

# Tek kırmık 2.4-2.5 GHz (WLAN) ve 3.3-3.9 GHz (WiMAX) için, çift-bandlı A-Sınıfı Güç Yükselticisi

Mehmet Kaynak, Ayhan Bozkurt, İbrahim Tekin ve Yasar Gurbuz  
Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tuzla-İstanbul  
Tel: 216-483 9533, Fax: 216-483 9550, e-mail: [mehmetk@su.sabanciuniv.edu](mailto:mehmetk@su.sabanciuniv.edu)

**Özet:** Bu çalışmada, IHP microelectronics entegre devre üretim teknolojisinin, heterojonksiyon bipolar tranzistor (HBT) modelleri kullanılarak, 2.4-2.5 GHz (WLAN) ve 3.3-3.9 GHz (UWB-WiMAX) frekanslarında (dual-mode) çalışan, A sınıfı güç kuvvetlendiricisi tasarımı yapılmıştır. Çift bantta çalışabilme özelliği, devre/teknoloji içerisinde kullanılan MOS tabanlı, değişken-kapasitör (varactor) 'ler yardımıyla elde edilmiştir. Varactor kontrol voltajı ile, devrenin çıkış empedans değerini değiştirilerek, her iki bantta da yüksek çıkış gücü elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Devrenin analiz ve simülasyon sonuçları, 2.4 GHz frekans bandı için, 28dBm çıkış gücü, güç kazancı 27dB, %18 verimlilik değeri, 3.3-3.9 GHz çalışma aralığı içinde, 29 dBm çıkış gücü, 18 dB kazanç ve %19 civarında verim değerleri, elde edilmiştir.

## 1. Giriş

Son yıllarda daha hızlı veri transferi yapmak amacı ile birçok modülasyon tipi geliştirilmiş ve değişik kablolu/kablosuz protokoller oluşturulmuştur. Cep telefonu sistemlerinin yaygınlaşması ile dikkat çekmeye başlayan kablosuz haberleşme sistemleri, daha hızlı veri alışverişine olanak sağlayan yapıları ile yeni oluşturulan protokoller içerisinde kullanımı en hızlı artan sistemler olmuşlardır. Kablosuz sistemler, özellikle kısa mesafe veri iletişim sistemleri içerisinde, en az kablolu olanlar kadar hızlı ve güvenilir olmaktadır. Kablosuz yerel alan ağ (WLAN) sistemleri [1], entegre devre teknolojileri ile üretilebilmekte ve böylelikle düşük maliyetli sistemler oluşturulabilmektedir. Kısa mesafe, hızlı veri alışverişine uygun kablosuz haberleşme protokolü olan IEEE 802.11b/g, 2.4–2.5 GHz bandında çalışmakta ve geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır. “Çok Geniş bantlı” (UWB - WiMAX) haberleşme sistemleri [2], ihtiyaçlara cevap olabilecek düzeyde kapasiteye sahiptir ve geleceğin önemli haberleşme sistemleri olmaya aday protokollerdir. UWB haberleşme sistemleri, 3.1-10 GHz gibi çok geniş bir frekans bandını kullanabilmektedir [3].

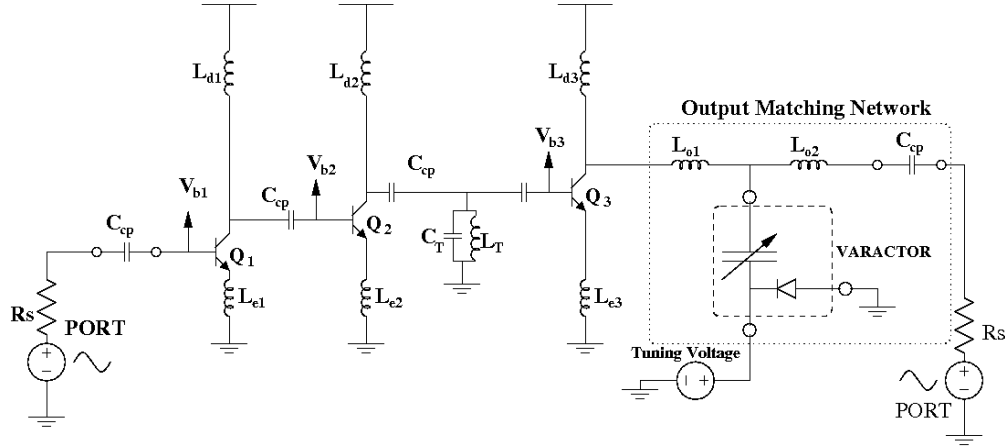
Güç kuvvetlendiricileri, kablosuz haberleşme sistemleri içerisinde verici kısmında yer alan önemli bir blok olmakla beraber, yüksek güç seviyelerinin gereksiniminden dolayı entegre devre teknolojisi ile üretimi en zor olan alıcı-verici bloğudur. Güç kuvvetlendirici bloklarının, diğer sistem blokları ile (mixer, filtre, anten, vb) bir araya getirilmesi ise, aynı kırmık üzerinde yapılamaması durumunda maliyeti arttırmakta fakat daha iyi performans sunmaktadır. Güç kuvvetlendiricilerinin kırmık üzerinde yapılamamasının en önemli nedenlerinden birisi, entegre devre teknolojileri ile üretilen tranzistorların belverme gerilimlerinin düşük olması ve gereksinim duyulan yüksek akım değerlerinin, devre tarafından sürülememesidir. Ayrıca yüksek güç üretebilecek tranzistorların  $f_t$  değerleri, daha düşük olmakta ve bu da çalışma frekansımızı sınırlamaktadır.

## 2. Devre Tasarım Detayları

Bu çalışmada, IHP (Innovations for High Performance) microelectronics entegre devre üretim sistemlerinin, 0.25  $\mu$ m üretim teknoloji HBT model kütüphanesi kullanılarak, 2.4-2.5 GHz (WLAN) ve 3.3-3.9 GHz (UWB-WiMAX) frekanslarında (dual-mode) çalışan, A sınıfı güç kuvvetlendiricisi tasarımı ve analizi yapılmıştır. Her iki-bantta da çalışabilme özelliği, devre/teknoloji içerisinde kullanılan MOS tabanlı, değişken-kapasitörler ayarlanarak elde edilmiştir.

Tasarlanan güç yükseltici devresi Şekil 1’de görüldüğü gibi, üç katlı topoloji seçilmiştir. Bu topolojide birinci ve ikinci katlar, devre ile yüksek kazanç erişimini sağlamakta olup, çıkış / son katı ise, devrenin yüksek güç üretebilmesini sağlamaktadır. Bu devrede, katlar arası kuplaj ve DC bloklama  $C_{cp}$  kapasitörleri kullanılarak, katların stabilesi ve daha doğrusal çalışması için  $L_e$  endüktansları ve  $L_d$  endüktanslarında, devrede RF-choke olarak kullanılmışlardır. İkinci ve üçüncü katlar arasında, empedans uyumunu gerçekleştirmek için, devreye paralel bir rezonatör devresi ( $L_T$  ve  $C_T$ ) eklenmiştir. Ayrıca, çıkış katında, yüksek güç elde edilmek için, devreye uygulanan yük-çekme analizi sonrası belirlenen uyum devresi (output matching network circuit), eklenmiştir. Bu kat için, linear-olmayan, optimum çıkış empedans analizleri (Load-Pull) yapılmış ve her iki band

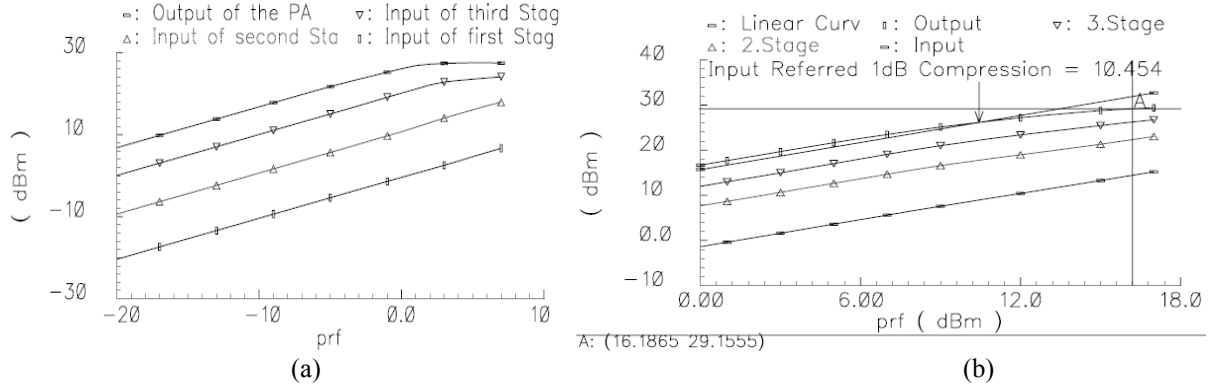
içinde, varactor yardımı ile frekansı kontrol edilebilen, geniş bantlı 2. derece bir filtre olarak tasarlanmıştır. Dikkat edilirse, bu devredeki varactor sayesinde, devrenin iki ayrı bantta çalışması sağlanabilmektedir.



Şekil 1: 3-katlı, A-sınıfı, iki bantlı, doğrusal güç yükselticisi

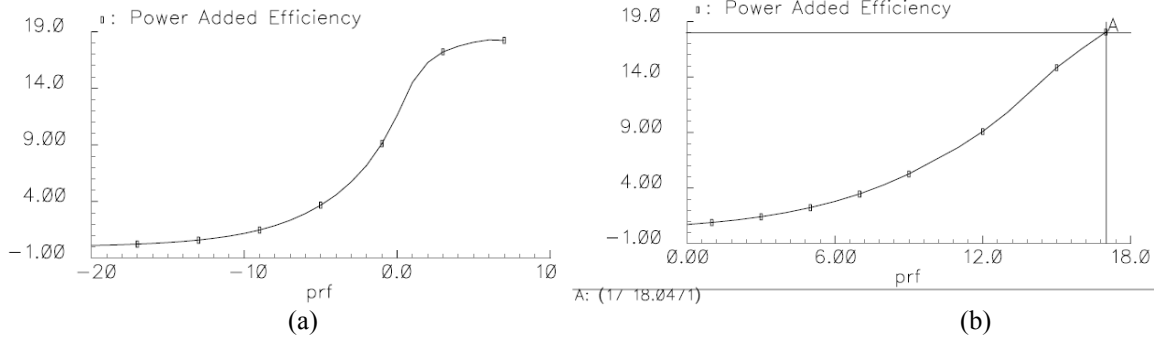
### 3. Devre Simülasyon Sonuçları ve Analizi

Devre tasarım ve simülasyon süreci, ilgili teknoloji kütüphaneleri kullanılarak Cadence® ve Agilent Design Sistem (ADS)® ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de, 2.4 GHz (a) ve 3.6 GHz (b) için, her katta elde edilen Giriş ve Çıkış Güç Eğrileri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, 2.4 GHz frekansı için, devrenin ilk katı, giriş empedans uyumunu sağlamakta ve 10 dB güç kazancı vermektedir. Birinci kat çıkış ve ikinci kat giriş empedans uyumları yapılmış ve ikinci kattan da 10 dB güç kazancı elde edilmiştir. Son kat ise, 7.5 dB güç kazancı sağlamakta ve 27 dBm çıkış gücü verebilmektedir. 3.3-3.6 GHz frekans bandı için, kazanç 18 dB, çıkış gücü 29 dBm görünmektedir. Son katta elde edilen yüksek çıkış gücü, büyük alanlı tranzistörler kullanılarak elde edilmiş ve bunun sonucunda, devrenin girişini 50Ω kaynak empedansına uydurmak güçlüğü, tasarımın en zor aşamalarından birisini oluşturmuştur.

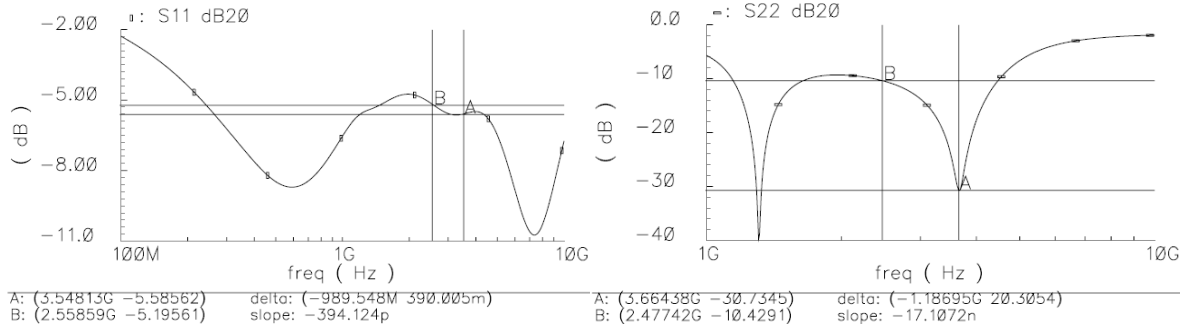


Şekil 2: 2.4 GHz (a) ve 3.6 GHz (b) için, her katta görülen Giriş ve Çıkış Güç Eğrileri

Güç yükselticinin doğrusal çalışması tasarlanmış olup, verimlilik ile ilgili PAE değerleri Şekil 3’te verilmiştir. Elde edilen değerler, 2.4 GHz için %18, 3.3-3.9 GHz frekans bandında % 19’lara kadar ulaşabilmektedir. Şekil 4’te devrenin giriş ve çıkış geri yansımaya kayıp eğrileri verilmiş olup, devrenin 2.4 GHz’te S11 giriş yansımaya kaybı -5dB olup, bu frekanstaki S22 çıkış yansımaya kaybı -10 dB görünmektedir. 3.3-3.9 GHz frekans bandı için ise S11 giriş yansımaya kaybı -6dB, bu frekanstaki S22 çıkış yansımaya kaybı -30 dB ye kadar düşmektedir. Devre bu sonuçlar ile optimize edilmiş olup, entegre devre olarak üretilmek üzere simülasyon/serim aşamaları tamamlanmış olup üretime gönderilmiştir.



Şekil 3: 2.4 GHz (a) ve 3.6 GHz (b) için, giriş gücüne karşılık gelen verimlilik eğrileri



Şekil 4: S11(giriş geri yansımaya kaybı) ve S22 (çıkış geri yansımaya kaybı) eğrileri

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, iki bantlı A sınıfı çalışan 3 katlı doğrusal bir güç yükselticinin tasarlanmıştır. Tasarlanan yükselticinin çıkışına eklenen MOS, gerilim ayarlamalı değişken kapasitör eklenerek, DC voltaj değişimi ile 1 GHz frekansı farkı olan 2 ayrı frekans bandında ( 2.4-2.5 ve 3.3-3.9 GHz) çalışması sağlanmıştır. Devrenin Cadence kullanılarak simülasyonları yapılmış olup, 2.4 GHz frekans bandı için, 28dBm çıkış gücü, 27 dB güç kazancı, %18 verimlilik değeri (PAE), 3.3-3.9 GHz çalışma aralığı içinde, 29 dBm çıkış gücü, 18 dB kazanç ve %19 civarında verim değerleri çıkmıştır. Devreden 425 mA DC akım akmaktadır. Özet tasarım sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: 3 katlı – 2 bantlı – A sınıfı güç yükseltici sonuçları

Frekans	Çıkış gücü (dBm)	Kazanç (dB)	% Verimlilik (@1-dB bastırma)	1-dB bastırma noktası ( Giriş -dBm)	Giriş yansımaya kaybı (S <sub>11</sub> ) dB	Çıkış yansımaya kaybı (S <sub>22</sub> )dB
2.4-2.5 GHz	28	27	13	2	-5	-10
3.3-3.9 GHz	29	18	18	10.5	-6	-30

#### Kaynaklar:

- [1] Mona M. Hella and Mohammed Ismail, RF CMOS Power Amplifiers: Theory, Design and Implementation, Springer, 2001.
- [2] Frank Ohrtman, WiMAX Handbook, McGraw-Hill, 2005.
- [3] E. YunSeong and L. KwangDu, A 2.4GHz/5.2GHz CMOS power amplifier for dual-band applications, 2004 IEEE MTT-S International, Microwave Symposium Digest, Volume 3, 6-11 June 2004, Page(s):1539 – 1542.