

# 5.2GHz – 5.8GHz Bandı İçin Ön Güç Kuvvetlendiricisi

Burak Kelleci, Osman Palamutçuoğlu  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Maslak, İstanbul  
burak\_kelleci@yahoo.com, [opal@ehb.itu.edu.tr](mailto:opal@ehb.itu.edu.tr)

**Özet:** *0.35µm SiGe teknolojisinde 5.2GHz – 5.8GHz bandında çalışacak bir ön güç kuvvetlendiricisi tasarlanmıştır. Devre parazitiklerinin etkisini azaltmak için farksal topoloji kullanılmıştır. Simulasyon sonucunda 0 dBm çıkış gücü ve 13 dB kazanç elde edilmiştir. Band içindeki kazanç değişimi 0.5dB den daha azdır.*

## 1. Giriş

Modern haberleşme sistemlerinde hızların artırılabilmesi için, haberleşme bandını daha verimli kullanan modülasyon türleri kullanılmaktadır. Yüksek verimli modülasyon türleri, doğrusallığı yeterince iyi olan veri ve düşük gürültülü alışı kollarına gereksinim duymaktadır. Bunun sonucu olarak da, doğrusal güç kuvvetlendiricilerinin tasarımı önem kazanmaktadır ve ayrıca, bunların taşınabilir sistemlerde kullanılabilmesi için verimliliklerinin de yüksek olması gerekmektedir. Bu tür güç kuvvetlendiricilerinin doğrusallık ve verimlerini geliştirmek amacıyla yeni yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır. Bunun ötesinde, bu tür sistemlerin tasarım ve üretim maliyetlerinin de düşük olması zorunludur. Bu nedenlerle, bu tür devreler tümleştirilerek, yüksek miktarda üretim sonucu düşük maliyetlerin sağlanması amaçlanmaktadır. Sonuç olarak da, güç kuvvetlendiricilerin olabilecek en ucuz teknoloji kullanılarak tümleştirilmesi istenmektedir.

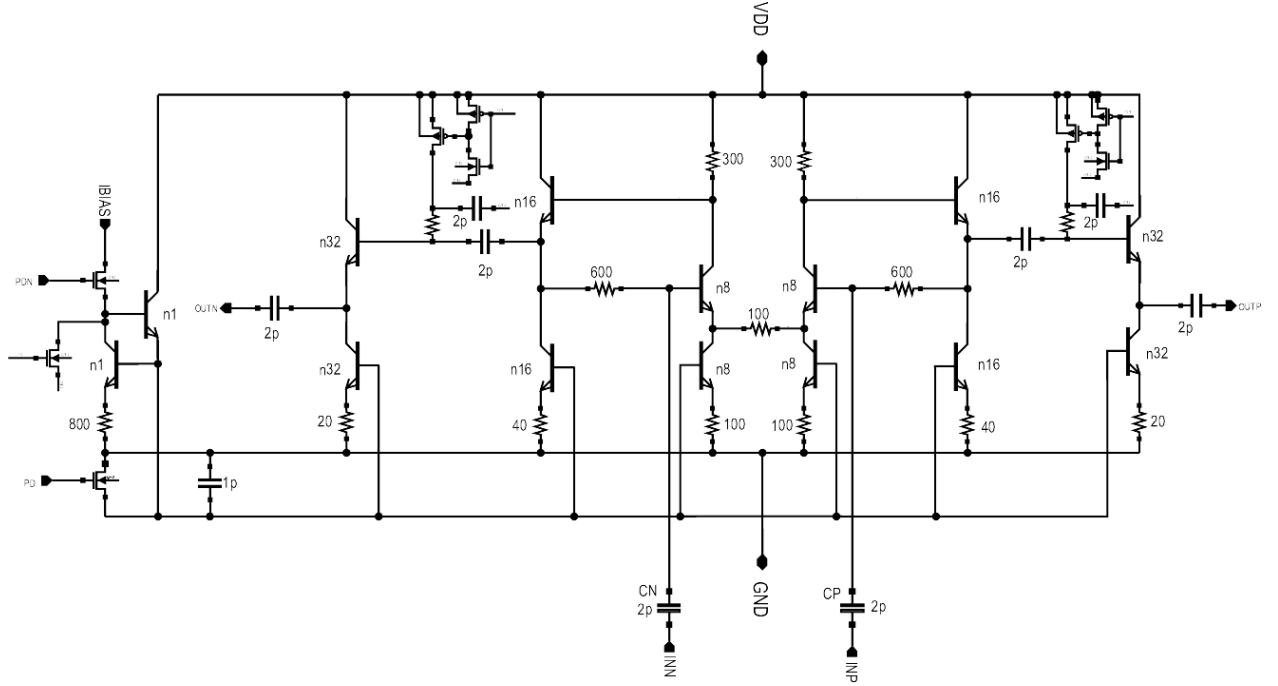
SiGe teknolojisi bu soruna ucuz bir çözüm sunmaktadır. Bu teknolojiye maksimum kesim frekansı olarak 40GHz ve maksimum osilasyon frekansı olarak da 60GHz civarı frekanslar elde edilebilmektedir. Bu sonuçlar, SiGe teknolojisini yüksek frekans tasarımları için elverişli yapmaktadır. Ayrıca, SiGe teknolojisi ucuz maliyetli BI-CMOS teknolojisini de baz almaktadır. Dolayısıyla, bu teknoloji CMOS tabanlı devrelerin ve HBT tabanlı devrelerin aynı kırmık üzerinde gerçekleşmesine olanak tanımaktadır ve bunun sonucu olarak da, düşük maliyetli ve yüksek yoğunlukta tümleştirme gerçekleştirilebilmektedir. Böyle bir ucuz çözüme karşın, bu teknolojinin güç kuvvetlendiricilerinin tasarımını olanaksız kılan bazı sorunları da bulunmaktadır. En önemli sakıncası, tranzistörlerin belverme gerilimlerinin düşük olmasıdır. Tranzistörlerin belverme gerilimleri ile kesim frekansları arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır vardır ve bu ilişki ters orantılı olarak gözükmektedir. Diğer bir deyişle, aynı anda hem yüksek belverme gerilimine ve hem de kesim frekansına sahip bir tranzistör üretmek olanaksızdır. Kesim frekansı ve belverme gerilimleri için örnek değerler; 75 GHz / 2.5V [4] ve 40 GHz / 3.6 V olarak verilebilir. Bu sonuçlara göre, bu teknoloji gerilim kontrollü osilatör, düşük gürültülü kuvvetlendirici, ve karıştırıcı yapmak için uygundur. Bu teknolojiye BI-CMOS teknolojisi temel alınmakta yani kayıplı silisyum taban olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu teknolojiye hem yüksek Q değerine hem de rezonans frekansına sahip endüktansları kırmık içinde gerçekleştirebilmek olasıdır. Literatürde bu amaçlı endüktans gerçekleştirmeleri genelde 3GHz'in altında çalışmak için tasarlanmışlardır. Rezonans frekansı daha yüksek endüktans yapmak için endüktansın değeri doğal olarak düşmekte ve bu da endüktansın boğucu bobin olarak kullanımını olanaksız kılmaktadır. Bunun en önemli nedeni ise, yüksek frekanslarda girdap akım kayıplarının artmasıdır.

SiGe teknolojisi ucuz bir teknoloji olmasına karşın, yüksek frekans devreleri için düşük parazitiklere sahip paketlere gereksinim duyulduğundan, paketleme maliyetleri yüksek olmaktadır. Çünkü, ihtiyaç duyulan düşük parazitik değerler için parazitik endüktansları ve dirençleri düşük bağlama tellerine, düşük parazitik kapasiteli bacaklara, düşük parazitik kapasitif ve endüktif kuplaj değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kabaca, 1mm uzunluğundaki bir bağlama telinin endüktansını 1nH alabiliriz. Bu tel işaret hattı, toprak hattı veya besleme hattı üzerinde olabilir. 5.5GHz de bu tel 35Ω gibi bir empedans gösterecektir ki, bu da yüksek frekans devrelerinde sorun yaratabilir. Gerçekte, paket etkileri devrenin kararlılığını, güç kazancını ve giriş çıkış empedans uyumluluğuna da belirleyecektir. Bununla beraber, paketi doğru modelleyebilmek için, devrenin son durum serimindeki bağlantı noktalarının tam yerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, genelde devrenin son durumuna iterasyonla ulaşılabilmektedir.

HBT tranzistörün giriş-çıkış ilişkisi BJT tranzistöre benzemektedir. İlişki BJT gibi üstsel olduğundan tranzistörün doğrusallığı da benzer olacaktır. Düşük belverme geriliminden dolayı, HBT tabanlı devreler daha düşük besleme gerilimlerinde çalışacaklardır. Bu durum, devrelerin doğrusallığı sınırlayan önemli bir etken olarak tasarımcıyı zorlayacaktır.

## 2. Ön Güç Kuvvetlendiricisi

Verişi kolu tümüyle farksal olduğundan, ön güç kuvvetlendiricisi de farksal giriş ve farksal çıkış olarak tasarlanmıştır. Farksal konfigürasyonun en önemli üstünlüğü, farksal olmayan yapıya göre parazitiklerden daha az etkilenmesidir. Bununla beraber güç harcaması da iki katına çıkmaktadır. Ön güç kuvvetlendiricisinin süreceği ve tüm devre dışında bulunan ana güç kuvvetlendiricisi ise, genellikle tek giriş tek çıkış olarak tasarlanmaktadır. Bu durumda, farksal olmayan güç kuvvetlendiricisini sürmenin iki yolu vardır. Bunlardan biri, dengeli (simetrik) işareti dengesiz (asimetrik) duruma getirmektir. Ancak bu dönüşümü yapacak bu yapının 5-6 Ghz bandında çalışması gerekmektedir ve şu anda gerçekleştirilebilen çeviriciler daha çok dar band uygulamaları için uygun olmaktadır. İkinci çözüm ise, çıkışlardan birini yüklenilip diğeri çıkışı kullanmaktır. Bu ise gücün yarısının kullanılmasını



Şekil 1 : Ön Güç Kuvvetlendirici Devre Şeması

engellediği için verimi düşürmektedir. Seçilmiş olan teknolojiye göre pasif elemanların parazitikleri yüksek taban iletkenliği dolayısıyla yüksek olmaktadır. Bu da, kullanılabilir eleman çeşidini SiGe bipolar tranzistör, direnç kapasite ve MOSFET'lerle sınırlamaktadır.

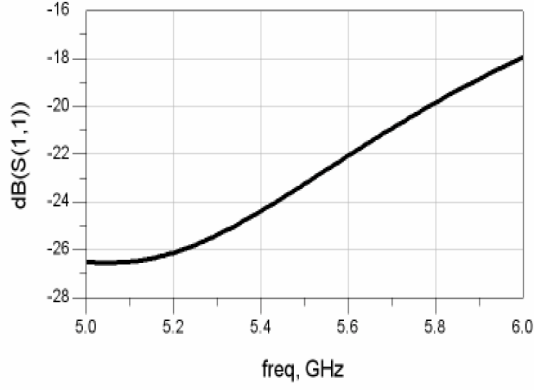
Gerçekleşmesi amaçlanan devre üç kattan oluşmaktadır. İlk kat emetör dejenere edilmiş dirençli farksal kuvvetlendiriciden oluşmaktadır. Emetör dejenere edilmiş sağladığı en önemli üstünlük, devrenin giriş empedansını yükseltmesidir. İkinci kat emetör çıkışlı kat olup, giriş katı tarafından kutuplanmaktadır. İkinci katın çıkışı geri-besleme direnci üzerinden giriş katının girişine bağlanmıştır. Bunun sonucu olarak giriş direncinin kapasitif özelliği azaltılmış ve kazanç düzgünlüğü sağlanmıştır. Tranzistörlerin iletkenliği akım kaynakları tarafından belirlenmektedir. İletkenliklerin üretimle beraber değişimini azaltmak için akım kaynaklarına direnç dejenere edilmiş uygulanmıştır. Akım kaynakları aynı zamanda besleme geriliminin değişimiyle oluşacak etkileri de azaltmaktadır. Bunu sağlamak için devrenin kutuplama gerilimleri en düşük besleme gerilimi değerine göre ayarlanmıştır. Akım kaynaklarının bir başka avantajı ise akımın kesilmesini kolaylaştırmaktadır.

## 3. Simülasyon Sonuçları

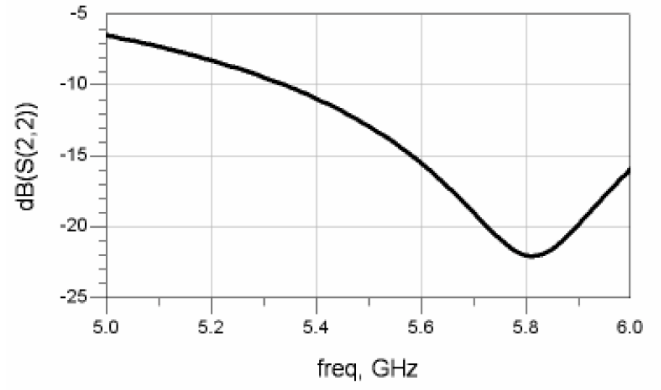
Yüksek frekans devre simülasyonunun en büyük sorunu parazitiklerin modellenmesidir. Paket parazitikleri serim parazitiklerine göre daha baskın olmaktadır. Bu nedenle, paket parazitikleri de simülasyona katılmıştır. Bu parazitikler devrenin kararlılığını, kazancını ve çıkış yansıma katsayısını belirlemede etkili olmaktadır. Çıkış bağlantı uçları (pad)nın parazitikleri de simülasyonlara katılmıştır.

Besleme gerilimi %10 ve eleman parametreleri de yaklaşık %30 mertebelerinde değişebilmektedir. Devre seri üretim için tasarlandığından, tranzistörlerin ileri aktif rejimde oldukları bütün bu değişimlerden sonra dahi davranışlarını yeterince yerine getirebilmeleri garanti edilmelidir. DC analizden sonra küçük işaret analiziyle devrenin geri-beslemesi açılarak devrenin evre-payı hesaplanmış ve S-parametreleri elde edilmiştir. Evre-payı her durumda 45 derecenin üzerindedir. S-parametre analizi sonuçları kullanılarak Rollet kararlılık analizi yapılmıştır. Bu

analizin sonuçları Şekil-6 da gösterilmiştir. Devre görüldüğü üzere 9-17 GHz arasında koşullu-kararlı ve bu bandın dışında koşulsuz -kararlıdır. Devreyi süren kaynağın giriş empedansı  $400\Omega$  dan daha büyük olduğunda, giriş katındaki geri-beslemeden dolayı devre kararsız olmaktadır. Bununla beraber, devre çalışma bandında koşulsuz kararlıdır. Kararlılık daireleri Şekil-7 ve Şekil- 8 de gösterilmiştir. Giriş ve çıkış yansıma katsayıları ise Şekil-2 ve Şekil-3 de gösterilmiştir. Giriş ve çıkış empedanslarının dengeli(farksal) değerleri  $200\Omega$  ve  $100\Omega$  a uydurulmuştur. Elde edilen olan güç kazancı değerleri Şekil-4 de gösterilmiştir. Geriye doğru güç kazancı ise, Şekil- 5 de gösterilmiştir. Bu kazanç yeteri kadar düşük olduğundan, devre tek-yönlü(unilateral) olarak değerlendirilebilir. Devrenin gürültü katsayısı değişimi ise, Şekil- 9 da gösterilmiştir. Elde edilen 1dB bastırım noktası amaçlanan değer olan 0dBm olarak bulunmuştur.



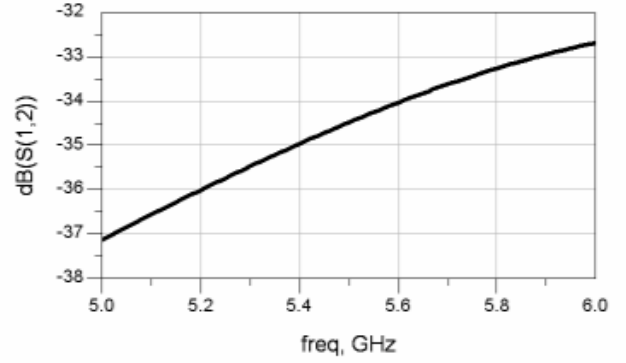
Şekil 2 Band İçinde S11



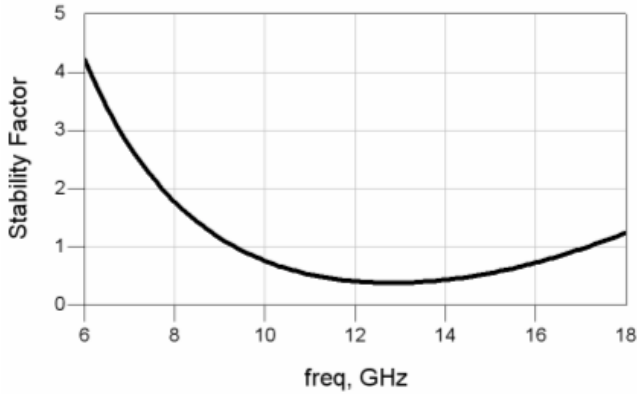
Şekil 3 Band içinde S22



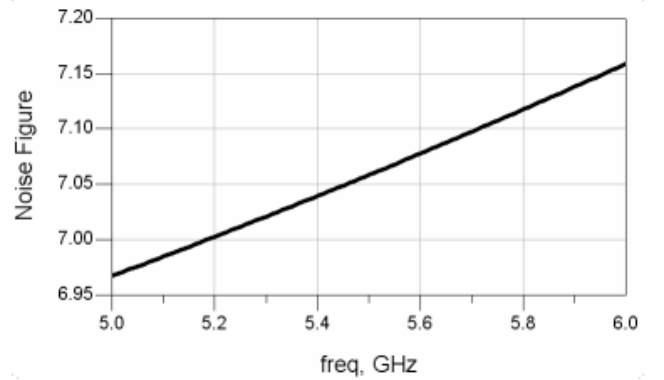
Şekil 4 Band içinde Güç Kazancı



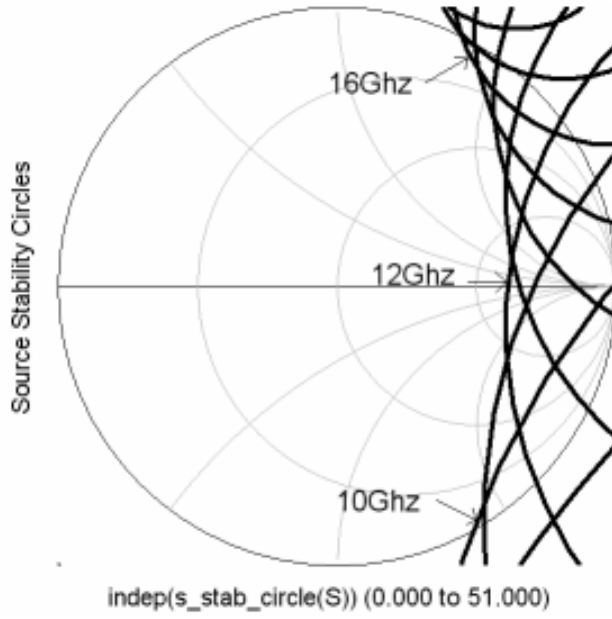
Şekil 5 Band içinde S12



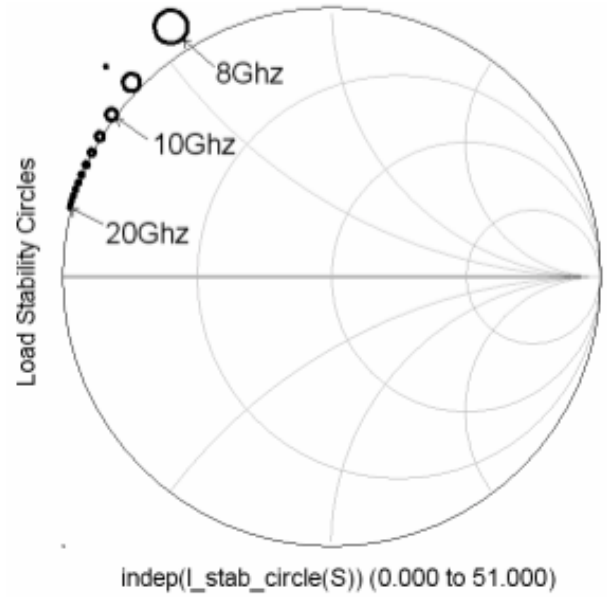
Şekil 6 Kararlılık Faktörü



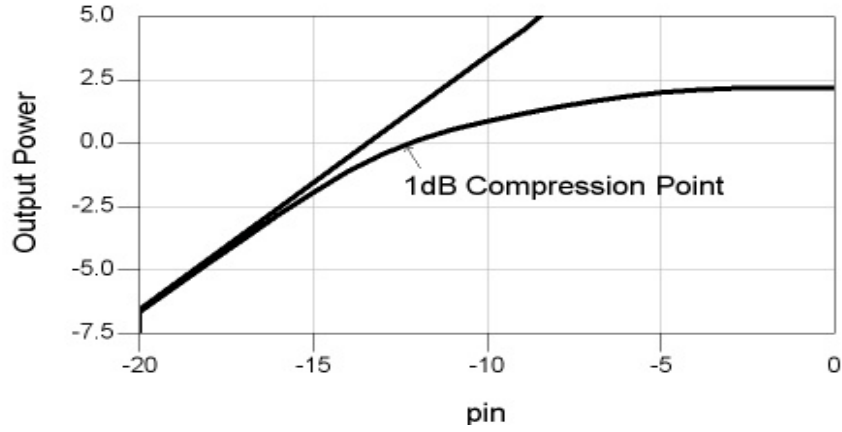
Şekil 9 Gürültü Sayısı



Şekil 7 Kaynak Kararlılık Daireleri



Şekil 8 Yük Kararlılık Daireleri



Şekil 10 Cıkıs Gücü

#### 4. Sonuç

1 dB bastırım noktası 0dBm olan bir ön güç kuvvetlendiricisi tasarlanmıştır. Devre 200Ω giriş empedansı ve 13 dB kazanç için optimize edilmiştir. Devre normal çalışmada 0.5W ve uyku modunda ise 0.7nW güç harcamaktadır.

#### Kaynaklar

- [1]. Y.M. Greshishchev, P. Schvan, A 60-dB Gain, 55-dB Dynamic Range, 10-Gb/s Broad-Band SiGe HBT Limiting Amplifier, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 34, No. 12, December 1999.
- [2]. R. Grotzfried, F. Beisswanger, S. Gerach, Design of RF Integrated Circuits Using SiGe Bipolar Technology, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 33, No.9, September 1998.
- [3]. J.D. Cressler, SiGe HBT Technology: A New Contender for Si-Based RF and Microwave Circuit Applications, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 46, No. 5, May 1998
- [4]. Gary L. Patton, James H. Comfort, Bernard S. Meyerson, Emmanuel F. Crabbe, Gerald J. Scilla, Edouard De Fr'esart, Johannes M. C. Stork, Jack Y.-C. Sun, David L. Haramé, Joachim N. Burghartz, 75-GHz fT SiGe-Base Heterojunction Bipolar Transistors, IEEE Electron Device Letters, Vol. 11, No. 4, April 1990.