آنتنهای باباند وسیع : آنتنهای زیگ‌زاگ لگاریتمی

نوشته :

حسن مرشد

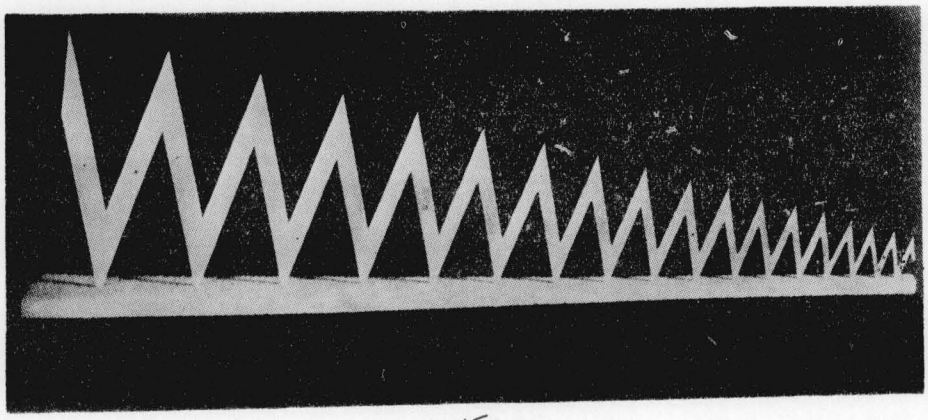
دانشیار دانشکده فنی

مقدمه : آنتنی باباند وسیع وبا پلاریزاسیون قائم که قابل نصب درروی زمین (صفحه هادی) باشد همواره برای استفاده در سیستمهای ارتباطی بافرکانس زیاد موردتقاضا بوده‌است. اشکال‌عمده درموردساختن چنین آنتنی (یا رشته آنتنی) اینست که ابزار اولیه کار یک مهندس ارتباط آنتنهای دوپل ویک پل میباشد که بکمک آنها رشته آنتنهای مختلف را طراحی میکند. چنانکه دریکی از مقالات قبلی ملاحظه شد ساختن رشته آنتن دوپل باپریود لگاریتمی که دارای باند وسیع فرکانس میباشد بارزترین نمونه این طراحی میباشد. درنظر اول میتوان گفت‌برای ساختن آنتنی با باند وسیع وپلاریزاسیون قائم که قابل نصب درروی زمین باشد بایستی از رشته آنتن یک پل با پریود لگاریتمی استفاده کرد. چه‌چنین رشته آنتنی قابل‌نصب درروی صفحه هادی بوده و دارای باندوسیعی ازفرکانس میباشد.

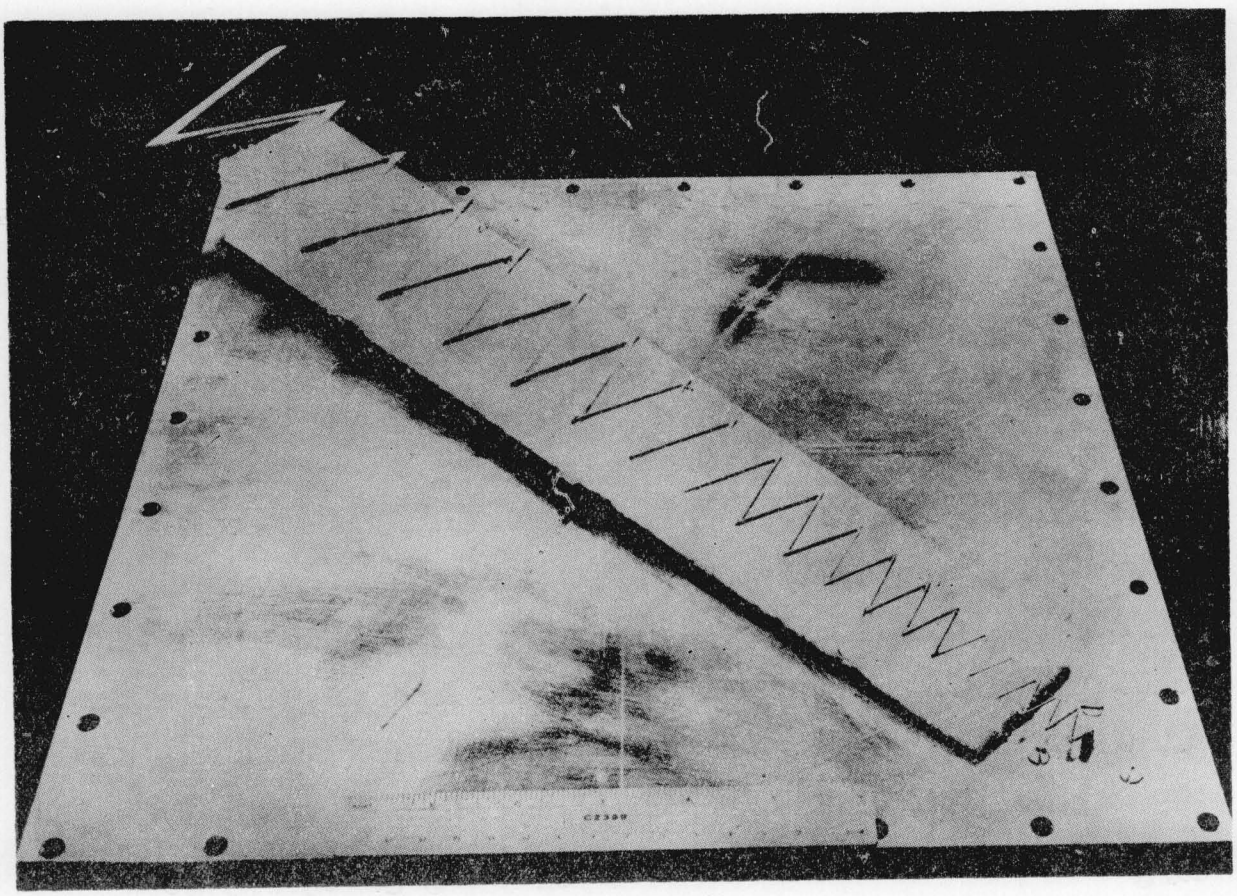
بادقت کمی درساختمان سیستم تغذیه رشته آنتن‌دوپل باپریود لگاریتمی ملاحظه میشود که‌ساختن رشته آنتن یک‌پل با پریود لگاریتمی غیر ممکن است زیرا درتغذیه رشته‌آنتن‌دوپل دوسیم تغذیه بکار میرود که ازیک آنتن به‌آنتن بعدی ۱۸۰ درجه تغییرفاز ایجادمیکند - بکمک نیمدور تابیدن دوسیم تغذیه - ولی در رشته یک آنتن یک‌پل فقط یک سیم تغذیه وجوددارد وسیم دیگر بزمین (صفحه هادی) متصل میباشد ، ولذا امکان ایجاد تغییرفاز ۱۸۰ درجه بین دوآنتن مجاور نمی‌باشد. وچون این ۱۸۰ درجه اختلاف‌فازعامل اصلی عقب ران بدون رشته آنتن میباشد لذا رشته آنتن یک‌پل باپریود لگاریتمی غیرممکن است.

دوتن از همکاران سابق نویسنده آقایان Paul E. Mayes و Robert L. Carrel که مدتی روی آنتنهای زیگ‌زاگ لگاریتمی مسطح (شکل ۱) کارکرده بودند بکمک آزمایشات متعدد نشاندادند که‌خواص تشعشعی وامپدانسی این آنتن ، درحدود دقت ساختمان آنتن، مستقل ازفرکانس بوده و بنابراین‌جزءآنتنهای با باند وسیع میباشد. اما واضحست که این آنتن نیز اگر روی زمین (صفحه هادی) نصب‌شود (شکل ۲) فقط

دارای پلاریزاسیون افقی خواهد بود . یکی از افراد دیگر آزمایشگاه آنتن دانشگاه اینیوی بنام آقای John w. Greiser که همکاری نزدیک بانویسنده داشت مدتی روی این نوع آنتن کارکرد و توانست با تغییر



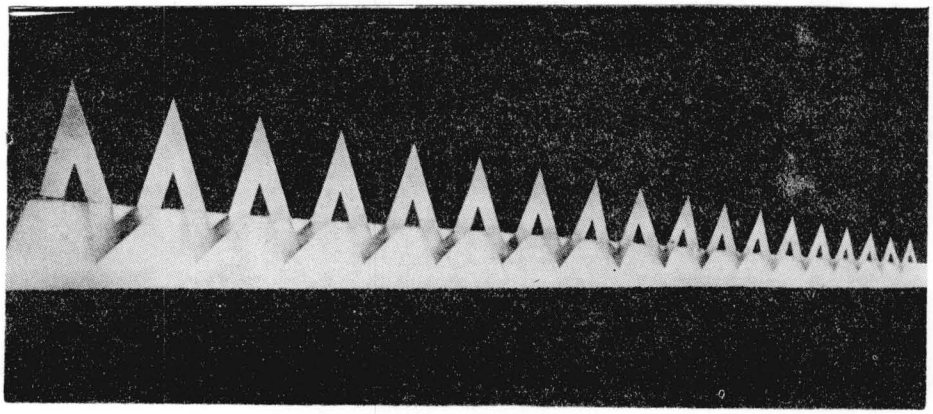
شکل ۱



شکل ۲

مختصری درآنتن زیگ‌زاگ لگاریتمی مسطح آنرا بصورتی که دارای پلاریزاسیون قائم بوده و قابل نصب روی زمین باشد درآورد . اواین نوع آنتن را بعلت شکل ظاهری آن (شکل ۳) ، آنتن زیگ‌زاگ لگاریتمی گوشه‌ای

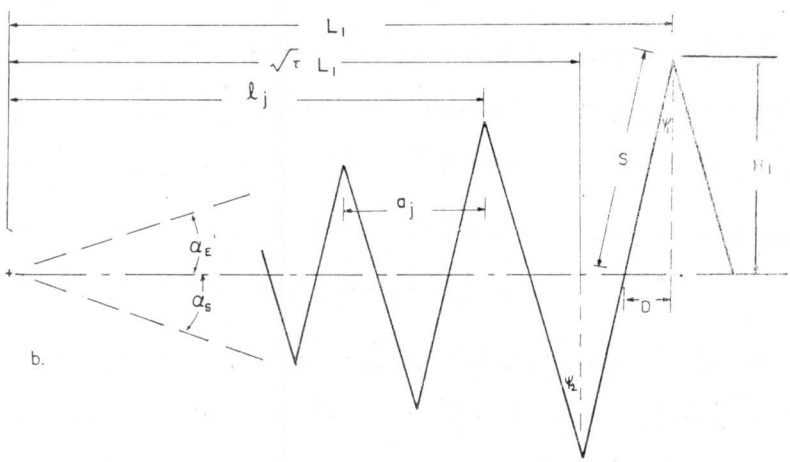
نامید. چنانکه درشکل ملاحظه میشود این آنتن همان آنتن زیگ‌زاگ مسطح است که درامتداد محور خود باندازه ۹۰ درجه خم شده‌است. این آنتن بسادگی برروی یک سطح هادی (زمین) قابل نصب است وچون اجزاء تشعشع کننده آن قائم قرار میگیرند بنابراین دارای پلاریزاسیون قائم خواهد بود. دراین حالت اجزاء افقی آنتن که مجاور با زمین قرارمیگیرند بصورت قطعات کوچک یک خط ارتباط (Stub) کارمیکنند.



شکل ۳

مشخصات فیزیکی آنتن زیگ‌زاگ لگاریتمی مسطح و گوشه‌ای آن در (شکل ٤ الف وب) نمایش داده شده است. α_E زاویه اجزاء تشعشع کننده و α_s زاویه اجزاء تاشده که‌درمجاورت زمین قرار میگیرندبوده و ζ زاویه نصب آنتن برروی صفحه هادی میباشد.

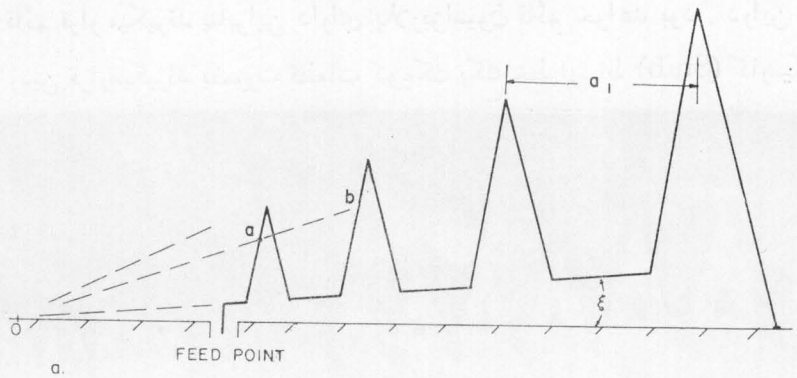
دراینجا نیز مانند رشته آنتنهای دوپل باپرید لگاریتمی نسبت فاصله مبداء ازدونقطه‌متناظر(دونقطه روی دو زیگ‌زاگ مجاور) مثلاً $\frac{oa}{ob}$ بنام τ نامیده شد که مقیاس تغییر ابعاد از زیگ‌زاگی به زیگ‌زاگ مجاور میباشد ومقدار آن بین صفر ویک قابل تغییر است.



شکل ٤ الف

همچنین در(شکل ٤ ب) : طرز تغذیه آنتن (بوسیله یک کابل هم‌محور) و اتصال آخرین جزءقائم آنتن به‌زمین نشانداده شده است.

دراین نوع آنتن نیز مانند رشته انتهای دوپل باپریدلگاریتمی ناحیه زنده(Active Region)آنتن که قسمت عمده انرژی تشعشعی ازآن صاد میشود با تغییر فرکانس درطول آنتن حرکت میکند. این ناحیه زنده



شکل ٤ ب

درفرکانس های زیاد مجاور زیگ‌زاگهای باارتفاع کم (نزدیک به‌محل تغذیه) ودرفرکانس های کم‌مجاور زیگ‌زاگهای بلندتر (نزدیک انتهای آنتن) قرارمیگیرد .

طریقه طرح یک آنتن زیگ‌زاگ لگاریتمی گوشه‌ای:

بطورکلی میتوان گفت که درطرح یک آنتن زیگ‌زاگ لگاریتمی گوشه‌ای ابتدا α_E و τ را انتخاب کرده و سپس مقدار α_s راطوری تنظیم میکنیم که پرتو تشعشعی درجهت منبع تغذیه یعنی‌بصورت عقب ران باشد. علت این انتخاب اینست که محاسبه نشان میدهد که حالت‌عقب‌ران پرتو این آنتن یکجهتی‌میباشد. در سایر حالات بعلت تشعشع بیش از یک هارمونیک فضا Space harmonic پرتویکجهتی نخواهد بود .

تجربه نشان میدهد که انتخاب α_E و τ نیز بطور دلخواه نمیتواند انجام گیرد چه انتخاب نامناسب این پارامترها آنتنی را مشخص میکند که دارای پرتو وامپدنس ورودی مستقل ازفرکانس نخواهد بود . برای آنتنهای با ابعاد بزرگ (فرکانسهای کم) انتخاب مناسب α_E و τ درقیمت‌تمام‌شده‌آنتن بسیارمؤثراست. بطورکلی‌ابعادآنتن ، وزن‌آن، بهره‌جهتی(Directive gain) ثابت بودن پرتووامپدانس ورودی‌درفرکانسهای مختلف تماماً تابع مستقیم انتخاب α_E و τ میباشند. زاویه ζ تأثیرش برروی‌امپدانس‌ورودی میباشد ومعمولاً طوری انتخاب میشود که این امپدانس بهترین مقداررا دارا باشد.

معمولاً چون درکارهای بزرگ استفاده ازنوارهای فلزی برای ساختن آنتن غیر عملی میباشد لذا بجای نوار ازسیم گرد فلزی استفاده میشود. دراینصورت واضحست چون ازهر زیگ زاگی به‌زیگ‌زاگ مجاور ابعاد با مقیاس τ تغییر میکنند بنابراین اگر قطر سیمی که برای ساختن زیگ‌زاگهای مختلف بکار رفته نیز بهمان نسبت عوض‌شود آنتن مشخصاتش نسبت به‌فرکانس دارای تغییر کمتری خواهد بود و بیشتر به‌آنتن مستقل ازفرکانس نزدیک‌میشود. بعنوان‌مثال یادآورمیشود که‌دریک آنتن بانوارفلزی و پارامترهای‌مشخص نسبت حوزه الکتریکی درقسمت عقب‌ران پرتو به‌حوزه الکتریکی درقسمت جلوران(End Fire) پرتو برابر۲۸

دسیبل بود درصورتیکه برای آنتن دیگری باهمان مشخصات ولی باسیم گرد وقطر یکنواخت این نسبت به ۱۸ دسیبل تنزل یافت.

مشخصات چند طرح موفق از این نوع آنتن :

قبلاً باید یادآورشد که بهره جهتی این آنتنها نسبت به یک آنتن ایزوتروپیک(Isotropic) که روی زمین قرارگرفته و بنابراین دارای پرتویکنواخت نیمکره‌ای‌شکل است میباشد . در اینصورت ماکزیمم مقدار بهره جهتی از رابطه زیر بدست میآید :

$$D = ۱۰ \log \frac{۴۱۲۵۳}{B_E B_H}$$

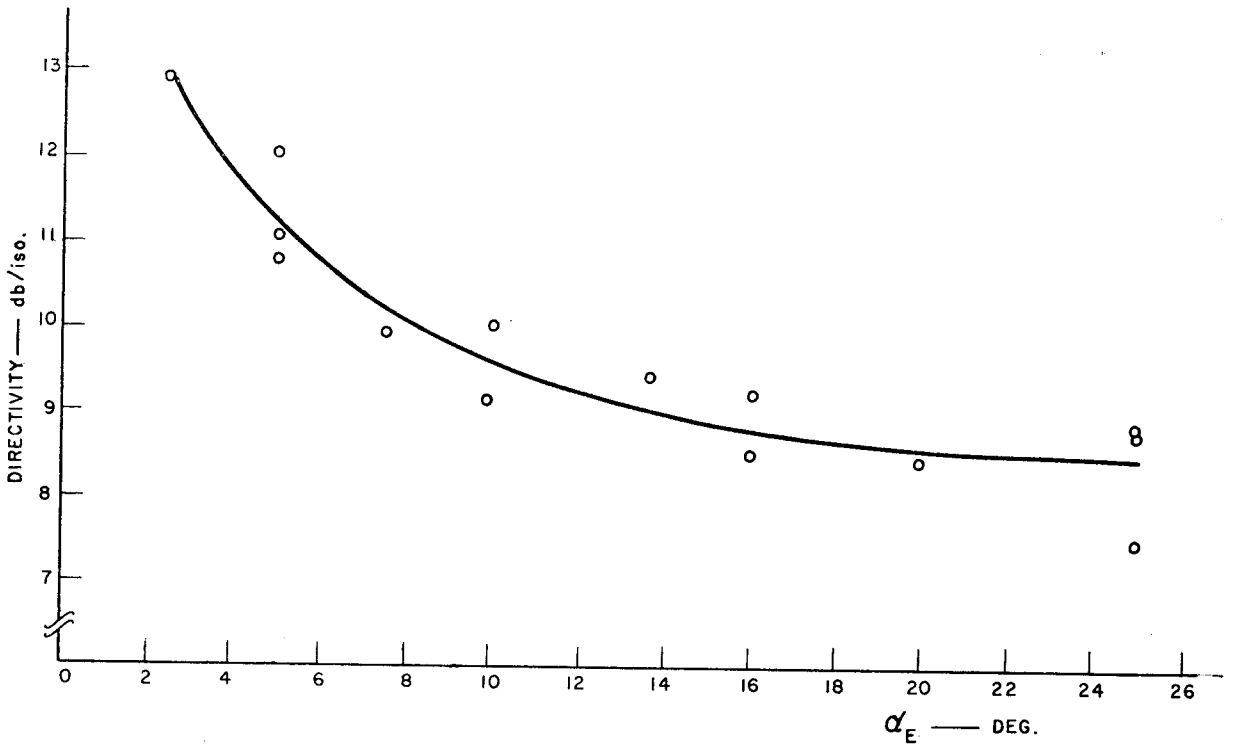
که درآن B_E دوبرابر و B_H خود زاویای مربوط به‌نقاط‌نصف‌قدرت پرتوهای صفحات E وH میباشند. مدلهای مختلفی ازاین نوع آنتن با مشخصات مورد قبول با زاوایای $\alpha_E = ۲/۵^\circ$ تا $\alpha_E = ۲۵^\circ$ مورد آزمایش قرار گرفته است وملاحظه شده که بهترین پرتو (بابهره جهتی ماکزیمم وتغییرات ناچیز برحسب فرکانس) وقتی حاصل میشود که زاویه α_E کوچک ومقدار τ نسبتاً بزرگ باشد . برای زوایای α_E بزرگتر از ۲۵ درجه در

τ	α_E	α_S	B_H	$2B_E$	D	Modifications
.97	2.5°	1.36°	49.5°	43°	12.87 db/iso.	Alt. Stubs .019" wire
.97	5.0	3.42	57.5	45.2	12.01	Alt. Stubs .019" wire
.95	5.0	2.0	63.8	54	10.77	Alt. Stubs .019" wire
.95	7.5	7.5	77	55.2	9.88	.063" wire
.93	5.0	2.2	65.5	49.	11.09	Alt. Stubs .019" wire
.93	16	12	87.3	57.4	9.16	Alt. Stubs .031" wire
.9025	10	10	84.2	49.	10.0	γ = .081
.90	25	20.5	106	69	7.5	Alt. Stubs $\gamma = .37^\circ$
.87	10	4.37	90.2	55.7	9.16	Alt. Stubs .063" wire
.87	16	8.6	92.8	59.4	8.5	Alt. Stubs $\gamma = .23^\circ$
.87	25	17	101	56	8.6	Alt. Stubs $\gamma = .24^\circ$
.85	13.7	7	89	53.5	9.38	Wire Outline $\gamma = 3.83^\circ$
.85	20	14	111	56.3	8.45	Alt. Stubs $\gamma = .28^\circ$
.82	25	18	113	56.5	8.69	Alt. Stubs $\gamma = .37^\circ$

شکل ۵

عین یکجهتی بودن پرتو تغییرات‌آن برحسب فرکانس بسیاز زیاد میباشد. بهره‌جهتی ماکزیمم از۶/۸سیبل برای مدلهای با α_E برابر ۲۰ درجه تا۹و۱۲ دسیبل برای مدلهای با α_E برابر ۲/۵ درجه تغییر میکند.

جدول (شکل ۵) مشخصات تشعشعی مربوطبه‌طرحهای موفق‌آنتنهای زیگ‌زاگ لگاریتمی گوشه‌ای را نشان میدهد که میتوان از آن برای طراحی این نوع آنتن استفاده کرد. دیاگرام (شکل۶) تغییرات بهره

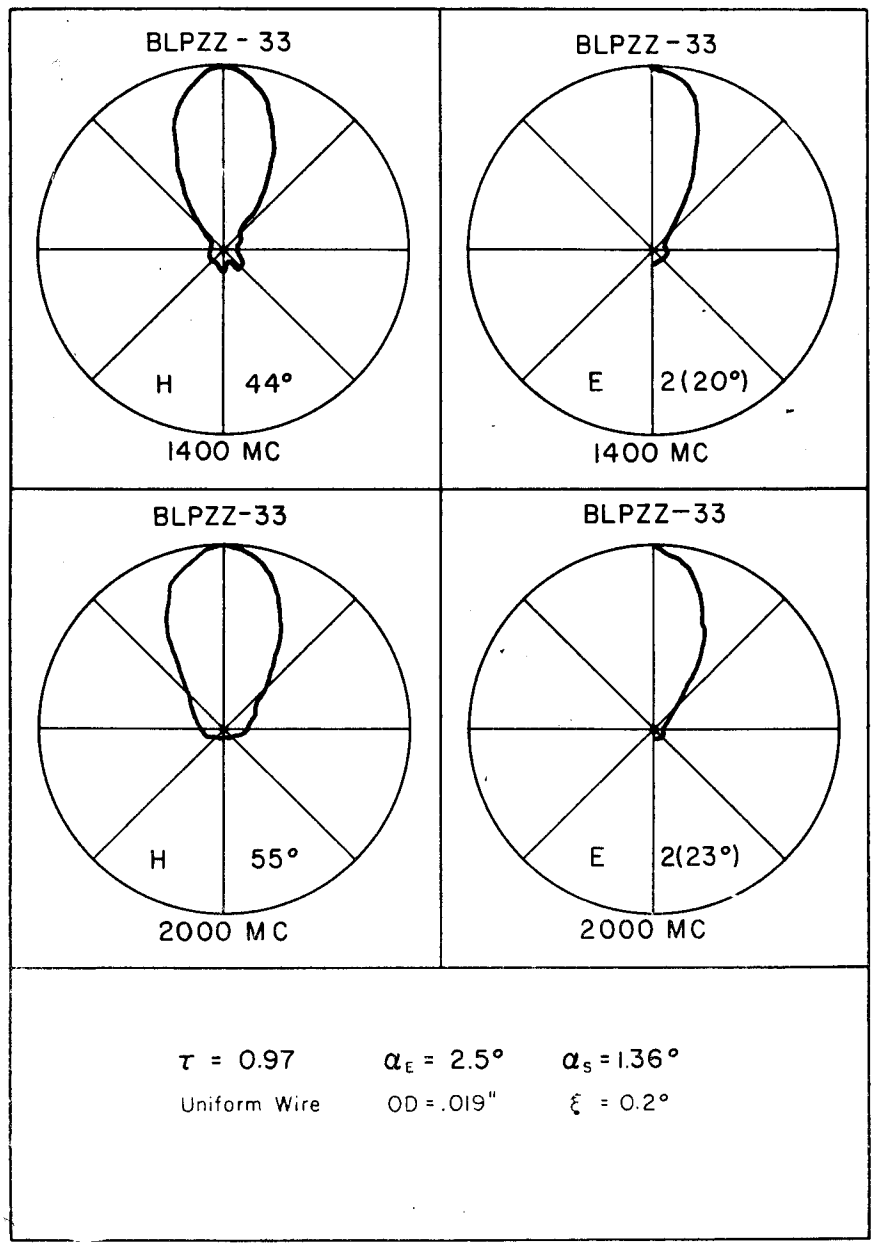


شکل ۶

ماکزیمم ائن نوع آنتنها را برحسب تغییرات زاویه α_E نشان میدهد . بهترین پرتوهای بدست آمده بوسیله این نوع آنتن در (شکل۷) نمایش داده شده است که مربوط به آنتن با $\alpha_E = ۲/۵$ درجه بوده و دارای حداکثر مقدار بهره جهتی ماکزیمم میباشد . باند فرکانس که آنتن های فوق‌الذکر برای آن بانـد ساخته شده‌اند بعلت امکانات ساختمانی ووسایل اندازه‌گیری بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ سیکل انتخاب‌شده است .

پرتوهای مربوط به‌آخرین عضو جدول (شماره۵) در (اشکال ۸ و۹) نشانداده شده‌اند. دراین آنتن $\alpha_E = ۲۵^\circ$ و $\tau = ۰/۸۷$ میباشد. چنانکه دیده میشودچون دراین‌آنتن بخصوص‌قسمت‌فرکانس زیادآنتن بادقت بیشتری ساخته شده باند فرکانس آنتن از ۵۰۰ تـا ۶۰۱۰ مگاسیکل افزایش داده شده بدینترتیب ثـابت میشود که دراین نوع آنتن محدودیت فرکانس وجودندارد . امپدانس ورودی آنتنها زیگ زاگ لگاریتمی گوشه‌ای دارای حساسیت کمتری درمقابل‌تغییر پارامترهای آنتن نسبت‌به‌پرتو توجیهی‌میباشند . مقدارمتوسط این امپدانس برای آنتنهای مختلف بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ اهم تغییر میکند. ضمناً در (شکل ۱۰) تغییرات این امپدانس متوسط (z_0) برای یک آنتن مشخص برحسب تغییرات زاویه ζ (زاویـه شیب آنتن نسبت بزمین) نشانداده شده است . تجربه نشان میدهد که برای هرآنتنی با پارامترهای مشخص یک زاویه ζ بهترین نیز

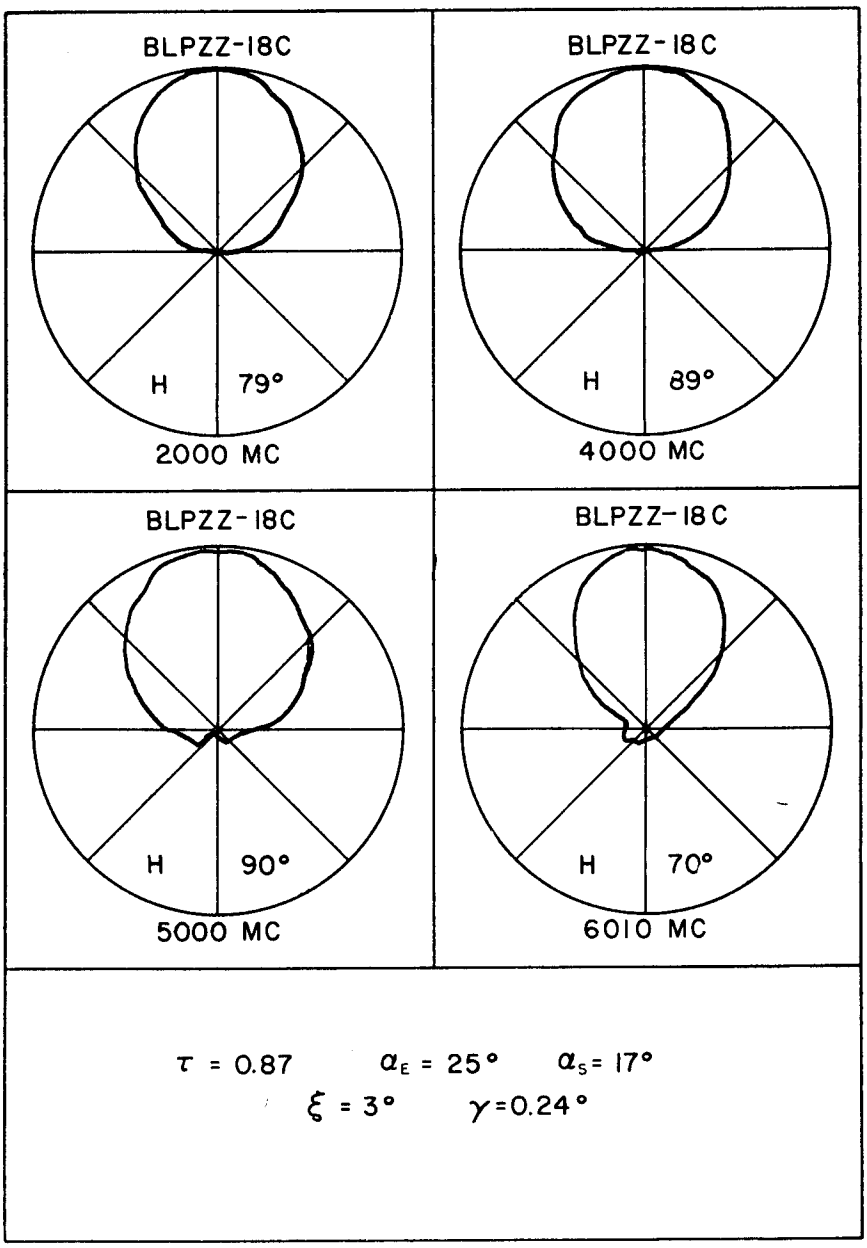
وجوددارد. برای آنتن (شکل ۱۰) این مقدار بهترین $\zeta = 1/0$ درجه میباشد که درآن ضریب سکون (VSWR) می‌نیمم ومقدار آن برابر ۱/۷:۱ (نسبت به خط ۱۴۴ اهم) میباشد که این عدد از روی منحنی ضریب سکون این آنتن که آن منحنی نیز در (شکل ۱۰) نشان‌داده شده بدست میآید.



شکل ۷

علت اینکه درشکل ۱۰ قدرمطلق z_0 داده شده است اینست که در مورد این آنتن و بطور کلی غالب مدلهای‌این نوع آنتن که درآنها زیگ‌زاگهای‌موازی زمین یکدرمیان دردوجهت مختلف قرارگرفته‌اند مولفه راکتانسی بسیارکوچک میباشد. در (شکل ۱۱) یک‌نوع آنتن زیگ‌زاگ لگاریتمی گوشه‌ای‌وهمچنین امپدانس ورودی آن برای فرکانسهای‌مختلف دروی‌دیاگرام سمیت مشخص شده‌است. بااندك دقتی‌ملاحظه

میشود که امپدانس ورودی با تغییرات فرکانس ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ مگاسیکل دارای تغییرات بسیار کمی میباشد و تمام نقاط امپدانس در دایره بسیار کوچکی محدود میشوند که مرکز آن کمی زیر محور حقیقی دیاگرام

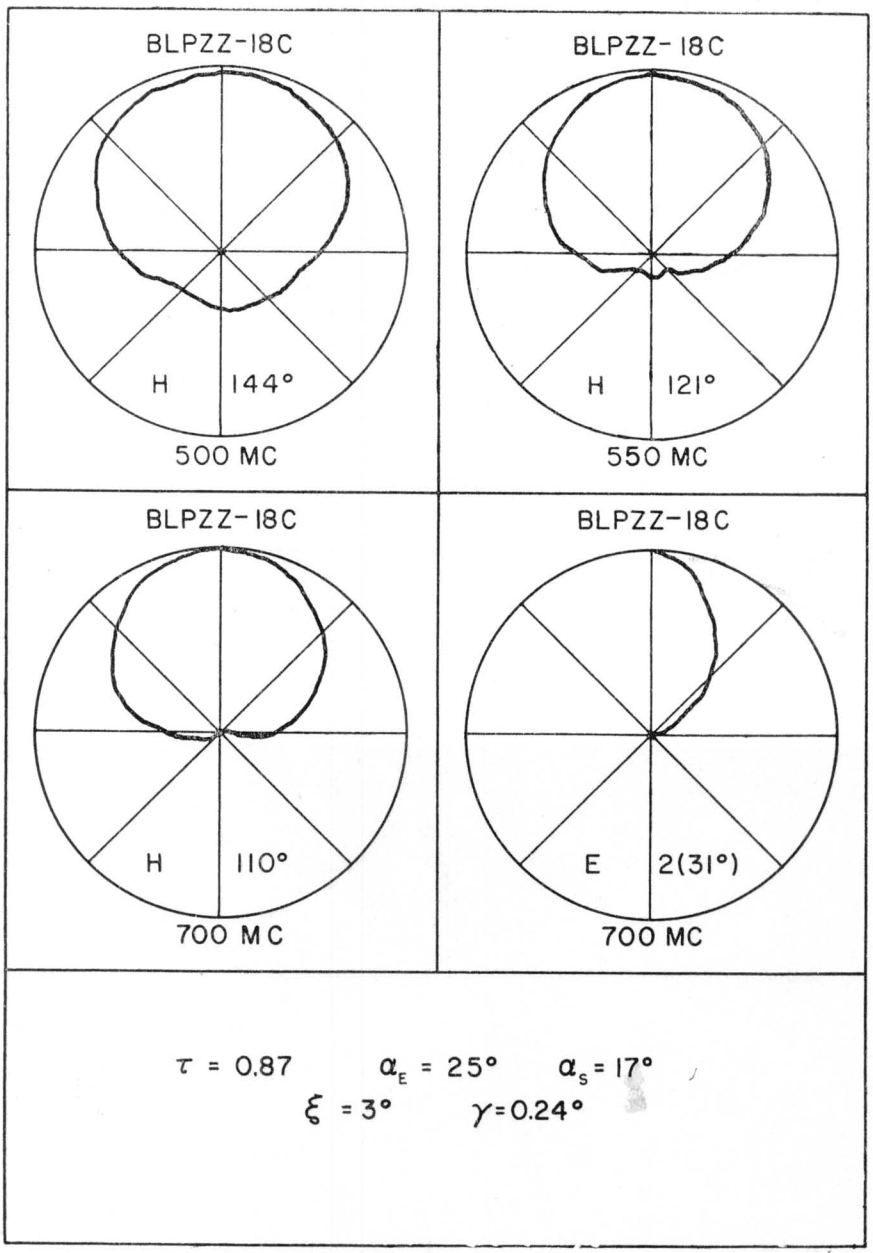


شکل ۸

میباشد. و بخصوص ملاحظه شده است که در تمام مدلهائی که زیگزاگهای افقی همه دریک جهت میباشند امپدانس متوسط ورودی دارای مؤلفه کاپاسیتو میباشد.

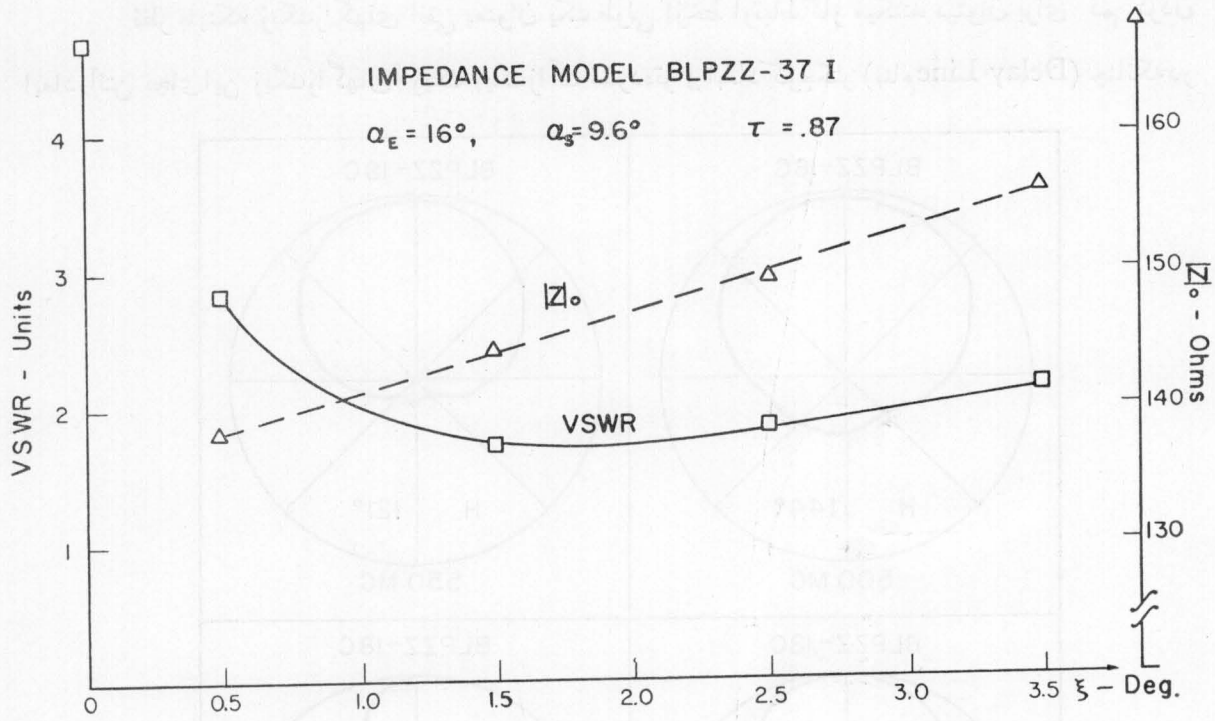
جدول (شکل ۱۲) مقادیر امپدانس ورودی متوسط را برای مدلهای مختلف آنتن زیگزاگ لگاریتمی گوشه‌ای نشان میدهد. مقدار زاویه ζ نشانداده شده دراین جدول برای حالت ضریب سکون می‌نیمم یعنی ζ بهترین میباشد.

نظر باینکه زیگ‌زاگهای افقی بعنوان یک طولی ازخط ارتباط کار میکنند میتوان برای کم کردن ابعاد آنتن بجای‌این زیگ‌زاگهای ازیک زیگ‌زاگ فشرده‌تر و ابعاد کوچکتر (بنام Delay Line) چنانکه‌در

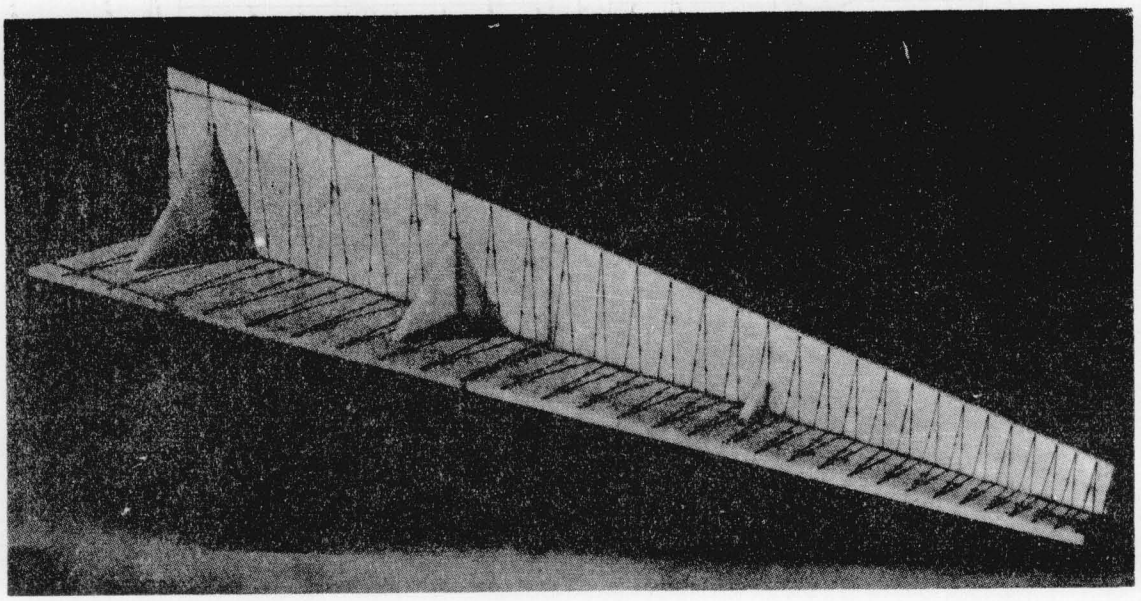


شکل ۹

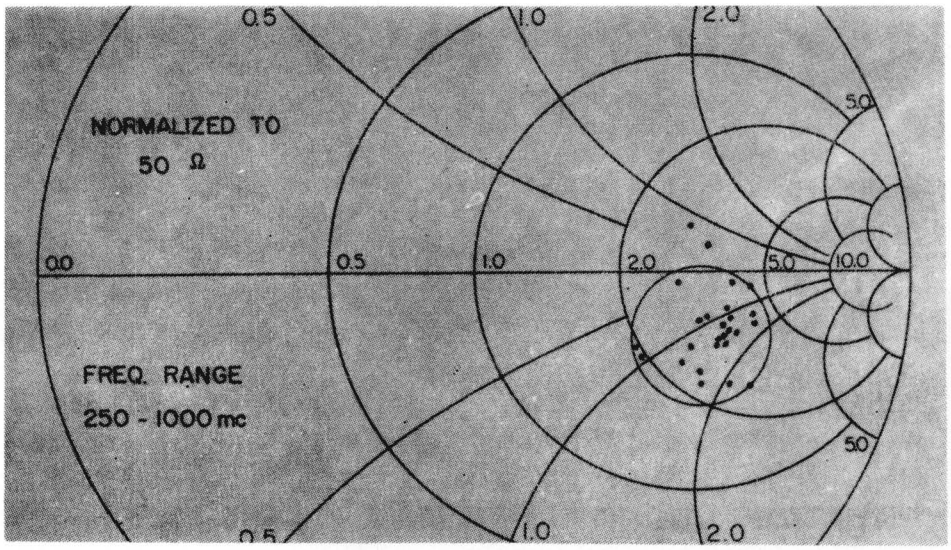
(شکل ۱۳) ملاحظه میشود استفاده کرد. این تکنیک باعث میشود که برای کارهای تحقیقی بتوان ازاین نوع آنتن بطریق (Printed circuit) وبمقدارزیاد تهیه نمود. (شکل ۱٤)مدلیست ازیک رشته آنتن برای جهت‌یابی رادیوئی درفرکانس زیاد که تمام اجزاء آن بطریقه چاپی تهیه شده‌اند.



شکل ۱۰



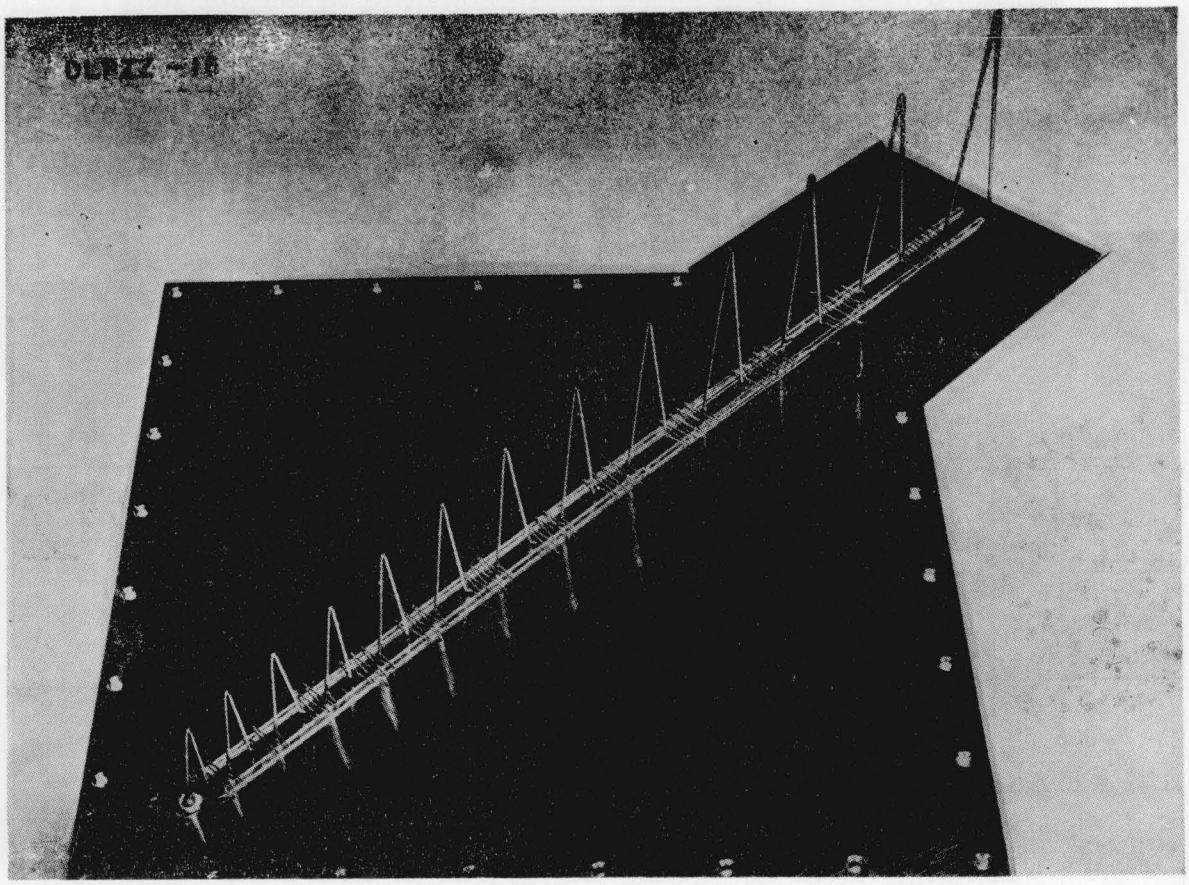
شکل ۱۱ الف



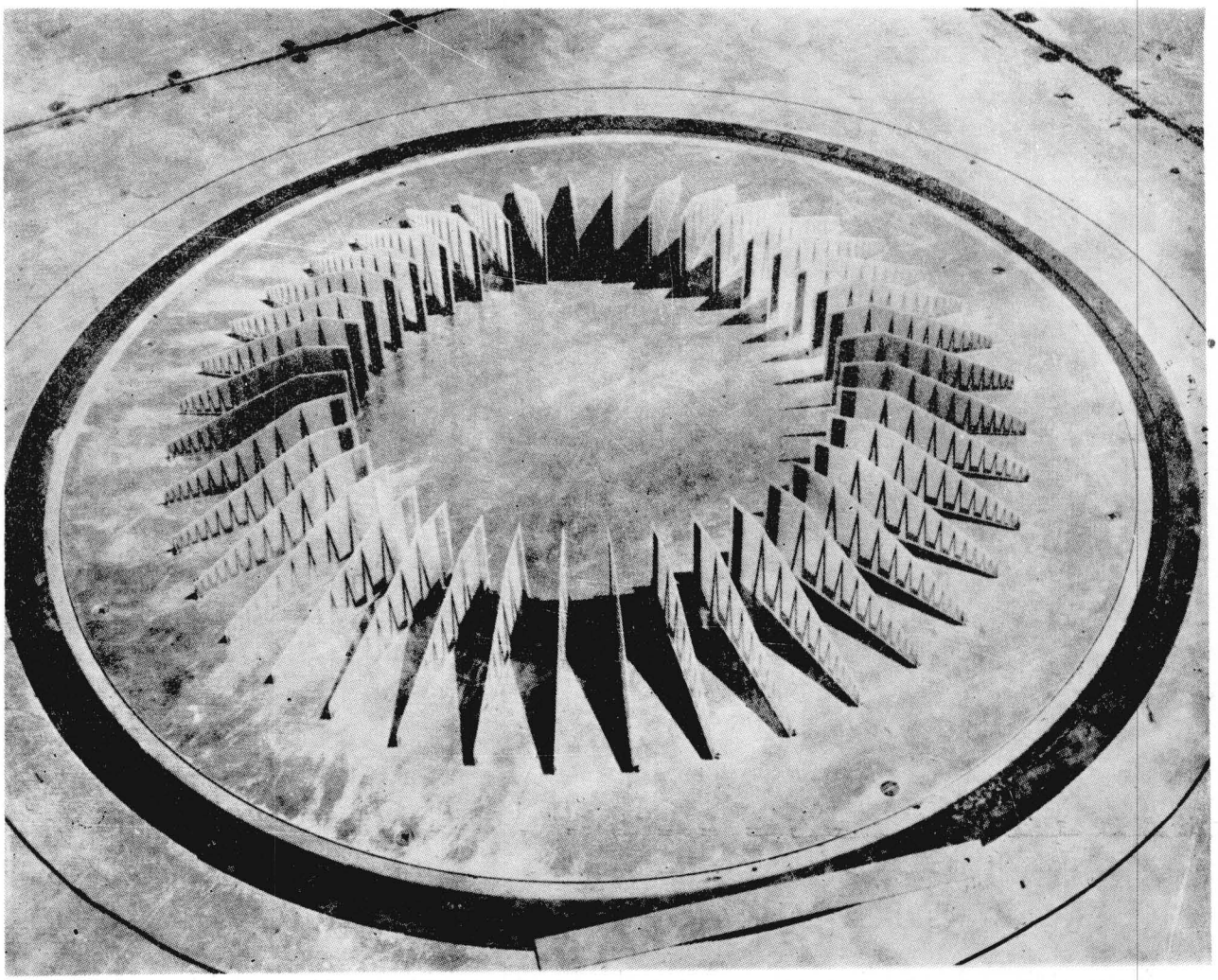
شکل ۱۱ ب

τ	α_E	α_S	ξ	Z_o	VSWR	Modifications
.97	$5.^{o}$	3.42	$.5^{o}$	177-j60	1.54	Alt. Stubs .039" wire
.95	7.5	7.5	2.0	138-j62	1.41	.039" wire
.9025	10.	10.	2.0	153-j58	1.65	$\gamma = .102^{o}$
.87	16.	8.6	1.5	144-j19	1.68	Alt. Stubs .062" wire
.87	$25.^{o}$	17.	3.0	154-j54	1.50	Alt. Stubs $\gamma = .24^{o}$
.85	13.7	7.	1.5	141-j41	1.53	.039" wire

شکل ۱۲



شکل ۱۳



شکل ۱۴

نتیجه :

آنتن زیگ‌زاگ لگاریتمی گوشه‌ای دارای ساختمانی بسیار ساده بوده و میتوان آنرا یکپارچه ساخت خصوصاً اینکه با جانشین کردن زیگ زاگهای افقی با زیگ زاگهای کوچکتر میتوان این نوع آنتن را برای کارهای تحقیقاتی بطریقه چاپی تهیه کرد که بسیار ساده‌تر ودقیق‌تر میباشد و اندازه گیری‌ها بیشتر بحقیقت مدل اصلی نزدیک خواهد بود، بخصوص که دراینحالت میتوان مدلهای ساخت که دارای باندبسیاروسیعتری ازفرکانس باشند. ازنظر پرتو جهتی بهره این نوع آنتن از غالب آنتنهای باباند وسیع مشابه بیشتر است و بنابراین دارای مورداستعمال زیادی در ارتباطات نقطه به‌نقطه خواهد داشت .

بطورکلی میتوان گفت آنتن زیگ‌زاگ‌لگاریتمی گوشه‌ای آنتنی‌است ازلحاظ الکتریکی دارای‌خواص کاملاً مطلوب وازنظر ساختمانی بسیار بسیار ساده .