

Yüksek Dinamik Aralıklı, Si-Ge Transistorlu, 8-11GHz Simetrik Sürümlü B Sınıfı Kuvvetlendirici

High Dynamic Range 8 to 11GHz Class-B Push Pull Amplifier with Si-Ge Technology

Hilal Hilye Canbey¹, Osman Palamutçuoğulları²

^{1,2}Elektronik Mühendisliği
İstanbul Teknik Üniversitesi
canbeyh@itu.edu.tr opal@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Si-Ge HBT teknolojisi kullanılarak 8-11GHz frekans bandında işlev gösteren simetrik sürümlü B sınıfı kuvvetlendirici tasarımı yapılmıştır. Giriş ve çıkış dengeli kapıları dengesiz kapılara uyumlamak ve sisteme bant geçiren özellik kazandırmak amacıyla giriş ve çıkışlarında kullanılacak Si-Ge transistor de yine aynı benzetim programında modellenerek simetrik sürümlü yapı kurulmuştur. Simetrik sürümlü yapının girişinde kazancı arttırmak ve de giriş empedans uyumunu sağlamak amacıyla farksal kuvvetlendirici yapısı kaskat olarak eklenmiştir. Besleme gerilimi transistorun gerilim karakteristiğine göre 4V olarak belirlenmiştir. Sonuçta bant boyunca 33dB üzerinde kazanç, 15dBm üzerinde çıkış 1dB bastırma noktası (OIP1dB), 40dBm üzerinde çıkış 3. dereceden kesişim noktası (OIP3) elde edildi.

Abstract

Employing Si-Ge semiconductor technology, 8 to 11GHz push-pull Class B amplifier is designed with input and output balun structures due to make two balanced port network suitable to utilize in single ended systems, using AWR-DE simulation program. Applying input and output baluns also provides impedance matching and band-pass characteristic for designed network. Push-pull amplifier structure is built by using SiGe transistor model in same simulation program. There is a differential amplifier with feedback due to adjust input impedance and besides that increase the total gain. Supply voltage of the structure is defined as 4V according to characteristics of the chosen transistor model. As the results, gain is over 33dB, output 1dB compression point (OIP1dB) is over 15dBm, output 3rd order intersection point (OIP3) is over 40dBm for desired bandwidth.

1. Giriş

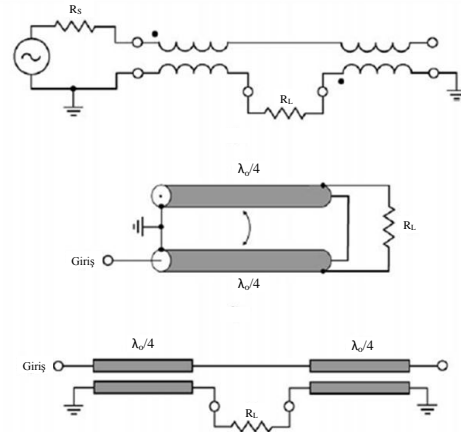
Haberleşme teknolojilerinde kaydedilen önemli ilerlemeler sonucunda, haberleşme elektronisindeki çalışmalar hız kazanmıştır. Gelişen modülasyon teknikleri sonucu yüksek frekansta işlev gösteren yüksek frekanslı elektronik yapılar

önemli hale gelmiştir. Haberleşme sistemlerinde yüksek frekanslı işaretlerin kullanılması, en temel olarak dalga boyunun ve buna bağlı olarak alıcı ve verici anten boyutlarının küçülmesi için gerekli olmuştur. Yüksek frekans elektronisinin kullanıldığı alanlardan birkaçı, uydu haberleşmesi, askeri haberleşme sistemleri, radarlar, elektronik harp uygulamalarıdır.

Yüksek frekansta, geniş bantlı ve yüksek dinamik aralıklı işlev gösterebilen kuvvetlendiriciler bu uygulamalar için çok önemli bileşenlerdir. Bu çalışmada giriş ve çıkış balun tasarımı ve farksal kuvvetlendirici giriş katı ile desteklenen B sınıfı simetrik sürümlü kuvvetlendiricinin benzetim ortamında modellenmesi yapılmıştır.

2. Balun Tasarımı

Giriş balunu için çeşitli balun tipleri (Guanella, Lattice vb.) incelenmiş, ancak bant geçiren özelliğe [1] ve simetrik sürümlü yapıya uygunluğu sebebiyle Marchand balun yapısı (Şekil 1) tercih edilmiştir.



Şekil 1: Marchand balun yapısı.

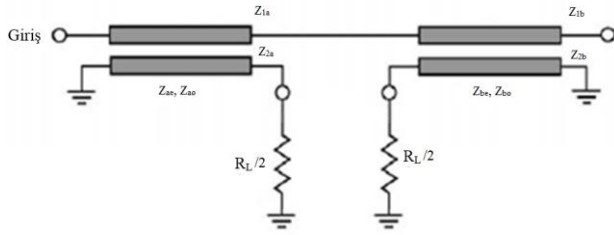
Görüldüğü gibi Marchand yapısı toplu elemanlarla ya da dağılmış parametrelili elemanlarla (koaksiyel hatlar, mikroşerit hatlar vb.) gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada asılı (suspended)

mikroşerit taban malzemesi kullanılmıştır, özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1: Kullanılan taban malzemesi özellikleri.

Parametre	Değer
Dielektrik katsayısı	4.1
Yükseklik 1	0.12mil
Yükseklik 2	100mil
Metal kalınlığı	0.08mil
Kayıp tanjantı	~0

Simetrik sürümlü kuvvetlendirici yapısında kullanıma uygun hale getirmek için, balun yükü ikiye bölünerek hesaplamalar Şekil 2’ye göre yapılmıştır.



Şekil 2: Simetrik sürümlü kuvvetlendirici için Marchandbalun yapısı.

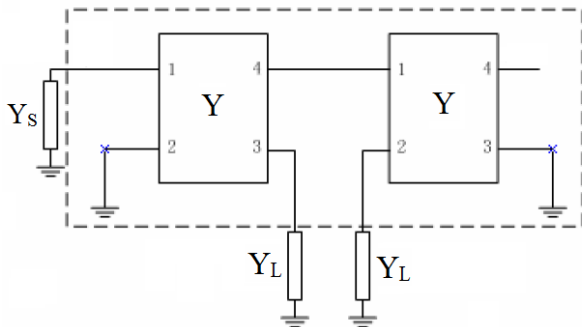
a ve b eşlenmiş hatlarının 1. ve 2. Kol empedanslarına göre hesaplamaları (1), (2), (3) ve (4) nolu denklemlerde verilmiştir[2].

$$Z_{1a,b} = \frac{Z_{a,b} \sqrt{1 - K_{a,b}^2}}{K_{a,b}} \quad (1)$$

$$Z_{2a,b} = \frac{Z_{a,b}}{\sqrt{1 - K_{a,b}^2}} \quad (2)$$

$$Z_{a,b} = \sqrt{Z_{(a,b)e} Z_{(a,b)o}} \quad (3)$$

$$K_{a,b} = \frac{Z_{(a,b)e} - Z_{(a,b)o}}{Z_{(a,b)e} + Z_{(a,b)o}} \quad (4)$$



Şekil 3: Hesaplamalarda kullanılan eşdeğer devre.

Tasarlanmak istenilen balun için kaynak admittansı $Y_S=50\text{ohm}$, yük empedansı $Y_L=25\text{ohm}$ olacaktır. Eşlenmiş hattın admittansı tek ve çift mod admittanslar cinsinden denklem (5)’teki gibi ifade edilir.

$$Y = j \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -(Y_e + Y_o) \cot \theta & -(Y_e - Y_o) \cot \theta & (Y_e - Y_o) \csc \theta & (Y_e + Y_o) \csc \theta \\ -(Y_e - Y_o) \cot \theta & -(Y_e + Y_o) \cot \theta & (Y_e + Y_o) \csc \theta & (Y_e - Y_o) \csc \theta \\ (Y_e - Y_o) \csc \theta & (Y_e + Y_o) \csc \theta & -(Y_e + Y_o) \cot \theta & -(Y_e - Y_o) \cot \theta \\ (Y_e + Y_o) \csc \theta & (Y_e - Y_o) \csc \theta & -(Y_e - Y_o) \cot \theta & -(Y_e + Y_o) \cot \theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

Marchand balunu için idealde $S_{11}=0$ ve $S_{21}=-S_{31}$ olduğundan, ifadeyi denklem (6)’ya indirgeyebiliriz.

$$((Y_e - Y_o) \csc \theta)^4 - 2(Y_e - Y_o)^2 Y_S Y_L \csc^2 \theta = 0 \quad (6)$$

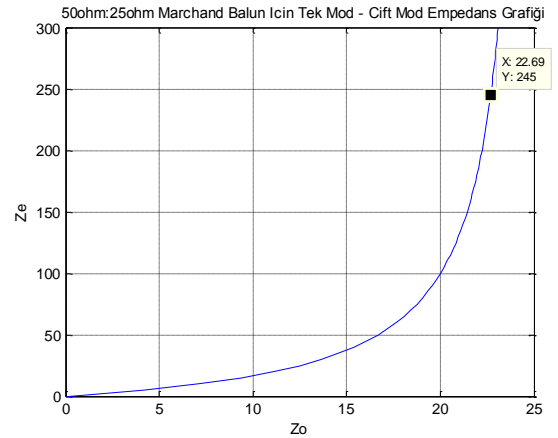
$$Y_e - Y_o = \sqrt{2Y_S Y_L} \quad (7)$$

$$\frac{1}{Z_e} - \frac{1}{Z_o} = \sqrt{\frac{2}{Z_S Z_L}} \quad (8)$$

Tasarlanmak istenilen balun için kaynak empedansı $Z_S=50\text{ohm}$, yük empedansı $Z_L=25\text{ohm}$ olacaktır. Bu değerler denklem (8)’e uygulandığında tek mod empedansı ile çift mod empedansı arasındaki bağıntı denklem (9)’daki gibi ortaya çıkmış olur [3].

$$Z_o = \frac{25Z_e}{Z_e + 25} \quad (9)$$

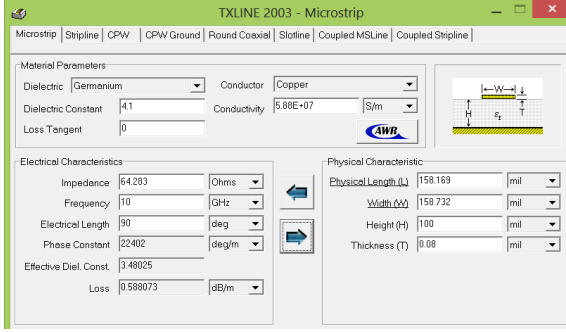
Bu bağıntıya göre kaynak ve yük empedanslarına uygun tek mod ve çift mod empedans karakteristiği MATLAB ortamında çizdirilmiştir. Elde edilen eğri üzerinden tek mod empedansı $Z_o=22.69\text{ohm}$ ve çift mod empedansınoktası seçilmiştir(Şekil 4).



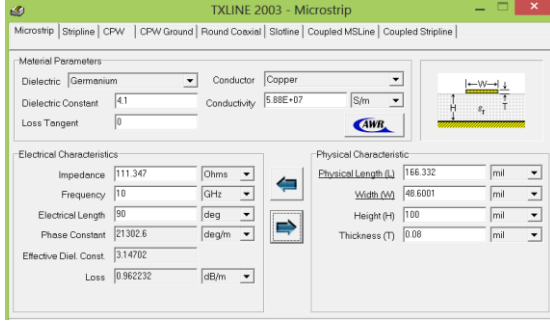
Şekil 4: 50ohm:25ohm balun karakteristiği için tek mod-çift mod empedans grafiği.

Tek ve çift mod empedanslar belirlendikten sonra (4) denkleminde yerine konularak eşlenme faktörü K, (3) denkleminde yerine konularak toplam empedans Z değeri hesaplanır. Bulunan Z ve K (1) ve (2) denklemlerine yerleştirildiğinde Z_1 ve Z_2 empedansları hesaplanır.

Bu durumda taban malzemesinin özelliklerine göre AWR-DE Microwave Office benzetim ortamında TX LINE aracı ile eşlenmiş hatların kalınlıkları belirlenmiştir (Şekil 5 ve Şekil 6).

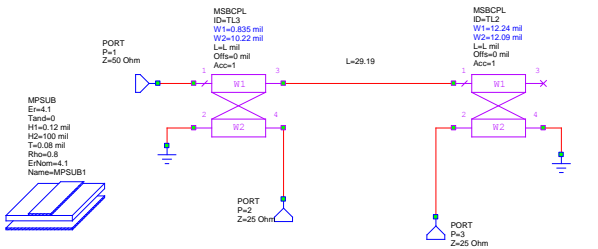


Şekil 5: Z1 empedansını gösteren hattın kalınlığı.

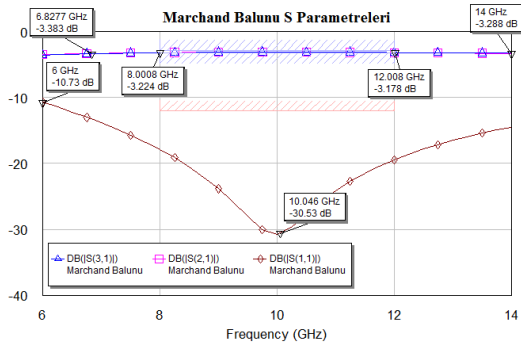


Şekil 6: Z2 empedansını gösteren hattın kalınlığı.

Kuramsal hesaplamalar sonucu bulunan değerler AWR-DE Microwave Office benzetim ortamında optimize edilmiştir.

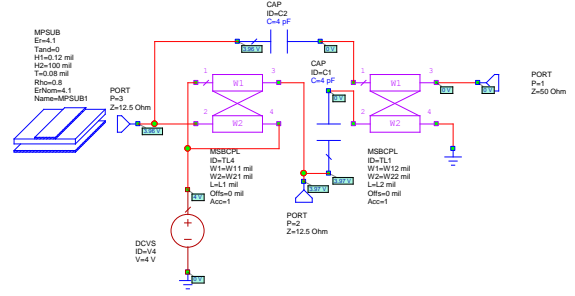


Şekil 7: Benzetim ortamında oluşturulan Marchand balunu.

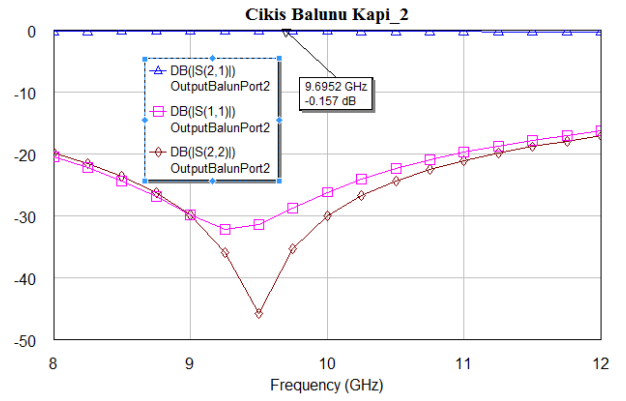


Şekil 8: Benzetim sonuçları.

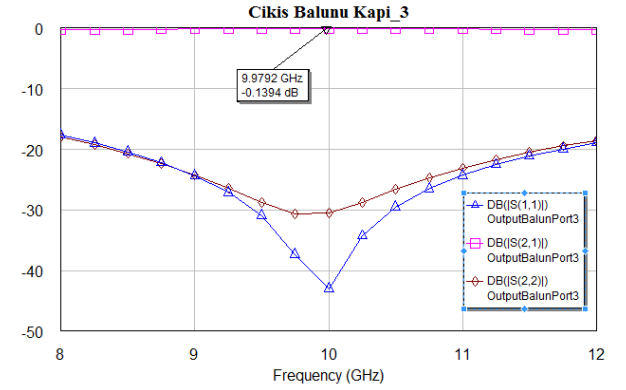
Çıkış balunu olarak 1:4 balun tasarlanmıştır, yapı ve optimizasyondan sonra alınan benzetim sonuçları Şekil 9 ve Şekil 10, Şekil 11'de görülebilir.



Şekil 9: 1:4 çıkış balunu yapısı.



Şekil 10: 1:4 çıkış balunu yapısı 2. kapı çıkışına göre benzetim sonucu.

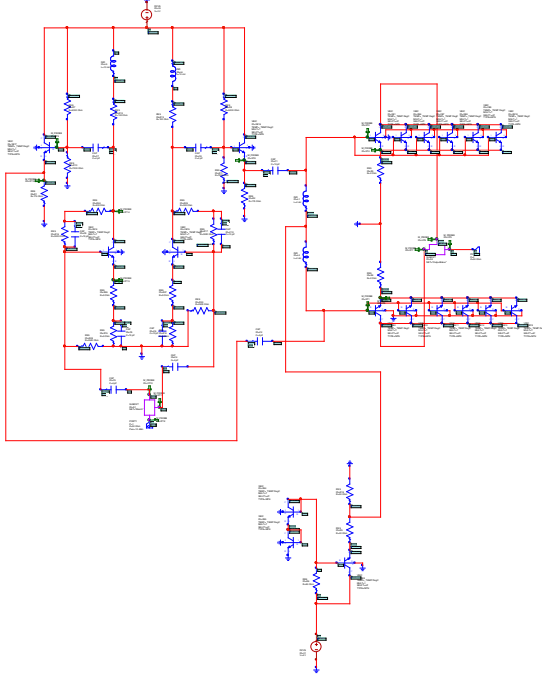


Şekil 11: 1:4 çıkış balunu yapısı 3. kapı çıkışına göre benzetim sonucu.

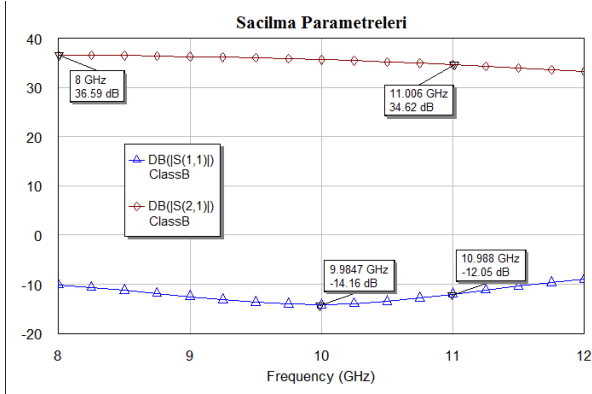
3. Kuvvetlendirici Tasarımı

Kuvvetlendirici 8-11GHz bant aralığında işlevini yerine getirmek üzere B sınıfı simetrik sürümlü yapıda tasarlanmıştır (Şekil 12). Girişinde Marchand balun yapısı kullanılmıştır. Marchand balununun bant geçiren yapısı sayesinde çift

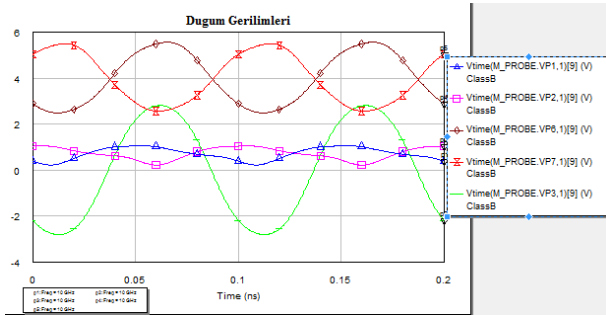
harmonik bileşenler süzölmüş, aynı zamanda empedans uyumu da sağlanmıştır. Çıkışta ise en iyi güç aktarımına olanak tanıyacak olan, aynı zamanda B sınıfı ile uyumlu işlev göstererek her bir çıkış kapısı yarım periyot iletimde olan 1:4 balun kullanılmıştır.



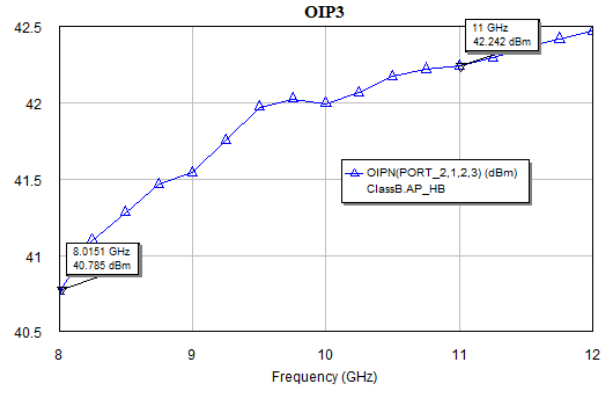
Şekil 12: Benzetimde modellenen tüm yapı.



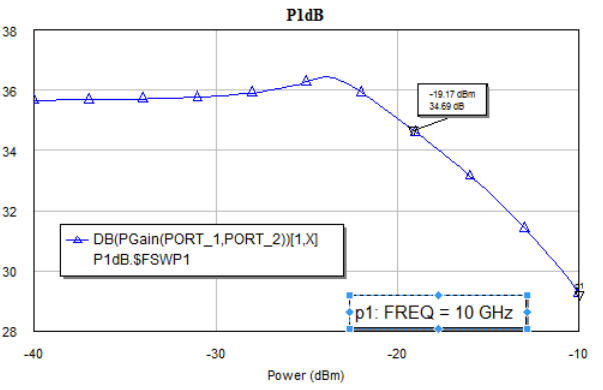
Şekil 13: Giriş yansımaları ve kazanç sonuçları



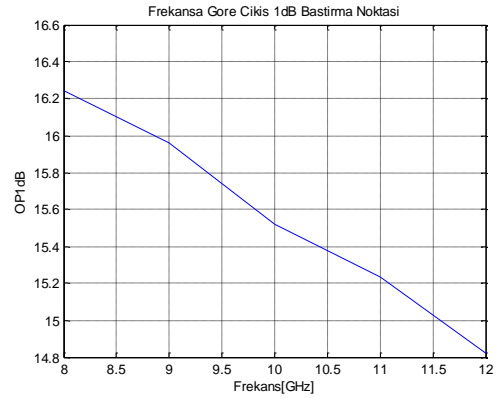
Şekil 14: Giriş ve çıkış düğüm gerilimleri.



Şekil 15: Frekansa göre OIP3 karakteristiği.



Şekil 16: Giriş gücü artırılarak kazancın 1dB azaldığı noktasının bulunması.



Şekil 17: Frekansa göre OP1dB.

4. Sonuçlar

Yüksek dinamik aralıklı 8-11GHz B Sınıfı simetrik sürümlü kuvvetlendirici tasarımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Kazancı arttırmak, daha da önemlisi giriş empedans uyumunu geri besleme ile sağlamak amacıyla simetrik sürümlü yapının girişinde kaskat bağlanan farksal kuvvetlendirici devresi kullanılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre kazanç, doğrusallık, bant genişliği istenilen özellikler oldukça iyi bir şekilde sağlanmıştır. Benzetimde elde edilen sonuçlarla tasarlanan kuvvetlendirici Çizelge 2’deki gibi tanımlanabilir.

Çizelge 2: Sonuçlar.

Değişken	Değeri
Kazanç	>33dB
OP1dB	>15dBm
OIP3	>40dBm
Bant aralığı	8-11GHz
S_{11}	<-10dB

5. Kaynaklar

- [1] Rogers, J. ve Plett C.. *Radio Frequency Integrated Circuit Design*, John Wiley and Sons, 2001.
- [2] Fathelbab, W. M., “New Classes of Miniaturized Planar Marchand Baluns”, Vol. 53, 1944.
- [3] Trifunovic, V., Jekanovic, B. (1992). “Four Decade Bandwidth Uniplanar Balun”, *Electronic Letters*, Vol. 28, No. 6, 1992.