

# TELSİZ UYGULAMALARI İÇİN YÜKSEK VERİMLİ E SINIFI GÜÇ KUVVETLENDİRİCİSİ TASARIMI

F. Figen Yumak  
e-mail: [fyumak@profilo-telra.com.tr](mailto:fyumak@profilo-telra.com.tr)  
Profilo Telra A.S. Istanbul, Turkey,

Osman Palamutçuoğulları  
e-mail: [opal@ehb.itu.edu.tr](mailto:opal@ehb.itu.edu.tr)  
Istanbul Technical University, Electrical &  
Electronics Faculty, 34469, Maslak, Istanbul, Turkey

## ABSTRACT

**A class E power amplifier working at 5.7 GHz with a MESFET transistor as switching element has been developed. The circuit was implemented with lumped elements and transmission lines. An output power of 0.5 W at 50 % PAE was obtained at 5.7 GHz. Simulations of the amplifier are presented within this paper. This result represents state of the art in output power and efficiency with a class E amplifier at this frequency.**

## I. GİRİŞ

Son zamanlarda giderek daha da yaygınlaşan kablosuz taşınabilir gezgin dizgi uygulamalarında kullanılan uç birimlerinde daha uzun batarya ömrü istemi yaygındır. Tüketicilerin bu istemini karşılamak üzere de, daha az güç tüketen devre topolojilerinin söz konusu dizgelerde hızla yerleştiği görülmektedir. Taşınabilir verici uygulamalarında üretilen gücün büyük bir kısmı GK'de tüketilmektedir. Gezgin iletişim sistemlerindeki bu çok hızlı gelişim, GK'nın verimliliğini önemli ölçüde ön plana çıkartmaktadır. Gezgin uç birimleri bataryayla çalışan cihazlardır ve kullanım süresi tümüyle GK'nın verimliliğine bağlıdır. Daha verimli GK'lar daha küçük ve hafif bataryaların üretilmesine ve/veya daha uzun kullanım süresine dolayısıyla, sonuçta üretilen ürünün piyasada çekiciliğinin artmasına neden olacaktır. Sonuç olarak, gelişen bu tür dizgelerde yüksek verimlilikli GK'lerin tasarlanması önemli bir konu haline almıştır.

Kuramsal olarak, anahtarlamalı güç kuvvetlendiricisi olarak E sınıfı GK'si kullanılarak savak verimliliğini %100 yapabilmek olasıdır. Bu ilke ile çalışan ilk GK, 1964 yılında Ewing [1] tarafından, 500KHz te çalışan 20 W çıkışlı %94 verimlilikli bir kuvvetlendiricide uygulanmıştır. Yetmişli yılların ortalarında ise Sokal [2] lar bu teknikle, 26W çıkışlı %96 verimlilikli bir tek uçlu akortlu kuvvetlendirici ile ilgili makalelerini yayınlamışlardır.

Bu çalışmada, 5.7 GHz frekansta çalışan ve anahtarlayıcı eleman olarak MESFET transistoru kullanan bir E sınıfı güç kuvvetlendirici tasarımı ele alınmıştır. Devre; toplu ve dağılmış parametrelili devre elemanlarının birlikte kullanımı ile gerçekleştirilmiştir.

## II. E SINIFI GK'NIN ÇALIŞIM İLKESİ

Bir E sınıfı kuvvetlendiricinin kuramsal topolojisi Şekil-1 de görülmektedir. Devre, anahtar olarak çalışan bir

transistor ve buna paralel bağlı  $C_1$  kapasitesi,  $L_1$  RF besleme endüktansı, ayarlı  $L_0-C_0$  devresi, ve bir yük direnci  $R_L$  den oluşmaktadır.  $C_1$  kapasitesi, transistorun toplam çıkış parazitik kapasitesini de içermektedir.  $L_0-C_0$  devresi, girişteki işaretin temel bileşeni ile aynı frekansta rezonansta çalışarak  $R_L$  yüküne sinüzoidal bir akım aktarır. Seri rezonantörün gerçekleşmesinde ideal olmayan özellikler  $jX$  reaktansının elemanları olarak söğürülmüştür.  $jX$  reaktansının görevi, akan akımın ve  $C_1$  kapasitesi uçlarındaki gerilimin evresinin ayarlanmasını sağlamaktır.

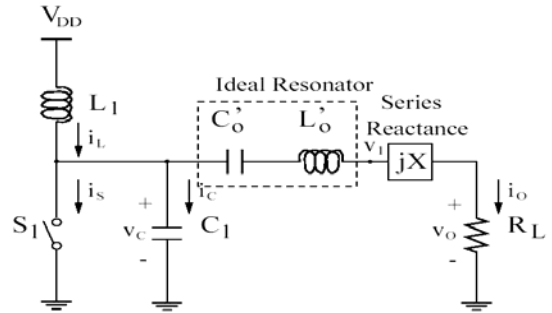


Fig. 1. E-Sınıfı Güç Kuvvetlendiricisinin temel yapısı

Tranzistörden oluşan anahtar S bir yarı periyotta AÇIK diğer yarı periyotta ise KAPALIdır.  $t_1$  yarı periyodunda anahtar açıktır dolayısıyla, anahtardan akan akım sıfırdır.  $t_2$  yarı periyodunda ise bu sefer anahtar kapalıdır ve anahtar üzerindeki gerilim sıfırdır. Sonuç olarak her iki periyottaki gerilim ve akım dalga şekilleri birbirleriyle örtüşmediği için anahtardaki güç kaybı idealde sıfırdır.

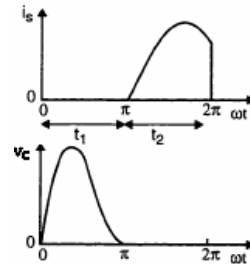


Fig. 2. E-sınıfı karakteristik dalga şekilleri

Anahtar kapalıyken, besleme endüktansı üzerindeki akım  $C_1$  ve  $R_L$  dalları olmak üzere ikiye bölünür.  $C_1$  kapasitesi dolmaya başlar ve anahtar üzerinde bir gerilim oluşmasını sağlar.

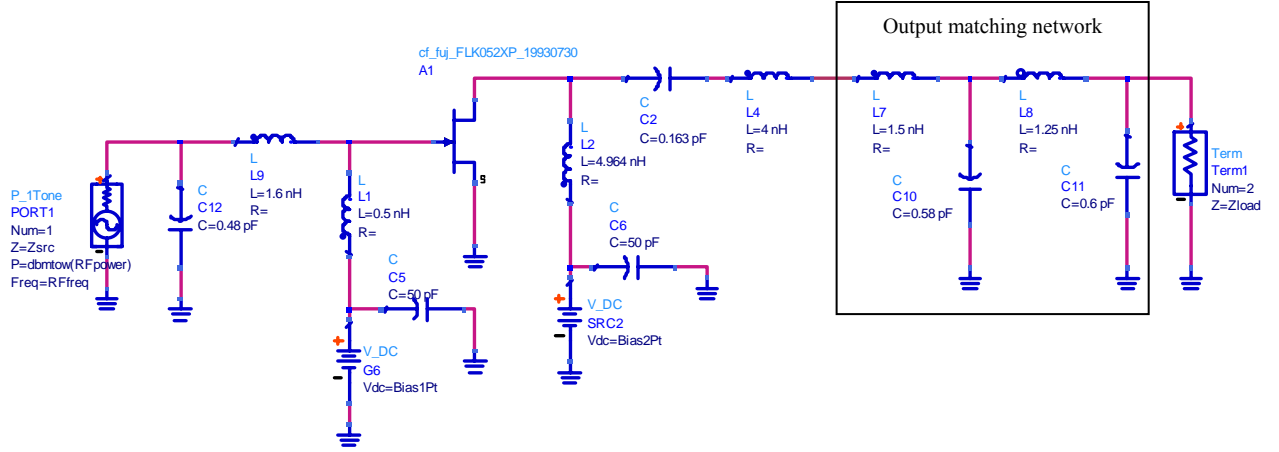


Fig. 3. 5.7 GHz'de benzeşimi yapılan E-sınıfı GK

Anahtar kapandığında ise, C1 üzerinde biriken her türlü enerji anahtar üzerinden toprağa boşalarak bir güç kaybı oluşmasına neden olur. Bu güç kaybını engellemek için, kapanım sırasında Şekil-2 deki gibi anahtarın üzerindeki gerilim sıfır olacak şekilde gerilimin evresi ayarlanmalıdır.

İdeal durumlarda bir E sınıfı GK'nın verimliliği %100'dür. Gerçekte ise, anahtar iletim-direnci ve anahtar açık-kapalı durum değiştirirken geçen süre göz ardı edilemeyecek kadar büyüktürler. Her iki etken de anahtar üzerinde bir güç kaybına neden olarak GK'nın verimliliğini düşürür.

### III. E SINIFI GK TASARIMI

Bu bölümde, 5.7GHz çalışma frekansında iki farklı E sınıfı GK'yı tasarımı verilmiştir. Bu iki devreden biri toplu devre elemanlarla diğeri ise, transmision hattı elemanlarıyla tasarlanmıştır. Devrelerin benzetimleri ve analizleri Hewlett Peckard tarafından yapılmış olan ADS (Advanced Design Systems) isimli benzetim programı ile yapılmıştır. Devrenin tasarımında ideal edilgen elemanlar ve anahtar olarak ise FLK052 MESFET tranzistör modeli kullanılmıştır.

Gerçeklemede kullanılan devre, Şekil-1. de verilen ideal modelden bir miktar farklıdır. Toplam paralel kapasite C<sub>1</sub> tümüyle tranzistörün çıkış kapasitesine denktir ve dışarıdan ek bir kondansatör eklenmemiştir. Diğer taraftan gücün aktarıldığı yaklaşık 28.84 ohm değerli

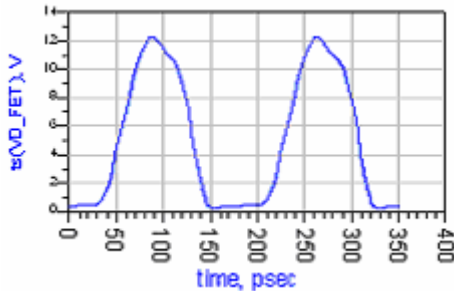


Fig.4. E-sınıfı GK'nin savak gerilimi

RF yükü 2 katlı bir empedans dönüştürücü ile 50 ohmluk yüke uyumlaştırılmıştır. Kuvvetlendiricinin giriş empedans uydurucusunun gerçekleştirilmesinde, seri bir endüktans ve paralel bir kapasiteden oluşan L türü bir dönüştürücü kullanılmıştır. Çıkış rezonatörünün değer katsayısı, gerekli bant genişliğini sağlayacak ve IC içinde gerçekleştirilebilir bir değer olarak 5 mertebelerinde olacak şekilde düşük seçilmiştir. Bütün bu değişikliklere göre oluşturulan E sınıfı GK devresi Şekil-3 te gösterilmektedir.

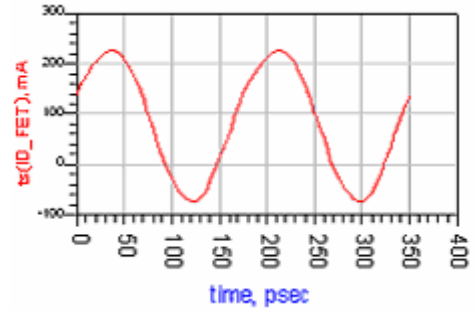


Fig.5. E-sınıfı GK'nin savak akımı

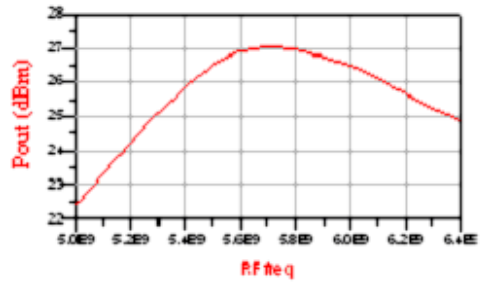


Fig.6. E-sınıfı GK'nin çıkış gücü

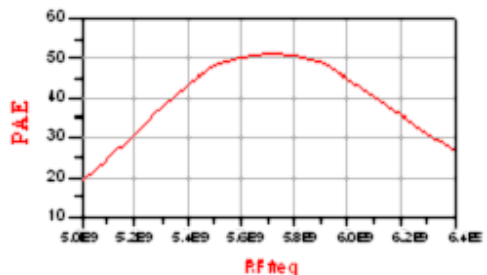


Fig.7. E-sınıfı GK'nin güç ekli verimi (GEV)

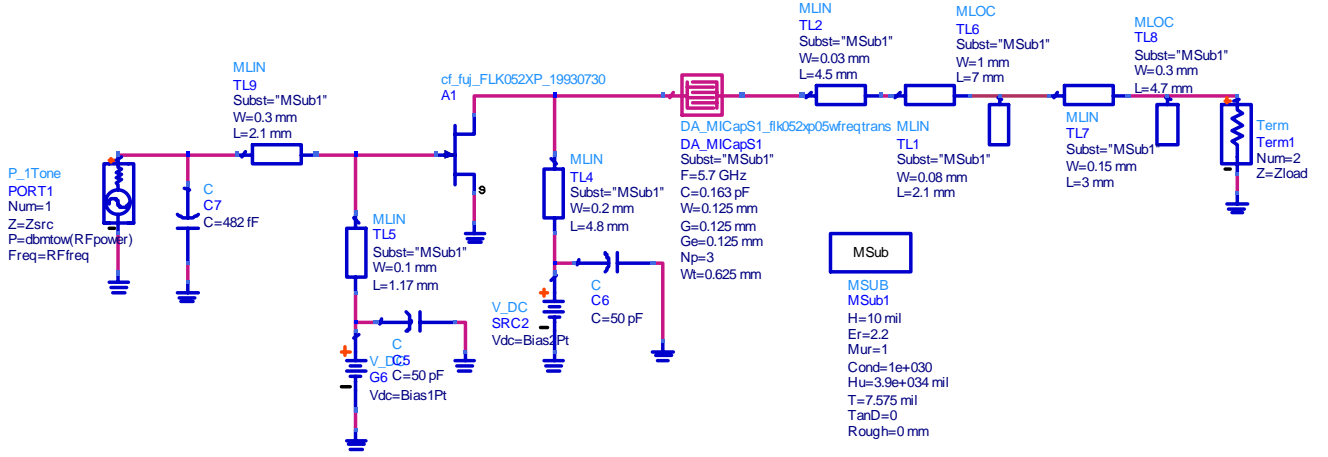


Fig. 8. 5.7 GHz'de benzeşimi yapılan E-sınıfı GK

Genel olarak toplu devre elemanlarla yapılan tasarım, düşük frekanslarda uygun olabilmektedir. Ancak, mikrodalga ve milimetre-dalga frekanslarında iki önemli sorun ortaya çıkmaktadır. İlki, toplu elemanlı kapasitelerin ve endüktansların mikrodalga ve milimetre-dalga uygulamalarında toplu eleman olarak varsayılabildikleri değerleri, beraberinde oluşturdukları parazit elemanlar nedeniyle sınırlıdır. Ayrıca, bu elemanların yüksek sıklık uygulamaları için üretilebilmeleri de çok zordur. Buna ek olarak, yüksek çalışma sıklıklarında elemanların birbirlerine olan uzaklıkları yani, aralarındaki bağlaşım da göz ardı edilemez. İletim hatları kullanarak gerçekleştirilen devreler, IC içerisinde de çok kolay gerçekleştirilebilir ve parazit elemanlarının çok küçük olmaları nedenleriyle, bu tür uygulamalarda yeğlenmektedirler.

Şekil-8 de iletim hatları kullanılarak tasarlanmış bir E sınıfı GK görülmektedir. Bu kuvvetlendirici, Şekil-3 te gösterilen kuvvetlendiriciye bağlı kalınarak tasarlanmıştır. Bu devrede endüktanslar Richard's dönüşüm metoduna göre mikrostrip şeritlerle değiştirilmiştir. Kapasitelerin yerine ise, mikro-şerit geçmeli türden kapasiteler kullanılmıştır. Şeritlerin genişlikleri ve uzunlukları, en iyi davranışı verecek şekilde optimize edilmişlerdir.

Şekil-4 ve Şekil-5 toplu elemanlı olarak, Şekil 9 ve Şekil-10 ise, iletim hatları kullanılarak tasarlanan 5.7 GHz te çalışan E sınıfı kuvvetlendiricilerin savak gerilimi ve akımının dalga şekillerini göstermektedir. Transistörün ideal olmamasından dolayı savak gerilim ve akımında bir çakışma oluşmaktadır. Bunun sonucu olarak da, kuvvetlendiricide bir güç kaybı oluşmakta ve verim düşmektedir.

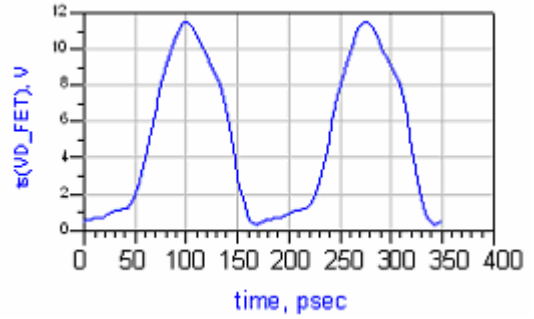


Fig.9. E-sınıfı GK'nin savak gerilimi

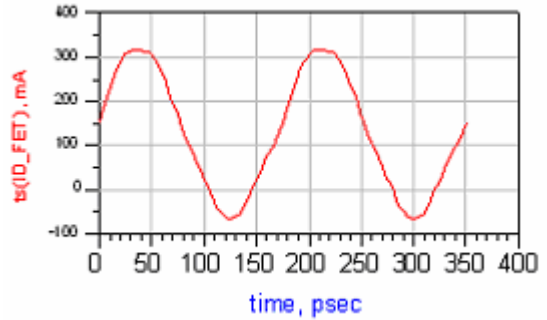


Fig.10. E-sınıfı GK'nin savak akımı

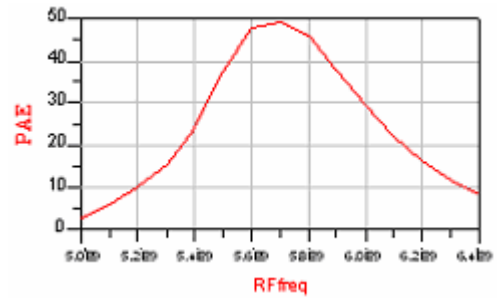


Fig.11. E-sınıfı GK'nin güç ekli verimi (GEV)

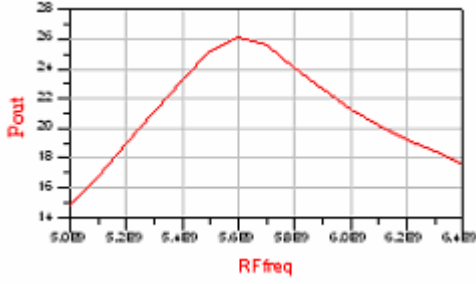


Fig.12. E-sınıfı GK'nin çıkış gücü

Şekil 6-7 de toplu elemanlarla, Şekil 11-12 de ise iletim hatları kullanılarak tasarlanan E sınıfı GK'lerin çıkış güçlerinin sıklığa bağlı değişimleri gösterilmiştir. Bu değişimlerden görülebileceği gibi, GEV değerlerinin %50 civarında olduğu görülmektedir. Çıkış güçleri ise sırasıyla 27dBm 26dBm dir.

#### IV. SONUÇ

Bir kablosuz mobil iletişim cihazında tasarımı en zor olan blok güç kuvvetlendiricisidir. Bu makalede 5.7 GHz te çalışan E sınıfı GK'nın tasarımını incelemektedir.

Makalede iki adet 5.7 GHz E sınıfı GK sunulmuştur. Bu GK'ların biri toplu devre elemanlarıyla diğeri ise transmisyona dayalı olarak tasarlanmıştır. Her iki devrede GEV değerleri %50 ve çıkış güçleri 500mW ile çok olumlu sonuçlar sergilemişlerdir.

#### V. KAYNAKÇA

[1] G. G Ewing, "High -Efficiency Radio-frequency Power Amplifiers", Corvallis Oregon, USA, Oregon State University, 1964.

[2] N. O. Sokal and A. D. Sokal, "Class E-a new class of high efficiency tuned single-ended switching power amplifiers", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 10, pp.168-176, 1975.

[3] F. H. Raab, "Idealized Operation of the Class E Tuned Power Amplifier", *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 24, pp 725-735, 1977.

[4] S. C. Cripps, "RF Power Amplifiers for Wireless Communications", Artech House, Boston, 1999.

[5] D. Milosevic, J. Tang and A. Roermund, "Design of a 2 GHz GaAsHBT-based Class-E power amplifier", *ProRISC Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing*, 2004.

[6] A. Adahl, H. Zirath, "An 1 GHz Class E LDMOS Power Amplifier," *33rd European Microwave Conf.*, 2003.

[7] K. Ilhan- and O. Palamutcuogullari, "MOS Class-E Power Amplifier Optimization for Wireless Application" *ELECO 2003, Third Int. Conf. On Electrical and Electronic Engineering, Proceedings, Bursa-Turkey, December 2003*, pp:03-07.