

# RF Devreler İçin Güç Ölçme Ve Adaptif Kontrol Uygulaması

MESUD KAHRİMAN<sup>1</sup>, ADNAN KAYA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Isparta

**Özet:** Empedans uyumlandırma, RF sistemlerde güç tüketimi ve sinyal seviyesinin en az bozulma ile alıcıya aktarılmasında oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Geleneksel yöntemler ile farklı empedans uyumlandırma sistemleri mevcuttur. Bu çalışmada öncelikle, sistemde ilerleyen ve yansıyan RF sinyaller tespit edilmiştir. Daha sonra sistemin mikrodenetleyici ile adaptif kontrolü gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistemin, farklı frekanslardaki tepkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** RF güç ölçme, mikrodenetleyici, adaptif kontrol

## Power Measurement and Adaptive Control Application for RF Circuit

**Abstract:** Impedance matching is a very important part in RF systems with power consumption and at least deterioration of the signal level transferred to the receiver. There are different impedance matching systems in traditional methods. In this study, firstly, transmitted and reflected RF signals have been detected and besides, system has been controlled with microprocessor. However, different frequency responses of proposed system were investigated.

**Keywords:** RF power measurement, microcontroller, adaptive control

### 1. Giriş

Yükselteçler elektronik sistemlerin temel bloklarından biridir. Düşük güçlü mikrodalga yükselteç tasarımı, (MTA) gelişmiş radar uygulamaları sinyal üretimi, kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan mikrodalga sistemler ve cihazlar için gereklidir (Rohde, 2000; Pozar, 1998). En genel ve temel MTA tasarım yöntemlerinden biri mikroşerit teknolojisidir. Bu çalışmada yükselteç tasarımında gerekli olan uyumlandırma devreleri için kapalı form açıklamaları uygun bir şekilde kullanılacaktır. Küçük sinyal yükselteçleri haberleşme sistemlerinin en önemli parçalarındandır (Pozar, 1998).

Bu yükselteçler alıcı zinciri içinde kullanıldığında, alıcıların geniş bir sinyal bölgesinde tepki vermeleri gerektiğinden, minimum performans düşümüyle geniş bir dinamik bölgeye sahip olarak çalışmalıdırlar (Kluge ve ark., 2003). İstenen sinyal çok güçlü olduğunda alıcıdaki yükseltme sinyali sonraki katlar için bozulmanın çok fazla olacağı seviyelere kadar ulaştırabilecektir. Böylece sonuçta daha düşük sinyal-gürültü oranı (SNR) veya daha yüksek bit hata oranı (BER) oluşacaktır. Bu şu anlama gelmektedir: sistem kazancı azalırken sinyal gücü artmaktadır. Bu durumda minimum geri dönüş kaybına sahip yüksek uyumlandırma devre formları kullanılabilir (Tomasi, 1994).

Bu çalışmada giriş uyumlandırmasının değişmesiyle rezonans frekansı ve kazancı değişebilen yükselteçler için tasarım prosedürleri sunulmaktadır. Giriş ve çıkışta anlık konjugate uyumlandırma durumları incelenmektedir. Bu tasarım metodolojisi ile, uyumlandırma devrelerinin tasarımında Pi, L ve T devreleri örnek verilebilir (Doddamani ve ark., 2007; Esame ve ark., 2006).

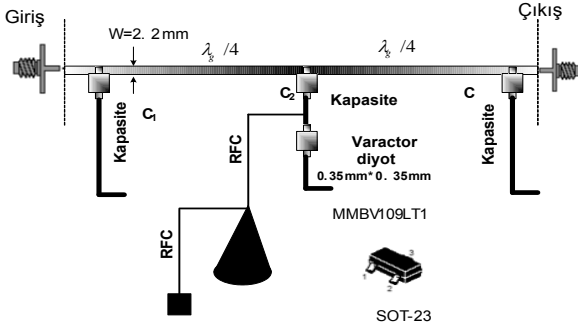
Sonuçta bu sistemler empedans değişimleri ile çalışma noktasındaki değişimleri kompanze edebilir. Özellikle alıcıda, limitler içinde potansiyel sinyal gürültü oranı (SNR) en iyi olacak şekilde tasarım yapılmalıdır. Bu çalışmadaki gibi RF ön uç temel işleminde, bilinen bir modülasyon formatında ve frekans bölgesinde veya belirli bir frekansta radyo dalgalarının iletme işlemlerinin yapıldığı ya da algılama işlemlerinin yapıldığı açıktır. Bu modüllerle iletilen bilgi, ses, data veya video olabilir. Alıcı, iletilen frekansla rezonansa gelecek şekilde ayarlanmalıdır. Alınan sinyaller, çevreden gelen diğer sinyallerden ve gürültü sinyallerinden filtrelenir ve demodülasyon işleminden hemen sonra yükseltilir (Stece, 1999). Özetle, RF devreler için güç ölçme ve adaptif kontrol uygulamaları son zamanlarda önem kazanmıştır.

### 2. Empedans Uyumlandırma

Kaynak ve yük arasında uyumlandırma için birçok teknik, literatürde kullanılmıştır. Empedans ayarlama devreleri RF yükselteçler, anten uyumlandırma devreleri gibi çeşitli elektronik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tip uyumlandırma sistemleri anten ve ön parça arasında uyumlandırma sağlamaktadır. Elektromanyetik şartların değişmesi, sistemlerdeki karmaşıklık seviyelerinin artması uyumlandırma sistemlerine olan ilgiyi arttırmaktadır. Öncelikle yük altında ön modüller optimum verimlilikle çalışmazlar. Yansıyan güçler nedeniyle yükselteçten aktarılan güçte de antenden ışılan güçte de azalma olmaktadır (George ve ark., 2005). Yansıyan durum 1. eşitlikteki gibi ifade edilir.

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \quad (1)$$

Sistemde sinyal zayıflamasını ve bozulmayı önlemek, fonksiyon blokları arasındaki empedans uyumsuzlukları nedeniyle sinyal yansımalarını minimize edebilmek için, yüksek frekans test ekipmanlarının da empedansı olan 50 ohm karakteristik empedans referans alınmaktadır. IC ve MCM (çoklu çip modülü) için GHz frekanslarında bağlantı hatları oldukça kısadır ve bu yüzden alt devreler arasındaki 50 ohm problemi çok önemli değildir. Sonuçta kaynak ve yük arasındaki empedans uyumsuzluğunun olduğu sistemlerde enerji tüketimi artmakta ve iletim kalitesi zarar görmektedir ve hatta yansımadaki sinyal seviyesi çok yüksekse ve izolatör kullanılmıyorsa antenli verici sistemlerinde giriş modülleri elektriksel olarak zarar görebilir. Bu çalışma için örnek bir sistem olarak Şekil 1'deki uyumlandırma sistemi görülmektedir. Varikap diyot uçlarındaki gerilim değiştirilerek kapasite değeri değiştirilmektedir. Böylece katlar arasındaki empedans uyumsuzlukları azaltılabilmektedir.



Şekil 1. Varikap diyotlu uyumlandırma sistemi

Verilen  $P_i$  uyumlandırma devresinin belirli yük koşulları altında, empedans sınırları için bazı yaklaşımlar yapılabilir. Bunun için bir parametre sabit tutulurken diğer parametre değiştirilmektedir. Böylece tasarımdaki seçimlere göre tüm durumlar değerlendirilebilir. Bu yüklü durumdaki uyumlandırma sistemi için giriş empedansı aşağıdaki gibidir.

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \cong \frac{R}{1 + 2jQ \frac{\Delta\omega}{\omega_0}} \quad (2)$$

Yük empedansı,  $Z_L$  olarak, sıfırdan farklı bir gerçek kısma sahip ise empedans uyumlandırma her zaman yapılabilir. Uyumlandırma katı için birçok seçeneğimiz vardır. Belirli bir uyumlandırma sistemi seçiminde önemli olabilecek faktörler şunlardır:

**1- Karmaşıklık:** Birçok mühendislik çözümlerindeki gibi, gerekli özellikleri sağlayabilecek en basit tasarım tercih edilir. Basit bir uyumlandırma sistemi genellikle, karmaşık bir tasarıma göre daha ucuz, güvenilir ve kayıpsızdır.

**2- Bant Genişliği:** Uyumlandırma sisteminin bütün çeşitleri ideal olarak belirli bir frekansta mükemmel uyumlandırma (sıfır yansıma) yapar. Birçok uygulamalarda, bir yük ancak bir frekans bandı üzerinden uyumlandırılması arzu edilir. Elbette bunu, karmaşık bir tasarım ile yapmanın birçok yolu vardır.

**3- Uygulama:** Uyumlandırma sistemine göre, kullanılan iletim hattı ve dalga kılavuzu türüne bağlı olarak, tercih edilebilir.

**4- Ayarlanabilirlik:** Bazı uygulamalarda uyumlandırma sisteminin, değişken yük empedansına uyumlandırılması için ayarlanması gerekebilir. Bu konuda, uyumlandırma sistemlerinin bazı türleri diğerlerinden daha uyumlu olur.

Bu çalışmada tüm bu özellikleri dikkate alınarak adaptif kontrol uygulaması yapılmıştır.

### 3. Ölçüm Düzenegi

Sistemi, en iyi performans düzeylerinde çalıştırabilmek için, sistem performansının farklı çalışma durumlarındaki değerleri ölçülüp, bu ölçüm sonuçları karşılaştırılarak adaptif kontrol katında reaktif değerlerin en uygun değere sabitlenmesi gerekmektedir. Sonuçta, sistem performansını kontrol edecek ölçüm düzenegi gerekmektedir. Ölçüm düzenegi, Yönlü koplör, güç tespit ve mikrodenetleyici olmak üzere üç ayrı kattan oluşmaktadır.

#### 3.1. Yönlü Koplör

MTA performansı için en önemli parametrelerden biri geri dönüşüm kaybı (return loss) dir. Geri dönüş kaybı sistemin parçaları arasındaki veya iletim hatları arasındaki empedans uyumsuzluğu nedeniyle gönderilen gücün bir kısmının yansımaya geri dönmesi sonucu oluşan güçtür. Geri dönüş kaybının ölçümünde yararlanılacak deney düzeneginin temel elemanı directional couplerdir. Yönlü koplör mikrodalga sistemlerde yansıyan, iletilen sinyallerden örnekler alınmasını sağlayan bir yüksek frekans ölçüm elemanıdır. Yönlü koplör 4 portlu bir eleman olup temel yapısı Şekil 2'de görülmektedir. Yönlü koplörün girişindeki gerilim değeri 3. eşitlikte, yansıyan gerilimi veren ifade 4. eşitlikte verilmiştir. Bunlara bağlı olarak yansıyan sinyalin, gelen sinyale oranını veren ifade ise 5. eşitlikte görülmektedir. 6. eşitlikte ise yansıma kaybını veren ifade verilmiştir.

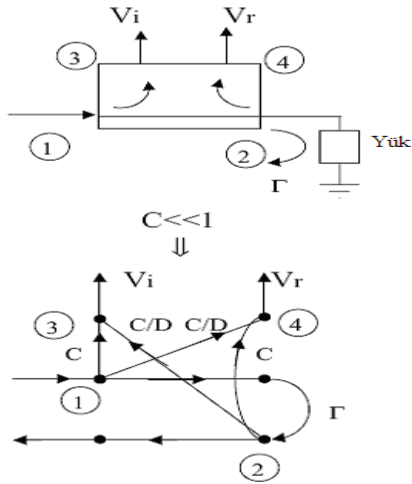
$$V_i = C + \frac{C}{D} \Gamma e^{j\theta} \quad (3)$$

$$V_r = C + \frac{C}{D} \Gamma e^{j\theta} \quad (4)$$

$$\frac{V_r}{V_i} = \frac{1 \pm \Gamma}{1 \pm \frac{1}{D} \Gamma} \quad (5)$$

$$RL(dB) = 20 \log \left( \frac{P_r}{P_i} \right)$$

(6)

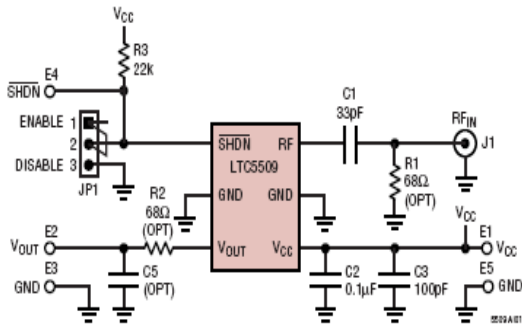


Şekil 2. Yönlü kuplör'ün temel yapısı

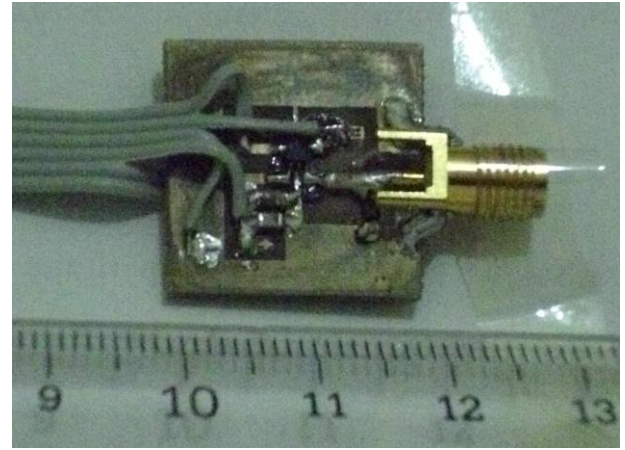
### 3.2 RF Güç Ölçümü

Coupler'dan gelen güç seviyesini tespit etmek için Linear Technogy firmasının LTC5509 entegresi kullanıldı. LTC5509, 300 MHz'den 3 GHz'e kadar frekans aralığında RF güç algılama özelliğine sahiptir. Bu işlem, dahili ara yükselteç, RF Schottky diyotlu tepe dedektör ve seviye öteleme yükseltici ile gerçekleştirilir. Gelen RF sinyalin seviyesine göre çıkıştan DC bir gerilim elde edilir. Çıkıştaki DC değer, girişteki RF sinyalin değeri ile orantılı olarak değişmektedir.

LTC5509'un içerisindeki Schottky diyot, sıcaklıktan kompanse edilmiş durumdadır. 300 MHz'den 3 GHz'e kadar olan frekans aralığında, -30 dBm seviyesinden 6 dBm'e kadar olan RF sinyallerin seviyesini algılama yeteneğine sahiptir. Besleme olarak 2.7 V ile 6 V aralığında çalışmaktadır. Çalışma akımı 600 mA seviyelerinde olup, süknunet durumunda 2 mA'den az akım çekmektedir. LTC 5509 için uygulama devresine ait yapı Şekil 3'de, RF güç ölçmede kullanılan LTC 5509'lu hazırlanan devreye ait resim Şekil 4'te görülmektedir.



(a)

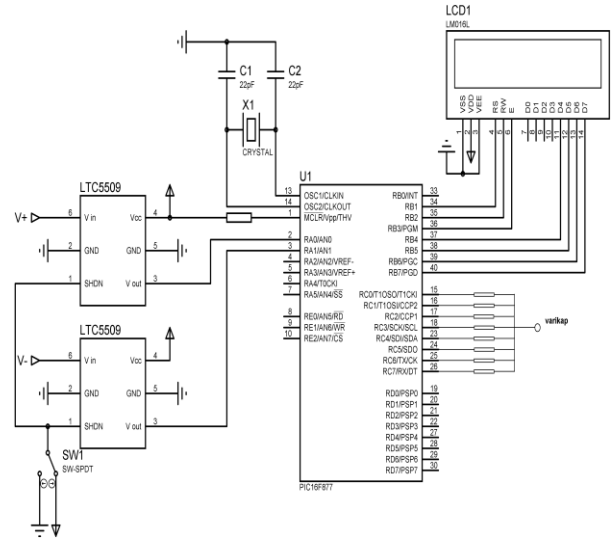


(b)

Şekil 3. (a) LTC 5509 için uygulama devresi  
(b) Baskı devresi

### 4. Mikrodenetleyicili Adaptif Kontrol Katı

Sistemin performansını tespit edebilmek için gelen RF sinyal seviyesi ve yansıyan sinyal seviyelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu değerlerin işlenip sistem performansını kontrol edileceği bir mikrodenetleyici olarak Microchip firmasının PIC 16F877 entegresi kullanılmıştır. 16F877 mikrodenetleyicisi, 8 kanal analog bilgiyi 10 bit çözünürlük ile okuyup işleme yeteneğine sahiptir. Böylece LTC5509'un çıkışındaki DC gerilimi mikrodenetleyiciye okutmak için ayrıca bir ADC'ye gerek kalmamıştır. Şekil 4'te sistem performansına ait RF sinyal seviyelerini tespit edip, adaptif kontrol uygulanarak, en uygun değere karar veren sistemin şeması görülmektedir.



Şekil 4. Mikrodenetleyicili adaptif güç kontrol devre şeması

Tablo 1. Farklı giriş frekans değerleri için MTA performans kontrolü ( $V_{SWR} < 1.5$ )

Frekans (MHz)	Giriş (dBm)	$V_{\text{varikap}}=0V$ (sabit) VSWR	VSWR	Karar verilen varikap gerilimi (mV)
350	7	1,6	1,5	26,0
500	-3	3,0	1,5	2520,0
550	-3	2,5	1,5	1237,0
600	-3	1,6	1,0	618,0
700	-2	1,6	1,0	1875,0
770	-1	3,0	1,3	853,0
800	0	3,0	1,3	1358,0
900	0	1,4	1,4	103,0
950	1	2,5	1,3	824,0
975	3	2,2	1,2	1578,0
1000	3	2,2	1,2	1433,0

Sisteme gelen RF sinyal için; kuplörün 3. bacağından sistemden yansıyan için ise 4 bacağından örnek alınmıştır. Bu bacaklardaki sinyal seviyelerini tespit etmek için her birisine Şekil 3'te görülen devrelerden hazırlanmıştır. Böylece ilerleyen ve yansıyan sinyal seviyesi ile orantılı DC gerilim değerlerine sahip olunmuştur. Bu DC değerler 16F877 ile Şekil 6'de verilen algoritma ile işlenerek sistemin en uygun performansta çalışması sağlanmaktadır.

### 5. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 6'da görülen Mikrodenetleyicili adaptif güç kontrol devresi çalıştırılıp performans testlerine geçilmiştir. Bu işlem için RF sinyal kaynağı olarak, TTI firmasının "TGR1 1 GHz SYNTHESISED RF SIGNAL GENERATOR" kullanılmıştır. Sinyal kaynağı 0 ile 1000 MHz aralığında -127 dBm ile +7 dBm arasında RF sinyal üretebilmektedir. Bu kaynak Tablo 1 de verilen, farklı frekans ve güç değerlerine ayarlanıp RF sisteme uygulanmıştır. Uygulanan RF sinyal sonucunda sistem üzerinde oluşan ilerleyen ve yansıyan dalga seviyeleri, sistem üzerinde bulunan directional coupler'ın 3 ve 4. bacaklarında bulunan LTC5509'lu RF sinyal güç algılama devresi ile DC seviyelere dönüştürülmektedir. Sinyal kaynağı Tablo 1'de verilen farklı frekans ve güç değerleri için çalıştırıldığında mikrodenetleyicili devre Şekil 5'de verilen algoritma ile çalışmaktadır.

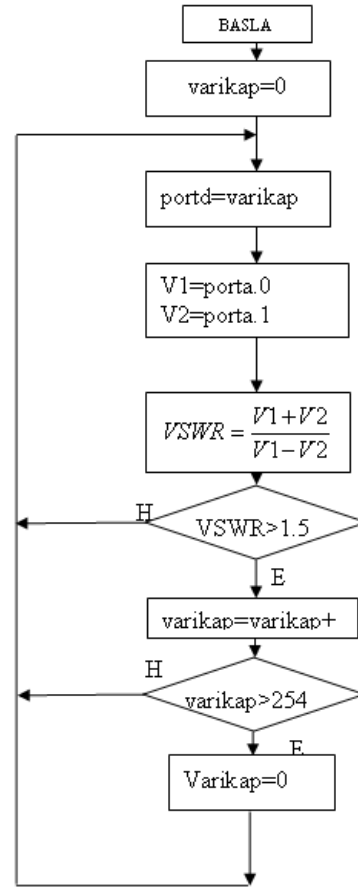
Algoritmaya göre varikap diyota 0 V başlangıç değeri uygulanmaktadır. Uygulanan bu başlangıç değerine göre sistem performansı; LTC5509'lu devrelerin çıkışlarındaki DC gerilim değerleri PIC16F877'nin dahili ADC'leri ile okunup ilerleyen ve yansıyan dalga değerleri tespit edilmektedir. Bu değerler işlenerek gerilim cinsinden duran dalga oranı (VSWR) tespit edilmektedir.

VSWR değeri eşik olarak kabul edilen 1.5 değerinin altında ise sistemin yeterince verimli çalıştığı kabul edilmekte, varikap diyot geriliminde herhangi bir değişiklik yapılmamakta ve sisteme dışarıdan yapılabilecek müdahalelere cevap verebilmek açısından başa dönüp yeni değerler ölçülmektedir.

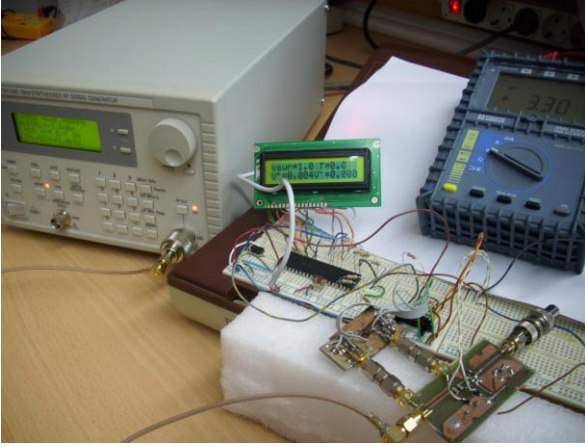
VSWR değeri 1.5 eşik değerinin üzerinde bulunması halinde empedans uyumlandırma katında bulunan varikap diyota uygulanan gerilim bir basamak arttırılmakta ve yapılan değişikliğin etkisini tespit etmeye yönelik yeni ölçümler alınmaktadır. Varikap diyotun üzerindeki gerilimi arttırma işlemi, VSWR değeri 1.5'in altında kalana kadar devam ettirilmektedir.

Mevcut uygulamada, mikrodenetleyicinin 8 portu çıkış olarak kullanıldığı için varikap diyot üzerindeki gerilim 0-5 V aralığında 255 basamağa ayrılmıştır. Mikrodenetleyici çıkışındaki gerilim 255 (5V) değerine ulaştığında varikap diyot uçlarındaki gerilimin tekrar başa dönerek 0 (0V) değeri uygulaması sağlanmıştır.

Şekil 6'da resmi görülen sistem yukarıda çalışması anlatılan Şekil 5'deki algoritma ile çalıştırıldığında Tablo 1'deki sonuçlar ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. MTA performansını iyileştirme algoritması



Şekil 6. RF yükselteç tasarımı uygulaması için mikrodenetleyicili adaptif güç kontrol devresi

## 6. Sonuçlar

Yapılan çalışma sonucunda, RF devreler için güç ölçme ve adaptif kontrol uygulama devresi hazırlanmıştır. Bu devre yardımıyla RF devrelerde empedans uyumsuzluğu sebebiyle oluşan VSWR tespit edilmekte ve bu değer kabul edilebilir seviyelerde tutulması sağlanmıştır. Mevcut çalışmadaki ölçümler Tablo 1'den görüleceği üzere 350 MHz ile 1000 MHz aralığında yapılmıştır. Daha yüksek frekanslarda çıkış veren RF sinyal jeneratörü kullanılması durumunda, LTC5509'un üst çalışma frekansı olan 3 GHz'e kadar, sistemde herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Ayrıca, birden fazla katı bulunan RF devreler için, katlar arasına önerilen adaptif uyumlandırma devresi yerleştirilerek, en üst seviyede performans artışı gözlemlenebilir.

## 7. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 107E200 nolu KARIYER PROJESİ kapsamında desteklenmektedir.

## 8. Kaynaklar

- [1] Esame, O., Kaynak, M., Kavlak, C., Bozkurt, A., Tekin, I., Gürbüz, Y., 2006. IEEE 802.11a Standard Uyumlu, RF Alıcı-Verici Alt-Blok Devrelerinin Gerçeklenmesi, URSI, Hacettepe Üniversitesi.
- [2] Doddamani, N. D., Harishchandra, A.V., 2007. Design of SPDT Switch, 6 Bit Digital Attenuator, Bit Digital Phase Shifter for L-Band T/R Module using 0.7 uM GaAs MMIC Technology, International Conference on Signal Processing, Communications and Networking, ICSCN '07. pp.302 – 307.
- [3] George, D., Vendelin, Anthony M., Pavio, Ulrich., L. Rohde., 2005. Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques, Wiley & Sons. Inc, New Jersey.
- [4] Kluge, W., Dathe, L., Jaehne, R., Ehrenreich, S., and Eggert, D., 2003. A 2.4 GHz CMOS Transceiver for 802.11b Wireless LANs," in IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers
- [5] Pozar, M., 1998. John Wiley&Wiley, Microwave Engineering.

[6] Rohde, L. U., 2000. RF/Microwave Circuit Design For Wireless Applications, John Wiley&Sons, Inc.,2000.

[7] Stece, C., 1999. RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House.

[8] Tomasi, W., 1994. Elektronik İletim Teknikleri, Prentice- Hall (MEB), ISBN:975.11.0877.2.