

طراحی یک آنتن تک قطبی شکاف دار برای پوشش باندهای GSM850/900/DCS/PCS/UMTS/WLAN2.4 برای کاربرد در گوشی تلفن همراه

مرتضی رضائی^۱، جواد نوری نیا^۲ و چنگیز قبادی^۳

ا^۱ و ا^۲ دانشگاه ارومیه، گروه برق؛ a^۱ st_m.rezaee@mail.urmia.ac.ir، z^۲ j.nourinia@mail.urmia.ac.ir و ch.ghebadi@mail.urmia.ac.ir

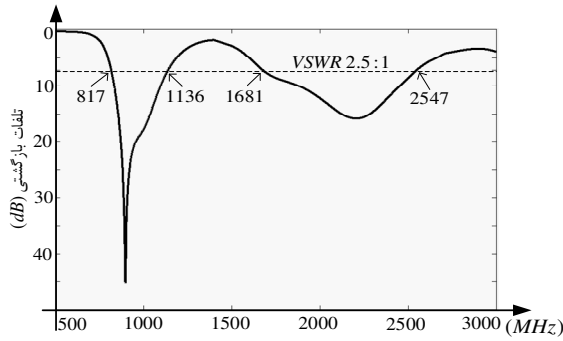
چکیده - در این مقاله یک آنتن تک قطبی شکاف دار برای کاربرد در گوشی های تلفن همراه ارائه شده است. آنتن طراحی شده از دو شکاف تشکیل شده است که بدلیل قرارگیری در لبه ی صفحه ی زمین بصورت ربع طول موج تشعشع می کنند. این دو شکاف که دارای طول های متفاوت هستند، پهنای باند $VSWR < 2.5$ (یا تلفات بازگشتی کمتر از $7.3dB$) را برای پوشش باندهای GSM850/900/DCS/PCS/UMTS/WLAN فراهم می کنند. از مفهوم اتصال کوتاه کاذب در داخل شکاف برای افزایش پهنای باند استفاده شده است. این دو شکاف بوسیله ی یک خط تغذیه ی ریزنواری 50Ω و دو زائده ی T شکل تحریک می شود و بدین ترتیب عملکرد تشعشعی بسیار خوبی حاصل شده است. روند طراحی و نتایج شبیه سازی آنتن در مقاله به تفصیل آمده است.

کلید واژه- آنتن های ریزنواری، آنتن های تک قطبی شکاف دار، آنتن های گوشی تلفن همراه، آنتن های چندباند.

شکاف دار (monopole slot) حاصل می شود که بصورت یک ساختار تشدیدگر ربع طول موج عمل می نماید [۷ و ۸ و ۹]. بدین ترتیب در یک فرکانس خاص ابعاد آنتن کوچک تر خواهد شد. آنتن های تک قطبی شکاف دار دارای ساختاری مسطح می باشند و به سادگی روی زمین برد گوشی تلفن همراه قابل چاپ هستند که این امر هزینه ی ساخت را پایین می آورد. در مقابل، آنتن های PIFA دارای ساختاری سه بعدی هستند که ساخت را مشکل می سازند. علاوه بر این آنتن های تک قطبی شکاف دار در مقایسه با آنتن های PIFA و تک قطبی مسطح، جریان سطحی کمتری را روی صفحه ی زمین گوشی تحریک می کنند و در نتیجه پهنای باند تلفات بازگشتی، وابستگی کمتری به طول صفحه ی زمین و اثرات ناشی از دست و سر کاربر پیدا می کند. در این مقاله ما آنتنی را ارائه می کنیم که علاوه بر پوشش باندهای فرکانسی لازم برای سیستم های مخابراتی نسل دوم از جمله Global System for Mobile communication: GSM850/900(824-894,890-960MHz) Digital Communication System: DCS(1710-1880MHz) و Personal Communication System: PCS(1850-1990MHz) ، باند های فرکانسی سیستم های مخابراتی نسل سوم (3G) از جمله Universal Mobile Telecommunication System: UMTS(1920-2170MHz) را نیز پوشش می دهد. همچنین باتوجه به تمایل زیادی که به دسترسی به اینترنت از طریق گوشی تلفن همراه وجود دارد این آنتن باند فرکانسی لازم را برای

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت و توسعه ی روزافزون مخابرات سیار، گوشی های تلفن همراهی که بتوانند چندین باند مختلف را به کمک تنها یک آنتن پوشش دهند، کاربرد گسترده ای یافته اند. از طرفی آنتن های درون ساختاری به این دلیل که خطر شکستگی برایشان وجود ندارد و از نظر فشردگی، کم حجم بودن و زیبایی نسبت به آنتن هایی که خارج از قاب گوشی تلفن همراه واقع می شوند، ارجحیت دارند [۱]. تاکنون روش های مختلفی برای دستیابی به عملکرد چندباندی آنتن های درون ساختاری ارائه شده است که از جمله ی آنها می توان به آنتن های Planar Inverted F Antenna: PIFA [۲ و ۳]، آنتن های تک قطبی مسطح (planar monopole) [۴] و آنتن های نوع حلقوی (loop type) [۵] اشاره کرد. علاوه بر روش های گفته شده اخیرا از آنتن های شکاف دار (slot) نیز برای گوشی های تلفن همراه استفاده شده است [۶]. اگرچه می توان همانند [۶] از شکاف بصورت یک ساختار تشدیدگر نیم طول موج استفاده نمود، اما با توجه به بزرگ بودن طول شکاف برای فرکانس های پایین، آنتن حجم زیادی را اشغال خواهد نمود. اخیرا نشان داده شده است که با قراردادن شکاف در لبه ی صفحه ی زمین، یک آنتن تک قطبی

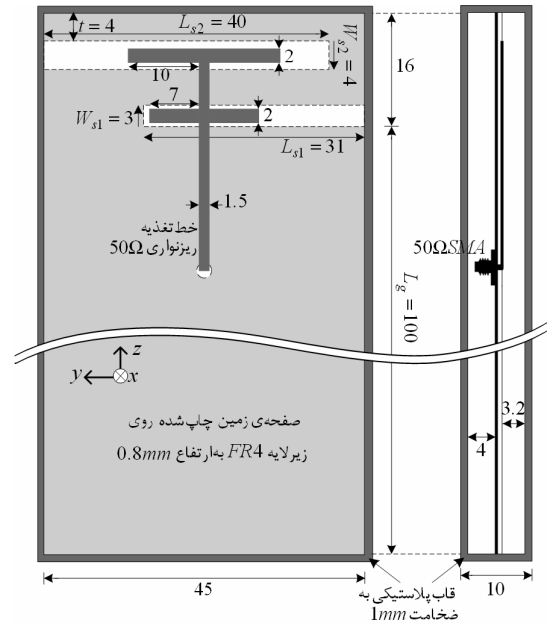


شکل ۲: تلفات بازگشتی آنتن پیشنهادی شکل ۱

900MHz و $\sigma = 0.02S/m$ در فرکانس 2000MHz محصور شده است (مشخصات زیرلایه و قاب مشابه مشخصات [۶] است). عرض قاب که همانگونه که در شکل ۱ دیده می شود 10mm است، و ابعاد صفحه‌ی زمین در حدود ابعاد گوشی های تلفن همراه رایج می باشند. سطح اشغال شده توسط آنتن برابر با $16 \times 45 \text{ mm}^2$ است و آنتن از دو شکاف تک قطبی انتها باز تشکیل شده است که به عنوان تشدیدگر ربع طول موج عمل می کنند. طول شکاف بزرگتر (شکاف بالایی) 40mm است (برابر با 0.12 طول موج در فرکانس 900MHz در فضای آزاد) که در تحریک مود $\lambda/4$ باند پایینی نقش دارد و طول شکاف کوچک تر (شکاف پایینی) نیز 31mm است (برابر با 0.19 طول موج در فرکانس 1800MHz در فضای آزاد) که تحریک مود $\lambda/4$ باند بالایی را کنترل می کند. باید توجه داشت که در یک طول ثابت، فرکانس تشدید بدلیل وجود زیرلایه کاهش می یابد و در نتیجه طول شکاف لازم کمتر از ربع طول موج خواهد شد [۱۰]. یک خط ریزنواری 50Ω به همراه دو زائده‌ی T شکل نیز برای تغذیه‌ی سری این دو شکاف در طرف دیگر زیرلایه چاپ شده اند. انتهای دیگر این خط ریزنواری نیز به یک اتصال گر 50Ω SMA برای تست آنتن منتهی می گردد.

۳- روش طراحی و نتایج شبیه سازی

آنتن پیشنهادی شکل ۱ به کمک نرم افزار HFSS10.0 که مبتنی بر روش المان محدود است، شبیه سازی شده و نمودار تلفات بازگشتی آن در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود هردو باند بالایی و پایینی با تطبیق امپدانس خوبی تحریک شده اند. پهنای باند $VSWR < 2.5$ باند پایینی برابر با 319MHz (817-1136MHz) و پهنای باند بالایی



شکل ۱: ساختار آنتن پیشنهادی. آنتن روی زمین برد گوشی تلفن همراه چاپ شده است و در داخل محفظه‌ای به ضخامت 1mm محصور شده است (ابعاد به mm می باشد).

سرویس Wireless Local Area Network: WLAN802.11b/g (2400-2484MHz) نیز فراهم می کند. معیار پهنای باند در این مقاله $VSWR < 2.5$ (یا تلفات بازگشتی کمتر از 7.3dB) در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که در کاربردهای عملی معمولاً معیار پهنای باند $VSWR < 3$ (تلفات بازگشتی کمتر از 6dB) در نظر گرفته می شود [۵ و ۱۰]. آنتن پیشنهادی در مقایسه با آنتن شکاف دار ارائه شده در [۶] علاوه بر اینکه ابعاد کوچکتری دارد (0.8 حجم آنتن [۶] را داراست) باند WLAN را نیز پوشش می دهد. جزئیات ساختار آنتن در بخش دوم خواهد آمد. در بخش سوم نیز به بررسی روش طراحی و نتایج شبیه سازی خواهیم پرداخت.

۲- ساختار آنتن

شکل ۱ ساختار آنتن تک قطبی شکاف دار پیشنهادی را که روی بخش بالایی صفحه‌ی زمین برد گوشی تلفن همراه چاپ می شود را نشان می دهد. برد مورد استفاده از جنس زیرلایه‌ی FR4 با گذردهی نسبی $\epsilon_r = 4.4$ و رسانایی $\sigma = 0.0055S/m$ در فرکانس 900MHz و $\sigma = 0.0107S/m$ در فرکانس 2000MHz و ارتفاع 0.8mm است. همچنین گوشی تلفن همراه مورد بحث در داخل یک قاب پلاستیکی به ضخامت 1mm و گذردهی نسبی $\epsilon_r = 3.5$ و رسانایی $\sigma = 0.01S/m$ در فرکانس

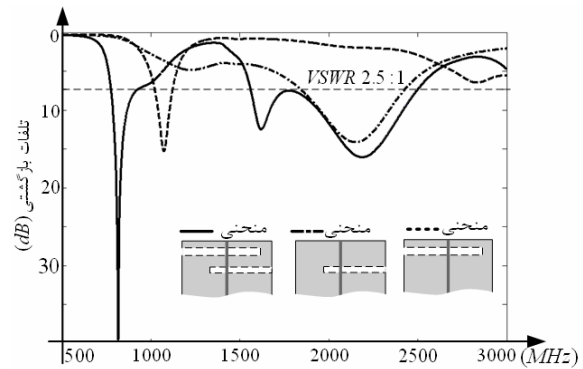
مجموعه مقالات هفدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۲۲ الی ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۸



شکل ۴: توزیع (اندازه‌ی) میدان الکتریکی در داخل شکاف (بدون زائده‌ی T شکل) در: (الف) فرکانس تشدید اصلی شکاف کوچکتر: 1620MHz ؛ (ب) فرکانس تشدید ناشی از اتصال کوتاه کاذب: 2200MHz (نمای پشتی آنتن)

شدن طول مؤثر آنتن، فرکانس تشدید دوم کمی بالاتر از فرکانس تشدید اول رخ دهد و بدین ترتیب پهنای باند افزایش می‌یابد. اما همانطور که مشاهده می‌شود (شکل ۳) پهنای باند باند پایینی قادر به پوشش باندهای GSM850/900 نیست. برای رفع این مشکل از دو زائده‌ی T شکل استفاده شده‌است. اینکار باعث افزایش تزویج از خط تغذیه به شکاف‌ها شده و همچنین احتمالاً با ایجاد اتصال کوتاه کاذب در شکاف بزرگتر، منجر به افزایش پهنای باند باند پایینی می‌گردد.

شکل ۵ جریان‌های سطحی روی صفحه‌ی زمین در باندهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود جریان‌های سطحی کمی روی صفحه‌ی زمین تحریک شده‌اند که این مساله از وابستگی پهنای باند به طول صفحه‌ی زمین و اثرات دست و سر کاربر می‌کاهد. تلفات بازگشتی آنتن به ازاء طول‌های مختلف L_g نیز در شکل ۶ نشان داده شده‌است. این نمودار نشان می‌دهد که پهنای باند آنتن وابستگی کمی به تغییرات L_g دارد و بنابراین از این آنتن برای گوشی‌های تلفن همراه با طول‌های مختلف صفحه‌ی زمین، می‌توان استفاده کرد. حتی در $L_g = 80mm$ نیز آنتن تمامی باندها (بجز GSM850) را با $VSWR < 3$ پوشش می‌دهد. در شکل ۷ (الف) تلفات بازگشتی آنتن به ازاء طول‌های مختلف L_{s1} آمده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود بدلیل استفاده از تغذیه‌ی سری در تحریک دو شکاف، پهنای باند هر دو باند و بویژه باند پایینی تحت تاثیر این تغییرات قرار می‌گیرند و تطبیق امپدانس در باند پایینی با افزایش L_{s1} بهم می‌خورد. شکل ۷ (ب) نیز تلفات بازگشتی آنتن را به‌ازاء طول‌های مختلف L_{s2} نشان می‌دهد. همانگونه که انتظار می‌رود با افزایش طول شکاف بزرگتر، فرکانس تشدید آن (در باند پایینی) کاهش یافته و باند بالایی نیز بدون تغییر می‌ماند. در شکل ۸ (الف) نیز تلفات بازگشتی آنتن به ازاء عرض‌های مختلف شکاف کوچکتر (W_{s1}) به نمایش در آمده‌است. با تغییر W_{s1} زائده‌های

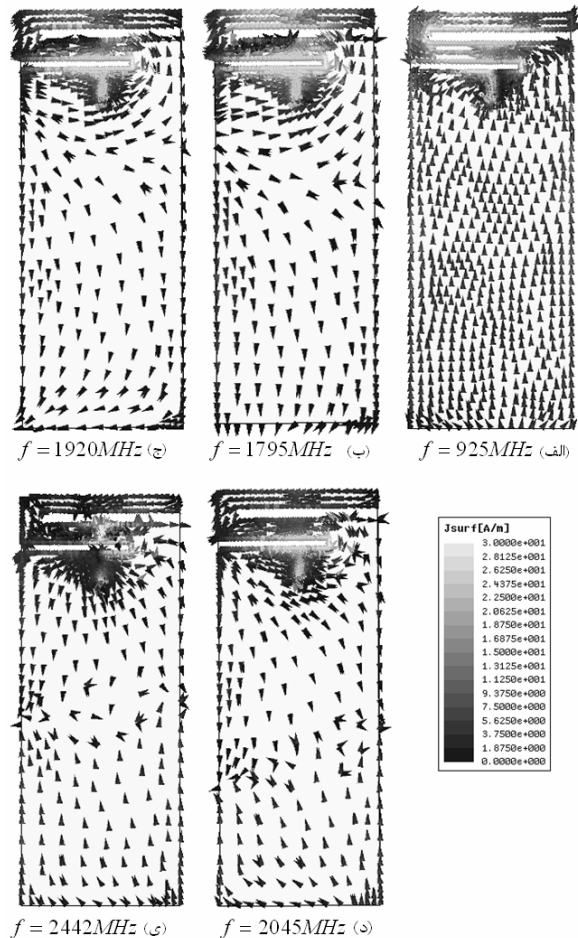


شکل ۳: تلفات بازگشتی در سه حالت مختلف (بدون زائده‌های T شکل)

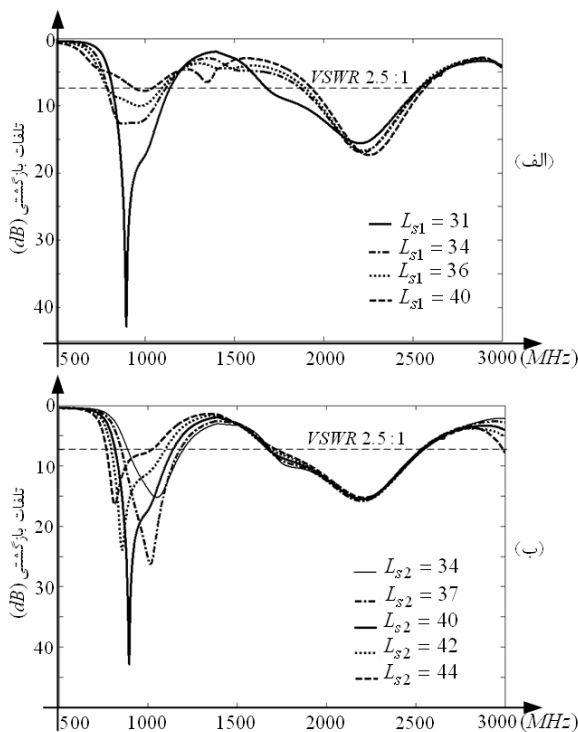
نیز برابر با 866MHz (1681-2547MHz) می‌باشد که به ترتیب باندهای GSM850/900 و DCS/PCS/UMTS/WLAN را بخوبی پوشش می‌دهند. در ادامه به تشریح روش طراحی آنتن می‌پردازیم.

شکل ۳ تلفات بازگشتی را در سه حالت مختلف (بدون زائده‌ی T شکل) نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود شکاف بزرگتر تشدید را در باند پایینی (1074MHz) و شکاف کوچکتر تشدید را در باند بالایی (2153MHz) ایجاد می‌کند. همانگونه که مشاهده می‌شود در حالتی که از هر دو شکاف استفاده شود، شکاف کوچکتر منجر به کاهش فرکانس تشدید شکاف بزرگتر می‌شود. همچنین در باند بالایی، علاوه بر کم شدن فرکانس تشدید شکاف کوچکتر، تشدید دیگری نیز رخ می‌دهد. این تشدید که کمی بالاتر از فرکانس تشدید اصلی شکاف ایجاد می‌شود ناشی از اتصال کوتاه کاذب (fictitious short) در طول شکاف است. چرا که نشان داده شده‌است که اگر آنتن شکاف‌دار از نزدیکی یکی از لبه‌های بوسیله‌ی یک خط تغذیه‌ی ریزنواری تغذیه گردد و عرض شکاف نیز بطور مناسب انتخاب شود، یک اتصال کوتاه مجازی در نزدیکی خط ریزنواری می‌تواند رخ دهد [۱۱]. در حقیقت در یک محل خاص روی شکاف، مؤلفه‌ی مماسی میدان الکتریکی ایجاد شده توسط خط تغذیه‌ی ریزنواری، میدان الکتریکی تحریک شده توسط جریان‌های برگشتی روی صفحه‌ی زمین خط ریزنواری را در داخل شکاف حذف می‌کند [۱۱]. برای توضیح بیشتر این مطلب، توزیع میدان الکتریکی در دو فرکانس تشدید 1620MHz و 2200MHz در شکل ۴ نشان داده شده‌است. همانطور که دیده می‌شود در فرکانس 1620MHz شکاف کوچکتر بصورت ربع طول موج تشعشع می‌کند و در فرکانس 2200MHz در توزیع میدان الکتریکی (با در توزیع جریان مغناطیسی روی شکاف) یک null در نزدیکی خط تغذیه‌ی ریزنواری ایجاد می‌شود. در نتیجه با کم

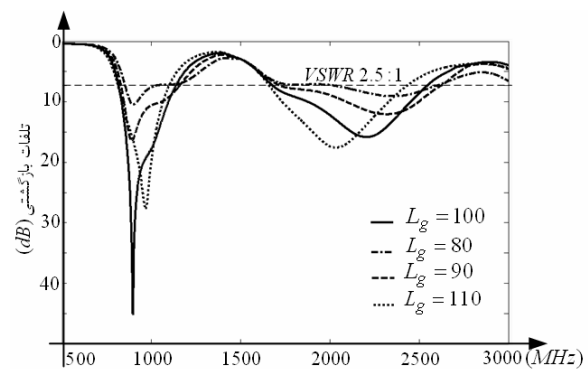
است). این نمودار نیز نشان‌دهنده‌ی وابستگی تطبیق امپدانس هر دو باند به عرض شکاف کوچک‌تر بدلیل تغذیه‌ی سری شکاف‌ها می‌باشد. با افزایش W_{s1} در باند بالایی، فرکانس تشدید ناشی از اتصال کوتاه کاذب به فرکانس تشدید اصلی نزدیک‌تر شده و پهنای باند کاهش می‌یابد. همچنین در باند پایینی، فرکانس تشدید اصلی شکاف بدلیل تغییر مسیر جریان‌های روی زمین کم‌تر می‌شود در حالیکه فرکانس تشدید ناشی از اتصال کوتاه کاذب ثابت باقی می‌ماند. در شکل ۸ (ب) نیز تلفات بازگشتی آنتن با تغییرات عرض شکاف بزرگ‌تر (W_{s2}) نشان داده شده‌است. در این حالت نیز زائده‌ی T شکل بالایی، همواره در میانه‌ی شکاف بزرگ‌تر قرار داده می‌شود تا تزویج بطور متقارن به شکاف انجام شود و مقدار پارامتر $t = 4mm$ نیز تغییری نمی‌کند (تغییر عرض در راستای فلش است). همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود تطبیق امپدانس و فرکانس تشدید ناشی از اتصال کوتاه کاذب در باند پایینی به عرض شکاف وابسته است و باند بالایی تاثیر چندانی از این تغییرات نمی‌پذیرد. همچنین تلفات بازگشتی آنتن به ازاء مقادیر مختلف t مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که این پارامتر تا حدودی در تطبیق امپدانس هردو باند تاثیرگذار است که مقدار بهینه‌ی $t = 4mm$ برای آن اختیار شده‌است.



شکل ۵ جریان‌های سطحی روی زمین آنتن در باندهای GSM900 (الف) GSM850 نیز توزیع جریانی مشابه این دارد؛ (ب) DCS؛ (ج) PCS؛ (د) UMTS؛ (ه) WLAN (نمای پشتی آنتن).



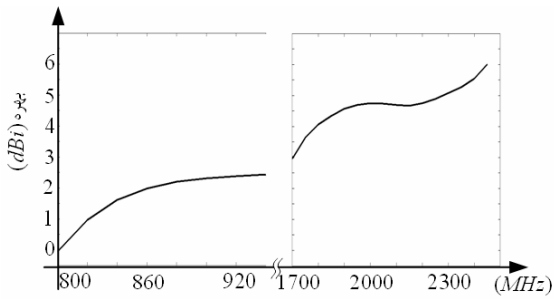
شکل ۷: نمودار تلفات بازگشتی آنتن به‌ازاء طول‌های مختلف شکاف: (الف) پایینی؛ (ب) بالایی. (بقیه‌ی پارامترها دراری همان مقادیر شکل ۱ هستند)



شکل ۶: نمودار تلفات بازگشتی آنتن به‌ازاء طول‌های مختلف صفحه‌ی زمین (بقیه‌ی پارامترها دراری همان مقادیر شکل ۱ هستند)

T شکل نیز همواره در وسط شکاف قرار داده می‌شوند تا تزویج بطور متقارن به شکاف انجام گیرد. همچنین طول آنتن تغییری نمی‌کند (تغییر عرض در راستای فلش نشان داده‌شده در شکل ۱)

مجموعه مقالات هفدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۲۲ الی ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۸



شکل ۹: بهره‌ی آنتن در باند پایینی و بالایی

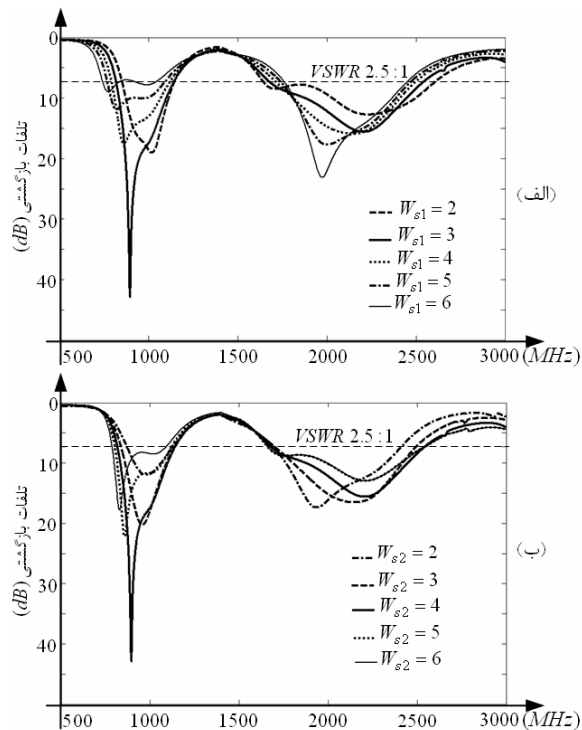
سیار از اهمیت زیادی برخوردار نیست و آنچه اهمیت بیشتری دارد توان کل است [۱] که شکل سه‌بعدی آن در باندهای مختلف در شکل ۱۰ رسم شده است (پترن سه‌بعدی باندهای GSM850/900 مشابه هم‌دیگر است).

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک آنتن تک‌قطبی شکاف‌دار با دو شکاف انتها باز و تغذیه‌ی خط ریزنواری با دو زائده‌ی T شکل ارائه و روند طراحی آن تشریح شده‌است. آنتن پیشنهادی توانایی پوشش باندهای GSM850/900/DCS/PCS/UMTS/WLAN را داراست و همچنین عملکرد تشعشی بسیار خوبی دارد.

مراجع

- [1] M. Ali and G. Hayes, "Design of a multiband internal antenna for third generation mobile phone handsets" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 51, No. 7, pp. 1452-1460, 2003.
- [2] K.L. Wong, *Planar antennas for wireless communications*, John Wiley, New York, 2003.
- [3] K.L. Wong and H. Huang, "Compact multiband PIFA with a coupling feed for internal mobile phone antenna" *Microwave Opt Technol Lett*, Vol. 50, No. 10, pp. 2487-2491, 2008.
- [4] X. Jing and Z. Du, "A compact multiband planar antenna for mobile handsets" *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol. 5, pp. 343-345, 2006.
- [5] C. Lin and K.L. Wong, "Internal multiband loop antenna for GSM/DCS/PCS/UMTS operation in the small-size mobile device" *Microwave Opt Technol Lett*, Vol. 50, No. 5, pp. 1279-1285, 2008.
- [6] K.L. Wong and Y. Chi, "Internal multiband printed folded slot antenna for mobile phone application" *Microwave Opt Technol Lett*, Vol. 49, No. 8, pp. 1833-1837, 2007.
- [7] S. Sharma and L. Shafai, "Investigation of wideband microstrip slot antenna" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 52, No. 3, pp. 865-872, 2004.
- [8] S. Latif and L. Shafai, "Bandwidth enhancement and size reduction of microstrip slot antenna" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 53, No. 3, pp. 994-1002, 2005.
- [9] A. Zhao and J. Rahola, "Quarter-wavelength wideband slot antenna for 3-5 GHz mobile applications" *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol. 4, pp. 421-424, 2005.
- [10] C. Lin and K.L. Wong, "Printed monopole slot antenna for internal multiband mobile phone antenna" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 55, No. 12, pp. 3690-3697, 2007.



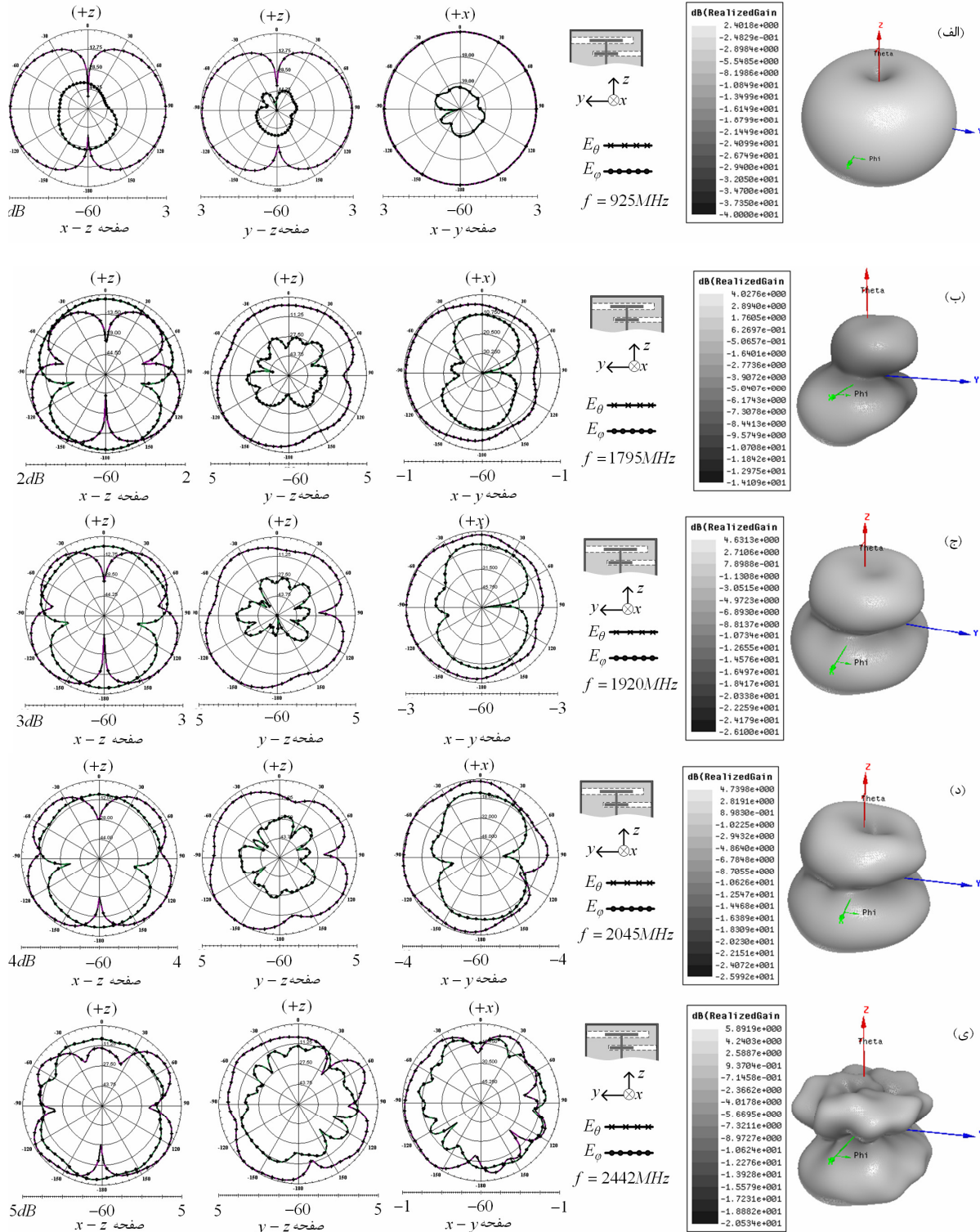
شکل ۸: نمودار تلفات بازگشتی آنتن به‌ازاء عرض‌های مختلف شکاف: (الف) بالایی؛ (ب) پایینی. (بقیه پارامترها دارای همان مقادیر شکل ۱ هستند)

همچنین بهره‌ی آنتن در باندهای مختلف در شکل ۹ و نتایج شبیه‌سازی پترن تشعشی آنتن در باندهای مختلف در شکل ۱۰ نشان داده شده‌است. بدلیل قرارگیری خط تغذیه در وسط ساختار آنتن، پترن‌های تشعشی بصورت متقارن می‌باشند. پترن آنتن در باندهای GSM850/900 همانند یک آنتن تک‌قطبی است، که مشابه پترن سایر ساختارهای آنتنی متداول برای این باند می‌باشد [۲]. همچنین در باند بالایی تشعشع آنتن در محدوده‌ی باند، بصورت پایدار است که این نیز یک مزیت در کاربردهای عملی به حساب می‌آید [۱۲]. شایان ذکر است که همه‌جهته بودن پترن و نداشتن null در صفحه‌ی سمت، یک مزیت در کاربردهای عملی محسوب می‌شود [۱۳]. شدیدتر بودن تشعشع در راستای y - نیز بدلیل قرارگیری شکاف کوچکتر (تشعشع‌کننده‌ی اصلی در باند بالایی) در این سمت آنتن است. پترن آنتن در باند بالایی نیز مشابه پترن آنتن‌های گوشی تلفن همراه متداول برای کار در باند DCS می‌باشد [۲]. پایدار بودن پترن تشعشی در باند بالایی با توجه به توزیع جریان سطحی مشابه در روی زمین و در مجاورت شکافها (شکل ۵) قابل پیش‌بینی نیز بود. وجود null های بیشتر در پترن در مقایسه با باند پایینی، بدلیل وجود null های جریان سطحی روی زمین می‌باشد (شکل ۵). بطور کلی مساله‌ی خلوص قطبش در کاربردهای

[13] W. Li and K.L. Wong, "Six-band internal antenna for small-size mobile phone" *Microwave Opt Technol Lett*, Vol. 50, No. 9, pp. 2242-2247, 2008.

[11] N. Behdad and K. Sarabandi, "A wide-band slot antenna design employing a fictitious short circuit concept" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 53, No. 1, pp. 475-482, 2005.

[12] C. Hsien and K.L. Wong, "Hexa-band internal printed slot antenna for mobile phone application" *Microwave Opt Technol Lett*, Vol. 50, No. 1, pp. 35-38, 2008.



شکل ۱: پترن آنتن و شکل سه‌بعدی بهره‌ی کل آنتن در (الف) GSM900 (باند GSM850 نیز پترنی مشابه دارد)؛ (ب) DCS؛ (ج) PCS؛ (د) UMTS؛ (هـ) WLAN

مجموعه مقالات هفدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۲۲ الی ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۸

جلد پنجم، مخابرات - میدان