترومغناطیس، آنتن و مایکروویو و سازگاری الکترومغناطیسی.

Archive of SID