طراحی و پیاده‌سازی شیفترفاز پیوسته MMIC در باند C

مهدی اصلی نژاد [۱]، علی صفری [۲]،مریم السادات اخوان حجازی [۳] حسین معین پور [۴]

دانشکده فنی و حرفه ای سما اسلامشهر: m.aslinejad@tvu.ac.ir
دانشکده فنی و حرفه ای سما اسلامشهر: Safari_ee@hotmail.com
دانشگاه کاشان:akhavanhejazi@gmail.com
معاونت فاوا نیروی هوایی ارتش: h_moinpoor@yahoo.com

چکیده:

به کارگیری میکروکنترلردر طراحی شیفترهای فاز با افزایش انعطاف‌پذیری در قسمت کنترلی و نیز افزایش قابلیت به کارگیری آن‌ها در سیستم آنتن‌های آرایه‌ای همراه است. در این مقاله یک شیفترفاز پیوسته 0 تا 180 درجه [۱]در باند فرکانسی ۵-۳گیگا هرتز در تکنولوژی مدارات مجتمع یکپارچه مایکروویو(MMIC) طراحی می‌نماییم. توپولوژی مدار، و پیاده سازی در تکنولوژی ED02AH ارائه شده است. نتایج حاصل نشان دهنده تغییرات فاز وسیع و تضعیف کم و کنترل پذیری بالا نسبت به کارهای گذشته است.

واژه های کلیدی: شیفترفاز، مدارات مجتمع یکپارچه فازی

۱– مقدمه

شیفترهای فاز از جمله قسمت‌های مهم در آنتن‌های آرایه فازی است. یکی از ویژگی های اولیه شیفت دهنده های فاز ماهیت کنترل فاز سیگنال می باشد این ویژگی ها یک تقسیم بندی نوعی در شیفت دهنده های فاز ایجاد می کند. شیفت دهنده های فاز پیوسته یک ورودی کنترل برای فاز سیگنال دارند و دقت کنترل آن ها ثابت بوده و قابل تنظیم نمی باشد . هر کدام از شیفت دهنده‌های پیوسته که برای منظور خاصی طراحی می‌شوند ، می توانند ساده و یا پیشرفته باشند. اکثر شیفت دهنده های فاز پیوسته بر پایه خازن متغییر با ولتاژ یا دیودهای ورکتور[۲] تکیه دارند . ورکتورها می توانند به

---

[۱]– مدرس،دانشکده فنی و حرفه ای سما،دانشگاه ازاد اسلامی،واحد اسلامشهر،اسلامشهر،ایران

[۲]– مربی، عضو هیات علمی دانشکده فنی و حرفه ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، اسلامشهر ، ایران

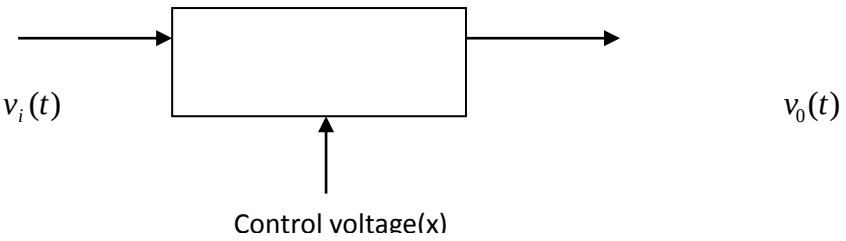
[۳]– استادیار،دانشکده مهندسی برق دانشگاه کاشان

۴-مربی،معاونت فاوای نهاجا

صورت الکترومکانیکی با دیودها و یا با فیلم های فرو الکتریک پیاده سازی شوند . همچنین برای پیاده سازی خازن‌های کنترل شونده با ولتاژ می توان ازترانزیستور های HEMT و GaAs در بایاس معکوس استفاده کرد . استفاده از یک پارامتر کنترل و یا ورودی کنترل برای تغییرات خازن و شیفت‌فاز، باعث افزایش دقت در کنترل می شود و می توان شیفت دهنده های فاز دقیقی را طراحی کرد . البته در تمامی طراحی های آنالوگ و پیوسته این را باید در نظر گرفت که در حالت کلی اینگونه سیستم ها به شرایط محیطی مانند دما و تغییرات در مقدار تغذیه بسیار حساس هستند .

کنترل کننده های فاز پیوسته برای خطی سازی در تقویت کننده های قدرت بسیار مناسب هستند . در سیستم‌تقویت‌کننده‌های قدرت شیفت دهنده های فاز به صورت فیدبک استفاده می شوند ، مدارهای آشکارسازی خطا در این تقویت کننده سیگنال خطا را آشکار کرده و آنرا به ورودی شیفت دهنده فاز می‌دهد تا اعوجاج کل سیستم توسط این شیفت دهنده ها کاهش یابد .

بلوک دیاگرام یک شیفت دهنده فاز پیوسته می تواند به صورت شکل ۱ باشد. x در تابع E(x) همان متغییر کنترل ولتاژ (Voltage control) می باشد.



شکل۱: دیاگرام کلی شیفت دهنده فاز پیوسته

۲– شیفتر فاز یکپارچه

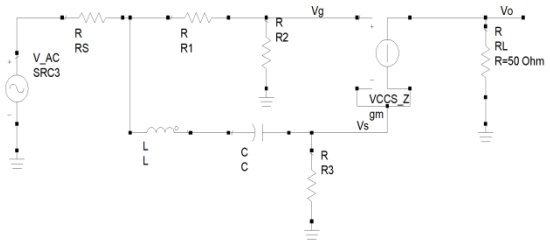
شیفت دهنده های فاز پین دیود، GaAs FET و دیود ورکتور همگی براساس مدارهای مجتمع مایکروویو هایبرید بودند (HMIC) . در مدارهایHMIC همهٔ اجزا غیر فعال[۳و۴] بر روی یک لایه‌دی‌الکتریک با تلفات کم نشسته و قطعات نیمه هادی مجزا بر روی عناصر غیر فعال لحیم می‌شوند . در تکنولوژی مدارهای مجتمع مایکروویو یکپارچه (MMIC) کل مدار شامل اجزاء غیر فعال، قطعات فعال اتصالات داخلی، بر روی یک زیر لایه نیمه‌عایق یا شبه عایق پیاده می شدند دلایلی که MMIC را نسبت به HMIC پیشرفته می سازد عبارتنداز حجم کم مدار ،وزن کم ،قابلیت اعتماد بالا ،قابلیت ارتقاء و ساخت دوباره بوسیله تغییر در اتصالات و بالاخره توانایی این تکنولوژی در ترکیب کردن عملکرد های متنوع بر روی یک چیپ می باشد. در این تکنولوژی با حذف اتصالات سیمی و کار گذاشتن قطعات فعال بر روی زیر لایه نیمه هادی، نویزها کاهش یافته و باعث بالا رفتن عملکرد مدار و پهنای باند آن می شود علاوه بر این ، ظرفیت عملکرد چندگانه

بر روی یک چیپ واحد، امکان ایجاد هم فرستنده و هم گیرنده به همراه شیفت‌دهنده فاز را بر روی یک چیپ امکان پذیر سازد . البته اگر چه مزایای فوق در مدارهای MMIC وجود دارد اما این تکنولوژی قابلیت انعطاف و امکان عیب یابی مدار را نسبت به حالت هایبرید تنزل می‌دهد . این مشکل نیز می تواند بوسیله دسترسی به تکنولوژیCADتا حدودی مرتفع گردد[۵].

بسیاری از شیفت‌دهنده‌های فاز یکپارچه بر اساس تکنولوژی GaAs بوده که ترانزیستورهای اثر میدان فلز نیمه هادی (MESFET) به عنوان عنصر کنترل هم برای شیفت دهنده های دیجیتال و هم برای شیفت دهنده های آنالوگ می‌باشد . سایر عناصر کنترل نظیر دیود شاتکی و پین دیود نیز در این تکنولوژی بصورت محدود بکار می رود . عنصر فعال دیگری که هم اکنون در این تکنولوژی بکار رفته و بر اساس تکنولوژی GaAsبوده ترانزیستور با ضریب تحرّک الکترون بالا(HEMT) می‌باشد.

۳– توپولوژی مدار شیفتر فاز طراحی شده

توپولوژی که برای این منظور معرفی می شود بصورت شکل ۲ است که تحت شرایطی به یک فیلتر تمام گذر با بهره پائین تبدیل می شود.



شکل ۲: مدار معادل سیگنال کوچک

با توجه به مدل سیگنال کوچک مدار داریم:

$$s_{21} = \frac{2h_{12}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1) - h_{12}.h_{21}}$$

$$\begin{cases} S_{۲۱} = K.\dfrac{S^{۲} - \dfrac{R_{۱}R_{۲}}{R_{۲}L}S + \dfrac{۱}{LC}}{S^{۲} + \dfrac{R_{۱}+R_{۲}+R_{۳}+g_m R_{۱}R_{۳}}{(۱+g_m R_{۳}).L}S + \dfrac{۱}{LC}} \\ K = \dfrac{۲g^{۲}{}_m\ R_{۲}R_L}{۱+g_m R_{۳}} \qquad \text{بهره} \quad \text{مدار} \end{cases}$$

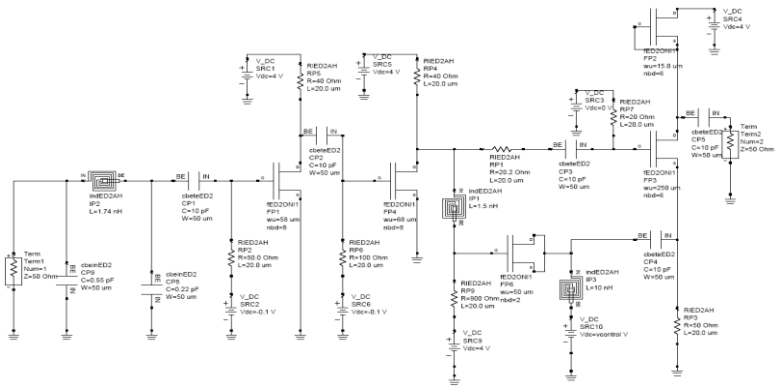
در این رابطه شرط تمام گذر بودن تابع این است که ضرایب S در صورت و مخرج برابر باشند.

$$\frac{R_1 R_3}{R_2} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + g_m R_1 R_3}{1 + g_m R_3}$$

$$\frac{\omega_0}{Q} = \frac{R_1 R_3}{R_2 \,.\, L} \quad \& \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

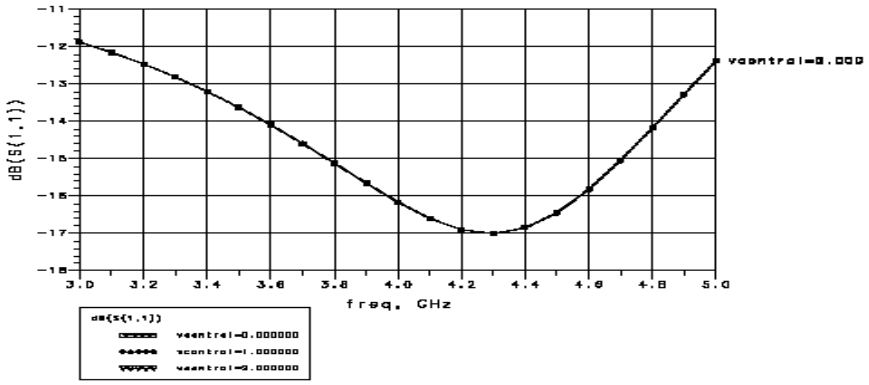
شبیه سازی مدار شیفت دهنده فاز

در مدار شکل ۳ شماتیک کامل مدار شیفت دهنده فازی رسم شده است که با استفاده از نرم افزار ADS می توان به پارامترهای S بهینه دست یافت.



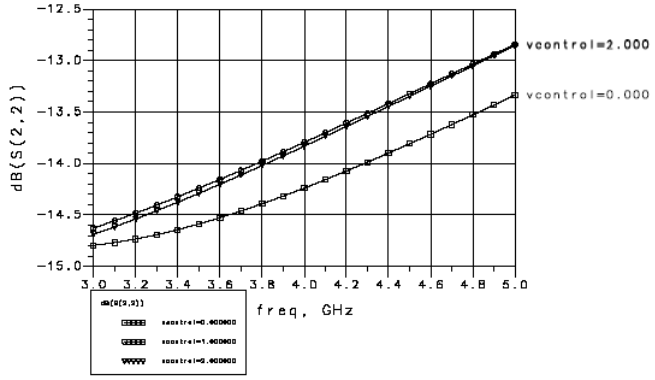
شکل ۳:شماتیک کامل مدار شیفت دهنده فاز

شکل ۴ اندازه پارامتر $S11$ در باند فرکانس 3-5GHz به ازای ولتاژهای کنترل از صفر الی 2V را نمایش می‌دهد.



شکل۴: پارامتر S11 بر حسب فرکانس به ازای ولتاژ های کنترل 0 ،1 و 2 ولت

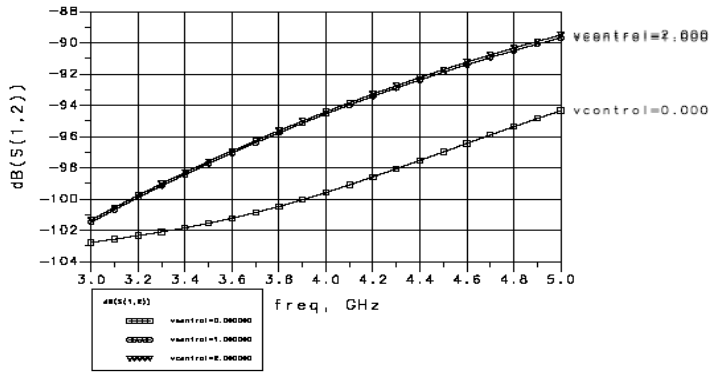
از نتیجه آنالیز S11 مشخص است با تغییر ولتاژ کنترل شرایط تطبیق در ورودی مدار تقریباً ثابت است و به ازای مقادیر مختلف ولتاژ کنترل از 10dB- کمتر می باشد، یعنی تطبیق مطلوبی در ورودی برقرار شده است. در طراحی با خازن متغییر نیز گفته شد، مدار نیازمند تطبیق در خروجی نبوده و با همان مقادیر در آنالیز انجام شده شرایط S22 در شکل ۵ مشخص شده است.



شکل ۵: پارامتر S22 بر حسب فرکانس به ازای ولتاژ های کنترل 0 ،1 و 2 ولت

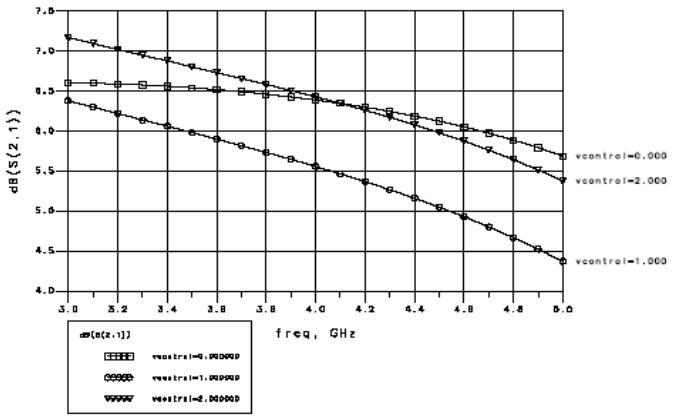
در نتایج به دست آمده مشاهده می شودکه اندازه پارامتر S22 که نشانگر تطبیق در خروجی است در باند فرکانسی مطلوب و به ازای ولتاژ کنترل از 0 تا 2 ولت از 11dB- کمتر می باشد و این نشانگر تطبیق مطلوب در خروجی است.

اما در اینجا نیز جهت اطمینان از یکطرفه بودن مدار پارامتر S12 نیز بررسی شده است که نتایج بررسی در شکل ۶آمده است با توجه به نتیجه به دست اندازه S12 در باند فرکانس مطلوب و به ازای ولتاژ کنترل از 0 تا 2ولت تغییر چندانی نداشته و از 95dB- پایین تر است.



شکل ۶: پارامتر S12 بر حسب فرکانس به ازای ولتاژ های کنترل 0 ،1 و 2 ولت

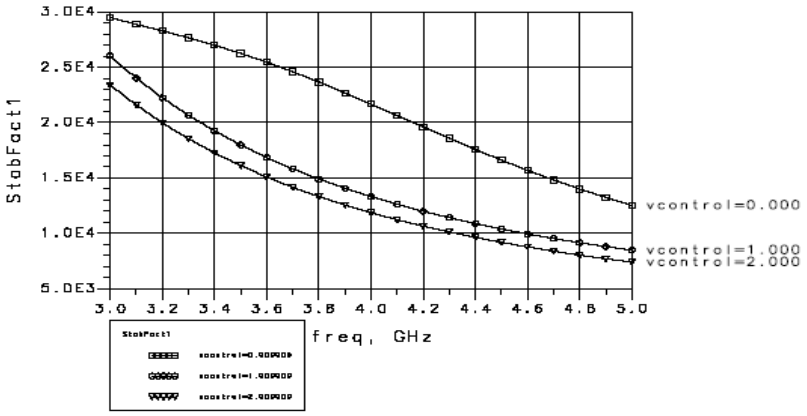
پارامتر مهم دیگری که در طراحی باعث مشکلات بسیاری شده است بهره مدار می باشد که توسط پارامتر S21 بررسی شده و نتایج آن در شکل ۷ آمده است.



شکل ۷: پارامتر S21 بر حسب فرکانس به ازای ولتاژ های کنترل 0، 1 و 2 ولت

از آنالیز مشخص است میزان بهره در باند فرکانس مطلوب، مقدار ارضا کننده ای داشته و به طور متوسط 6dB می باشد و ریپل بهره به ازای ولتاژهای کنترل از0 تا 2 ولت تقریباً 2dB می باشد یعنی شرط تمام گذر بودن حفظ شده است.

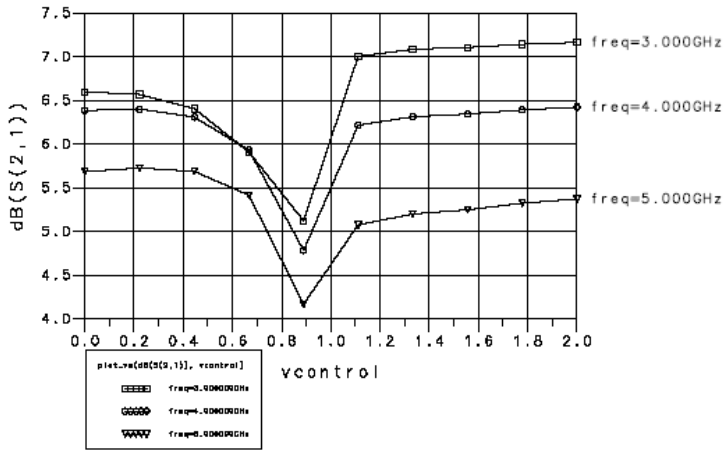
صرفاً داشتن بهره و تطبیق مناسب جهت کاربردهای مایکروویو کافی نبوده و باید از پایداری مدار طراحی شده اطمینان حاصل گردد، که جهت این امر با استفاده از بلوک stabfact آنالیز پایداری[۶و۷] صورت گرفته و نتیجه آن در شکل ۸ آمده است.



شکل ۸: پارامتر پایداری بر حسب فرکانس به ازای ولتاژ های کنترل 0، 1 و 2 ولت

با توجه به آنالیز به دست آمده، میزان پارامتر K در باند فرکانسی مطلوب همواره بزرگتر از یک بوده و این پایداری مدار را تضمین می کند.

جهت اطمینان از اینکه آیا تغییرات ولتاژ کنترل فاز، باعث تغییرات وسیع در بهره می شود یا نه، آنالیز بهره برحسب تغییرات ولتاژ کنترل به ازای فرکانسهای از 3GHz الی 5GHz انجام شده که نتایج آن در شکل ۹ آمده است.



شکل ۹: بهره بر حسب ولتاژ کنترل در باند فرکانسی مطلوب

۵– نتیجه‌گیری

بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد بیشتر پیاده‌سازی شیفترهای فاز مایکرویو با معایبی همراه هستند. اما با استفاده از قطعا با استفاده از سیستم های یکپارچه مایکرویو (MMIC) می‌توان برخی از این معایب را برطرف نمود و می تواند نقطه عطفی در حذف ساید لوبهای فرعی در رادارهای آرایه فازی و در مقوله حفاظت الکترونیکی جنگ الکترونیک به شمار آید. مطابق نتایج به‌دست آمده فوق با جبران غیرخطی بودن مدار خطای فاز کوچکی نتیجه می‌شود. همچنین در این‌حالت می-توان تعدادی شیفترفاز با قابلیت تنظیم همزمان را در یک آنتن آرایه‌ای به کار برد.

۶– مراجع

[1] A Simple Technique For The design of MMIC 90□phase difference network (M.Mahfon
[2] Active baluns in microwave integrated circuit technology (D.Viveiros , Jr, M.A. Luqueze. and D.Consonni)
[3] A new active structure of high frequency wide band differential phase shifters (J.Gonzalez)
[4] A 0.7-3 GHz GaAs QPSK/QAM direct modulator (A. Boveda , F.Ortigoso and J. I. Alonso)
[5] A. Kozyrev, V. Osadchy, A. PavlO\• and L. Sengupta, IEEE Digest, 1355 (2000).
[6] Computer – simulated design , fan active microwave all-pass (network S.E sussman – Fort)and j.Alonso
[7] E. K. Kim, S. E. Moon, S. J. Lee, S. K. Ban, K Y. Kang and W. J. Kim, Ferroelectrics 272,237(2002).
[8] Microware Circuit Design unisng Linear and Nonlinear Techniques (George D.Vendelin , Antony M.Ravio
[9] Microwave and millimeter wave phase shifter (shiban caul , Bharat Bahati)
[10] MMIC Techniques for active phase array antenna (R.K Cupta G.C.Estep)
[11] Mobile P-service satellite system comparison (K.G.Johannsen)
[12] M. J. Lancaster, J. Pc"vell andA. Porch, Supercond. Sci.Techno!. 11, 1323 (1998).
[13] Process H40 . GEC-Marconi Foundry Mater.Technol. Ltd (GaAs IC Foundry Design Manual)
[14]R. Romanofoky, J. D. ,",'aJ:ner and C. H. Mueller, IEEE. Trans. Microwave Theory Tech. 48, 1181 (:;1000).
[15] S. J. Lee, S. E. Moon, M.H. Kwak, H. C. Ryu, Y. T. Kim andK. Y. Kang, Jpn. J.App!. Phys. 43,6750 (2004)
[16] S. E. Moon, H. C. Ryu, M. H. Kwak, Y. T. Kim, S. J .Lee and K. Y. Kang, ETRI J. 27, 677 (2005)
[17] S. E. .Moon, E. K. Kim, S. J. Lee, S. K. Ban, K Y. Kang and W. J. Kim, Ferroelectrics 272,243(2002).
[18] S. S. Gevol'gian, T. Martinsson, P. L. J. Linnerand E .L. Kollberg, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 44, 896(1996)