

Summer 2024, 5 (2), 65-69
DOR:

Received: 4 Apr 2024
Accepted: 20 May 2024

مقاله پژوهشی

Inductive Window Band-Pass Filter using Integrated Waveguide Substrate Technology for WLAN Applications

Mahdi Jalali¹, Reza Khajeh Mohammadlou²

1. Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Naghadeh Branch, Islamic Azad University, Naghadeh, Iran, *Corresponding Author, Mahdi.jalali@iau.ac.ir
2. Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Miandoab Branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran. re.khajehmohammadlou@iau.ac.ir

Abstract

In this article, a 5.5 GHz inductive window filter based on SIW waveguide structure on FR4 substrate is introduced for use in the WLAN band. This filter, together with the transition step microstrip line for connecting the waveguide to the 50-ohm microstrip line, has a return loss (S₁₁) of less than -10 dB, a bandwidth of 700 MHz, and a low transmission loss (S₂₁), which is 98% of the WLAN application band. covers The parameters of the filter are obtained by using the induction window by modeling in the form of a T network and the K inverse transformation method. The induction window intermediate filter has been analyzed using HFSS software, and the return loss of 25 dB and suitable bandwidth have been obtained. The filter proposed in this article is light in weight and volume, and the cost of its construction is very low and can be implemented and integrated into many communication and microwave systems.

Introduction: Filters are widely used in modern telecommunication systems and satellites. The general requirements for these filters are low loss, high power transmission, small size, and high trace bandwidth with low implementation cost. Compared to flat transmission lines, rectangular waveguides have low loss and high-quality factors. Despite this high cost and the difficulty of using them in plate circuits prevent their use in low-cost and high-size users. Recently, a new concept of integrated waveguide substrate (SIW) has been proposed. Many telecommunications devices such as antennas, power dividers, filters, and separators have been reported based on the integrated waveguide technology. This technology is a suitable choice for the design of microwave and millimeter wave filters, which provide a low profile, the ability to be implemented on cheap printed circuit boards, and low weight with good performance.

Method: A fourth-order filter with a bandwidth of about 700 MHz at a central frequency of 5.5 GHz is designed in this section. The usual method for calculating the length and width of each induction window cavity is as follows: 1- Obtaining the dimensions of conventional rectangular waveguide and SIW waveguide 2- Modeling each induction window cavity as a T network using Marcuvitz theory to calculate the reactance and susceptance of the T network 3- Convert T network to K inverter

Results: A four-order SIW induction window filter with a transition line at a center frequency of 5.5 GHz was designed and demonstrated. The designed filter has a return loss and an adjustable loss in the WLAN application band. And it is easily integrated with microstrip circuits. The filter in the WLAN band has a smooth transmission coefficient with -8 dB loss.

Discussion: It can be seen from the figure that the return loss of the filter in the WLAN band is in the range of -10 to -28 dB and the transmission coefficient in 80% of the WLAN band has a smooth response and in the rest with an acceptable transmission coefficient.

Keywords: Band-pass filter, transition line, return loss, induction window, waveguide complex substrate.

فیلتر میان‌گذر پنجره القایی با استفاده از تکنولوژی زیرلایه مجتمع موجبری برای کاربردهای WLAN

دوره پنجم، تابستان ۱۴۰۳
شماره دوم، صص: ۶۵-۶۹

تاریخ دریافت: ۱۶/۰۱/۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۲۱/۰۲/۱۴۰۳

مهدی جلالی^{۱*}، رضا خواجه محمدلو^۲

۱- استادیار، گروه برق، واحد نقدة، دانشگاه آزاد اسلامی، نقدة، ایران. (نویسنده مسئول)

Mahdi.jalali@iau.ac.ir

۲- استادیار، گروه برق، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران.

re.khajehtmohammadlou@iau.ac.ir

چکیده: در این مقاله، یک فیلتر میان‌گذر پنجره القایی ۵/۵ گیگاهرتز بر مبنای ساختار موجبری SIW بر روی زیرلایه FR4 برای کاربرد در باند WLAN معرفی شده است. این فیلتر همراه با خط میکرواستریپ پله‌ای گذار برای اتصال موجبر به خط میکرواستریپ ۵۰ اهم دارای افت برگشتی (S11) کمتر از ۱۰- دسی‌بل دارای پهنای باند ۷۰۰ مگاهرتز و افت انتقال (S21) پایین است که ۹۸ درصد باند کاربردی WLAN را پوشش می‌دهد. پارامترهای فیلتر با استفاده از پنجره القایی با مدل کردن به صورت شبکه T و روش تبدیل معکوس K حاصل می‌شوند. فیلتر میان‌گذر پنجره القایی با استفاده از نرم افزار HFSS مورد تحلیل قرار گرفته که افت برگشتی ۲۵ دسی‌بل و پهنای باندی مناسب به دست آمده است. فیلتر پیشنهادی در این مقاله دارای وزن کم، حجم و هزینه ساخت آن بسیار کم است و در بسیاری از سیستم‌های ارتباطی و مایکروویوی قابل پیاده‌سازی و مجتمع‌سازی هست.

واژه‌های کلیدی: فیلتر میان‌گذر، خط انتقال گذار، افت برگشتی، پنجره القایی، زیرلایه مجتمع موجبری.

۱. مقدمه

فیلترها به طور گسترده در سیستم‌های مخابراتی مدرن و ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. موارد لازم عمومی برای این فیلترها، افت کم، انتقال توان بالا، اندازه کوچک و باند فیلتری بالا با هزینه پیاپی پایینی است [۱-۲]. موجبرهای مستطیلی در مقایسه با خطوط انتقال صفحه‌ای دارای افت پایین و ضریب کیفیت بالا هستند. با وجود این هزینه بالا و مشکل استفاده از آن‌ها در مدارهای صفحه‌ای مانع استفاده از آن‌ها در کاربردهای کم هزینه و اندازه بالا می‌شود. در سال‌های اخیر، مفهوم جدید زیرلایه مجتمع موجبری (SIW) پیشنهاد شده است [۳]. بسیاری از ادوات مخابراتی نظیر آنتن‌ها، تقسیم‌کننده‌های توان، فیلترها و جداکننده‌ها بر مبنای تکنولوژی زیرلایه مجتمع موجبری گزارش شده است [۴-۶]. این تکنولوژی یک انتخاب مناسب برای طراحی فیلترهای مایکروویو و موج میلیمتری است که پروفایل پایین، قابلیت پیاده‌سازی بر روی بردهای مدار چاپی ارزان و وزن پایین با عملکرد مناسب را فراهم می‌نماید [۷-۹].

ساختارهای SIW با جایگزینی دیواره‌های دوطرفه موجبر مستطیلی معمولی با آرایه متناوب از میله‌هایی که از طریق سوراخ کردن زیرلایه و صفحات زمین که به‌آسانی با سایر المان‌های سیستم بر روی یک زیرلایه تنها بدون نیاز به تنظیم زیاد متصل می‌شوند، تحقق می‌یابد. این سیستم‌ها می‌توانند در بسته‌هایی با نام SIP با اندازه کوچک و هزینه پایین کوچک‌سازی شوند [۱۰].

در این مقاله یک فیلتر با روش پنجره القایی برای عملکرد در فرکانس ۵/۵ گیگاهرتز طراحی و ارائه شده است. در ابتدا نحوه انتشار میدان‌های الکتریکی در موجبر مستطیلی معمولی و موجبر با استفاده از تکنولوژی SIW برای عملکرد در فرکانس ذکر شده، بررسی می‌شود. سپس یک حالت گذار پله‌ای برای اتصال ساختار موجبری SIW به مدارات میکرواستریپ پیشنهاد شده است. در انتها پارامترهای فیلتر با استفاده از پنجره القایی با مدل کردن به صورت شبکه T و روش تبدیل معکوس K حاصل می‌گردد. فیلتر با استفاده از نرم افزار HFSS مورد تحلیل قرار گرفته است که افت برگشتی ۲۵ دسی‌بل و پهنای باندی مناسب به دست آمده است.

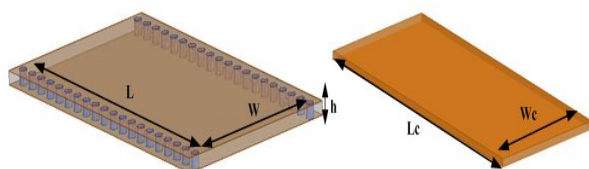
۲. طراحی و تحلیل موجبر SIW

یک زیرلایه مجتمع موجبری از آرایه‌ای از میله‌های فلزی در زیرلایه بین صفحات زمین بالا و پایین و جایگزینی دیواره‌های جانبی موجبر با آن‌ها ساخته می‌شود. در شکل (۱) شکل دو موجبر مستطیلی متداول و موجبر با استفاده از تکنولوژی SIW نشان داده شده است. ویژگی‌های انتشاری در موجبر SIW و موجبر مستطیلی متداول تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشند که توزیع میدان الکترومغناطیسی در آن‌ها به صورت TE₁₀ است [۱۱]. بنابراین ابعاد اولیه حفره رزونانسی SIW با استفاده از فرمول‌های فرکانس تشدید موجبر مستطیلی معمولی با ابعاد WG و

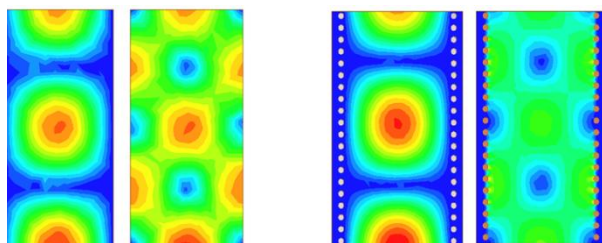
LG به دست می‌آید. سپس ابعاد موجبر SIW (W و L) با روابط زیر تخمین زده می‌شود [۱۲]:

$$L = L_G - \frac{D^2}{0.95P} \quad (۱)$$

$$W = W_G - \frac{D^2}{0.95P} \quad (۲)$$



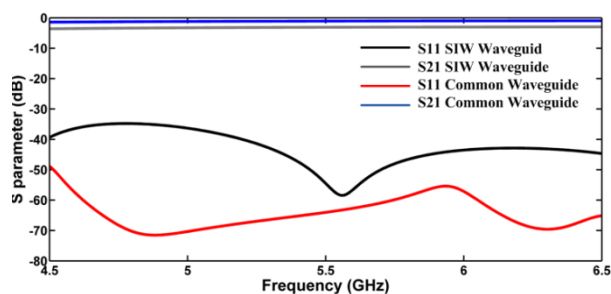
شکل ۱. پیکربندی موجبر (الف) موجبر مستطیلی متداول (ب) موجبر SIW



(ب)

(الف)

شکل ۲. توزیع میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در (الف) موجبر متداول (ب) موجبر SIW



شکل ۳. منحنی پارامترهای S موجبر متداول و SIW

1.2. طراحی خط انتقال میکرواستریپ گذار

یکی از اساسی‌ترین موضوعات در ساختارهای SIW، چگونگی یکپارچه‌سازی این ساختارها با مدارهای میکرواستریپ است. در شکل (۴) ابعاد خط انتقال میکرواستریپ گذار پله‌ای برای تطبیق با خط میکرواستریپ ۵۰ اهم نشان داده شده است. به منظور به دست آوردن پاسخ پهن باند کم‌اتلاف، این خط انتقال گذار به گونه‌ای طراحی شده است که همزمان هر دو تطبیق امپدانس و تطبیق میدان را فراهم نماید. بنابراین ابعاد بهینه این خط انتقال گذار به صورت زیر است:

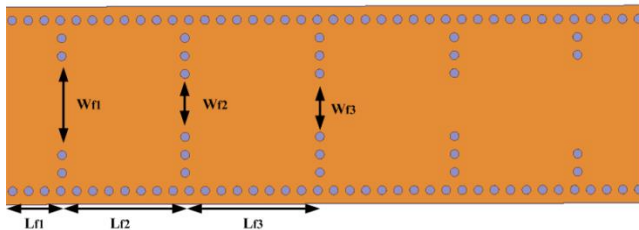
$$W_1 = 1.9 \text{ mm}, W_2 = 3.8 \text{ mm}, W_3 = 5.7 \text{ mm}, L_1 = L_2 = L_3 = 8 \text{ mm}, W_F = 1.4 \text{ mm}, L_t = 8 \text{ mm}.$$

$$K = Z_0 \left| \tan \frac{\theta}{2} + \tan^{-1} \frac{X_a}{Z_0} \right| \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2X_b}{Z_0} + \frac{X_a}{Z_0} \right) - \tan^{-1} \frac{X_a}{Z_0} \quad (4)$$

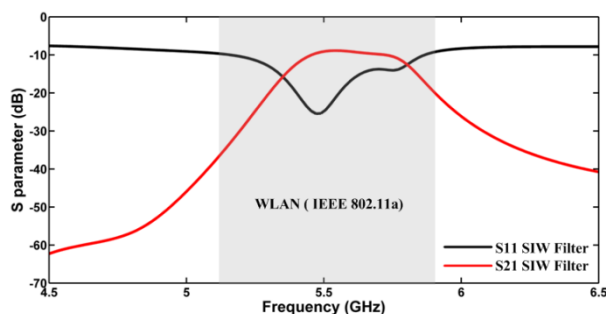
با استفاده از روش فوق، فیلتر با استفاده از تکنیک‌های سنتز پنجره‌های القایی در موجبر مستطیلی طراحی می‌شود و سرانجام طول و پهنای هریک از حفره‌های SIW با این روش به دست آمده و کل ساختار با تحلیل تمام موج در نرم افزار HFSS شبیه سازی می‌شود. ابعاد بهینه فیلتر پنجره القایی SIW به صورت زیر است:

$W_{f1} = 11 \text{ mm}$, $L_{f1} = 6 \text{ mm}$, $W_{f2} = 9.5 \text{ mm}$, $L_{f2} = 13 \text{ mm}$, $W_{f3} = 14.5 \text{ mm}$, $L_{f3} = 9 \text{ mm}$.



شکل ۷: پیکربندی فیلتر SIW با پنجره القایی

در شکل (۸) افت برگشتی و ضریب انتقال فیلتر نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که افت برگشتی فیلتر در باند WLAN در محدوده ۱۰- تا ۲۸- دسی بل قرار دارد و ضریب انتقال در ۸۰ درصد باند WLAN دارای پاسخ صاف و در بقیه با ضریب انتقال قابل قبولی است.

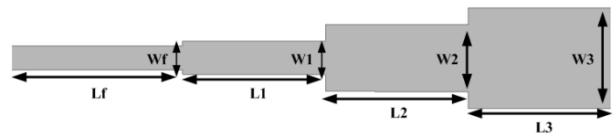


شکل ۸: افت برگشتی (S_{11}) و افت انتقال (S_{21}) فیلتر SIW با پنجره القایی

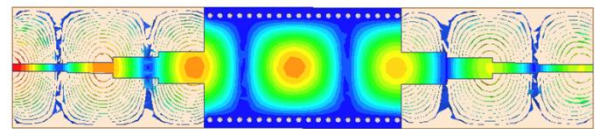
۳. نتیجه

یک فیلتر مرتبه چهار پنجره القایی SIW با خط انتقال گذار در فرکانس مرکزی ۵/۵ گیگاهرتز طراحی و نمایش داده شد. فیلتر طراحی شده دارای افت برگشتی و افت قابل قبولی در باند کاربردی WLAN است و به راحتی با مدارات میکرواستریپ مجتمع سازی می‌شود. فیلتر در باند WLAN دارای ضریب انتقال صاف با افت ۸- دسی بل است.

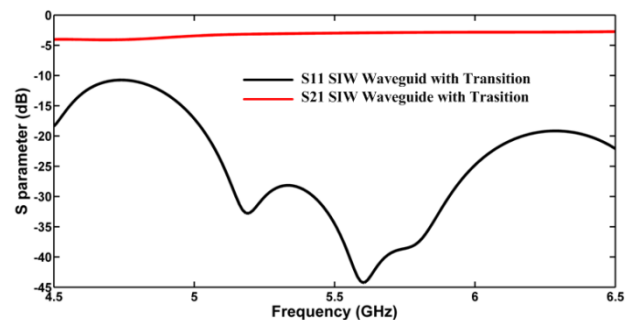
در شکل (۵) توزیع میدان الکتریکی موجبر SIW با خط انتقال گذار آمده است. از این شکل کاملاً مشخص است که تطبیق میدان الکتریکی مناسبی بین ورودی و خروجی برقرار است. همچنین در شکل (۶) پارامترهای S این ساختار نمایش داده شده است که دارای مشخصه انتشار و افت برگشتی مناسبی در محدوده فرکانسی ۴/۵ تا ۶/۵ گیگاهرتز می‌باشد.



شکل ۴: پیکربندی خط انتقال گذار میکرواستریپ



شکل ۵: توزیع میدان الکتریکی ساختار موجبر SIW با خط انتقال گذار



شکل ۶: منحنی پارامترهای S موجبر SIW با خط انتقال گذار

۲.۲. تحلیل و طراحی فیلتر SIW

فیلتر با فرکانس مرکزی ۵/۵ گیگاهرتز و با پهنای باند قابل قبول، در کاربردهای آینده WLAN مورد نیاز است. ساختارهای SIW به دلیل ویژگی‌های ذکر شده، یک از بهترین گزینه‌ها برای طراحی فیلترها می‌باشند. بنابراین یک فیلتر با مرتبه چهار با پهنای باند حدود ۷۰۰ مگاهرتز در فرکانس مرکزی ۵/۵ گیگاهرتز در این بخش طراحی شده است. فیلتر همراه با حفره پنجره القایی در شکل (۷) آمده است.

روش معمول برای محاسبه طول و پهنای هریک از حفره‌های پنجره القایی به شرح زیر است:

- ۱- استفاده از روابط (۱) و (۲) برای به دست آوردن ابعاد موجبر مستطیلی متداول و موجبر SIW
- ۲- مدل کردن هر حفره پنجره القایی به صورت شبکه T با استفاده از تئوری Marcuvitz برای محاسبه راکتانس و سوسپتانس شبکه T
- ۳- تبدیل شبکه T به معکوس کننده K با استفاده از روابط زیر [۱۳]:

integrated rectangular waveguide", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 12, pp. 333-335, 2002

- [12] Y. Cassivi, L. Perregrini, K. Wu, and G. Conciauro, "Low-Cost and High-Q Millimeter-Wave Resonator Using Substrate Integrated Waveguide Technique", Proceeding the Europ. Microw. Conf., pp. 1-4, 2002
- [13] R. G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, "Microwave filters, in Impedance-Matching Networks and Coupling Structures", McGraw-Hill, New York, 1964

References

- [1] F. Xu, X. Jiang and Ke Wu, "Efficient and accurate design of substrate-integrated waveguide circuits synthesised with metallic via-slot arrays", IET Microw. Antennas Propag. Vol. 2, 2008
- [2] Reza Khajeh Mohammadlou, Tohid Aribi, Tohid Sedghi & Bal S. Virdee (2023) A multi-beam circularly polarised Fabry-Perot resonator antenna array using SIW for X-Band applications, International Journal of Electronics, DOI: [10.1080/00207217.2023.2278436](https://doi.org/10.1080/00207217.2023.2278436)
- [3] W. Che, L. Geng, K. Deng, Y. L. Chow, "Analysis and Experiments of Compact Folded Substrate-Integrated Waveguide", IEEE Trans. Microw. Theory, Vol. 56, pp. 88 - 93, 2008
- [4] Nwajana AO, Obi ER. A Review on SIW and Its Applications to Microwave Components. *Electronics*. 2022; 11(7):1160. <https://doi.org/10.3390/electronics11071160>
- [5] W. Hong, B. Liu, G. Q. Luo, Q. H. Lai, J. F. Xu, Z. C. Hao, F. F. He, X. X. Yin, "Integrated Microwave and Millimeter Wave Antennas Based on SIW and HMSIW Technology", IEEE International Workshop Antenna Tech., Cambridge, pp. 69-72 UK, 2007
- [6] Luo, G.Q. Hong, W. ; Tang, H.J. ; Chen, J.X. Wu, K., "Dualband frequency-selective surfaces using substrate-integrated waveguide technology", IET Micro. Ant. and Propag., IET, Vol. 1, pp. 408 - 413, 2007
- [7] A. Suntives, R. Abhari, "Transition Structures for 3-D Integration of Substrate Integrated Waveguide Interconnects", IEEE Trans. Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 17, pp. 697-699, 2007
- [8] Z. C. Hao, W. Hong, X. P. Chen, J. X. Chen, Ke Wu, T. J. Cui, "Multilayered substrate integrated waveguide (MSIW) elliptic filter", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 15, pp. 95-97, 2005
- [9] Yu Jian Cheng, Wei Hong, Ke Wu, Zhen Qi Kuai, Chen Yu, Ji Xin Chen, Zhou, J.Y., Hong Jun Tang, "Substrate Integrated Waveguide (SIW) Rotman Lens and Its Ka-Band Multibeam Array Antenna Applications" IEEE Trans. Ant. and propag, Vol. 56, pp. 2504 - 2513, 2008
- [10] L. Yan, W. Hong, Ke Wu and T.J. Cui, "Investigations on the propagation characteristics of the substrate integrated waveguide based on the method of lines", IEE Proceedings in Microw. Antennas Propag, Vol. 152, pp. 35-42, 2005
- [11] Y. Cassivi, L. Perregrini, P. Arcioni, M. Bressan, Ke Wu, G. Onciauro, "Dispersion characteristics of substrate

¹ Substrate-Integrated Waveguide

پی نوشت