آنتنهای با باند وسیع ـ آنتنهای حلزونی لگاریتمی

نوشته‌ی

حسن مرشد

دانشیار دانشکدهٔ فنی

مقدمه :

در شماره فروردین ماه ۱۳٤٦ نشریه دانشکده فنی بنظر خوانندگان گرامی رسید که ازجمله‌آنتنهای با باند وسیع آنتنهای حلزونی لگاریتمی میباشند. کشف این آنتها باعث ایجاد تحول عمیقی درتئوری آنتنهای باند وسیع شد ، و علت آنهم خواص بسیار مهم منحنی حلزونی لگاریتمی میباشد . خواص این منحنی و معادله آن ابتدا بتوسط دکارت (سال ۱٦۳۸ میلادی) بحث شد و سپس برنولی (سالهای ۱٦۹۳ - ۱٦۹۱ میلادی) دنباله مطالعات او را گرفت و نام فوق‌الذکر را بآن داد. برنولی آنقدر مذوب این خاصیت منحنی ، که بوسیله تبدیلات مختلف شکل خودش را بازمییابد ، شد که وصیت کرد یک منحنی حلزونی لگاریتمی برروی سنگ قبرش حک کنند.

این نوع آنتن بغیر از باند وسیع دارای خاصیت بسیار مهم دیگری میباشد که عبارتست از دایره‌ای بودن پلاریزاسیون آن (Circular Polaritation) . بدین علت بحث در مورد آنتنهای حلزونی لگاریتمی را با توضیحی از پلاریزاسیون دایره‌ای شروع میکنیم .

پلاریزاسیون دایره‌ای

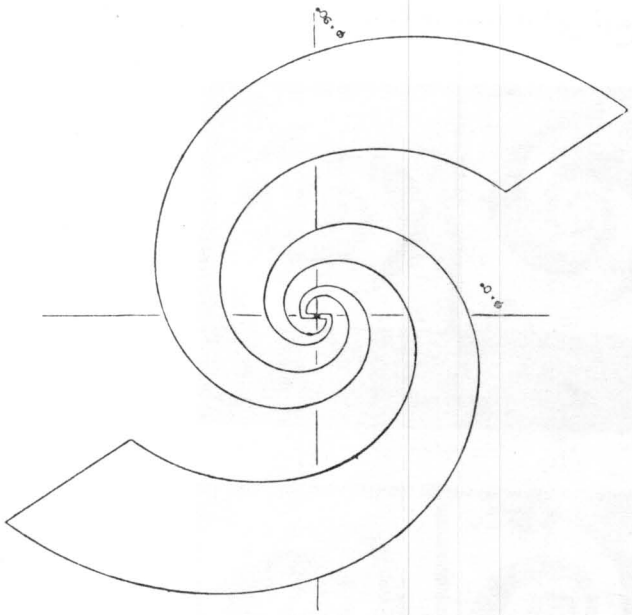
بطورکلی در یک موج الکترومغناطیسی بردار حوزه الکتریکی درهرنقطه را بردار پلاریزاسیون‌موج در آن نقطه مینامند. بنابراین اگر امتداد حوزه الکتریکی در زمانهای مختلف ثابت باشد آن موج را با پلا - ریزاسیون خطی (Linearly Polarized) مینامند. درصورتیکه درحالت کلی‌انتهای بردار حوزه الکتریکی‌دریک نقطه درزمانهای‌مختلف‌روی محیط‌یک‌بیضی‌حرکت کندموج‌را باپلاریزاسیون‌بیضوی (Elliptically Polarized) مینامند، که حالت‌خاص آن وقتی است که انتهای‌بردار حوزه الکتریکی‌روی یک دایره حرکت کند ، که موج حاصل باپلاریزاسیون‌دایره‌ای (Circularly Polarized) نامیده‌میشود . مثلاً هرگاه‌دوآنتن یکسان‌عمودبریکدیگر

را با دومنبع یکسان که دارای اختلاف فازی برابر $\frac{\pi}{2}$ میباشند تحریک کنیم موج حاصل در فضا دارای پلاریزاسیون بیضوی وبخصوص درروی محورعمود برصفحه دوآنتن که ازمحل تغذیه بگذرد با پلاریزاسیون دایره‌ای میباشد. این امرعیناً شبیه حوزه مغناطیسی دوار است در استاتور یک موتور آسنکرون دو فاز.

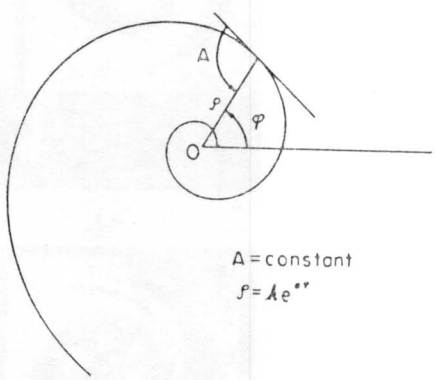
آنتنهای حلزونی لگاریتمی مسطح

اساس کار این نوع آنتنها همانند آنتنهای دوپل باپرید لگاریتمی برروی این اصل قرارگرفته است که اگر ابعاد آنتن متناسب با تغییرات طول موج تغییر کند مشخصات این آنتن برای این تغییرات فرکانس ثابت خواهد ماند.

رمزی (V. H. Romsey) درسال ۱۹۵٤ خاطرنشان ساخت که درصورتیکه منحنی آنتنی فقط بوسیله زاویه مشخص شود این آنتن درحالیکه تابینهایت امتداد داشته باشد دارای خاصیت فوق‌الذکر میباشدیعنی با تغییرات فرکانس مشخصاتش ثابت میماند. البته درمورد آنتنهای معمولی ابعاد آنتن نمیتواند بی‌نهایت باشد وبنابراین برای محدود کردن ابعاد آنتن احتیاج به‌مشخص شدن یک طول میباشد دراینصورت مشخصات آنتن تافرکانس معینی ثابت میماند.



شکل ۲



شکل ۱

معادله منحنی حلزونی لگاریتمی درمختصات قطبی بصورت کلی $\rho = ke^{a\varphi}$ میباشد که در آن ρ و φ عوامل مختصات قطبی و k و a مقادیرثابت مثبتی میباشند. منحنی نمایش این معادله درشکل ۱ نمایش داده شده است. بآسانی میتوان دید پس از یک دوران خواهیم داشت:

$$\rho = ke^{\alpha(\varphi+2\pi)} = e^{2\pi\alpha} ke^{\varphi\alpha}$$

یعنی منحنی دور دوم عیناً شبیه منحنی دور اول است با این تفاوت که ρ نقاط آن درضریب ثابت $e^{2\pi a}$ ضرب شده‌اند. و بنابراین تمام دورهای مختلف این منحنی دارای اشکال یکسان میباشند. ضمناً بعلت اینکه زاویه A که ازتقاطع خط شعاعی ومماس مربوط به هرنقطه بدست میآید مقداریست ثابت این منحنی ها را منحنیهای حلزونی با زاویه نیز ثابت مینامند.

برای ساختن یک آنتن حلزونی لگاریتمی مطابق شکل ۲ لازم است برای چهارلبه تشکیل دهنده دو بازوی آنتن از چهار معادله بصورت :

برای بازوی اول :

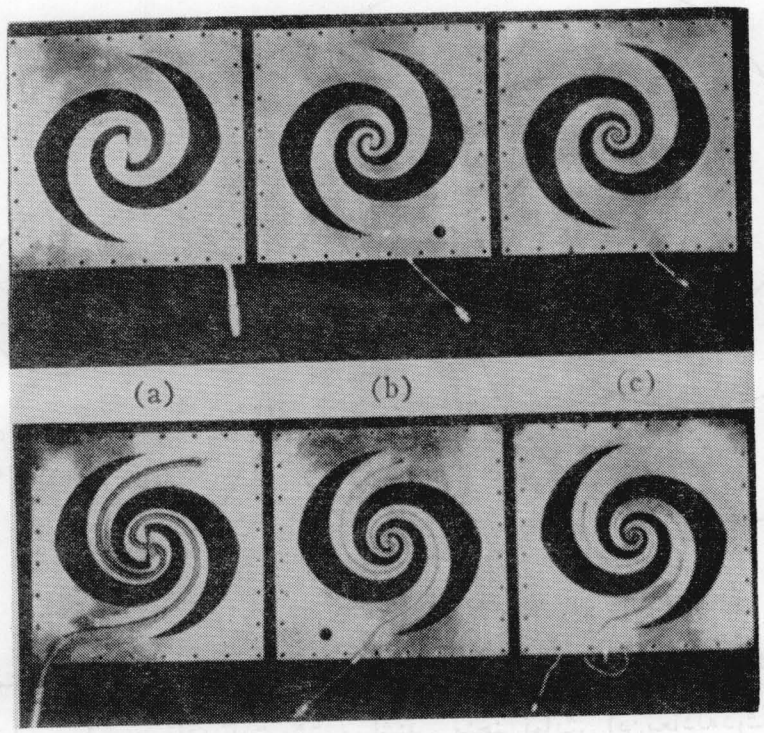
$$\rho_1 = ke^{a\varphi} \quad \text{و} \quad \rho_2 = ke^{a(\varphi-\delta)}$$

برای بازوی دوم :

$$\rho_3 = ke^{a(\varphi-\pi)} \quad \text{و} \quad \rho_4 = ke^{a(\varphi-\pi-\delta)}$$

استفاده کنیم. واضحست که بازوی دوم از دوران بازوی اول بقدر π رادیان بدست میآید. درشکل ۲ پارامترها عبارتند از $a = ۰/۳۵$ و $e^{-a\delta} = ۰/۰۹۷$ و $k = ۰/۲$ اینچ.

شکل ۳ طرفین چند نمونه ساخته شده از این نوع آنتن را نشان میدهد.

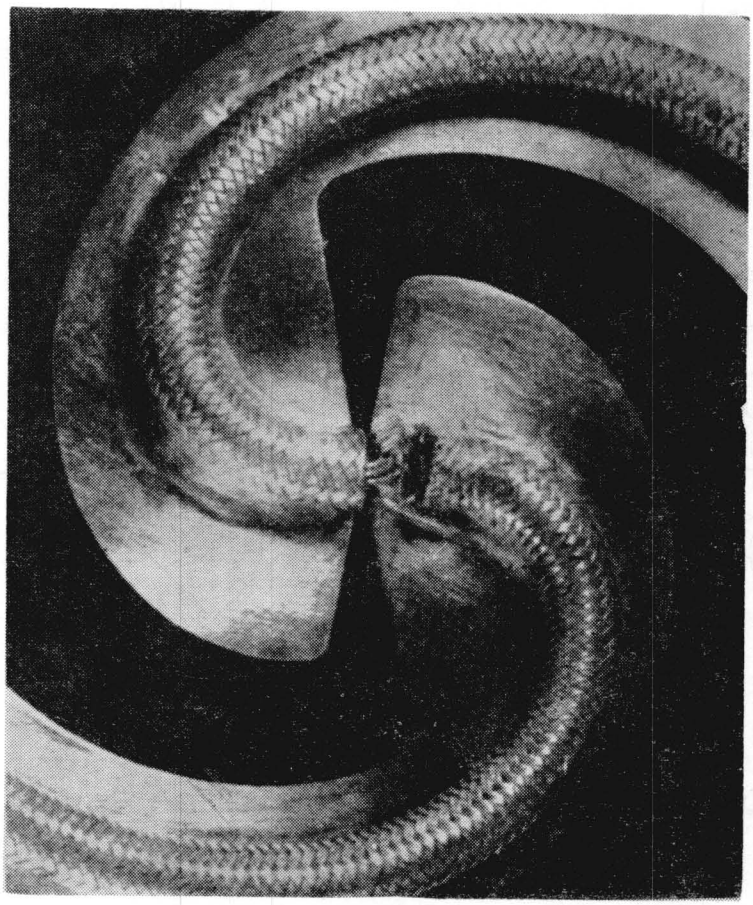


شکل ۳

شکل ٤ طرزتغذیه آنتن را بوسیله یک کابل هم‌محور که استوانه خارجی آن بیک قسمت واستوانه داخلی آن به‌قسمت دیگر آنتن اتصال دارد نمایش میدهد.

برای بدست آوردن پرتو توجیهی آنتن کافیست ملاحظه کنیم که اگر λ طول موج فرکانس مورد نظر باشد :

$$\frac{\rho}{\lambda}=\rho_n=\frac{e^{a\varphi}}{\lambda}=e^{a\left(\varphi-\frac{1}{a}\ln\lambda\right)}$$

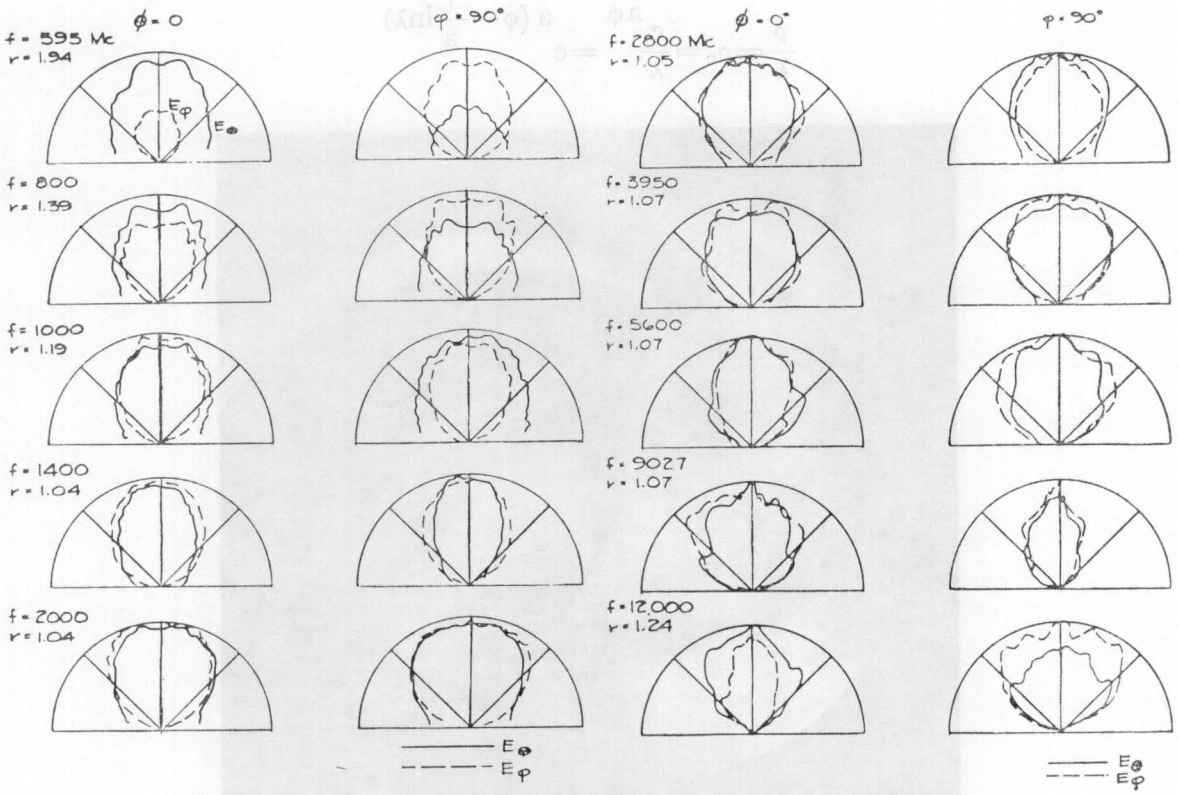


شکل ٤

و یا اگر $\varphi_0=\frac{1}{a}\ln\lambda$ فرض شود خواهیم داشت $\rho_n=e^{a(\varphi-\varphi_0)}$ یعنی اگر منحنی آنتن را نسبت به واحد طول موج بسنجیم تغییرات فرکانس (یا طول موج) عیناً مانند تغییر زاویه φ_0 میباشد وبنابراین اگر طول بازوهای آنتن باندازه کافی بزرگ گرفته شود تغییرات فرکانس درحدود معینی باعث ایجاد تغییراتی در منحنی های نمودار پرتو توجیهی آنتن نمیشود زیرا چنانکه قبلاً هم اشاره شده است بعد از ناحیه زنده آنتن جریان در روی بازوها ناچیز است. البته همانطورکه انتظار میرود بعلت تقارن، آهن حلزونی مسطح انرژی را بطور یکسان بطرفین خود میفرستد که از معایب عمده این نوع آنتن بحساب میآید.

درشکل ٥ پرتو توجیهی یک نوع از این آنتها که درشکل ٣ نمایش داده شده است دیده میشود که دارای باند فرکانسی برابر ٢٠ به یک میباشد.

حوزه‌های الکتریکی نمایش داده شده دراین پرتوها درشکل ٦ نمایش داده شده‌اند. البته چنانکه دیده میشود حوزه‌های شکل ٥ فقط مربوط بیکطرف آنتن میباشد.



شکل ٥

امپدانس ورودی یک چنین آنتنی برای فرکانسهائی که طول بازوهای حلزون از یک طول موج بیشتر باشد چنانکه درشکل ٧ دیده میشود تقریباً ثابت میماند.

بنابرآنچه که بیان شد نتیجه میشود که این نوع آنتن دارای پهنای باندیست که فقط وابسته‌است بطول فیزیکی بازوهای حلزونی ودقت ساختمان آنتن درمحل تغذیه (حدود بالا و پائین فرکانس کارآنتن) وبنابراین بزرگ وکوچک کردن باند آنتن فقط وابسته است به‌ساختمان فیزیکی آنتن وبرای پائین ترین فرکانس بایستی طول بازو حدود یک طول موج باشد.

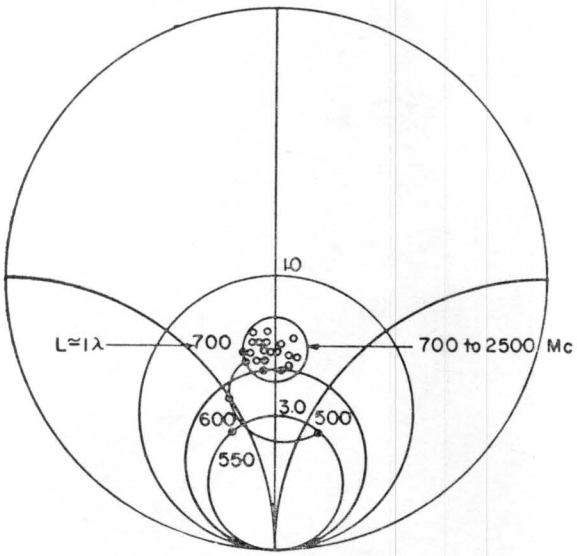
آنتنهای حلزونی لگاریتمی مخروطی

اگر بازوهای آنتن حلزونی لگاریتمی مسطح را برروی یک مخروط بپیچیم ویا بعبارت‌صحیح تر آنتن حلزونی مسطح را روی رأس یک مخروط (عمود برمحور آن) قرار داده وتصویر قائم آنرا برروی سطح جانبی مخروط رسم کنیم، آنتن حلزونی لگاریتمی مخروطی بدست میآید. یک نمونه از این آنتن درشکل ٨ نمایش داده شده است.

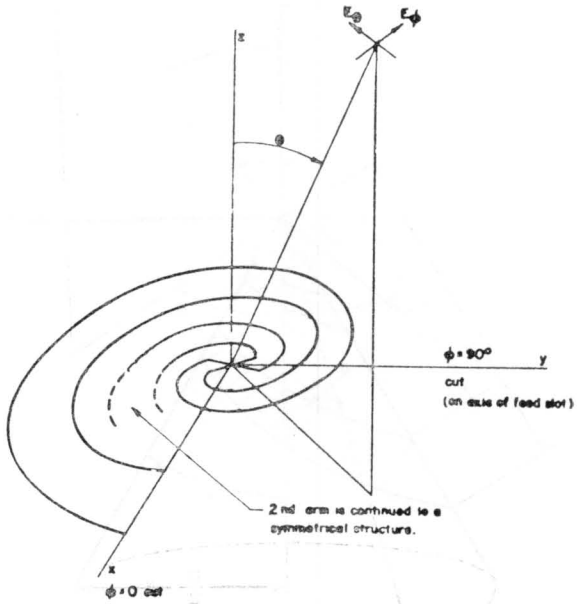
بااستفاده از شکل ۹ معادلات دولبه یکی از بازوهای آنتن خواهد بود :

$$\rho_1 = e^{(a\sin\theta_0)\varphi} \quad و \quad \rho_2 = e^{(a\sin\theta_0)(\varphi-\delta)}$$

و بازوی دوم از دوران این بازو و بقدر ۱۸۰ درجه بدست میآید.



شکل ۷



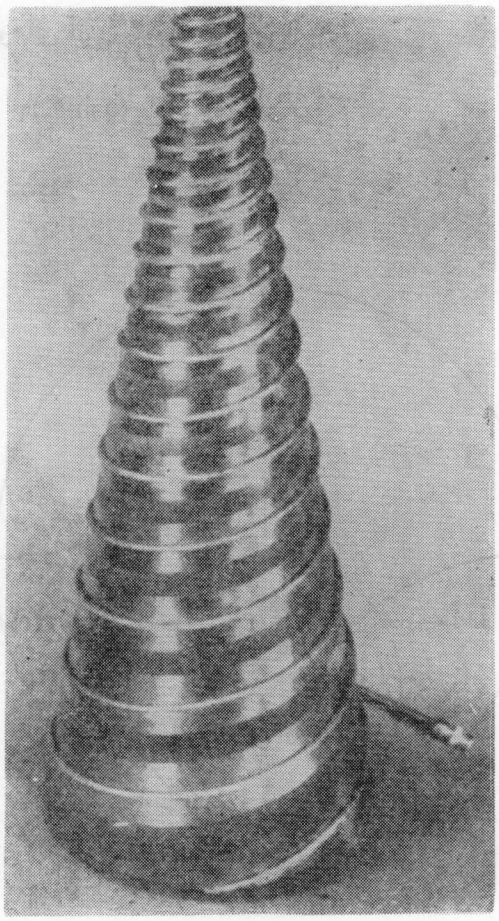
شکل ۶

همانطورکه انتظار داریم زاویه α حاصل از خط شعاعی هرنقطه ومماس برآن نقطه از منحنی آنتن مقداری ثابت خواهد بود.

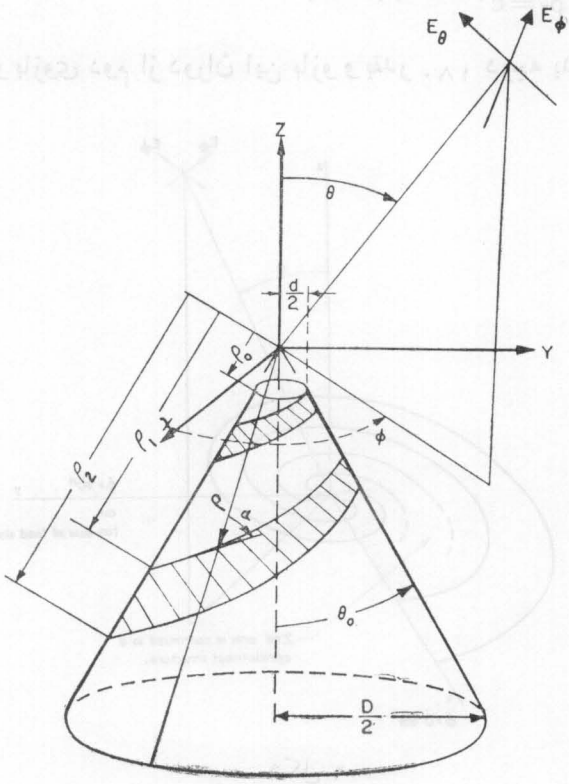
تغذیه این نوع آنتن چنانکه در شکل ۸ مشاهده میشود مانند آنتن قبل بوده و بوسیله کابلی که برروی بازوهای آنتن لحیم شده و برأس آنتن (مبدأ تغذیه) منتهی میشود انجام میشود. در رأس آنتن استوانه وسطی کابل به یک بازو و استوانه خارجی به بازوی دیگر متصل میشود.

برای ایجاد تغییرات در پرتو آنتن دو پارامتر وجود دارد، زاویه رأس مخروط $2\theta_0$ و زاویه ثابت α که نمایش فشردگی حلزون میباشد (هرچه α بیشتر باشد حلزون فشرده‌تر است). اثر زاویه رأس مخروط برروی پرتو درشکل ۱۰ دیده میشود. این پرتوها مربوط به آنتنی به مشخصات $\alpha = 73^\circ$ و طول بازو $L = 10.\ cm$ و فرکانس $f = 2000\ Mc$ میباشد. چنانکه ملاحظه میشود هرقدر مقدار θ_0 از ۱۰ درجه زیادتر میشود آنتن یک جهتی (عقب‌ران) بودن خود را از دست میدهد و دارای پرتوی دوجهتی میشود که در $\theta_0 = 90$ درجه این دوجهتی بودن بحد کمال میرسد و آنتن حلزونی مخروطی تبدیل به آنتن حلزونی مسطح میشود. علت عدم وجود تقارن در پرتو شکل ۱۰ درحالت $\theta_0 = 90$ بعلت اثر پایه‌ای میباشد که آنتن در روی آن نصب شده است.

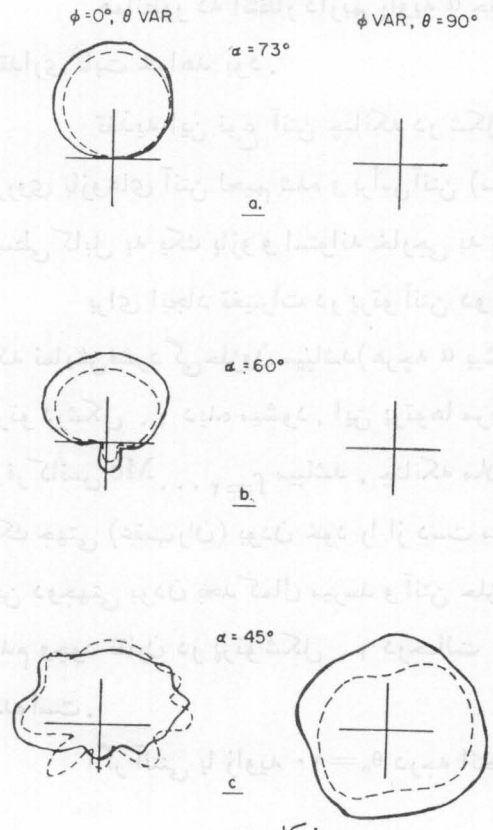
اگر آنتنی با زاویه $\theta_0 = 10$ درجه انتخاب کنیم با تغییرات زاویه α آثار زیر را در پهنای پرتو آهن

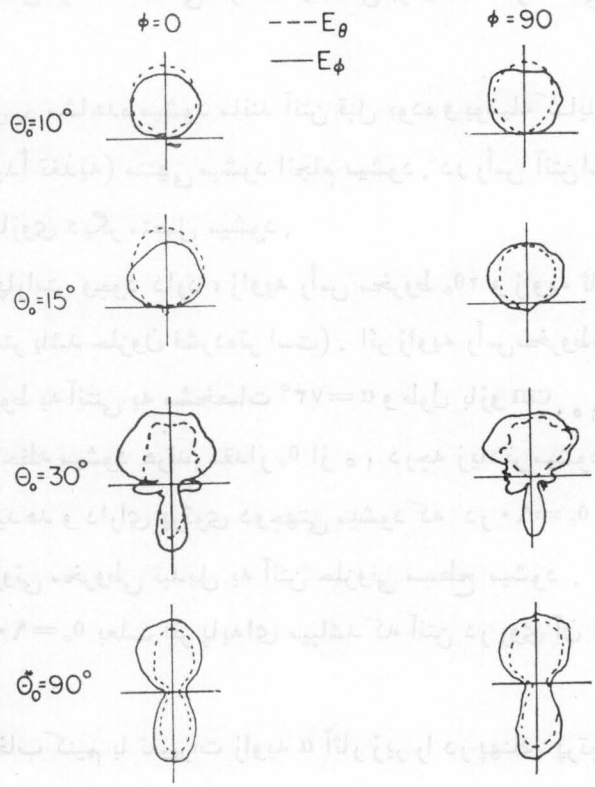


شكل ٨



شكل ٩





شكل ١٠

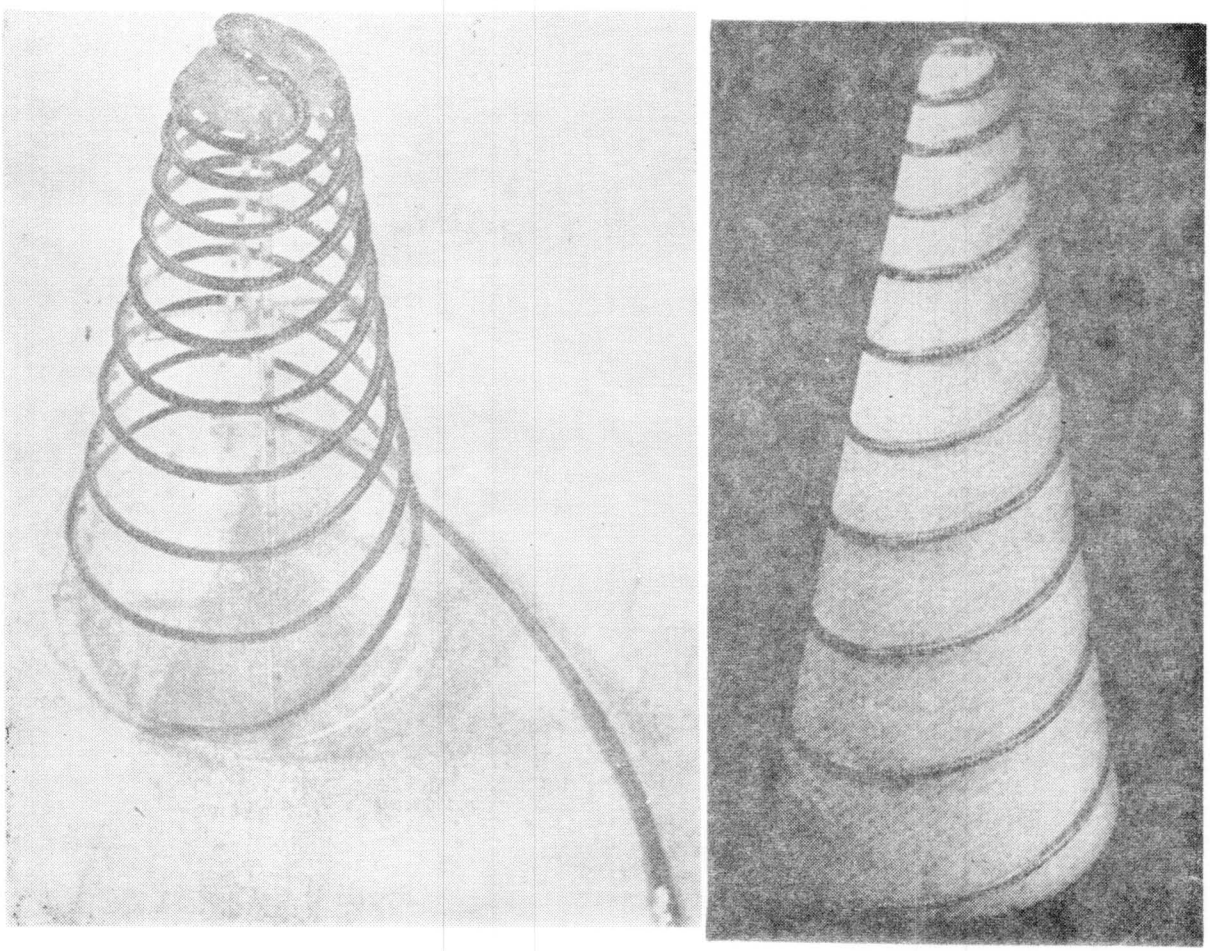
شكل ١١

(زاویه‌ایکه درطرفین آن حوزه الکتریکی ۰/۷۰۷ برابر مقدار حوزه در وسط میباشد ویا بعبارت دیگر زاویه‌ایکه در آن قدرت ازماکزیمم در وسط به‌نصف در طرفین میرسد) مشاهده میکنیم. برای $\alpha = ۸۲$ درجه پهنای پرتو حدود ۶۰ تا ۷۰ درجه و برای $\alpha = ۷۳$ درجه حدود ۷۰ تا ۸۰ درجه و برای $\alpha = ۶۰$ درجه حدود ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه میباشد.

بتدریج که زاویه α به ۴۵ درجه نزدیک میشود پهنای پرتو تا حدود ۱۸۰ تا ۲۰۰ درجه اضافه میشود. شکل ۱۱ پرتوهای آنتن فوق‌الذکر رابرای مقادیر α ذکر شده نشان میدهد.

چنانکه قبلاً بیان شده مشخصات آنتنهای حلزونی لگاریتمی درصورتیکه بازوهای آنها از صفر تا بینهایت ادامه داشته باشند مستقل از فرکانس‌میباشد ولی در آنتنهای قابل ساختمان که بازوی‌آنتن نمیتواند ازصفر شروع شده وتا بینهایت ادامه داشته باشد مشخصات آنتن دربین فرکانسهای f_1 و f_2 که اولی‌بوسیله قطرقاعده بالای مخروط، d ، و دومی بوسیله قطرقاعده پائین مخروط، D ، مشخص میشود ثابت خواهدبود. عملاً حدودطول موج‌مربوط‌بفرکانس f_1 ازرابطه $d = \frac{\lambda_1}{4}$ و λ_2 مربوط به فرکانس f_2 از $D = \frac{3\lambda_2}{8}$ بدست میآیند

اگر درشکل ۸ عرض نوارهای تشکیل‌دهنده بازوهای آنتن بسمت صفرمیل کند آنتن‌حاصل تشکیل



شکل ۱

خواهد شد از دو کابل تغذیه طبق شکل ۱۲ تجربه نشان میدهد که مشخصات آنتن در این حالت نسبت بحالت قبل تغییرات عمده‌ای نمی‌نماید.

در طول باند ذکر شده در بالا امپدانس آنتنهای حلزونی لگاریتمی مخروطی تقریباً ثابت می‌ماند و هرچه که زاویه رأس مخروط کوچکتر میشود مقدار این امپدانس نیز کوچکتر میشود.

نتیجه

از مقایسه آنتن حلزونی بخصوص آنتن حلزونی مخروطی با رشته آنتنهای دوپل لگاریتمی می‌توان نتیجه گرفت که برخلاف آنتنهای دوپل که تکرار خواصشان با عدد τ مربوطست آنتنهای حلزونی دارای خواص ثابتی میباشند وفقط پرتو آنها حول محورآنتن دوران میکند که آنهم بعلت تقارن قابل تشخیص نیست. و در مورد هردونوع آنتن باند فرکانس آنتن وابسته به ابعاد ابتدائی و انتهائی آنتن میباشد و بنابراین این باند تابع دقت سازنده وهمچنین ابعاد قابل‌قبول آنتن ازنظر عملی میباشد. ولی ازنظر دارا بودن پلاریزاسیون دایره‌ای آنتنهای حلزونی برروشته آنتهای دوپل دارای ارجحیت میباشد.