آنتن‌های با باند وسیع

نوشته‌ی

دکتر حسن مرشد

دانشیار دانشکدهٔ فنی

مقدمه :

تاکنون در دستگاههای ارتباطی عامل اصلی محدود کننده ـ آنتنها بوده‌اند چه هر آنتن دارای دو مشخصه بسیار مهم میباشد. امپدانس آنتن و پرتو توجیهی (Directional pattern) آنتن (جهتی که درآن جهت آنتن انرژی بیشتری میفرستد) که درهرمورد یکی یا هردوی این عوامل میتوانند باند فرکانسی دستگاه ارتباطی را محدود کنند. بدین‌علت که امپدانس آنتن و پرتو آنتن هردو توابعی از فرکانس میباشند و لذا با تغییر فرکانس تغییر مینمایند.

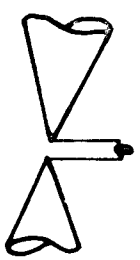
برحسب تعریف باندی ازفرکانس که در روی‌آن باند تغییرات امپدانس ویاپرتو (pattern) آنتن قابل اغماض باشد باند فرکانس آنتن نامیده میشود و ضمناً نسبت فرکانس بالای باند به پائین باند را طول باند میگویند. مثلاً آنتن با طول باند ۳ به ۲ آنتنی است که درآن‌فرکانس بالای‌باند سه‌برابر فرکانس‌پائین باند میباشد.

درآنتن هائیکه از رشته سیم‌های دراز تشکیل شده‌اند منظور از باند وسیع باندی ازفرکانس میباشد که در روی آن باند امپدانس‌آنتن نسبتاً ثابت میماند ولی پرتوآنتن متغیر است . بعنوان نمونه مهم اینگونه آنتنها میتوان آنتن رمبیک (Rhombic) را نام‌برد که طول باندآن تا ۴ به ۱ میرسد. همچنین این‌حقیقت معلوم گردیده بود که آنتنهای ساخته شده از رشته‌سیمهای ضخیم‌تر امپدانسشان کمتر ازآنتنهای نازکتر با فرکانس تغییر مینماید. دراین‌زمینه‌آنتنی که بسیار موفقیت کسب کرده بود تشکیل‌شده بود از یک‌مخروط ویک‌صفحه فلزی در بالای رأس‌آن که طول باندی مساوی ۴ به ۱ دارد. در این‌زمینه میتوان آنتنهای با اشکال عجیب وغریبی را نام برد که همه پس از جستجوی زیاد و بطور تجربی بدست‌آمده‌اند.

یک گروه دیگر از آنتنها که بعضی از آنها دارای باند نسبتاً وسیعی نیز میباشند عبارتند از آنتنهای حلزونی منقطع وحلزونی استوانه‌ای. دراین آنتنها جهت تشعشع ماکزیمم انرژی درامتداد محور شکل حلزونی میباشد وضمناً دارای پلاریته مدور (Circular polaritation) میباشند. نوع کاملتر این گروه آنتن حلزونی مخروطی (سیم پیچی حلزونی پیچیده شده روی یک مخروط) میباشد.

آنتنهای با باند نامحدود (Freg Erequency independent) :

درسال ۱۹۵٤ رمزی (Rumsey) از آزمایشگاه آنتنهای دانشگاه ایلینوی امریکا پیشنهاد نمود که هرآنتنی که ساختمانش فقط وابسته بیک زاویه باشد وبا مشخص شدن آن زاویه مشخص شود بدون اینکه بطولی وابسته باشد بایستی خواصش مستقل از فرکانس باشد. چنین آنتنهائی بایستی دارای طول بینهایت باشند که عملاً نیز مقدور است. بنابراین سئوالی که دراینجا مطرح میشود اینست که کدام یک ازاین آنتنها باابعادی که عملاً قابل ساختن باشد میتوانند خاصیت باند نامحدود خود را حفظ کنند. مثلاً آنتن دو پلی که از دو مخروط با رئوس نزدیک بهم تشکیل شده طبق شکل ۱ بااینکه زاویه رأس مخروط تنها پارامتر لازم برای مشخص شدن آنتن است ولی درصورتیکه انتهای دومخروط تا بینهایت ادامه پیدا نکندباندش نامحدود نخواهد بود وامپدانس و پرتو آنتن هردو توابعی از فرکانس خواهند بود.

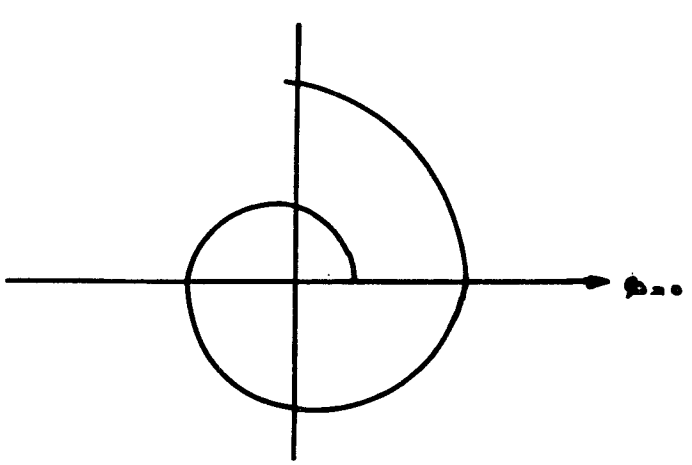


(شکل ۱)

رمزی آنتن حلزونی را بعنوان یک آنتن با باند نامحدود پیشنهاد نمود که پس از تجربیات دایس (Dysm) از همان آزمایشگاه تئوری فوق بثبوت رسید. معادلهٔ منحنی این آنتن های حلزونی که بنام «حلزونی لگاریتمی» نامیده میشوند درمختصات قطبی عبارتست از :

$$\rho = e^{a(\varphi-\delta)} \qquad \text{یا} \qquad (\varphi-\delta) = \frac{1}{a}\ln\rho \qquad (1)$$

که ρ و φ اجزاء مختصات قطبی و a و δ مقادیر ثابتی میباشند. شکل ۲ منحنی مربوط به‌معادله(۱) رابازاء $\delta = 0$ و $a = 1$ نشان میدهد.



شکل ۲ - منحنی $\rho = e^{\varphi}$

برای اینکه آنتنی که درشکل ۳ نمایش داده شده وآنتن حلزونی لگاریتمی میباشد ملاحظه میشود که از چهار منحنی حلزونی نموده شده درشکل ۲ تشکیل شده که عبارتند از :

$$\rho_1 = Ke^{a\varphi}$$

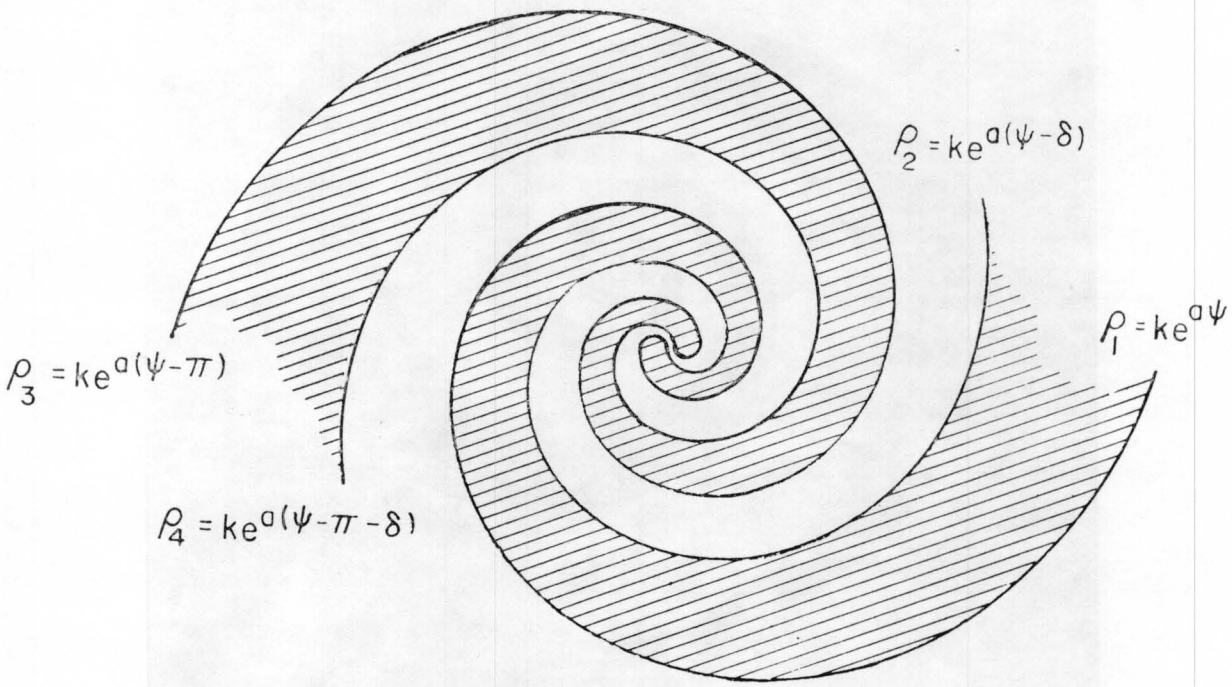
$$\rho_2 = Ke^{a(\varphi-\delta)}$$

برای یک بازوی آنتن .

$$\rho_3 = Ke^{a(\varphi-\pi)}$$

$$\rho_4 = Ke^{a(\varphi-\pi-\delta)}$$

برای بازوی دوم . که در این عبارات ثابتهای a و K و δ بترتیب مشخص انحنای حلزون، بزرگی محل تغذیه آنتن و بالاخره پهنای بازوی آنتن میباشند .



شکل ۳

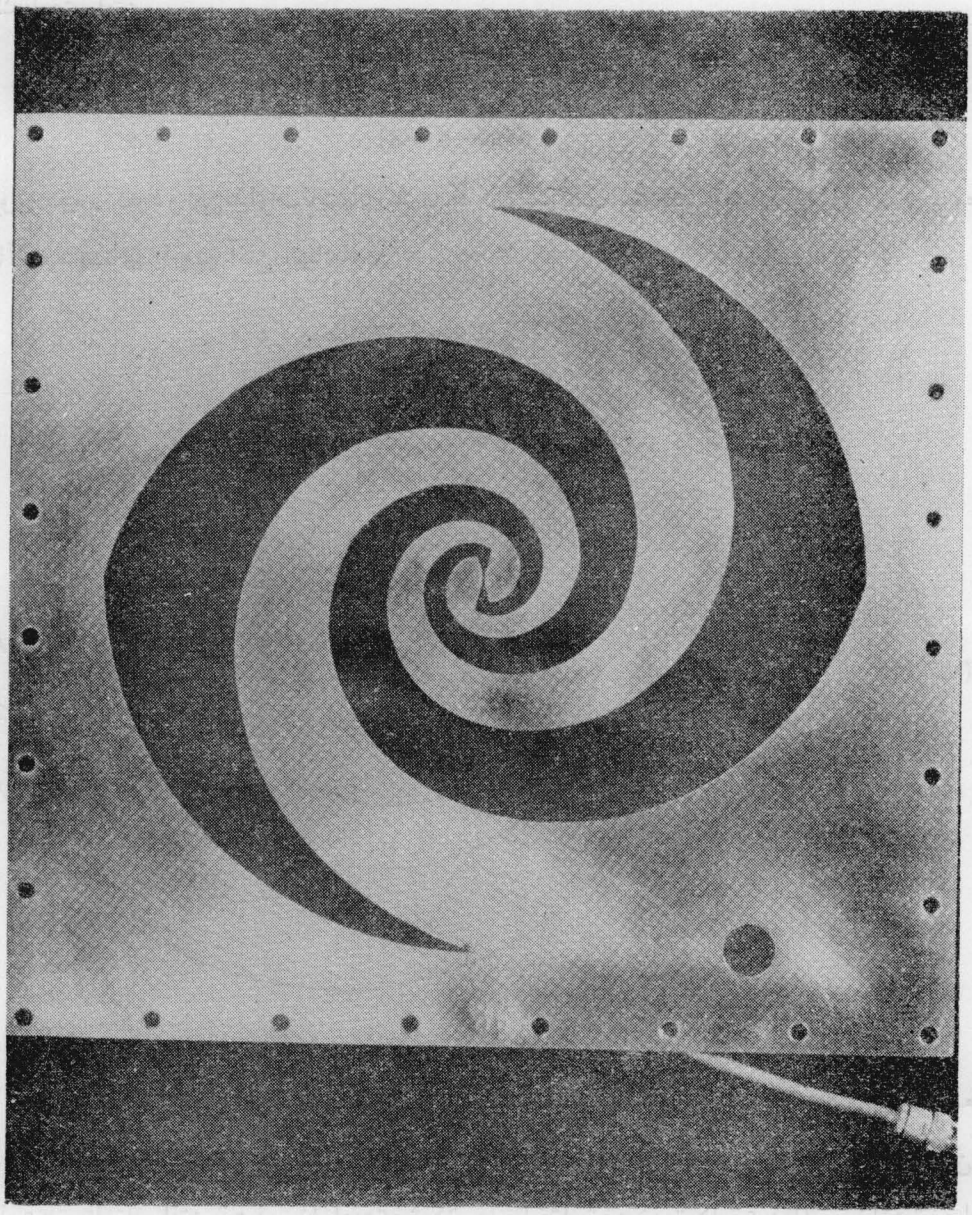
این منحنی حلزونی بخصوص دارای این خاصیت میباشد که زاویه بین منحنی و خط شعاعی (خط نمایش ρ) درجمیع نقاط منحنی یکسانست و ازهمین نظر این منحنی و بالاخره آنتن را منحنی یاآنتن حلزونی با «زاویه ثابت» مینامند. آنتن تجربی که ازروی شکل ۳ ساخته شده در شکل ٤ نمایش داده شده است .

هنگامیکه این آنتن از دونقطهٔ ابتدائی دوبازو تغذیه شود جریان حرکت میکند بسوی انتهای دو بازوی حلزونی شکل .

دراین حرکت دامنهٔ جریان فقط اندکی کوچک میشود (این کوچک شدن دامنه را میرائی مینامیم)

درشکل ۳ بجای φ اشتباهاً ψ نوشته شده

ولی وقتیکه جریان به‌ناحیه معینی‌از بازوها رسید (این طول بازو برحسب طول‌موج ثابت است یعنی‌اگر واحد طول را طول موج بگیریم این اتفاق همیشه در همین طول این عمل اتفاق میافتد) تمام انرژی‌ایکه به‌آن ناحیه رسیده بود بصورت امواج وارد فضا میشود. این‌ناحیه ازآنتن که درآن ناحیه تمام‌انرژی تشعشع‌میشود ناحیه زنده آنتن (Active Region) نامیده میشود. واضحست بعد از ناحیه زنده انرژی‌ای باقی نمانده که



شکل ٤

درامتداد بازوها حریان پیدا کند و بنابراین اگراز بعداز ناحیه زنده بازوهای‌آنتن ادامه پیدانکنند تغییری در طرزکارآنتن حاصل نمیشود و بنابراین این آنتن که ساختمانش فقط وابسته بزاویهٔ φ میباشد با ابعاد عملی بازهم باندش تابع فرکانس نمیباشد.

واضحست هرچه که طول موج کوچک شود ناحیه زنده آنتن به‌نقطه تغذیه نزدیک و هرچه طول موج بزرگ شود ازآن‌دور میشود زیرا که فاصله ناحیه زنده‌ازنقطه تغذیه برحسب طول موج تجربه نشان‌داده که ثابت است. تنها تغییری که با تغییر فرکانس حاصل میشود اینست که چون ناحیه زنده درطول بازوها بالاوپائین میرود بنابراین حوزه‌های الکتریکی‌حاصل درفرکانسهای‌مختلف نسبت‌بیکدیگر تغییرزاویه‌میدهند.

این تغییرمحل ناحیه زنده درطول‌آنتن برای فرکانسهای مختلف، اخیراً بطرق‌مختلف ثابت‌شده‌است که یکی ازشرایط نامحدود بودن باندآنتن میباشد.

باند نامحدود که در بالا بآن اشاره شد ازنظر تئوری میباشد و الا واضحست که لزوم محدود بودن ابعاد آنتن ازنظر ساختمانی باعث میشود که بالطبع باندآنتن‌نیز محدود شود. درآنتن شکل ٤ که بوسیله یک منبع از دوانتهای نزدیک مبداء مختصات تغذیه شده‌است دارای امپدانس و پرتوی میباشد که عملاً وابسته به فرکانس نیست (البته پرتو با فرکانس میچرخد) پائین‌ترین فرکانسی که بعد از آن امپدانس و پرتوش تغییر مینماید فرکانسی است که بازاء آن قطر خارجی آنتن نصف طول موج میباشد، در بالاترین فرکانس آنتن فاصله دو نقطه تغذیه نزدیک نصف طول موج میشود. نظر باینکه حد بالائی و پائینی باندهای آنتن ارتباطی بیکدیگر ندارد بنابراین طول باند این‌آنتن تا هر حد دلخواهی قابل بالا بردن است و فقط امکانات ساختمانی آنتن این طول باند را محدود میکند. چه از نظر بزرگی قطر خارجی و چه از نظر ریزه کاری در محل تغذیه.

نظر بتقارن آنتن نسبت به محور حلزون لازم بتوضیح نیست که پرتو آنتن در دوطرف سطح حلزونی متقارن میباشند. این نوع آنتن «دوجهتی» (Bidirectional) نامیده میشوند. پرتو این آنتن بسیار وسیع و و پلاریته‌آن مدور میباشد. بعلت همین دوجهتی بودن‌پرتو مورد استعمال این‌نوع آنتنها بسیار محدود میباشد ولی‌چنانکه بعداً خواهیم دید با تغییرات جزئی این آنتن تبدیل بیک‌آنتن یک‌جهتی (unidirectional) وبا باند بسیار وسیع خواهد شد که بسیار درعمل مورد استعمال دارد.

آنتنهای با پرید لگاریتمی (Log-Periodic Antennas) :

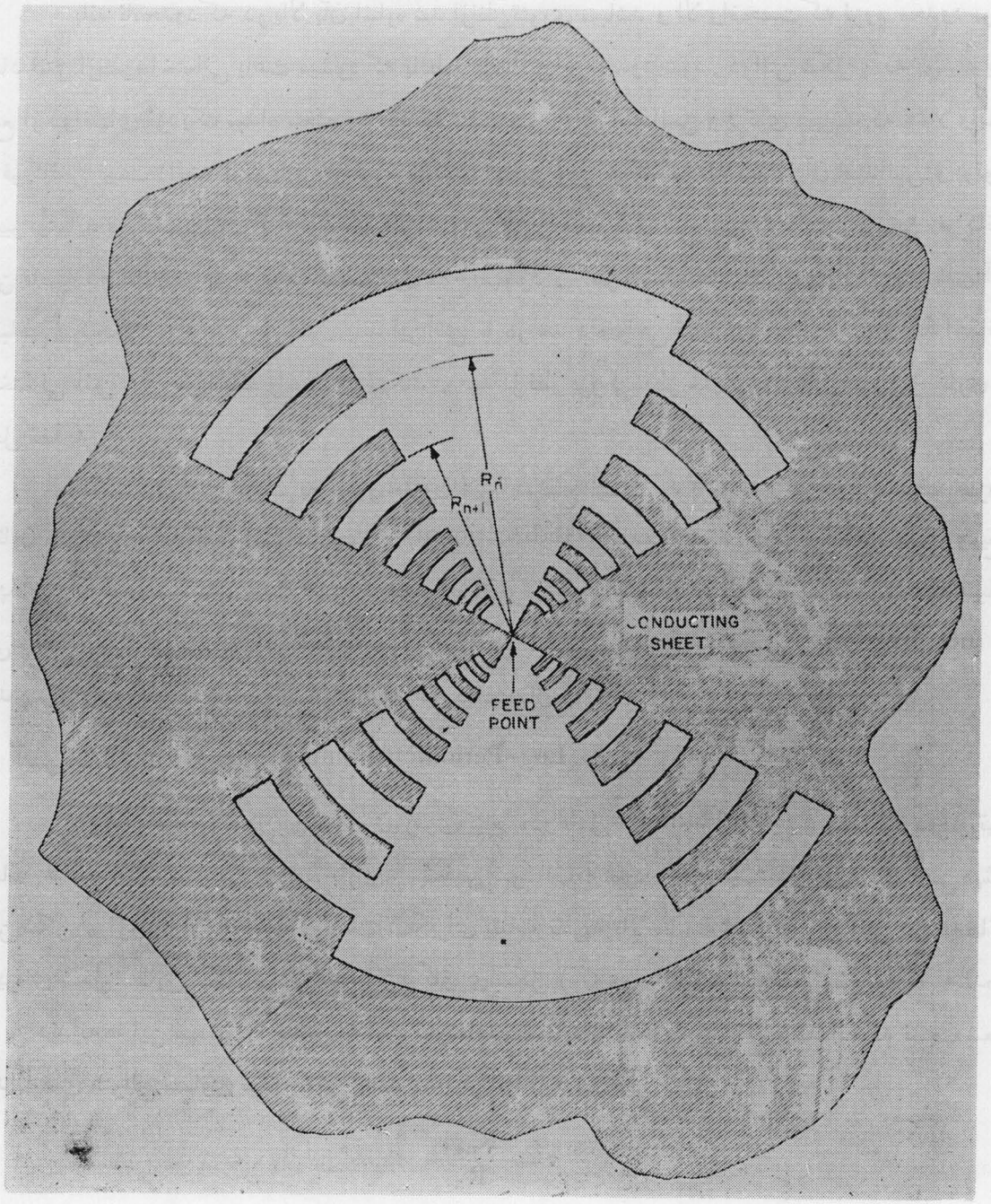
درسال ۱۹۵۵ یکی از همکاران رمزی بنام «دوهامل» (DuHamel) پیشنهاد کرد درصورتیکه ضمائم مناسبی بیک سیستمی که فقط بازاویه مشخص شود اضافه شود، این سیستم تبدیل بیک‌آنتنی میشود آنتن شکل ٥ ازجمله اولین آنتنهائی است که برای اثبات نظریه بالا ساخته شد. در این آنتن دندانه‌هائی دایره‌ای شکل مطابق شکل دردوصفحه فلزی گاوه‌ای شکل (که بوسیلهٔ زاویه مشخص‌میشوند) تعبیه‌شده‌اند و این دندانه‌ها این سیستم را تبدیل به‌آنتن نموده‌اند. ضمناً دندانه‌ها طوری تعبیه شده‌اند که نسبت شعاع دندانه‌های متوالی مساوی مقدار ثابتی باشد کهٔ اگر آنرا با τ مشخص کنیم:

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n}$$

واضحست که همچنین نسبت طول ودندانه‌های متوالی و همچنین ضخامت آنها نیز τ خواهد بود.

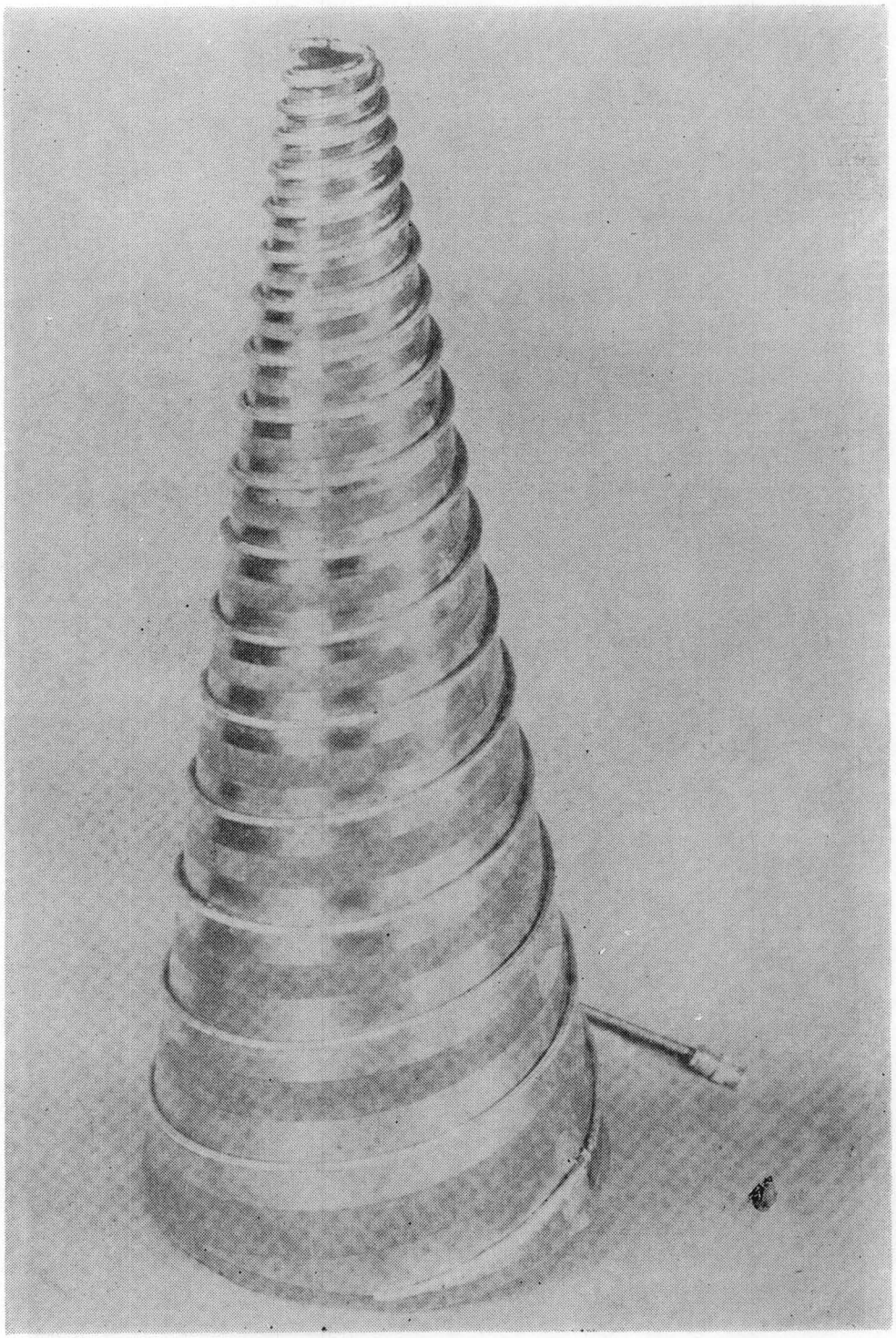
ضمناً اگر این آنتن از دوطرف تا بینهایت ادامه یابد و آنتن از دو نوك تیز دوقسمت تغذیه شود تمام خواص آنتن در فرکانس f برای تمام فرکانسهای $\tau^n f$ تکرار خواهد شد (چه اگر آنتن به‌نسبت τ^n بزرگ شود باز تغییرشکل نخواهد داد) ، n یك عدد صحیح مثبت یا منفی میباشد. حال اگر این فرکانسها را درروی یك کاغذ لگاریتمی منتقل کنیم ملاحظه میشود که این فرکانسها دارای فواصل مساوی خواهند بود و پریود این فرکانسهای متناوب $log\tau$ خواهد بود. بهمین علت است که این آنتنها را متناوب لگاریتمی مینامیم.

گرچه که این آنتنها خواصشان فقط برای فرکانسهای منفصل $\tau^n f$ ثابت میباشدآنهم درمورد آنتنهای



شکل ٥

معینی و برای مقادیر τ نزدیک به یک، ولی تغییرات مشخصات این آنتنها (امپدانس و پرتو) رابین دوفرکانس $\tau^n f$ و $\tau^{n+1} f$ ممکن است تاحد مورد قبولی کوچک نمود و بدینترتیب بجای آنتن باخواص متناوب آنتن مستقل از فرکانس یعنی باباند نامحدود ساخت. دراینجا بایستی باین نکته توجه نمود که باتعریفی که برای آنتنهای با پرید لگاریتمی شد میتوان بینهایت نوع از این آنتنها ساخت ولی فقط قسمت کوچکی ازآنها وقتی که باابعاد

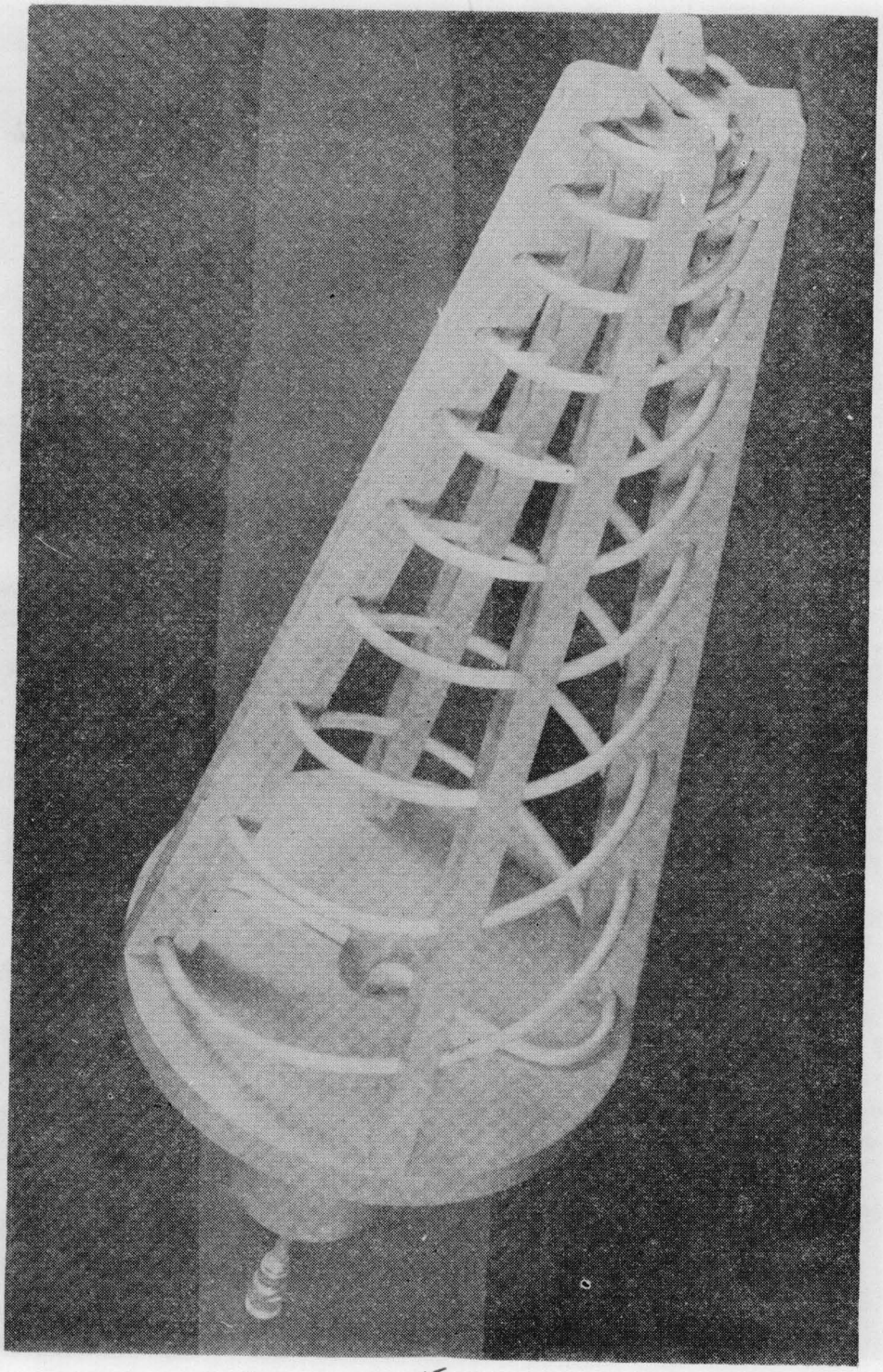


شکل ٦

قابل‌ساختمان (نه باابعاد بینهایت) درنظر گرفته شوند دارای خواص تقریباً مستقل از فرکانس میباشند ، که آنتن شکل ۵ یکی ازآنها میباشد. بالاخره این‌آنتن نیز بعلت تقارن آنتنی دوجهتی میباشد.

آنتنهای یک‌جهتی با باند نامحدود و پرید لگاریتمی

گرچه آنتنهای فوق‌الذکر دارای باند نامحدود میباشند ولی چون انرژی را بطور مساوی بدو طرف



شکل ۷

صفحه آنتن تشعشع میکنند (دوجهتی میباشند) مورد استعمال آنها بسیار محدود میباشد . چه غالب اوقات آنتنهائی مورد نیازند که انرژی را از یک‌نقطه بنقطه‌ای دیگر تشعشع کنند بدون آنکه در سایر جهات انرژی قابل توجهی پخش کنند.

قدم عمده درراه یک‌جهته کردن آنتنهای با پریود لگاریتمی بوسیله ایزبل (Isbell) از آزمایشگاه آنتنهای دانشگاه ایلینوی برداشته شد. آقای ایزبل برای رسیدن باین هدف دو بازوی آنتن با پرید لگاریتمی و مسطح را طوری نسبت بیکدیگر قرار داد که این دوبازو بفرم گاوه‌ای (یا بشکل حرف لاتین V) درآمدند مطابق شکل ٦ .

او از این تغییرشکل یک نتیجه مهم و غیرمنتظره بدست آورد. او مشاهده کرد همچنانکه زاویه θ از 180° (شکل ٥) شروع به کم‌شدن میکند پرتو آنتن نیز تقارن خودرا ازدست‌داده و بجای دوجانبه‌بودن شروع بیک‌جانبه‌شدن میکند ، بدین‌معنی که بیشتر انرژی‌از یکطرف‌آنتن بطرف دیگر آنتن انتقال پیدا میکند ولی‌دراینجا چیزی که برخلاف انتظار اتفاق افتاد این بود که انتظار میرفت همانطور که جریان ازنوک تغذیه بطرف انتهای بازوها حرکت میکرد بیشتر انرژی نیز در همان جهت یعنی از دهانه قیفی‌شکل و گشاد آنتن خارج شود درحالیکه مشاهده شد انرژی برخلاف جهت جریان از نوک تیز آنتن خارج میشود. ازاین‌نظر این آنتنها آنتنهای «عقب ران» (Backfire Antenna) نامیده شدند.

بدنبال‌مشاهدات بالا آقای دیسن (Dyson) ازآزمایشگاه آنتنهای دانشگاه ایلینوی توانست ترتیبی بدهد که آنتن دو جهته حلزونی لگاریتمی را نیز تبدیل به‌آنتنی یک جهته نماید. او برای این منظور بجای اینکه آنتن حلزونی را روی سطح مسطح در نظر بگیرد بازوهای آنتن را در روی یک سطح مخروطی پیچید مطابق شکل ٧ .

دراینجا هم‌آقای دیسن مشاهده کرد که اگر زاویهٔ رأس‌مخروط از 45° کوچکتر باشد این‌آنتن‌یک جهته میباشد و بازهم برخلاف‌انتظار بجای‌اینکه انرژی‌ازدهانه بوقی‌شکل‌آنتن‌خارج‌شود برعکس‌این‌انرژی‌در جهت خلاف حرکت جریان و بنابراین از نوک تیز محل تغذیه آنتن خارج میشود و بنابراین این‌آنتن هم‌آنتنی عقب ران و یک‌جهته میباشد.

نتیجه :

آنچه در این‌مقاله بحث شد مختصری بود از پیشرفت‌های خاص درمورد آنتنهای با باند وسیع و یا باند نامحدود که مورد علاقه و مطالعه نویسنده بوده است . ولی چون ممکن است خوانندگان ارجمند با اصطلاحات‌مربوط باین‌فن‌آشنانباشند دراینجافقط بیک‌نظر سطحی‌قناعت شد. درآینده‌بخواست خداوند هر کدام از قسمتهای فوق‌الذکر بتفصیل و سپس تئوریهائی که این آنتنها براساس آنها کار میکنند وهمچنین جزئیات ساختمان آنها ، بطوریکه بسادگی خواننده بتواند از روی‌آنها آنتن موردنظر خودرا بسازد تشریح خواهدشد.