چرخش پرتو آنتن فلزی دندانه‌ای موج نشتی در فرکانس ثابت با استفاده از تغییر امپدانس سطحی

یعقوب قانع قره‌باغ[1] مجید اخوت[2]

۱- دانشجوی دکتری- دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات- دانشگاه جامع امام حسین(ع)-تهران– ایران
yqane@ihu.ac.ir

۲- دانشیار- دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات - دانشگاه جامع امام حسین(ع)-تهران - ایران
Mokhovvat@ihu.ac.ir

چکیده:در این مقاله به معرفی روش جدیدی از چرخش پرتو آنتن در فرکانس ثابت می‌پردازیم که بدون استفاده از شیفت دهنده فاز قادر به چرخش پرتوآنتن می‌باشد. با استفاده از تغییرامپدانس سطحی آنتن فلزی موج نشتی در فرکانس ثابت، می توان نشان داد که قادر به چرخش پرتو بدون استفاده از شیفت‌دهنده‌های فازیمی‌باشیم. آنتن موج نشتی مورد نظر در این مقاله آنتن موج نشتی فلزی دندانه‌ای است کهامپدانس سطحی این آنتن با تغییر ارتفاع یا فاصله هوایی بین دندانه‌ها کنترل و در نتیجه پارامترهای اساسی آنتن موج نشتی به منظور چرخش پرتو در زاویه مورد نظر تغییر خواهند نمود. در این مقاله با شبیه سازی های صورت گرفته نشان می دهیم با تغییر ارتفاع دندانه های آنتن موج نشتی دندانه‌ای، به میزان یک و نیم میلیمتر در فرکانس ۱۰GHz قادر بهچرخش پرتو ۲۵ درجه‌ای از ۱۱ تا ۳۶درجه خواهیم بود.

واژه‌های کلیدی:چرخش پرتو، آنتن موج نشتی، امپدانس سطحی، آنتن آرایه‌ای، ساختار دندانه‌ای

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

تاریخ قبول مشروط مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۸/۰۴/۱۰

نام نویسنده مسئول: مجید اخوت

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران–اتوبان شهید بابایی - دانشگاه جامع امام حسین(ع)- دانشکده فناوری اطلاعات و ارتباطات.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.18.9]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

۱- مقدمه

در موضوع چرخش پرتو[۱] آنتن های موج نشتی[۲]، روش مرور فرکانسی[۳] یکی از روش‌هایی است که چرخش پرتو را امکان‌پذیر می‌سازد. در این روش چرخش پرتو آنتن با استفاده از تغییر فرکانس حاصل خواهد شد. موضوع اصلی این مقاله ارائه راهکارجهتچرخش پرتو توان بالا[۴]در فرکانس ثابت و بدون مرور فرکانس می‌باشد. چرخش پرتو آنتن در فرکانس ثابت به روش‌های چرخش مکانیکی آنتن، استفاده از چندین آنتن مجزا و مستقل (که هر کدام دارای پرتو معین و در زاویه معلوم می‌باشند و با تحریک هر آنتن می‌توان زاویه پرتو را تغییر داد) یا با استفاده از آرایه‌ای از آنتن‌ها و مشروط به استفاده از شیفت‌دهنده فاز[۵] امکان‌پذیر خواهد بود که به آنتن‌های آرایه فازی مشهور می‌باشند.در این روش فاصله بین عناصر آرایه و همچنین فاز سیگنال رسیده به هر آنتن زاویه پرتو کل آرایه را تعیین خواهد نمود. استفاده از شیفت‌دهنده‌های فاز قابل کنترل در آرایه آنتن، کامل‌ترین نوع چرخش پرتو آنتن را محقق می‌نماید در عوض دارای پیچیدگی و هزینه بالایی می باشند، لذا نمی‌توان آنها را برای سیستم های سادهٔ پیشنهاد نمود.

تمام روش‌های بیان شده قابل استفاده برای آنتن‌های رزونانسی، که در واقع تقریبا تمام آنتن‌های موجود هستند، می‌باشند. هدف ما در این مقاله معرفی آنتن‌های فلزی دندانه‌ای[۶]موج نشتیتوان بالااست که بدون نیاز به شیفت‌دهنده‌های فاز و آنتن آرایه‌ای، قابلیت چرخش پرتو در فرکانس ثابت را دارا هستند.

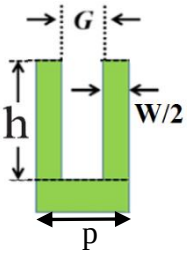
ایده انتشار موج الکترومغناطیسی از سطح دارای امپدانس با مدولاسیون سینوسی را آقای اولینر در سال ۱۹۵۹ مطرح نمودند[۱]. آقای لی در فصل ۱۷ کتاب خود به معرفی این نوع آنتن پرداخته [۲]و پس از سال ۲۰۰۰ علاقه مندی به این نوع آنتن افزایش یافته و کتاب‌ها [۳-۴] ومقالات متعددی مانند مراجع [۵-۱۱] در حوزه آنتن‌های موج نشتی منتشر شده‌اند. در[۵ ,۹] امپدانس آنتن توسط کنترل ظرفیت خازن متغیر، در[۶ ,۱۰] آنتن با ساختار میکرواستریپی، در[۸] آنتن دندانه‌ای با عمق متغیر و پهنای دندانه ثابت و در [۱۱] آنتن شکافدار معرفی و برررسی شده‌اند.با توجه به ساختار آنتن‌های موج نشتی، چرخش پرتو آنتن علاوه بر تغییر فرکانس توسط کنترل امپدانس سطحی نیز امکان پذیر خواهد بود.

کنترل مدولاسیون امپدانس سطحی در آنتن‌های موج نشتی، یکی از تکنیک‌های مورد استفاده به منظور ایجاد قابلیت انتشار موج از سطح آنتن به فضای آزاد در زاویه انتشار دلخواه است.در [۱۲] آنتن دندانه‌ای با قابلیت ایجاد پرتو در راستای عمود بر آنتن معرفی شده و در [۱۳] مدهای انتشاری امپدانس سطحی معرفی شده است.

۲- آنتن موج نشتی دندانه‌ای

سلول واحد آنتن موج نشتی دندانه‌ایدر شکل ۱ نشان داده شده است. از کنار هم قرار دادن تعدادی سلول واحد فلزی که در آن‌ها شیاری به عمق h و فاصله هوایی G ایجاد شده، آنتن موج نشتی تشکیل می‌یابد. با توجه به این که در این ساختاردو پارامتر متغیر فاصله هوایی (G)و عمق (h) را در اختیار داریم، می‌توانیم یکی را ثابت فرض نموده و با تغییر پارامتر بعدی امپدانس‌های مورد نظر را به دست آوریم. در این مقاله فاصله هوایی را ثابت فرض کرده و با تغییر عمق طراحی را انجام داده‌ایم.

البته تغییر طول سلول واحد (p) نیز می‌تواند در محاسبه امپدانس آنتن و حتی کنترل امپدانس سطحی موثر باشد.



شکل (۱): سلول واحد آنتن موج نشتی دندانه‌ای

با فرض M=0.2 و تغییر مقدار x' از 0.6 تا 2و حل معادله عمومی آنتن‌های موج نشتی، نتیجه در شکل ۲ نشان داده شده است. اگر فرکانس کار را برابر 10GHz ($k_0 = 2\pi/\lambda = 209.33$) و $k_0 a = 5.917$ فرض کنیم، در نتیجه $a = 28.25mm$ به دست خواهد آمد و با تغییر مقدار x' از 0.6 تا 1.6 انتظار چرخش پرتو از ۱۰ الی ۶۰ درجه را خواهیم داشت. برای مقادیر x' بزرگتر از 1.6 انتظار تشعشع نخواهیم داشت زیرا منحنی این مقادیر با محور $k_0 a = 5.917$ قطع داده نمی‌شود. با توجه به این که مقدار x' برابر1.6 و 0.6 در حالت بحرانی قرار دارد، مقدار x' از 0.8 تا 1.4 را بررسی می‌نماییم. در این صورت انتظار چرخش ۲۷ درجه‌ای پرتو از ۱۵ تا ۴۲ درجه را خواهیم داشت.

اگر بخواهیم هر دوره تناوب آنتن را به ۱۰ تکه مساوی تقسیم کنیم، مقدار ابعاد هر سلول واحد برابر p=2.825mm خواهد بود.با استفاده از رابطه ۱ امپدانس سطح مورد نیاز به دست آمده و با فرض فاصله هوایی برابرG=2mm، برای محاسبه عمق سلول واحد از رابطه ۲ استفاده می‌کنیم[۴].

$$\eta_{surf}(x) = j\eta_0 X' \left[1 + M\cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right)\right] \quad (۱)$$

$$h = \frac{1}{k_0}\arctan\left(\frac{\eta_{surf}}{\eta_0}\frac{p}{G}\right) \quad (۲)$$
$$p = W + G$$

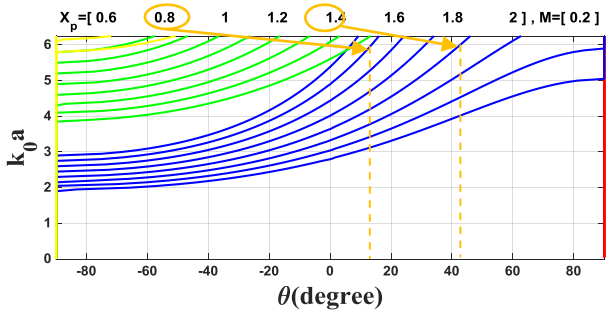
نتیجه محاسبه زاویه تشعشع پرتو، امپدانس و عمق سلول‌های واحد در شکل‌های ۳ و ۴ و جدول ۱ ارائه شده است.

با کنار هم قراردادن ۱۰ دوره تناوب (یعنی ۱۰۰ عنصر واحد)، ساختار آنتن نهایی ایجاد می‌شود که در شکل ۵ نشان داده شده است.

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.2- No.2- Fall 2005 & Winter 2016

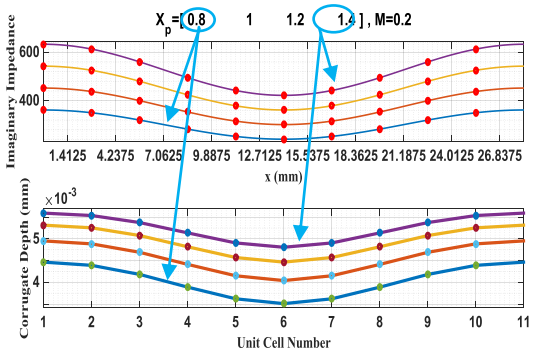
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.18.9]



شکل (۲): نتیجه حل عددی معادله عمومی آنتن‌های موج نشتی و محاسبه زاویه تشعشع

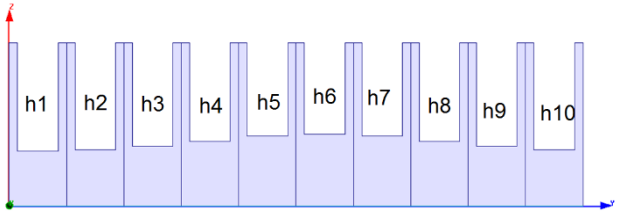
یک دوره تناوب از آنتن موج نشتی مورد نظر در شکل ۴ نشان داده شده است.



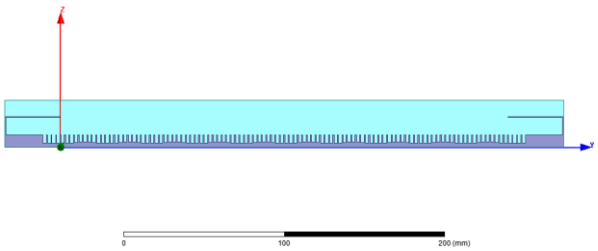
شکل (۳): امپدانس و عمق سلول واحد

جدول (۱): نتایج عددی محاسبه عمق‌های سلول واحد

	$x'=0.8$	$x'=1$	$x'=1.2$	$x'=1.4$
h1(mm)	**4.466**	**4.955**	**5.318**	**5.596**
h2(mm)	**4.392**	**4.887**	**5.257**	**5.540**
h3(mm)	**4.183**	**4.692**	**5.079**	**5.378**
h4(mm)	**3.889**	**4.414**	**4.820**	**5.140**
h5(mm)	**3.621**	**4.151**	**4.572**	**4.908**
h6(mm)	**3.510**	**4.041**	**4.466**	**4.809**
h7(mm)	**3.889**	**4.151**	**4.572**	**4.908**
h8(mm)	**4.183**	**4.414**	**4.820**	**5.140**
h9(mm)	**4.392**	**4.692**	**5.079**	**5.378**
h10(mm)	**4.466**	**4.887**	**5.257**	**5.54**
θ°	**15**	**22**	**31**	**42**

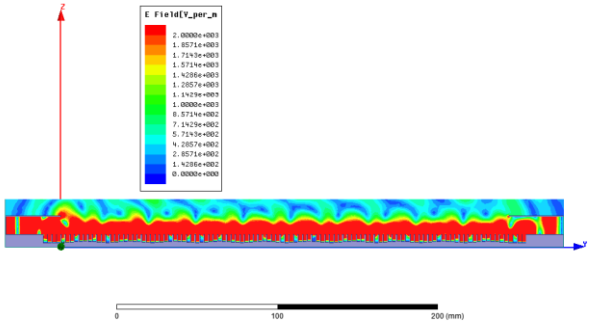


شکل (۴): یک دوره تناوب ساختار دندانه‌ایبا عمق متغیر و ۱۰ سلول واحد

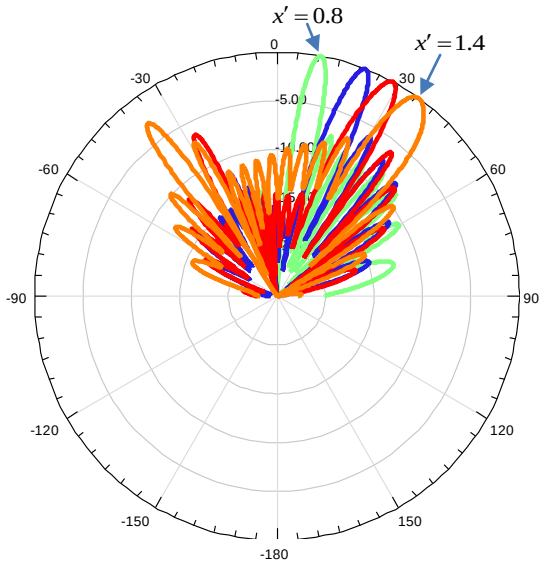


شکل (۵): ساختار نهایی آنتن موج نشتی دندانه‌ایبا عمق متغیر

با توجه به این که آنتن موج نشتی دارای مد انتشاری TM است[۱۳]، بنابراین باید با ساختاری تحریک شود که قابلیت تحریک این مد را داشته باشد. با تحریک ساختار آنتن موج نشتی نهایی توسط موجبری که فاقد دیواره‌های جانبی است و مد انتشاری TEM را ایجاد می‌کند، آنتن را تحریک می‌کنیم[۴].نمودار توزیع میدان الکتریکی آنتن موج نشتی نهایی در شکل ۶ و الگوی تشعشعی آنتن موج نشتی با ساختار دندانه‌ای با عمق متغیر به ازاء x' از 0.8 تا 1.4در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل(۶): نمودار توزیع میدان الکتریکی ساختار دندانه‌ای عمق متغیر



شکل(۷): نمودار الگوی تشعشعی ساختار دندانه‌ای عمق متغیر

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.18.9]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

با توجه به شکل ۷ دیده می‌شود کـه پرتـو آنـتن در محـدوده ۲۷ درجه از زاویه ۱۰ الی ۳۷ درجه جابجا می‌شود. البته با توجه به شـکل ۲، انتظار داشتیم محدوده تشعشع از ۱۵ الی ۴۲ درجه باشد لیکن با ۵ درجه جابجایی کل پرتوها مواجه شدیم. دلیل این جابجایی ۵ درجه‌ای چرخش پرتوها، لحاظ نمودن ساختار بی‌نهایت در فرضیات معادلـه ۱ و طراحی و شبیه‌سازی ساختار آنتن موج نشتی به صورت ابعـاد محـدود است.

همچنین محدود بودن ابعادناحیه تشعشعی در شبیه‌سـازی، باعـث به وجود آمدن پرتوهای دیده شده در زوایای منفـی ناشـی از انعکـاس توان از ناحیه انتهایی آنتن و تشعشع موج بازگشـتی دقیقـا در زوایـای مقابل زاویه پرتو اصلی است. برای اجتناب از این مسئله باید طول آنتن را به اندازه‌ای اضافه نماییم تا حداکثر ده درصد توان تزریقی به انتهـای آنتن برسد.

با توجه به جدول ۱،تغییرات ارتفاع سلولهای مختلف برای تغییرات امپدانسی بـه ازای X' هـای مختلـف یکسـان نمـی باشـند همچنـین دامنهتغییرات عمق مورد نیاز آنتن موج نشتی دندانه‌ای برای جابجـایی ۲۵ درجه‌ای پرتو اصلی در سلول‌های اول یـک پریـود از آنـتن و برابـر 1.13mm و حداکثر این تغییرات عمق برای سلول‌های میـانی پریـود و برابر1.299mm خواهد بود.این تغییرات نابرابر در اول و آخـر یـک دوره تناوب و یکسـان نبـودن تغییـرات ارتفـاع سـلولهای مختلـف، نیازمنـد سیستم پیچیده‌ای جهت کنترل عمق‌های متغیر به منظور کنترل زاویه تشعشع پرتو در پیاده سازی این ایده می‌گردد.

حال اگر به این نکته توجه داشته باشیم که در یـک آنـتن حـداقل ۱۰ دوره تناوب یا بیشتر مورد نیاز است، برای غلبه بر این پیچیدگی در پیاده سازی طرح، از تغییر عمق ثابت در کل آنتن استفاده می‌کنیم. به این معنی که در یک دوره تناوب، میزان تغییرات عمق در اول و وسـط دوره تناوب را به صورت یکسان کنترل نماییم.

به عنـوان مثـال اگـر تغییـرات ارتفـاع یـک دوره تنـاوب آنـتن بـا $X'=\mathfrak{P}$ را به عنوان مرجع انتخاب کنیم و تغییـرات عمـق را در کـل دوره تناوب از-1mm تا +0.3mm(متناسـب بـا $X'=\mathfrak{P}$) بـرای تمـام عناصر سلول واحد یکسان اعمال نماییم، پیچیدگی کنترل عمق‌هـا بـه یک مکانیزم ساده تبدیل خواهد شد.

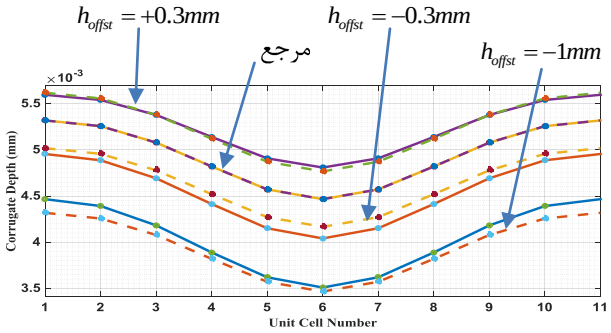
برای بررسی تاثیر ساختار پیشنهادی، مقادیر عمق سلول‌های واحد آنتن طراحی شده با $X'=\mathfrak{P}$ را به صورت مرجـع فـرض نمـوده و بـا تغییر ارتفاع آفست یکسان از -1mm تـا +0.3mm در کـل آنـتن نتـایج حاصله را به دست آورده و با نتایج اصلی مقایسه می‌کنـیم. عمـق‌هـای جدیـد در جـدول ۲ و بـه صـورت خـط چـین در شـکل۸ نشـان داده شده‌اند.

نتیجه حاصل از تغییرات یکنواخت عمق سلول‌های واحد در شـکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، چرخش پرتو در اثر تغییرات یکنواخت عمق برابـر ۲۶ درجـه و از زاویـه ۱۱ تـا ۳۷ درجـه خواهد بود.

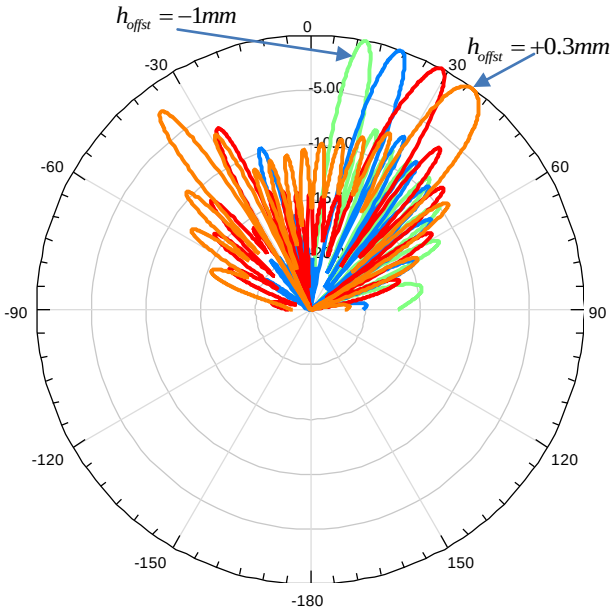
جدول (۲): نتایج عددی تغییر عمق‌های سلول واحد به صورت یکنواخت

	$h_{offset}=-1$	$h_{offset}=-0.3$	مرجع	$h_{offset}=+0.3$
h1(mm)	**4.318**	**5.018**	**5.318**	**5.618**
h2(mm)	**4.257**	**4.957**	**5.257**	**5.557**
h3(mm)	**4.079**	**4.779**	**5.079**	**5.379**
h4(mm)	**3.820**	**4.520**	**4.820**	**5.120**
h5(mm)	**3.572**	**4.272**	**4.572**	**4.872**
h6(mm)	**3.466**	**4.166**	**4.466**	**4.766**
h7(mm)	**3.572**	**4.272**	**4.572**	**4.872**
h8(mm)	**3.820**	**4.520**	**4.820**	**5.120**
h9(mm)	**4.079**	**4.779**	**5.079**	**5.379**
h10(mm)	**4.257**	**4.957**	**5.257**	**5.557**

به منظور مقایسه نتایج، الگوی تشعشعی هـر دو حالـت را بـر روی هم رسم و در شکل ۱۰ نمایش می‌دهیم.



شکل (۸): تغییرات عمق سلول‌های واحد به صورت یکنواخت



شکل(۹): نمودار الگوی تشعشعی ساختار دندانه‌ای با تغییر عمق یکنواخت

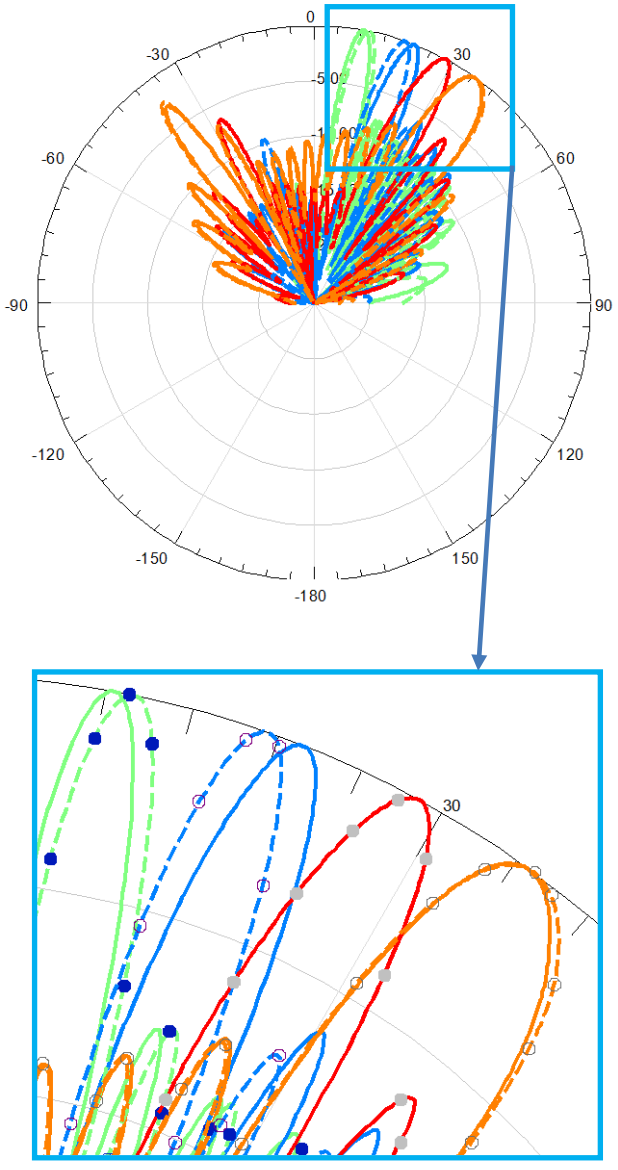
در شکل ۱۰الگوهای تشعشعی با خطوط تـوپر بـرای حالـت تغییـر ارتفاع سلول‌های واحد اصلی و الگوهای تشعشعی خط چین برای حالت

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.18.9]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.2- No.2- Fall 2005 & Winter 2016

تغییر ارتفاع سلول‌های واحد به صورت یکنواخت است. همانطور که دیده می‌شود روش تغییر ارتفاع یکنواخت به میزان بسیار زیادی با حالت اصلی تطبیق دارد. بنابراین به چرخش پرتو مورد نظر با ساختار ساده شده تغییر ارتفاع یکنواخت خواهیم رسید که با تقریب بسیار خوبی تاثیری برابربا تغییر X' دارد و کمک شایانی در پیاده‌سازی آن خواهد داشت.

نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها تایید کننده این موضوع گردید که می‌توان پرتو آنتن را در فرکانس ثابت و بدون استفاده از شیفت‌دهنده فاز در فضا چرخاند. باید به این موضوع توجه داشت که این روش چرخش پرتو در فضا با استفاده از مدولاسیون امپدانس سطحی و در ساختار آنتن‌های فلزی موج نشتی امکان‌پذیر می‌باشد.



شکل(۱۰): نمودار الگوی تشعشعی ساختار دندانه‌ای با تغییر عمق یکنواخت (خط چین) در مقایسه با تغییر عمق غیر یکنواخت (خط پر)

۳- نتیجه‌گیری

روش‌های متعددی در رابطه با چرخش پرتو غیر از روش شیفت دهنده فاز متغیر همانند چرخش پرتو با استفاده از ماتریس باتلر [۱۴] که از شیفت دهنده فاز ثابت بهره می‌گیرند،وجود دارند.

با توجه به بررسی تاثیرگذاری پارامترهای قابل تغییر و هدف مقاله مبنی بر چرخش پرتو آنتن موج نشتی در فرکانس ثابت و بدون استفاده از شیفت دهنده فازو فقط با کنترل امپدانس سطحی آنتن فلزی موج نشتی، می‌توان از تغییر مقادیر x' و a به منظور چرخش پرتو و به طور همزمان تغییر مقدار M به منظور کنترل پهنای پرتو استفاده نمود. این تغییرات در امپدانس سطحی آنتن موج نشتی تاثیرگذار هستند.

در این مقاله با توجه به انتخاب ساختار دندانه‌ای برای آنتن فلزی موج نشتی، نمی‌توان از تغییر دوره تناوب به منظور چرخش پرتو استفاده نمود و به چرخش پرتو آنتن در فرکانس ثابت و بدون استفاده از شیفت‌دهنده فاز و فقطبا تغییر مقدار x' امپدانس سطح دست یافتیم.

تغییر مقدار x' به صورت تغییر عمق سلول‌های واحد در طول آنتن حاصل شد که به دلیل پیچیدگی کنترل تغییرات عمق سلول‌های واحد، از روش تغییر عمق سلول‌های واحد به طور یکنواخت و همزمان استفاده گردید.

نتیجه حاصل از این تغییرات امپدانس سطحی آنتن موج نشتی دندانه‌ای، جابجایی ۲۶ درجه‌ای پرتو از ۱۱ الی ۳۷ درجه با تغییر ۱/۳ میلی‌متری عمق سلول‌های واحد نشان داد.

نوآوری این مقاله معرفی آنتن فلزی دندانه‌ای موج نشتی است که با توجه به ساختار آنتن قابلیت تحمل توان بالا و چرخش پرتو در فرکانس ثابت توسط تغییر عمق دندانه‌ها صورت می‌پذیرد و نیاز به زیرلایه دی‌الکتریک یا دیود جهت کنترل امپدانس سطحی آنتن موج نشتی ندارد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هم فکری اعضای هیئت تحریریه نشریه علمی-پژوهشی مهندسی برق و الکترونیک ایران کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

[1] A. Oliner and A. Hessel, “Guided waves on sinusoidally-modulated reactance surface”, IRE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 7, no. 5, pp. 201–208, December 1959.

[2] Y. T. Lo, S. W. Lee, Antenna Handbook, Vol. 3, Chapman & Hall, 1993.

[3] C. A. Balanis, *Modern Antenna Handbook*, John Wiley & Sons,2008.

[4] Z. N. Chen, D. Liu, X. Qing, *Handbook of Antenna Technologies*,Springer, 2016

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.18.9]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

[5] Y. J. Guo, J. L. Gomez, R. Guzman, A. R. Weily,“Reconfigurable Leaky Wave Antennas”, FERMAT, 2014
[6] A. M. Patel, and A. Grbic, “A Printed Leaky-Wave Antenna Based on aSinusoidally-Modulated Reactance Surface”,IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 59, no. 6, June 2011.
[7] P. Burghignoli, G. Lovat, and D. R. Jackson, “Analysis and optimization of leaky-wave radiation at broadside from a class of 1-D periodic structures”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation,, vol. 54, no. 9, pp. 2593-2604, September 2006.
[8] A. H. Panaretos and D. H. Werner, “Spoof plasmon radiation using sinusoidallymodulated corrugated reactance surfaces”,optics express, vol. 24, no. 3, pp. 2593-2604, 8 Feb. 2016.
[9] A. H. Panaretos and D. H. Werner, “Leaky wave antennas based on capacitively tuned modulated reactance surfaces”,IEEE Antennas and Wireless propagation Letters,2015.
[10] G. Sh. Kong, H. F. Ma, B. G. Cai, T. J. cui, “Continuous leaky-wave scanning using periodically modulated spoofplasmonic waveguide”,Scientific Reports,July 2016.
[11] M. Ettorre, A. Neto, G. Gerini, S. Maci, “Leaky-Wave Slot Array Antenna Fed by a Dual Reflector System”,IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 56, no. 10, october 2008.
[12] Iyemeh Uchendu and James Kelly, “Survey of Beam Steering Techniques Available for MillimeterWave Applicationse,”Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 68, pp35–54, 2016.
[13] Dan Sievenpiper et al,“High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Teqniques. Vol. 47, no. 11, November 1999
[۱۴] امیر مهرافزا،پوریا براتی طرقی، علی پورزیاد، "طراحی ماتریس باتلر ۴×۴ جهت شکل دهی پرتو آنتن در شبکه های آرایه فازی"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۶، شماره ۴، ۱۳۹۸.

زیرنویس‌ها

[1]Beam Scanning
[2]Leaky wave Antenna
[3]Frequency Scan
[4]High Power
[5]Phase Shifter
[6]corrugate

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.18.9]