بررسی تحلیلی آنتنهای دوره‌ای لگاریتمی

نوشته‌ی :
حسن مرشد
دانشیار دانشکده فنی

مقدمه :

درشماره‌های قبل آنتنهای باباند وسیع را تعریف نموده و چندین نوع از این آنتنها را مورد بررسی دقیق‌تر قرار داده و اصول ساختمان وطرح آنها را مطالعه نمودیم . دیدیم که این آنتنها تاحدود امکانات ساختمانی خواصشان برای باند وسیعی از فرکانس ثابت میماند. وگرچه که تئوری اولیه V.H.Rumsey برای آنتنهای با ابعاد بینهایت میباشد ولی چون در روی این آنتنها ناحیه زنده (Active Region) تشکیل میشود که پس‌از آن ناحیه جریان تغذیه در روی آنتن بسمت صفر میل میکند و در عین حال تشعشع آنتن (جهت پرتواصلی) بسمت محل تغذیه آنتن (عقب‌ران) میباشد ؛ بالطبع اثر قسمتی از آنتن که پس از محل ناحیه زنده قرار دارد ناچیز میباشد و بنابراین‌میتوان آنرا حذف کرد و آنتنی باابعاد محدود ساخت که دارای همان خواص آنتن باابعاد نامحدود باشد.

ضمناً دیدیم که اطلاعات فوق براساس تجربه بدست آمده و ما را درطرح آنتنها مواجه بااشکال می‌نمودند زیرا درهنگام طرح ضوابطی تئوری که راهنمای طراح باشند وجود نداشت و بالطبع موفقیت آنتها قبل‌از آزمایش کامل قابل پیش‌بینی نبود. چه‌بسا اتفاق میافتاد که آنتنی که با پارامترهای معینی دارای پرتو توجیهی و امپدانس ورودی کاملاً مستقلی از فرکانس برای یک باند وسیع از فرکانس بود بمجرد تغییراندکی در یکی از پارامترهایش تبدیل بآنتی میشد که بهیچوجه دارای خواص فوق‌الذکر نمیبود. بدینترتیب احتیاج مبرم بیک تئوری که گویای اتفاقاتی باشد که دراین آنتنهای با باند وسیع میافتد در سالهای اخیر کاملاً محسوس بود.

از بین روش های مختلف بررسی تئوری آنتنهای با باند وسیع که در این سالها پیشنهاد شده است مقبولترین ومفیدترین آنها روشی‌است که‌بوسیله‌Mayes و Deschamps و Patton از آزمایشگاه‌آنتن دانشگاه

ایلنیوی پیشنهاد شده‌است وما آنرا در ایجاموردبررسی قرار میدهیم .براساس این روش یک آنتن دوره‌ای‌لگاریتمی (Log-Periodic)اساساً یک آنتین دوره‌ای یکنواخت (Uniformly Periodic) است که دوره تناوب آن درطول آنتن متدرجاً دسخوش تغییر شده است ویابعبارت دیگر هرجزئی از یک آنتن دوره‌ای لگاریتمی خود بعنوان یک آنتن بادوره یکنواخت مورد بررسی قرار میگیرد .

برای انجام این بررسی قبلاً بایستی خواص آنتنهای دوره‌ای یکنواخت ویا بطورکلی موج‌برهای (Wave guide) دوره‌ای یکنواخت را مطالعه‌نمود و سپس این‌خواص را به‌آنتهای دوره‌ای لگاریتمی‌تعمیم داد .

موج بردوره‌ای یکنواخت باطول نامحدود وبا موج‌کندرو (Slow wave) :

محیطهای انتقال موجی‌است نظیر یک لوله موج‌بر که بطور دوره‌ای‌دریچه‌هائی (Irises) درآن کار گذاشته شده یاسیمی که روی یک استوانه بصورت سلونوئید پیچیده شده ویا سیمی که بصورت زیگ‌زاگ خم شده است . درتمام این نمونه‌ها درصورتیکه موج‌بر بقدر یک‌دوره تناوب درطول محور خود تغییرمکان دهد بر موج‌بر قبلی منطبق خواهد شد (طول بینهایت فرض شده) . این‌خاصیت این موج‌برها قضیه فلوکه ـ (Floquet) را در مورد آنها صادق میدارد . بیان این قضیه مختصراً چنین است: برای فرکانس‌ثابت و برای یک مد (Mode) انتشار معین حوزه‌ها از یک مقطع موج‌بر تا مقطعی بقدر یک‌دوره تناوب دورتر فقط باندازه یک ثابت مختلط (Cmplex) تغییر مینمایند . بااستفاده از این قضیه میتوان حوزه‌های مربوط به‌هر مد انتشار روی موج‌بر را بسری فوریه بسط داد . دراینصورت هریک از جمله‌های سری فوریه یک هارمونیک فضا (Spaceharmonic) نامیده میشود . واضحست که هریک از این‌هارمونیکهای فضا انفراداً با شرائط حدی موج برتطابق ندارند بلکه مجموعه آنها که مد انتشار را مشخص میکند دارای این خاصیت است . گرچه که بزودی خواهیم دید درصورتیکه این‌چنین‌موج بریک رشته‌آنتن متحدالفاصله راکه برروی آن سوار شده است تغذیه کند فقط یکی از این هارمونیکهای فضا بوسیله این رشته آنتن تشعشع خواهدشد .

ثابت انتشار هریک از هارمونیکهای فضا از رابطه زیر بدست میآید :

$$\gamma_n = \gamma_0 + jn\frac{2\pi}{a}$$

که درآن $\gamma_0 = \alpha + \beta_0$ و α دوره تناوب موج‌بر میباشد . واضحست که دراینصورت β_0 ثابت فاز موج اصلی (مد $n=0$) و α ثابت تضعیف موج درطول موج‌بر میباشد . n دراین رابطه عددیست صحیح و ممکن است مثبت یا منفی باشد . درصورتیکه k ثابت‌فاز خلاء باشد $(k=\omega\sqrt{\mu_0\epsilon_0})$ از تجزیه رابطه بالا به‌مقادیرحقیقی و موهومی آن دو رابطه زیر بدست میآید :

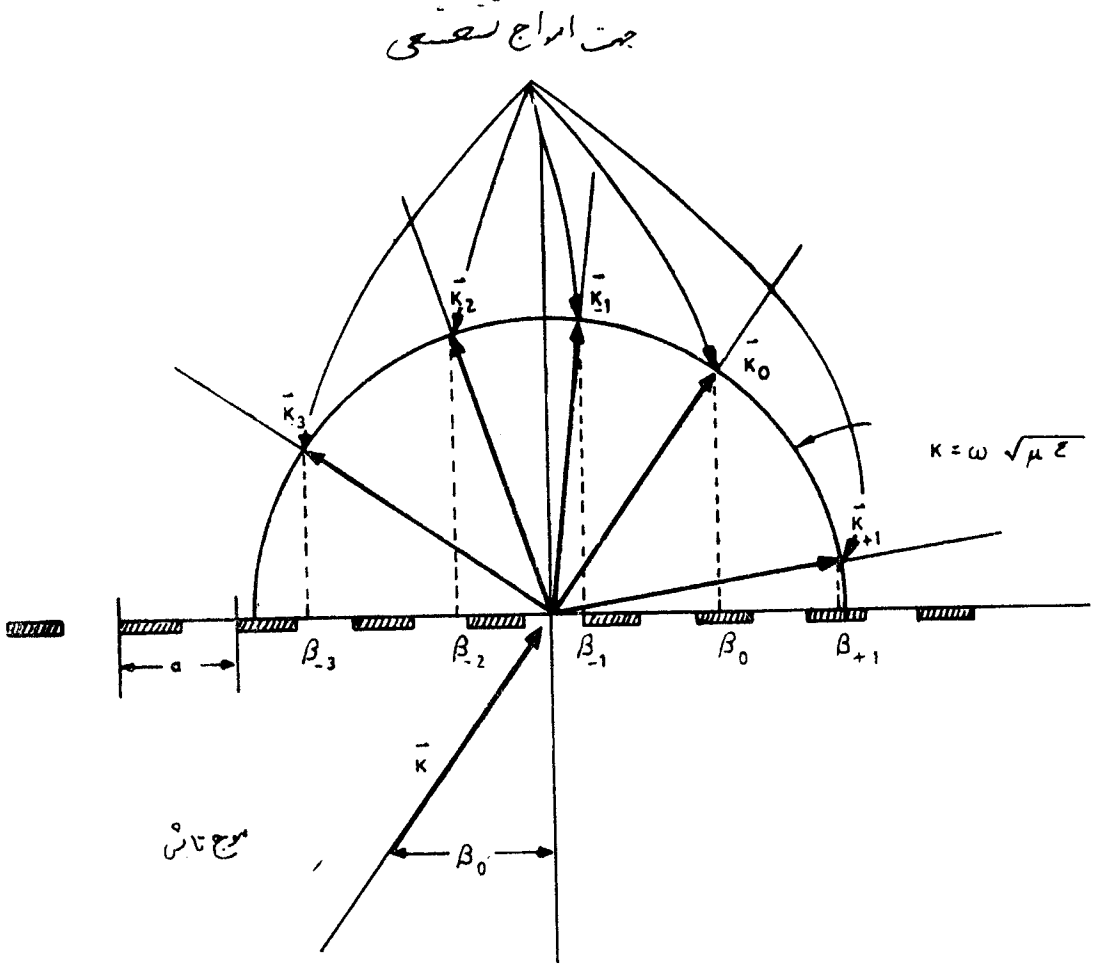
$$\frac{\beta_n}{k} = \frac{\beta_0}{k} + n\frac{\lambda}{a} \qquad \text{و} \qquad \alpha_n = \alpha$$

بکمک این رابطه میتوان ثابت فاز هارمونیک فضای nام را بادانستن ثابت فاز موج اصلی و دوره تناوب a موج بر بدست آورد. بعداً خواهیم دید که خود β_0 نیز بطور تقریب از روی مشخصات موج بر قابل تعیین است. همچنین از رابطه بالا دیده میشود که ثابت تضعیف تمام هارمونیکهای فضا یعنی α_n برابر بوده ومساوی α مربوط به موج اصلی میباشند. نسبت $\frac{\beta_n}{k}$ ثابت فاز نرمالیزه (نسبت به خلاء) نامیده.

هارمونیکهای فضا برحسب مقدار ثابت فاز نرمالیزه شان بدودسته تقسیم میشوند. دسته اول هارمونیکهائی که درآنها $\left|\frac{\beta_n}{k}\right| > 1$ میباشد واضحست چون سرعت حرکت درطول موج بر برابر $\frac{\omega}{\beta_n}$ میباشد سرعت حرکت این هارمونیکها در طول موج بر کمتراز مقدار مربوط به خلاء یعنی $\frac{\omega}{k}$ میباشدولذا آنها را موجهای کندرو مینامیم. برای این هارمونیکهای فضای کند رو بسادگی میتوان نشانداد که در جهتی عمود برمحور موج بر هرچه از محور دور شویم بطور نمائی تضعیف میشوند یعنی موجهائی میباشند که در اطراف محور موج بر متمرکز میباشند. دسته دوم آنهائیکه برایشان $\left|\frac{\beta_n}{k}\right| < 1$ میباشد. این دسته هارمونیکها در جهتی مایل نسبت به محور موج بر انتشار می یابند وبالطبع تشکیل دهنده میدانها درفواصل دور از محور موج برمیباشند. زاویه انتشار این موجها ازرابطه $\cos\theta_n = \frac{\beta_n}{k}$ بدست میآید. چنانکه ازاین رابطه ملاحظه میشود بازاءمقادیری از $\frac{\beta_n}{k}$ که کمتراز واحدباشدبرای θ_n زوایای حقیقی بدست میآید و بالطبع مقادیر $\left|\frac{\beta_n}{k}\right|$ را که از واحد کوچکتر باشد مقادیر مربوط به ناحیه مرئی (Visible Region) مینامیم. در شکل ۱ که برخورد یک موج صفحه ای یکنواخت بطور مایل برروی یک شبکه مرکب از تسمه های موازی بطول بینهایت که با دوره تناوب a پهلوی یکدیگر قرارگرفته اند نشانداده شده ناحیه مرئی بوسیله دایره بشعاع k نمایش داده شده است و هارمونیکهائی را که داخل آن قرارگرفته اند بخوبی نشان میدهد.

در شکل ۱ ثابت فاز موج اصلی، β_0، چنانکه ملاحظه میشود از k کوچکتر بوده وبالطبع درداخل ناحیه مرئی قرار دارد. اما دراینجا فرض میکنیم در موج بر موردنظر موج اصلی کندرو و جلو رونده بوده یعنی $\frac{\beta_0}{k}$ بزرگتر از یک میباشد وضمناً فرض میکنیم که $\frac{\beta_0}{k}$ نسبت به فرکانس دارای تغییرات محسوس نمیباشد. دراینصورت درفرکانسهای بسیارکم چون مقدار $\frac{\lambda}{a}$ بسیار بزرگ است. هیچکدام از هارمونیکهای فضا ثابت فاز نرمالیزه شان درداخل ناحیه مرئی نخواهد افتاد و بنابراین دراینجا این موج بر برای هیچکدام از هارمونیکهای فضا رل آنتن رابازی نخواهد کرد وهیچکدام از آنها بطور مایل نسبت به محور موج بر تشعشع نخواهند نمود، البته درصورتیکه طول موج برنامحدود باشد. حال اگر بتدریج فرکانس اضافه شود ثابت فاز نرمالیزه بعضی از هارمونیکهای فضا بتدریج وارد ناحیهٔ مرئی شده ویکی یا چندتای از آنها شروع به تشعشع خواهند نمود. دراینصورت چون مرتباً مقدارهای انرژی از موج برساطع میشود ثابت انتشار درطول محور موج بر عددی مختلط خواهد بود. بکمک اندازه گیری در روی موج برهای مختلف بتجربه ثابت شده

است که ثابت تضعیف α حتی در فرکانسهائی اندکی کمتر ازآنکه یکی ازهارمونیکهای فضا شروع به تشعشع کند دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای میباشد. از نظر کار صحیح آنتنهای دوره‌ای لگاریتمی دوچیز دارای اهمیت



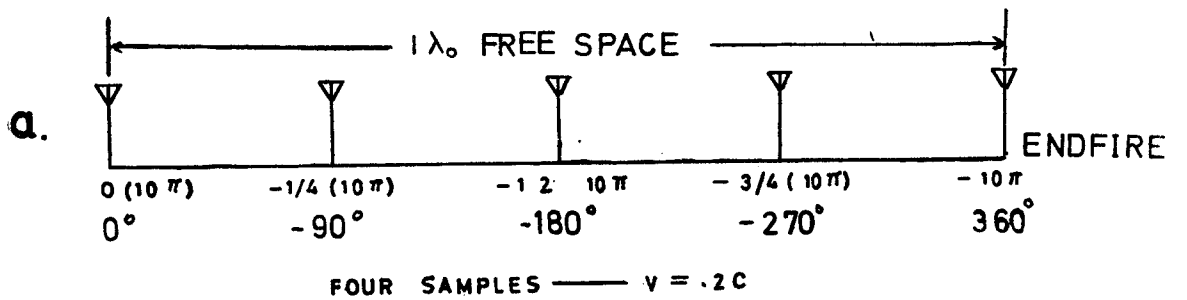
(شکل ۱)

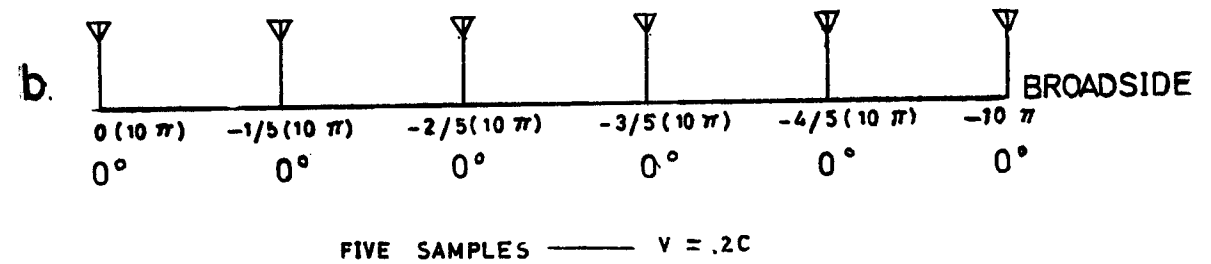
است ، یکی کمترین فرکانسی که درآن α دارای مقدار قابل ملاحظه‌ایست دوم مقدار واقعی α برای هر فرکانس مشخص .

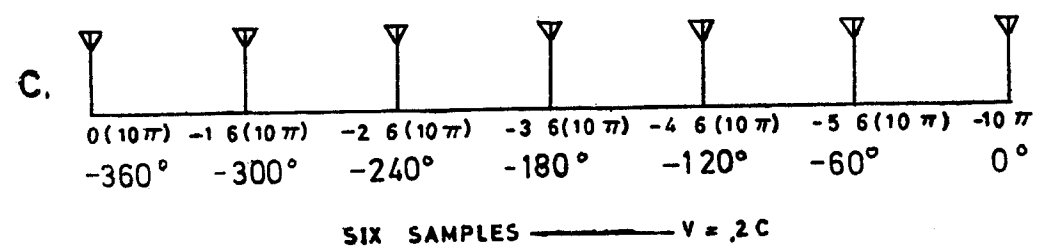
برای فهم بهتر مطلب واینکه میتوان بکمک هارمونیکهای فضا بعضی خواص حوزه تشعشعی را پیش بینی نمود بذکر مثالی میپردازیم . موج‌بری را فرض میکنیم که‌موجی کندرو باسرعت $v = 0.2c$ برروی آن از چپ براست در حرکت میباشد . در فاصله یک طول موج در خلاء یعنی λ_0 پنج طول موج در روی موج‌بر وبالطبع $(2\pi)5$ رادیان اختلاف فاز ایجاد خواهد. اکنون درطول این موج‌بر بفواصل مساوی پنج آنتن نصب میکنیم ، طبق شکل 2a ، یعنی در واقع طول موج‌بر را به‌چهار قسمت تقسیم کرده و از نقاط تقسیم‌حوزه موجود را نمونه برداری میکنیم . اگر نقطه طرف چپ را روی‌موج بر مبدأ فاز فرض کنیم ملاحظه میشود که بین هردوآنتن از چپ براست تاخیر فازی برابر . ۹ درجه (یعنی $\frac{1}{4}(10\pi)$ وجود دارد وبالطبع چنانکه میدانیم این رشته آنتن تشعشعی جلوران (End Fire) خواهد داشت . این حالت تعشعشعی مربوط

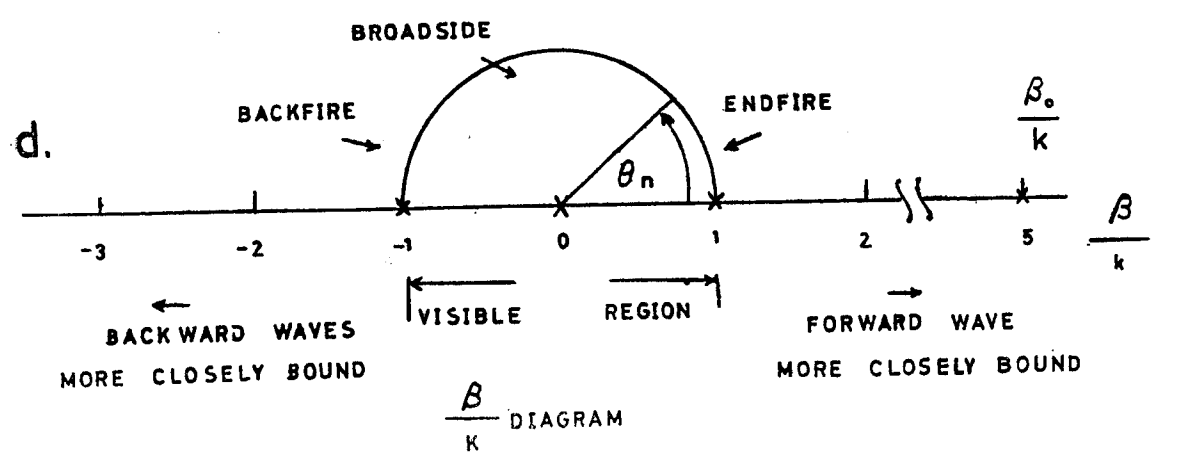
است به‌یک هارمونیک فضای جلوران در روی موج برکه دارای سرعتی برابر میباشد . دراین مثال فرض براینست که افزایش آنتنها در روی موج برتغییری درسرعت حرکت موج درطول موج برندهد.

حال همان موج بربالا را به‌پنج قسمت مساوی طبق شکل ۲b تقسیم مینمائیم در اینصورت تأخیر فاز بین هردونقطه مجاور از چپ براست برابر با 2π (یعنی $(10\pi)\frac{1}{c}$ب (خواهد بود ، یعنی نقاط تقسیم هم









(شکل ۲)

فاز میباشند. حال اگر مجدداً دراین نقاط تقسیم آنتنهائی نصب کنیم پرتو حاصل درجهت عمود برمحور موج بر (Broadside) خواهد بود. واین حالتی‌است که موجی باسرعت بینهایت درطول موج برحرکت کند و آنتنها را تغذیه کند.

بالاخره اگر طبق شکل ۲c موج‌بر را به‌شش قسمت مساوی تقسیم کنیم تأخیر فاز بین هر دونقطه مجاور از چپ براست برابر $\frac{1}{6}(2\pi)$ (۶۰°) بوده و دراینصورت رشته آنتنی که دراین نقاط نصب شود دارای پرتوی عقب‌ران (Backfire) خواهدبود واین‌حالتی‌است که موجی‌عقب‌ران باسرعت c درطول‌موج‌بر حرکت کند. این حالت بسیار دارای اهمیت است چه در روی موج‌بر انرژی از چپ براست حرکت میکند ولی درفضای اطراف انرژی تشعشعی از راست بچپ میرود. پس‌از بررسی نتایج فوق میتوان نتیجه گرفت اگر یک‌چنین مجموعه‌ای (موج‌بر و آنتنهای بافواصل مساوی نصب‌شده برروی آن) بعنوان تشعشع کننده بکار برود زاویه تشعشع (یعنی زاویه پرتو توجیهی) بدوعامل زیر بستگی کامل خواهد داشت :

۱ - سرعت موج درطول موج‌بر .

۲ - تعداد آنتن های نصب‌شده در فاصله یک طول موج فضائی‌یعنی λ_0 . بعلاوه درصورتیکه‌سرعت موج کندرو درطول موج برتابع فرکانس نبوده وثابت باشد زاویه تشعشع کاملاً قابل پیش‌بینی است ، چه دراینحالت فاصله آنتنها ثابت است ولی باتغییر فرکانس بالطبع طول موج نیز تغییر کرده (درحالت قبل طول موج‌ثابت‌بود) درنتیجه تعداد آنتنهای موجود دراین‌فاصله تغییر میکند و پرتو توجیهی تغییر جهت داده مانند سابق باتغییرات فرکانس خواهد چرخید .

حال میپردازیم به‌بررسی تحلیلی مثال بالا با استفاده از رابطه $\frac{\beta_n}{k}$ و شرائطی که دراین مثال ذکر شد. برای هر سه‌حالت بحث شده مقدار $\frac{\beta_0}{k}$ مربوط به‌موج بر ثابت و برابر ۰ میباشد . بکمک این مقدار میتوان مقدار ثابت فاز نرمالیزه‌هارمونیکهای فضای مختلف را بدست آورد . برای $n=0$:

$$\frac{\beta_n}{k} = \frac{\beta_0}{k} = 0$$

یعنی همان ثابت فاز نرمالیزه موج‌بر. برای $n=-1$ درسه‌حالت مثال بالا خواهیم‌داشت :

a) تشعشع‌جلوران $\cos^{-1}(1)=0^\circ$ $\quad \frac{\beta_{-1}}{k}=0-4=1$ و $\frac{n\lambda}{a}=-4$

b) تشعشع‌عمودبرمحور $\cos^{-1}(0)=90^\circ$ $\quad \frac{\beta_{-1}}{k}=0-0=0$ و $\frac{n\lambda}{a}=-0$

c) تشعشع‌عقب‌ران $\cos^{-1}(-1)=180^\circ$ $\quad \frac{\beta_{-1}}{k}=0-6=-1$ و $\frac{n\lambda}{a}=-6$

تمام این ثابت‌های فاز نرمالیزه مربوط به $n=-1$ درناحیه مرئی واقع بوده وبالطبع باعث تشعشع انرژی خواهند بود . برای هارمونیک فضای $n=+1$ برای سه‌حالت فوق بترتیب $\frac{\beta_1}{k}$ دارای مقادیر ۹ ، ۱۰ ، ۱۱ خواهد بود که هرسه مربوط میشوند به‌موج جلوران و وابسته به‌موج بر بدون تشعشع . همچنین برای $n=-2$ مقدار $\frac{\beta_{-2}}{k}$ خواهد شد بترتیب ۳- ، ۵- و ۷- که هرسه مربوطند به‌موج وابسته به‌موج برکه در جهت از راست بچپ حرکت میکند وتشعشعی ندارد . وهمینطور برای سایر هارمونیکهای فضا . بالطبع ملاحظه میشود که تنها هارمونیکی که درناحیه مرئی واقع میشود $n=-1$ است . بنابراین میتوان نتیجه گرفت در صورتیکه پارامترهای موج بر و آنتنها دقیق انتخاب شوند فقط یکی از هارمونیکهای فضا وارد ناحیه‌مرئی شده وتشعشع میکند درصورتیکه سایر هارمونیکها بعلت بالا بودن مقدار $\left|\frac{\beta_n}{k_0}\right|$ فقط درطول موج بر حرکت کرده و درجهت‌عمود برمحور دارای تضعیف‌شدید میباشند، یعنی‌تشعشع انرژی نمیکنند . شکل ۲d نمایش‌محوریست افقی بنام محور «طیف فضا» که در روی آن مقادیر مختلف $\frac{\beta_n}{k}$ رسم‌شده‌اند . دراین شکل β نرمالیزه مربوط به‌موج اصلی (موج‌روی موج‌بر) درنقطه بطول o واقع شده ونمایش یک موج کندرو جلورواست .

ناحیه بین $+1$ و -1 روی محور ناحیه مرئی است که درآن تشعشع صورت میگیرد ، زاویه θ_n زاویه است که‌جهت تشعشع با محور موج‌بر میسنزد . نقطه $\frac{\beta}{k}=+1$ (یعنی $\cos\theta_n=1$) مربوط به‌تشعشعی جلوران میباشد . نقطه $\frac{\beta}{k}=0$ (یعنی $\cos\theta_n=0$) مربوط به‌تشعشع‌عمودبرمحور موج‌بر و نقطه $\frac{\beta}{k}=-1$ (یعنی $\cos\theta_n=-1$) مربوط به‌تشعشعی عقب‌ران میباشد . وملاحظه میشود که این سه نقطه مربوطند به هارمونیکه فضای $n=-1$ درسه‌مثال بالا ، ویا مربوطند به‌هارمونیک فضای $n=-1$ برای یک مجموعه‌ای آنچه درمثال بالا دیدیم ولی درسه فرکانس مختلف بالطبع میتوان بکمک رسم دیاگرام $\frac{\beta}{k}$ نظیرشکل ۲d مشخصات یک آنتن دوره‌ای را درفرکانسهای مختلف مورد بررسی قرار داد .

درمثال بالا روابطی راکه مربوط به‌موج‌بر دوره‌ای نامحدود بود در مورد مجموعه‌ای بطول محدود بکار بردیم بنابراین نباید انتظار داشته باشیم که بحث ما کاملاً دقیق باشد . چنانکه در زیر خواهیم دید جهات ذکر شده برای تشعشعات دربالا فقط جهات اصلی تشعشع (Main Lobe) خواهد بود .

بررسی‌مجموعه‌های تشعشع کننده دوره‌ای باطول محدود :

دربالا مشاهده شد که برای هر موج بر با موج کندرو وباطول بینهایت هرهارمونیک فضا که ثابت فاز نرمالیزه آن دارای مقداری کمتر از یک باشد انرژی را بخارج تشعشع‌میکنید . گرچه که ممکن است برای یک موج براین حالت مورد علاقه نباشد ولی برای یک آنتن این پدیده کاملاً موردنظر و مطلوب میباشد ، چه‌هدف از بکار بردن آنتن تشعشع انرژی بخارج میباشد .

دربحث کنونی برای سهولت فقط هارمونیک‌های اصلی فضا و $n=-1$ درنظر گرفته خواهند شده چه‌هارمونیک اصلی نمایش حرکت موج تغذیه در روی موج‌بر و هارمونیک $n=-1$ نمایش موج تشعشع کننده خواهد بود. بعداً خواهیم‌دید که خواص تشعشی بعضی از انواع آنتنهای دوره‌ای لگاریتمی فقط‌بکمک این دوهارمونیک فضا کاملاً قابل بررسی خوهد بود. دراینجا فرض میکنیم :

$$\frac{\beta_{-1}}{k}=-1 \qquad \text{و} \qquad \frac{\beta_0}{k}=3$$

باشد طبق شکل 3a که برای مجموعه باطول نامحدود روی محور $\frac{\beta}{k}$ رسم شده‌اند. برای این مجموعه‌عرض پرتو تشعشعی بسیار کم (حدود صفر) یعنی بابهره بینهایت خواهد بود که بکمک یک برداری عمود برمحور $\frac{\beta}{k}$ مشخص شده است. بردار خطچین مربوطبه موج کندرو اصلی وبردار خط پر مربوط به هارمونیک تشعشع کننده درناحیه مرئی میباشد.

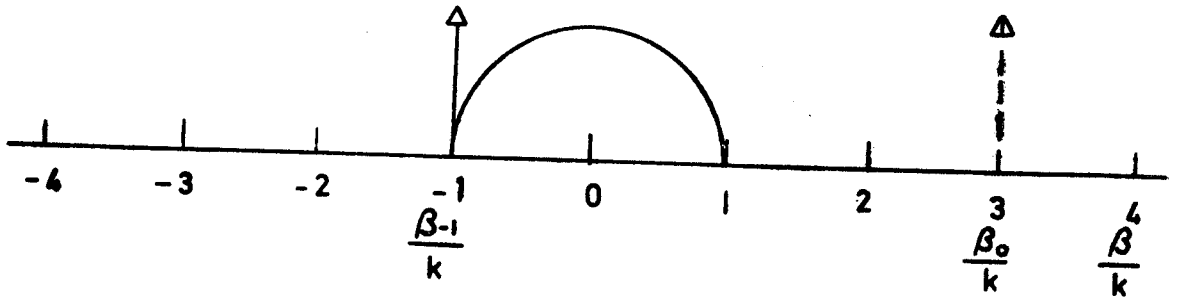
حال‌اگر مجموعه محدودی رادرنظر بگیریم ، ثابت شده است که ابعاد این مجموعه پرتو تشعشعی را تغییر داده وآنرا بصورت«پوش‌ثابت‌های فاز» درمیآورد. حال‌اگر موج‌بر دوره‌ای باابعاد محدود که‌تشعشع کننده‌های‌آن دارای تحریک ثابتی درتمام طول باشنددرنظر بگیریم ثابت‌فاز نرمالیزه دارای«توزیعی» خواهد بود طبق آنچه که درشکل 3b ملاحظه میشود . دراین شکل ثابت فاز نرمالیزه موج اصلی دراطراف نقطه $\frac{\beta}{k}=3$ توزیع شده وچون بدینترتیب نفوذی بداخل ناحیه مرئی نداردتشعشعی از این موج‌حاصل‌نمیشود درصورتیکه برای هارمونیک $n=-1$ پوش $\frac{\beta_{-1}}{k}$ بمقدارقابل ملاحظه‌ای‌وارد ناحیه‌مرئی‌میشودوبنابراین تولید تشعشع میکند برای این هارمونیک امتداد ماکزیمم پرتوتشعشعی در زاویه 180° واقع خواهد شد . وچنانکه دراین شکل دیده میشود ممکن است پوش ثابت فاز نرمالیزه‌ای که خودش درخارج ناحیه مرئی است وارد ناحیه‌مرئی شده وباعث تشعشع این هارمونیک فضا که در مجموعه‌های نامحدود تولید تشعشع نمی‌نمود شود. این پدیده اساس کار تعدادی از آنتهای دوره‌ای لگاریتمی است .

درمثال بالا طول مجموعه بقدرکافی بزرگ فرض شده تا هارمونیک تشعشع کننده بتواند انرژی خود را درطول موج‌بر تشعشع کند. درغیراینصورت مقداری از انرژی تشعشع نشده پس از برخورد بانتهای موج برمنعکس شده وباعث ایجاد پرتوی فرعی درجهت مخالف جهت قبلی میشود . بهمین ترتیب ملاحظه خواهیم کرد که درآنتنهای دوره‌ای لگاریتمی که مشخصات آنتن‌ها مرتباً درطول سیستم تغییرمیکند طول هرقسمت دوره‌ای عملاً کوچک خواهد بود وبالطبع امکان ایجاد تشعشعات فرعی میباشد.

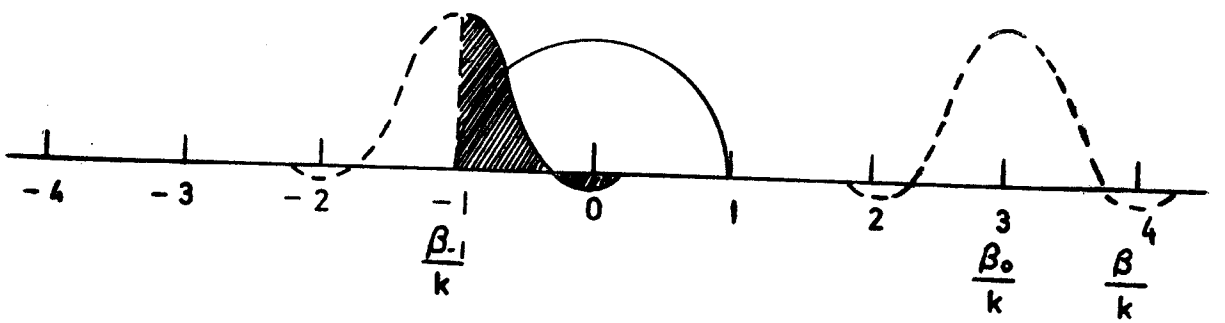
آنتنهای دوره‌ای لگاریتمی :

دریکی از مقالات سابق مشخصات عمومی آنتنهای دوره‌ای لگاریتمی را موردبررسی قرار دادیم‌ولذا دراینجا فقط بذکرمختصری اکتفا کرده به‌بحث خود ادامه‌میدهیم.

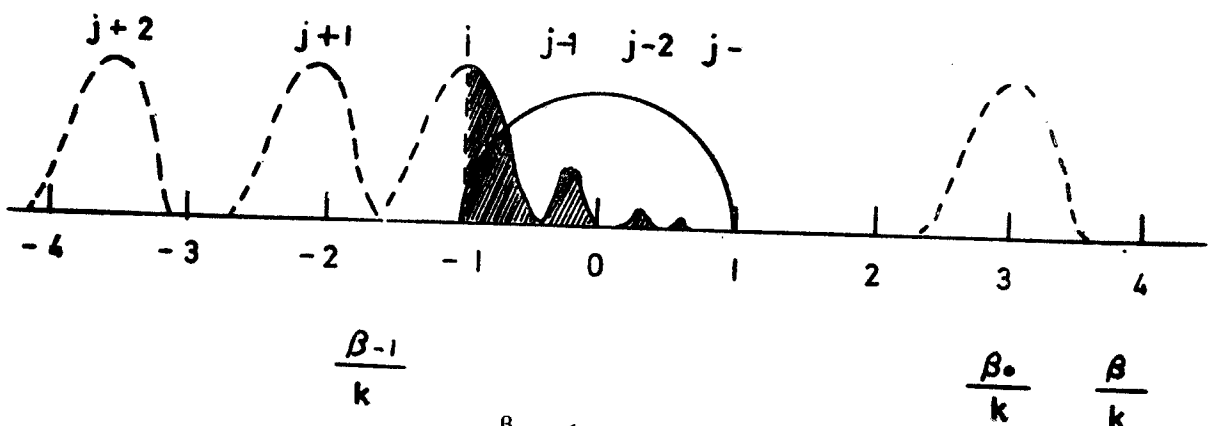
A. INFINITE UNIFORM STRUCTURE



B. FINITE UNIFORM STRUCTURE



C. LOG PERIODIC STRUCTURE



شکل۳ : دیاگرام $\frac{\beta}{k}$

یک مجموعه دوره‌ای یکنواخت مرکب از یک موج بر بامسوج کندرو ویکعده تشعشع کننده که بفواصل مساوی از یکدیگر قرار دارند را میتوان مرکب از یک عده «سلولهای» یکسان دانست که بدنبال یکدیگر متصل شده‌اند. بنابراین میتوان گفت که آنتهای دوره‌ای لگاریتمی تشکیل شده‌اند از یکعده سلولهای مشابه که بدنبال یکدیگر بسته شده‌اند وبایک‌ضریب مقیاسی بایکدیگر متفاوت میباشند . بدینمنی که اگر فاصله بین آنتن بشماره j و ۱+j درآنتن دوره‌ای‌لگاریتمی a_j باشد فاصله آنتن ۱+j از آنتن ۲+j برابر τa_j خواهد

بود ، که درآن τ ضریب مقیاس ثابتی است بین صفر و یک. بدینمنوال درآنتنهای دوره‌ای لگاریتمی این ضریب مقیاس τ در مورد تمام ابعاد فیزیکی هرسلول آنتن بکار رفته است.

باسراجعه به‌رابطهٔ $\frac{\beta_n}{k}$ ، ثابت فاز نرمالیزه‌هارمونیکهای فضا ، ملاحظه‌میشود که درروی یک آنتن دوره‌ای‌لگاریتمی یک‌ثابت‌فازمشخصی نمیتوان برای هیچکدام ازهارمونیکهای‌فضا بدست‌آورده‌مثلاً برای $n=-1$ وبرای a_j مربوط‌به هرسلول از آنتن دوره‌ای‌لگاریتمی مقدارمتفاوتی‌برای $\frac{\beta_{-1}}{k}$ از سلولهای دیگر بدست‌میآیند و بنابراین هرسلول این آنتن بایستی جداگانه‌مورد بررسی‌قرارگیرد چه‌ممکن‌است‌یک‌سلول آنتن برحسب‌مقدار ثابت فاز خود درموقعیت تشعشعی یاغیر تشعشعی قرار داشته باشد. شکل ۳c نمایشی است از پوش ثابت‌های فاز برای‌هارمونیک‌فضای $n=-1$ در روی سلول j درنقطه -1 قرار داشته ومرکز پوش‌مربوط به‌سلول $j+1$ تقریباً در $-2{,}2$ و برای سلول $j-1$ درنقطه $-0{,}4$ قراردارد ، همینطور برای سلولهای دیگر . ملاحظه میشود که فقط معدودی ازاین سلولها دارای ثابت فاز نرمالیزه‌ای درداخل ویا درنزدیکی ناحیه مرئی میباشند.

در مثال بالا (شکل ۳c) حداکثر تشعشع بوسیله سلول j ام صورت میگیرد چه‌ثابت فاز نرمالیزه این سلول اولین ثابت فازی است که واردناحیه مرئی میشود . براثر تابش انرژی از سلول j ام انرژی که به‌سلول $j-1$ ام برای‌تشعشع میرسدمقداری کاهش خواهدیافت. این‌نکته درشکل ۳c بارسم پوش‌ثابت‌های فاز بترتیب کوچک شونده درناحیه مرئی نمایش داده شده است.

مشخصه $\frac{\beta}{k}$ رسم شده دربالا برای فرکانس معین میباشد و درحالت کلی با تغییر فرکانس تغییر میکند. برخلاف مجموعه‌آنتنهای دوره‌ای‌یکنواخت (روی‌یک‌موج‌برباموج کندرو) که‌دیدیم‌برای فرکانس کم رشته آنتن (یادر واقع هارمونیک فضای $n=-1$ آن) دارای پرتو تشعشعی عقب‌ران میباشد که بتدریج باافزایش فرکانس این پرتو بطرف قائم برمحور رشته آنتن حرکت کرده وبالاخره بصورت‌جلوران درمیآید. آنتنها دوره‌ای نگاریتمی برحسب فرکانس دارای پرتو تشعشعی گردنده در فضا نبوده و دارای خاصیت مخصوصی میباشد که بسیار جالب توجه است.

دراینجا قبل از بحث دراین مورد ذکر چند نکته از نظر ساختمانی آنتنهای دوره‌ای لگاریتمی‌لازم بنظر میرسد. هرسلول از این آنتنها معمولاً تشکیل شده است از یک آنتن ویک‌طول‌از موج‌بر ، که دربضی از آنتها این‌سلولها ممکن است‌کاملاً مشخص باشند و دربعضی دیگر تاحدودی درهم ادغام شده‌باشند.

فرض براینست که موج‌بر (که آنتنها روی آن نصب شده‌اند) مستقل‌از فرکانس بوده ویا لااقل خواصش برحسب فرکانس کاملاً قابل پیش بینی‌باشد. ولی چنانکه‌میدانیم‌اجزاء تشعشع کننده‌یعنی‌آنتنها خواصشان ممکن است برحسب‌فرکانس دارای تغییرات‌بسیار زیاد باشد. بهرحال برای هرفرکانس‌مشخص فقط معدودی از تشعشع کننده‌ها بطور نسبتاً کامل تشعشع خواهند نمود. وبدین‌ترتیب میتوان نتیجه گرفت

که برای داشتن یک آنتن دوره‌ای لگاریتمی خوب (با پرتو عقب‌ران برای فرکانسهای باند) لازمست که ثابت فاز این سلولهای زنده (تشعشع کننده) طوری تنظیم شوند که مقدار نرمالیزه آنها در روی دیاگرام $\frac{\beta}{k}$ درنزدیکی دایره مرئی (از طرف چپ یعنی ۱-) قرار گیرد. موضوع مهمی که در مورد این آنتنها باقی میماند و کنترل آی نیز مشکل میباشد، میزان کوپلاژ بین تشعشع کننده‌ها ومحیط انتقال موج (یعنی موج بر) میباشد.

عملاً این میزان کوپلاژ است که باعث خوب کارکردن ویا نکردن یک آنتن دوره‌ای لگاریتمی میشود. ولی اثر نوع آنتنهای بکار برده شده و میزان کوپلاژ این آنتنها با موج بر چنانکه قبلاً هم یادآور شدیم بستگی بسیار نزدیک دارد به‌مقدار α و میزان تغییرات آن برحسب فرکانس گرچه که بحث ما تاکنون به‌هارمونیکهای فضای $n=0$ و $n=-1$ محدود بوده‌است ولی بعلت ساختمان مخصوص آنتهای دوره‌ای لگاریتمی میتوان خواص تشعشعی آنها را بکمک همین دوهارمونیک فضا بخوبی مورد بررسی قرارداد. چنانکه دریکی از مقالات سابق درهمین مجله درمورد رشته آنتهای دوره‌ای لگاریتمی دیدیم تغذیه این آنتنها غالباً از طرف کوچک آنتن میباشد. بدینمعنی که موج تغذیه (که بوسیله موج برانتقال میابد) ازطرف سلولهای کوچکتر (برحسب طول موج) بطرف سلولهای بزرگتر حرکت کرده وبالنتیجه در سرراه خود به‌ناحیه زنده آنتن رسیده وباعث تشعشع میشود. حال اگر رابطه $\frac{\beta_n}{k}$ را مجدداً مورد استفاده قرار دهیم ملاحظه میکنیم برای یک فرکانس مشخص سلولهای مختلف دارای ثابت فاز نرمالیزه متفاوت میباشند. اگر برای این بررسی مقدار $\frac{\beta_0}{k}$ را مساوی ۰ بگیریم برای ناحیه کوچک آنتن مقدار $\frac{\lambda}{a}$ ممکن است حدود ۱ باشد. دراینصورت برای مقادیر مختلف n هیچکدام از هارمونیکهای فضا نخواهند توانست تشعشع کنند. ولی بهرحال مشاهده میکنیم که برای $n=-1$ ثابت فاز از دیگران به‌دایره مرئی نزدیکتراست بتدریج که موج تغذیه بطرف سلولهای بزرگتر آنتن نزدیک میشود مقدار $\frac{\lambda}{a}$ متدرجاً کوچکتر شده و تمام ثابتهای زمانی نرمالیزه بطرف ناحیه مرئی حرکت میکنند. بالطبع هارمونیک فضائی که از همه به‌ناحیه مرئی نزدیکتر بوده و اول بار وارد ناحیه مرئی میشود «همیشه» هارمونیک فضای مربوط به $n=-1$ میباشد که دارای پرتو عقب‌ران وبهمین علت اولین هارمونیک عقب‌ران نامیده میشود.

حال وقتیکه موج تغذیه به‌سلولی که برای آن ثابت فاز نرمالیزه برای هارمونیک فضای $n=-1$ برابر ۱- میباشد رسید این سلول شروع به‌تشعشع بصورت عقب ران (درجهت منبع تغذیه یعنی $\theta_{-1}=180^\circ$) مینماید. دراینصورت سلولی که بلافاصله بعداز این سلول قرار دارد دارای پرتوی درجهت مایل نسبت به‌محور بوده و سلولهای بعدی دارای پرتوهائی در زوایای دیگر برحسب ثابت فاز خود خواهد بود. بعلت اینکه پس از سلول تشعشع کننده اول انرژی چندانی باقی نمیماند که به‌سلولهای دیگر برسد پرتوهای فرعی ایجاد شده براثراین سلولها دارای دامنه کوچکتری میباشد. بکمک انتخاب صحیح پارامترهای یک آنتن دوره‌ای لگاریتمی میتوان آنتنی ساخت که سلول زنده (تشعشع کننده) آن عقب‌ران باشد وبالطبع باتغییرفرکانس

چون سلولها بیک نسبت بزرگ و کوچک شده‌اند همین وضع (پرتوعقب‌ران) برای سلول زنده جدید اتفاق خواهد افتاد و بدینترتیب آنتنی مستقل از فرکانس باپرتوی عقب‌ران بدست میآید.

نتیجه :

دراین بررسی مختصر ملاحظه شد که در بررسی خواص آنتن های دوره‌ای لگاریتمی آنتنهای دوره‌ای یکنواخت رل عمده‌ای داشته و بکمک آنها میتوان تا حدودی خواص آنتنهای دوره‌ای لگاریتمی را پیش بینی کرد. نکته جالب این بود که ملاحظه‌شد درآنتنهای دوره‌ای لگاریتمی بعلت انجام تشعشع بوسیله هارمونیک فضای $n=-1$ عقب‌ران بودن پرتو امری کاملاً طبیعی میباشد و بهمین علت این آنتنهای به‌ارزش واهمیت کنونی خود رسیده‌اند.