

X BANT TEK TABANLI MIKRODALGA ENTEGE DEVRE (MMIC) 7 BIT FAZ KAYDIRICI TASARIMI

Erдің ERÇİL¹, Şimşek DEMİR², Mehmet Erim İNAL¹

¹ ASELSAN, Mikrodalga Sistem Teknolojileri Grubu, Ankara

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Müh. Böl., Ankara
ercil@aselsan.com.tr, simsek@eee.metu.edu.tr, inal@aselsan.com.tr

Özet: Bu çalışmada MMIC yapısında X bant 7 bit faz kaydırıcının tasarımı ve performansı sunulmaktadır. Devredeki en anlamlı iki bit için klasik yüksek geçiren/alçak geçiren filtre yapılarından istifade edilmiştir. Bant genişliği gereksinimi az olduğundan en az anlamlı 3 bit için alçak geçiren/alçak geçiren filtre yapısındaki topolojiler kullanılmıştır. Geriye kalan bitler [1], [2] ve [3]te önerilen yapılar ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan faz kaydırıcının araya girme kaybı 7.5 dB, geriye dönüş kayıpları en kötü durumda bir kapıdan -8.2 dB diğer kapıdan -10.3 dB düzeyindedir. Tepe faz hatası bant boyunca ± 3 derece içerisinde. Üretilen yonganın boyutları 3.1 mm x 1.1 mm dolayındadır.

1. Giriş

Faz kaydırıcılar, elektronik taramalı faz dizili antenlerde ana huzmenin istenilen açılal bölgeye yönelmesini sağlayan temel sistem elemanlarıdır. Faz kaydırıcılar, zayıflatıcılarla birlikte kullanıldıklarında anten elemanlarının besleme dağılımını tamamen belirlemede yeterli olmaktadır. Tek tabanlı mikrodalga entegre devre (MMIC) teknolojisi, III-V yarı iletken taban malzeme kullanan bir tümleşik devre üretim yöntemi olarak mikrodalga frekanslarında yaygın kullanılan bir teknolojidir. Diğer bütün tümleşik devre üretimlerinde olduğu gibi, üretim sonrası devre üzerinde değişiklik yapmak mümkün olmadığı için tasarım aşaması önemlidir; maliyet ve performans gibi faktörlere tasarımda özellikle dikkat edilmelidir.

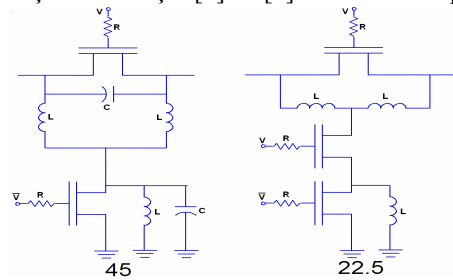
Faz kaydırıcı devreler farklı teknikler kullanılarak analog ve sayısal yapıda gerçekleştirilebilir. İdeal devre elemanlarını kullanan kuramsal tasarım teknikleri literatürde yer almaktadır. Ancak, devre elemanlarının gerçek davranışları gözönüne alındığında, tasarım performansından belirgin sapmalar görülmektedir. Kullanılan gerçekleştirme teknolojisine bağlı olarak devre yapısında değişiklik yapmak gerekebilmektedir.

2. Faz Kaydırıcı Tasarımı

Bu çalışmada, X bantta %10 bant genişliğinde çalışan, MMIC yapısında 7 bitlik bir sayısal faz kaydırıcının tasarımı yer almaktadır. Tasarımda, "depletion mode" pHEMT transistörler ile toplu ve dağılık pasif elemanlardan faydalanılmıştır. 1. ve 2. bitler (180° ve 90°) için alçak geçiren / yüksek geçiren süzgeç yapıları anahtarlanmaktadır. Transistörlerin yeterince yalıtıma sahip olmamalarından ötürü anahtarlanmayan kolun empedans yüklemesi dikkate alınmış, gerek filtre elemanları gerekse anahtarlamada kullanılan transistörlerin geometrileri optimizasyona dâhil edilmiştir.

Anahtar elemanı olarak kullanılan tek kutuplu çift yöllü (SPDT) yapıları tek seri transistörden oluşmaktadır. Klasik yaklaşımda seri-şönt yapı tercih edilmekte iken bu çalışmada tek seri transistor kullanılması sebebi seri-şönt yapının yeterince iyi yalıtıma sahip olmamasıdır. Elbette tek seri transistörün yalıtımı daha kötüdür, ancak seri-şönt yapı ile elde edilen yalıtım tasarımı yeterince kolaylaştırmadığı gibi, kaybı da artırmaktadır. 180° ve 90° bitleri için aşağıdaki alçak geçiren / yüksek geçiren yapılar kullanılmıştır. Seri hatta bulunan iki transistörün kaybı nedeni ile bitlerin kaybı 2.5 dB düzeyindedir.

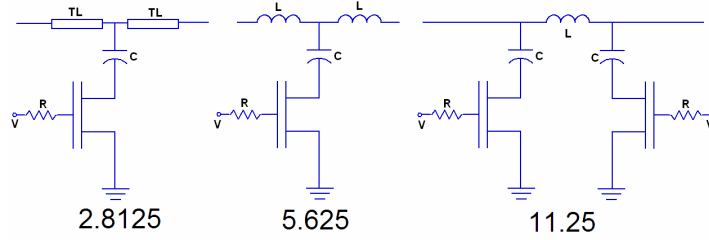
22.5° ve 45° bitleri için ise, yüksek kayıptan ve eleman değerlerinin çok büyümesinden dolayı filtre anahtarlama yoluna gidilmemiş, bunun yerine transistörlerin açık veya kapalı durumda gösterdikleri direnç ve kapasiteler filtre elemanları olarak dikkate alınmıştır. 22.5° için [1] ve [2]'de önerilen topoloji kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. 45° ve 22.5° bitleri için kullanılan faz kaydırıcı topolojileri.

45° biti için [1] ve [2]'deki topoloji ile yeterli genlik dengesi elde edilemediğinden farklı yapılar araştırılmış ve [3]'teki yapı uygun bulunmuştur. Bu yapıda, altta yer alan transistör kapasite bobin üçlüsü transistör kapatıldığında rezonans ederek açık devre olmaktadır ve RF işareti üstteki açık transistör üzerinden geçirmektedir.

11.25°, 5.625°, 2.8125° bitleri için alçak geçiren / yüksek geçiren süzgeç yapılarında gereken pasif eleman değerleri gerçekleştirilebilir büyüklükleri çok zorladığından, alternatif yapılardan yararlanılmıştır. Bantın dar olması (%10) ve faz farklarının küçük olması nedeniyle 2.8125° ve 5.625° için tek, 11.25° için iki şönt transistörün anahtarlanması ile gerçekleşen alçak geçiren / alçak geçiren süzgeç yapıları kullanılabilmiştir. 2.8125°, 5.625° ve 11.25° bitleri için kullanılan topolojiler Şekil 2'de sırasıyla verilmiştir:



Şekil 2. 2.813°, 5.625° ve 11.25° bitleri için faydalanılan faz kaydırıcı topolojileri.

2.8125° biti için gereken endüktans değeri iletim hatları ile sağlanacak kadar küçük olmuştur. 5.625° için kullanılan tek şönt transistörlü devre 11.25° için genlik dengesizliği dolayısıyla yeterli bant genişliği sağlayamamış, onun yerine Şekil 2'deki pi yapısındaki iki transistörlü devre kullanılmıştır.

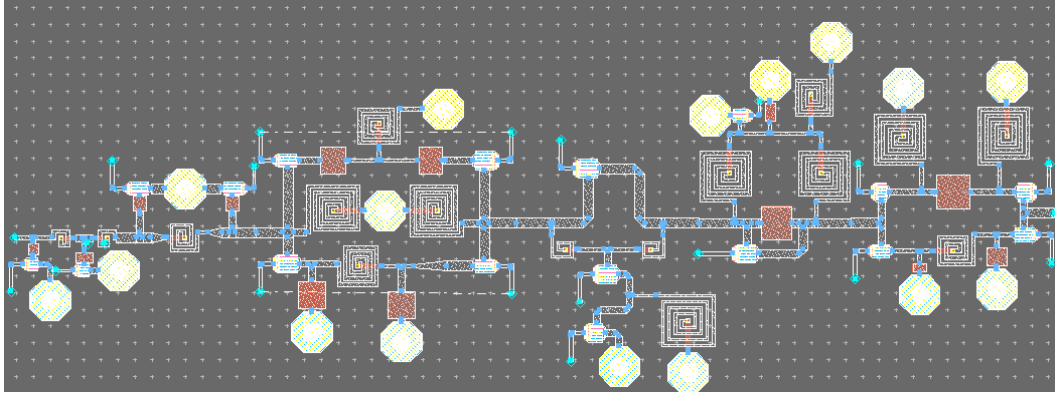
Tüm bitlerin kendi başlarına performansı Tablo 1'de verilmiştir.

	S21 @f_c (ortalama)	S11,S22(her iki durumda)	faz hatası	genlik dengesizliği
180°	-2.5 dB	< -18 dB	±0.6°	< 0.12 dB
90°	-2.5 dB	< -11 dB	±0.5°	< 0.14 dB
45°	-1.28 dB	< -18 dB	±0.6°	< 0.09 dB
22.5°	-0.64 dB	< -20 dB	±0.3°	< 0.10 dB
11.25°	-0.33 dB	< -19 dB	±0.7°	< 0.12 dB
5.625°	-0.18 dB	< -22 dB	±0.3°	< 0.09 dB
2.815°	-0.07 dB	< -24 dB	±0.15°	< 0.06 dB

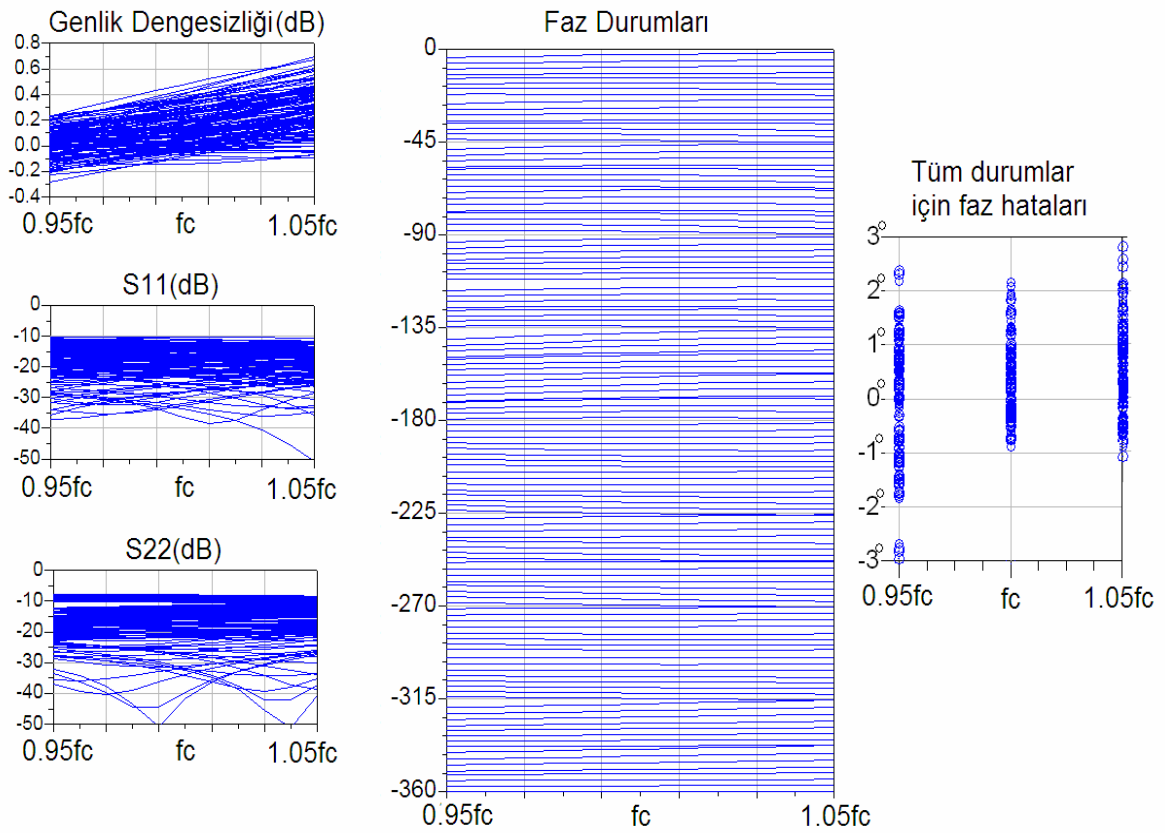
Tablo 1. Bitlerin kendi başlarına gösterdikleri performans

Bitlerin tek başlarına tasarımlarında her iki kapıdan geriye dönüş kayıplarının (S11, S22), gerek yüksek faz durumunda gerekse düşük faz durumunda -20dB'nin altında kalması hedeflenmiş, 90° biti hariç bu hedefe oldukça yaklaşmıştır. Böylelikle, bitler birleştirildiklerinde faz ve genlik karakteristikleri çok fazla değişmemiştir. 90° bitindeki geriye dönüş kaybının fazlalığı, bitlerin sıralanışı üzerinde yapılan optimizasyon ile bertaraf edilmiştir. Optimize edilen bit sıralanışını da içeren 7 bit faz kaydırıcının serimi Şekil 3'te verilmiştir. Yonga boyutları 3.1 mm x 1.1 mm'dir.

Nihai devrenin performansı, Şekil 4'te görülmektedir. Devrenin ortalama araya girme kaybı (S21) 7.5 dB'dir. Geriye dönüş kayıpları en kötü durumda bir kapıdan (S11) -10.3 dB, diğer kapıdan (S22) -8.2 dB düzeyindedir. Tepe faz hatası bant boyunca ±3° nin içinde iken, genlik dengesizliği ±0.5dB içerisinde kalmaktadır.



Şekil 3. 7 bit faz kaydırıcının serimi



Şekil 4. Faz kaydırıcının genlik dengesizliği, geriye dönüş kaybı, referans duruma göre araya girme fazları ve tüm durumlar için faz hataları

Kaynaklar

- [1]: Ya S., Tangsheng C., Ianfeng L., Xiaojian C., ve Jinting L., "A X-Band Five Bit MMIC Phase Shifter", 2nd International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings, 2000.
- [2]: Lee H. D., Kang D. W., ve Kim C., Hong S., "A Ku-Band MOSFET Phase Shifter MMIC", IEEE MTT-S, 2004.
- [3]: Khalil A., Mahfoudi M., Traut F., Shifrin M., ve Chavez J., "A X-Band 4-Bit mHEMT Phase shifter", CSIC Digest, 2005.