

## Determination of Parameters for 2.45 GHz Wi-Fi RF Energy Harvesting

Sertaç Kaan Tokyay<sup>1,\*</sup>, Filiz Sarı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aksaray University, Engineering Faculty, Electrical-Electronic Engineering Department, Türkiye

<sup>2</sup>Aksaray University, Engineering Faculty, Electrical-Electronic Engineering Department, Türkiye

### Keywords

Energy Harvesting, Voltage Multiplier, Impedance Matching, Schottky Diode, Low Power Applications.

### Article information

Received: Dec 4, 2023

Revised: Dec 26, 2023

Accepted: Dec 28, 2023

Online: Jun 03, 2024

### Abstract

In this study, circuit of 2.45 GHz RF energy harvesting which is considered that use of lumped components that produced by manufacturing companies, has been studied. All analyzes have been made through simulation using the Advanced Design System (ADS) 2016 program. The system was designed to operate at a frequency of 2.450 GHz (Wi-Fi) with a 50  $\Omega$  internal resistance antenna. For the rectification circuit, the use of HSMS2850, HSMS2852, HSMS285B, HSMS285C, HSMS2860, HSMS2862, HSMS286B, HSMS2820, HSMS2822, HSMS2810, and SMS7630 Schottky diodes have been considered. The load resistance at which the system efficiency is highest at this frequency and the input power ranging from -50 dBm to 30 dBm were determined, for each diode. An L-type (L-C) impedance matching circuit design was developed to enhance the efficiency, and Murata products that closely match the obtained values were used. Finally, the output voltage and efficiency of the resulting system were analyzed by using an open-serial transmission line (TL) in order to bring the efficiency, which is away from ideal values by using the manufacturer's products, closer to the ideal. Among the examined diodes, the highest efficiency was obtained for SMS7630 diode as 46.053% at a load resistance of 2.7 k $\Omega$  and -1 dBm input power.

doi: [10.29002/asujse.1400173](https://doi.org/10.29002/asujse.1400173)

## 2.45 GHz Wi-Fi RF Enerji Hasadı için Parametrelerin Belirlenmesi

### Anahtar Kelimeler

Enerji Hasadı, Gerilim Çoklayıcı, Empedans Uyumlama, Schottky Diyot, Düşük Güç Uygulamaları.


### Özet

Bu çalışmada, üretici firmalar tarafından üretilmiş olan toplu elemanların (Lumped Components) kullanımı göz önünde bulundurularak 2.45 GHz RF Enerji Hasadı devresi incelenmiştir. Bütün analizler simülasyon yoluyla yapıлып, simülasyonlar; Advanced Design System (ADS) 2016 programı kullanılarak yapılmıştır. Sistem 50  $\Omega$  iç dirence sahip bir antenden, 2.450 GHz (Wi-Fi) frekansında çalışacak şekilde düşünülmüştür. Doğrultma devresi için HSMS2850, HSMS2852, HSMS285B, HSMS285C, HSMS2860, HSMS2862, HSMS286B, HSMS2820, HSMS2822, HSMS2810 ve SMS7630 Schottky diyotlarının kullanımı göz önünde bulundurulmuştur. Her bir diyot için bu frekansta sistemin veriminin en yüksek olduğu yük direnci ve -50 dBm ile 30 dBm aralığındaki giriş gücü belirlenmiştir. Verimi yükseltmek amacıyla L tipi (L-C) empedans uyumlama devresi tasarımı yapılmış, elde edilen değerlere yakın değerleri veren Murata ürünler kullanılmıştır. Son olarak, üretici firma ürünlerinin kullanılmasıyla ideal değerlerden uzaklaşan verimi ideale yaklaştırabilmek için açık – seri iletim hattı (Transmission Line (TL)) kullanılarak, elde edilen sistemin çıkış gerilimi ve verimliliği analiz edilmiştir. İncelenen diyotlar arasında en yüksek verim SMS 7630 diyotu için 2.7 k $\Omega$  yük direncinde -1 dBm giriş gücünde % 46,053 olarak elde edilmiştir.

## 1. Giriş

Günümüzde enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla birlikte, sürdürülebilir ve kendi kendine yetebilen çözümler arasında Radyo Frekansı (RF) Enerji Hasadı da bulunmaktadır [1-6].

Elektromanyetik dalgalardan kaynaklanan kablosuz enerji, mobil iletişim sistemleri ve kablosuz yerel erişim ağları (WLAN) gibi farklı iletişim sistemlerinden yayılır [7]. Bu sistemler insanın günlük yaşamında sürekli olarak bulunmakta ve kullanımları giderek artmaktadır [8]. RF Enerji Hasadı, çevresel RF sinyallerini yakalayıp doğru akım (DC) formatındaki elektriğe dönüştürerek düşük güç tüketimine sahip elektronik cihazları çalıştırmak için kullanılır [9, 10]. Bu teknoloji, sadece çevre dostu değil, aynı zamanda giderek artan bir şekilde birbirine bağlı dünyamızda enerji verimli çözümlere yönelik artan talebe de cevap verir [11, 12].

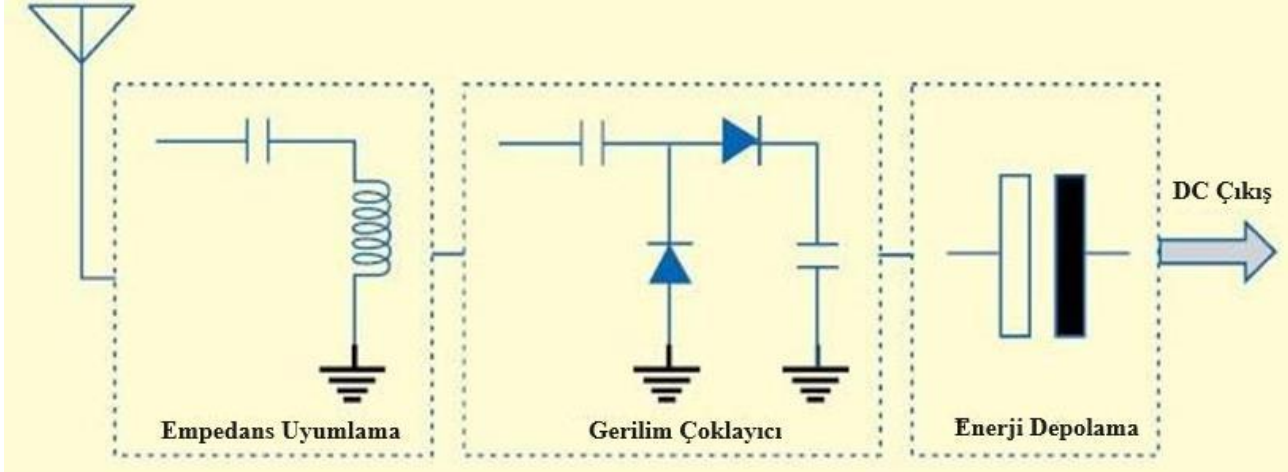
\*Corresponding Author: •e-mail: [skaantokyay@gmail.com](mailto:skaantokyay@gmail.com)  0000-0003-0762-939X



RF Enerji Hasadı uygulama alanları, sensörlerin beslenmesi, kablosuz şarj istasyonları, giyilebilir cihazlar ve nesnelerin interneti (IoT) cihazlarına güç sağlamaktan iletişim ağlarının enerjilendirilmesine kadar çok çeşitli endüstrileri kapsamaktadır [13].

RF sinyalleri ortamda sürekli bulunsun da düşük güç seviyesi, iletim mesafesinden etkilenmesi ve ortamdaki diğer sinyaller ile girişim problemleri başlıca dezavantajlarıdır [14]. Bu dezavantajları gidermek için RF enerji hasat devresini, kaynağa yakın bir bölgeye yerleştirmek ve band durdurma devresi tasarımının hassasiyeti yüksek devre elemanları ile yapılması elde edilecek verimi artıracaktır.

Bir RF Enerji Hasat Devresini oluşturan elemanlar; anten, uyumlama (Matching) devresi, doğrultucu devre ve DC filtredir. Anten ortamdaki RF enerjisini almak ve elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılmaktadır. Şekil 1, RF toplama sisteminin temel bileşenlerini göstermektedir [15].



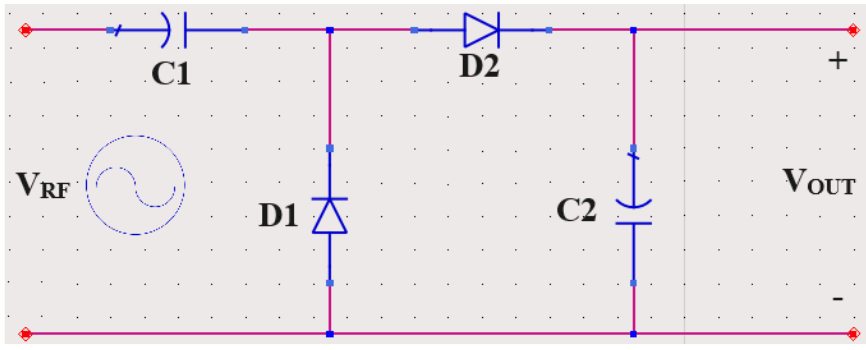
Şekil 1. RF enerji hasat sisteminin temel bileşenleri [15].

Doğrultucu devre girişteki AC sinyali DC sinyale çevirir, bu çalışmada Schottky diyot ve kondansatörden oluşan doğrultucu devre yapısı kullanılmıştır. Antenden gelen sinyalden maksimum güç elde etmek için anten ile doğrultucu devre arasında empedans uyumlama devresi yerleştirmek gerekmektedir, böylece maksimum güç transferi sağlanmış olur. Elde edilecek enerji miktarı, miktarı, gerilim çoklayıcı devresindeki Schottky diyot, kapasitör ve uyumlama devresine göre farklılık göstermektedir. [5]'te 915 MHz HSMS2852 ve HSMS2822 diyotları farklı yük dirençleri ve uyumlama devreleri için karşılaştırılmış, belirtilen frekans için en uygun diyot HSMS2852 olarak belirtilmiştir. [6]'da çift band için (0.9 GHz ve 2.45 GHz) 7 kademeli gerilim çoklayıcı devresi 1.8 nF kapasitör ve SMS7630 diyotu kullanılarak tasarlanmış, uyumlama devresinde ise iletim hattı (Transmission Line (TL)) kullanılarak 10 dBm giriş gücünde 1.3 V elde edilmiştir. [16]'da 2.45 GHz için, gerilim çoklayıcıda HSMS2862 diyotu ve 100 pF kapasitör, uyumlama devresi için TL kullanılarak yapılan simülasyonlarda 0 dBm de %55.8 verim elde edilmiştir. [17]'de SMS7630 diyotu ile gerçekleştirilen hasat devresinde 8dBm giriş gücü için %50'den yüksek verim elde edildiği belirtilmiştir. [18]'de HSMS2852 diyotu için yapılan simülasyonlarda ideal devre elemanları için 7 dBm giriş gücünde %66 verim elde edilmiştir. [19]'da 2.45 GHz için SMS7630 diyotu kullanılarak uzaklığın etkisi analiz edilmiştir.

Bu çalışmada, 2.45 GHz Wi-Fi bandında kullanılan Schottky diyotlar, yük dirençlerinin verim üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Ayrıca uyumlama devresi tasarımında, üretici firma ürünü (vendor) olarak Murata ürünleri seçilerek açık – seri TL (vendor + TL) kullanılarak Advanced Design System (ADS) programında simülasyonlar yapılmıştır. Ürünlerinin parametreleri göz önünde bulundurularak karşılaştırma yapılmıştır. En yüksek verim SMS7630 diyotunda 2.7 k $\Omega$  yük direncinde -1 dBm giriş gücünde %46.053 olarak elde edilmiştir.

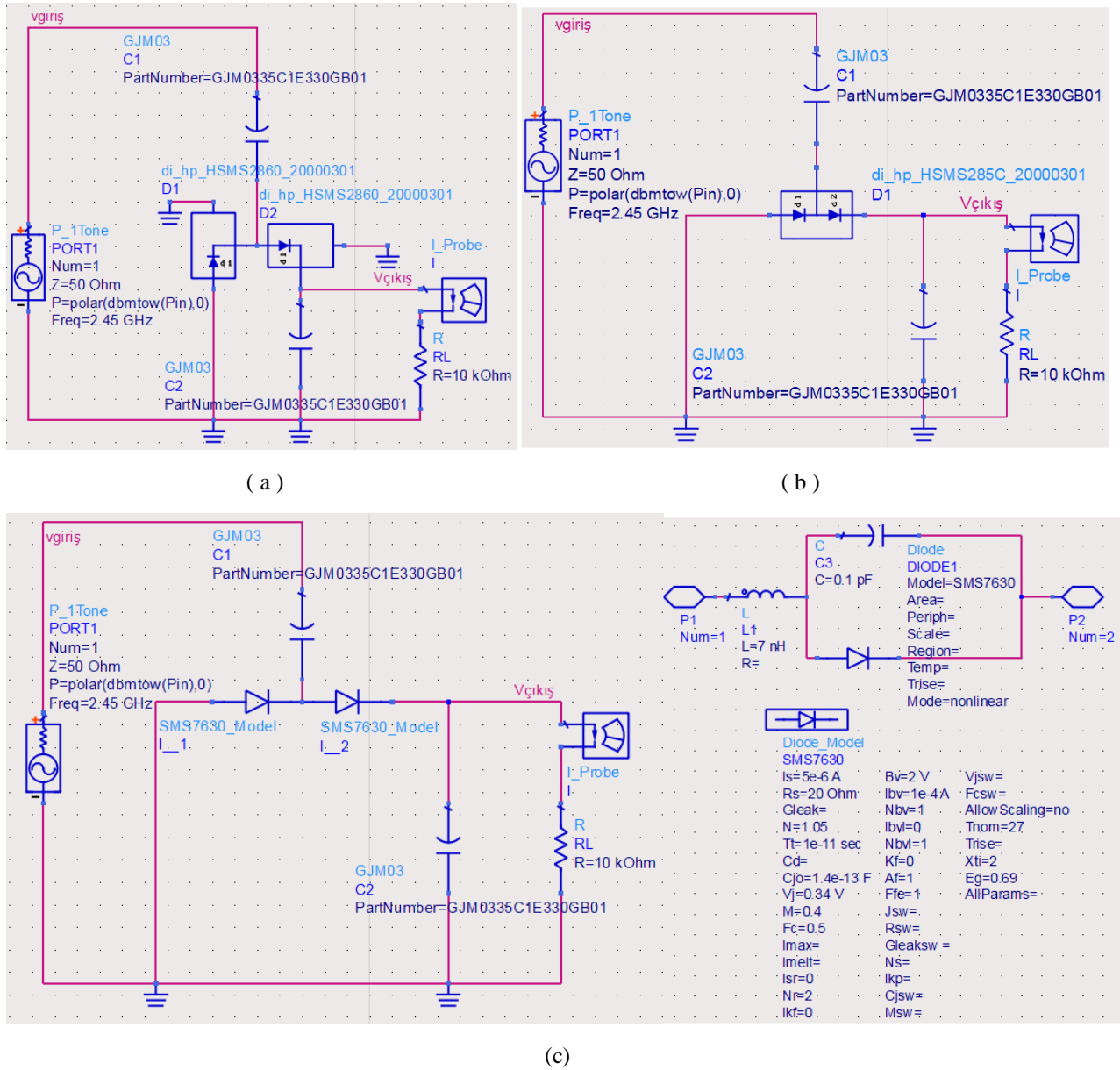
## 2. Doğrultucu Tasarımı

Genel bir gerilim doğrultucu devresi Şekil 2'de sunulmuştur. Bu yapıda, yüksek anahtarlama hızı ve düşük ileri kutuplama geriliminde çalışması nedeniyle Schottky diyotlar kullanılır. İdeal durumda AC giriş sinyalinin maksimum genliğinin 2 katı, çıkışta DC gerilim olarak elde edilir [10].



Şekil 2. Gerilim doğrultucu devre blok diyagramı

Bu çalışmada 2.450 GHz bandında kullanıma uygun olan, Şekil 3a, Şekil 3b ve Şekil 3c'de görülen 3 farklı yapıda toplam 11 farklı diyotun kullanıldığı durumlar ele alınmıştır.



Şekil 3. Gerilim Çoklayıcı Devre Yapıları a) Tekli Diyot b) Çiftli Diyot c) Spice Modeli

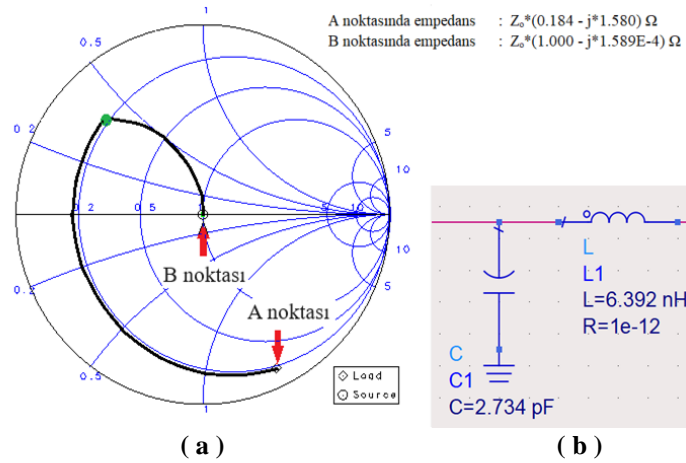
Şekil 3a'da görülen diyotlar tekli yapıda olup bu diyotlar sırasıyla HSMS 2850, HSMS 285B, HSMS 2860, HSMS 286B, HSMS 2820 ve HSMS 2810'dur. Şekil 3b'de görülen diyotlar çiftli yapıda olup bu diyotlar sırasıyla HSMS 2852, HSMS

285C, HSMS 2862 ve HSMS 2822 diyotlarıdır. Son olarak Şekil 3c’de görülen SMS 7630 diyotu Spice parametreleri dışarıdan girilerek oluşturulan bir diyottur [20].

Bütün diyotlar için, oluşan harmonikleri ortadan kaldırmak amacıyla yükten önce DC geçiş filtresi olarak, Murata GJM0335C1E330GB01 Kodlu, 33 pF ± 2% kapasiteye sahip kondansatörler kullanılmış olup, bu kondansatörler üretici firma tarafından -55°C ile 125°C arasında ve 100 MHz ile 8.5 GHz arasında çalışabildiği raporlanmıştır. [1-12]’de DC geçiş filtresi olarak kullanılan devre elemanları idealdir, bu makalede üretici tarafından üretilen ürünlerin (Vendör) parametreleri kullanılmıştır.

### 3. Empedans Uyumlama

Yük direnci bağlanmış durumdaki gerilim çoklayıcı devrenin empedansının, anten empedansına uyumlanması için gerekli yapı uyumlama devresidir. Böylece maksimum güç aktarımı sağlanmış olur ve yükten kaynağa sinyal yansımaları olmaz. Örneğin, Şekil 3c’de gösterilen devrenin empedansı,  $Z_0^*(0,184-j*1,580) \Omega$  olarak elde edilmiş olup, bu empedansı  $Z_0=50 \Omega$ ’a eşitlemek için Şekil 4a’da görüldüğü gibi Smith çizelgesinden faydalanılmıştır. Şekil 4b’de verilen L tipi ideal (L-C) uyumlama devresi tasarlanarak devrenin empedansı; A noktasındaki  $Z_0^*(0,184-j*1,580) \Omega$  empedansından B noktasındaki  $Z_0^*(1,000-j*1,589E-4) \Omega$ ’a uyumlanmıştır.



Şekil 4. a) Smith çizelgesi ile empedans uyumlama hesabı, b) L tipi (L-C) empedans uyumlama devresi

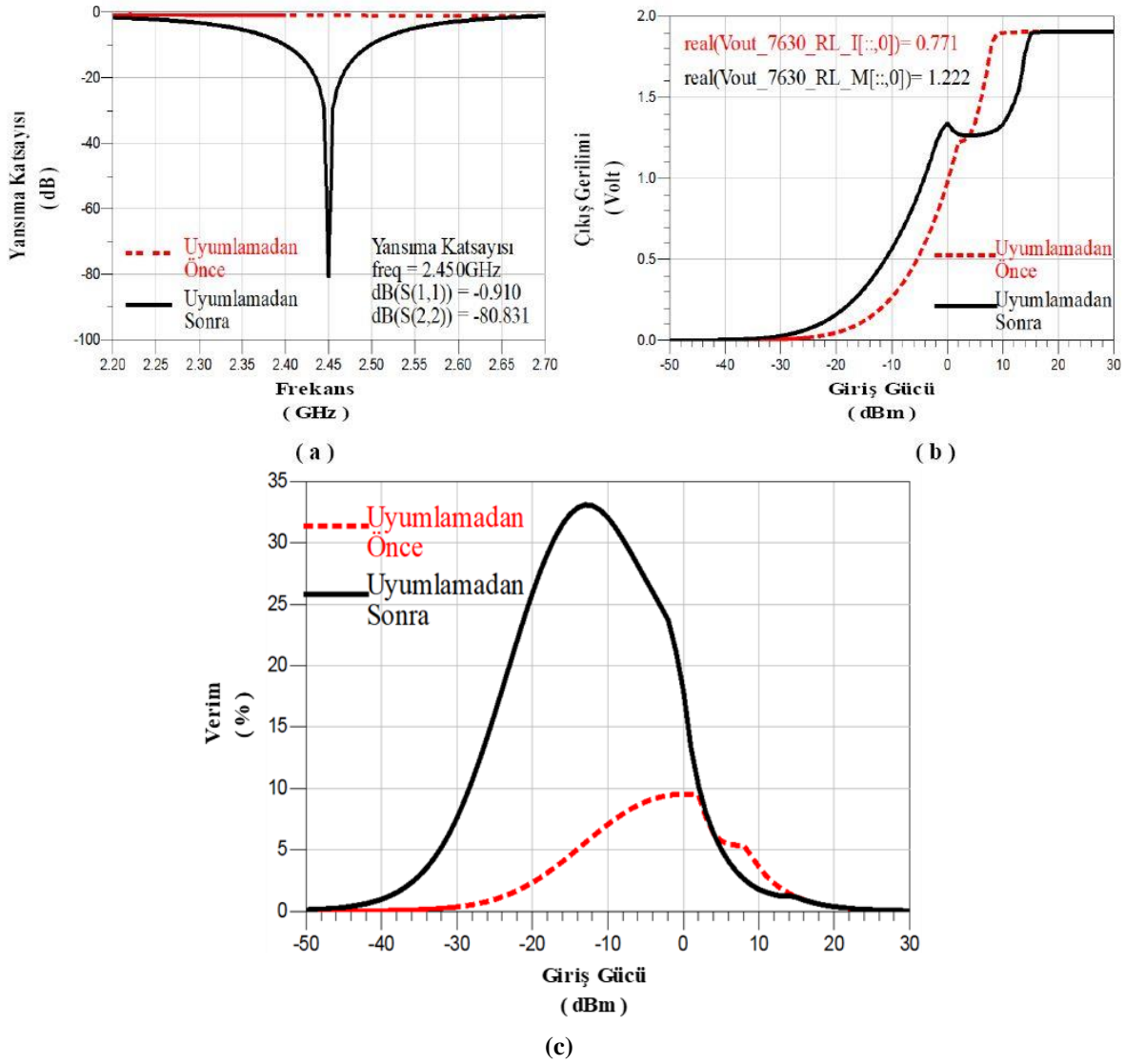
Empedans uyumlama yapıldığında çıkış DC gücünün (Pout), giriş RF gücüne (Pin) oranı olarak tanımlanan verim artar. Bir doğrultucunun verimi  $\mu$ ; DC Çıkış Gerilimi  $V_{out-DC}$ , DC çıkış akımı  $I_{out-DC}$ , olmak üzere eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out-DC} * I_{out-DC}}{P_{in}} \quad (1)$$

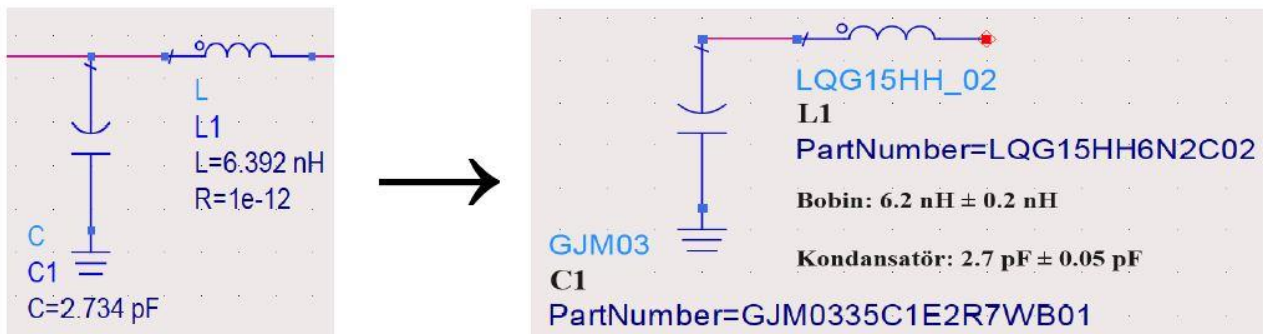
Devrenin empedans uyumlamadan önce ve empedans uyumlamadan sonra giriş gücüne göre yansıma katsayısı, çıkış gerilimi ve verimlilik grafikleri Şekil 5a, Şekil 5b ve Şekil 5c’deki gibidir. Elektromanyetik dalgalar, bir ortamdan diğerine geçerken kısmen yansır ve kısmen geçer. Yansıma katsayısı, bir elektromanyetik dalganın bir ortamdan diğerine geçerken ne kadarını yansıttığını ölçen bir terimdir [10].

Şekil 5a’da uyumlama yapılmadığı durumda yansıma katsayısı -0.910 dB iken uyumlama yapıldığında 2.45 GHz’de -80.831 dB elde edilmiştir. Bu, iletilen sinyal gücünün yük tarafından geri yansımadağının, yani belirtilen frekansta güç aktarımının iyi olduğunun göstergesidir. Uyumlama yapıldığında Şekil 5b’de çıkış geriliminin ve Şekil 5c’de verimin arttığı gözlemlenmektedir. Özellikle düşük güç girişlerinde uyumlama devresi sayesinde verimdeki artış Şekil 5c’de de görüleceği üzere daha da belirgindir.

Yapılan simülasyonlarda kondansatörler için Murata GJM0335C1E serisi, bobinler için ise Murata LQG15HH serisinin kullanımı göz önünde bulundurulmuştur. Uygun ürün seçimi yapılırken Şekil 4b’de elde edilen L tipi (L-C) uyumlama devresinin sayısal değerine yakın değerlerde ürünler seçilmiştir. Ancak ideal durum değerlerine tam olarak yaklaşamadığı için, devreye açık devre iletim hattı (TLOC) ve seri devre iletim hattı (TLIN) eklenerek uyumlama sağlanmıştır. Örneğin Şekil 6’da görüldüğü gibi ideal empedans uyumlama devre elemanları, Murata serisi devre elemanları ile değiştirildikten sonra devrenin empedansı  $Z_0^*(0.245 - j*0.725) \Omega$  olarak elde edilmiştir.

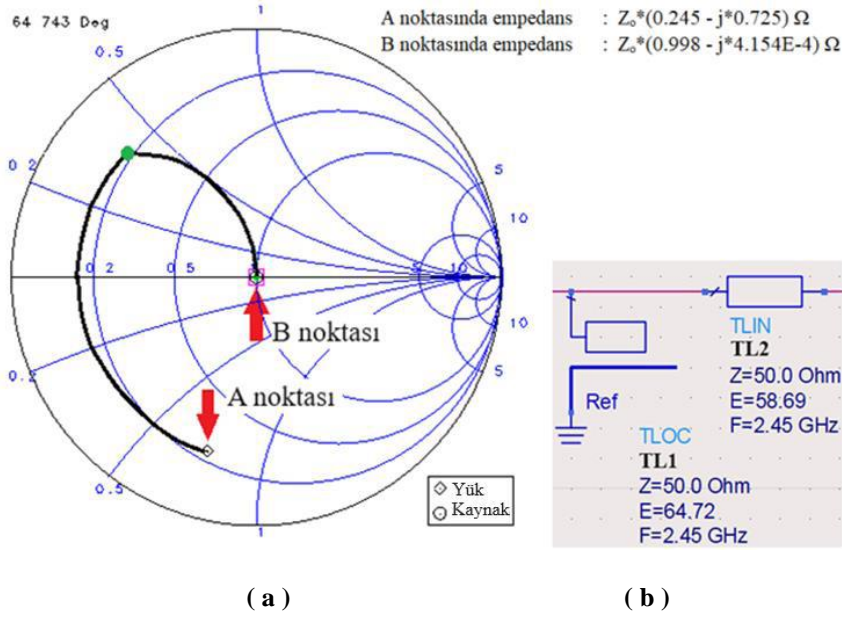


Şekil 5. Empedans uyumlamadan önceki ve sonraki a) Yansıma Katsayısı, b) Çıkış Gerilimi, c) Verim karşılaştırması



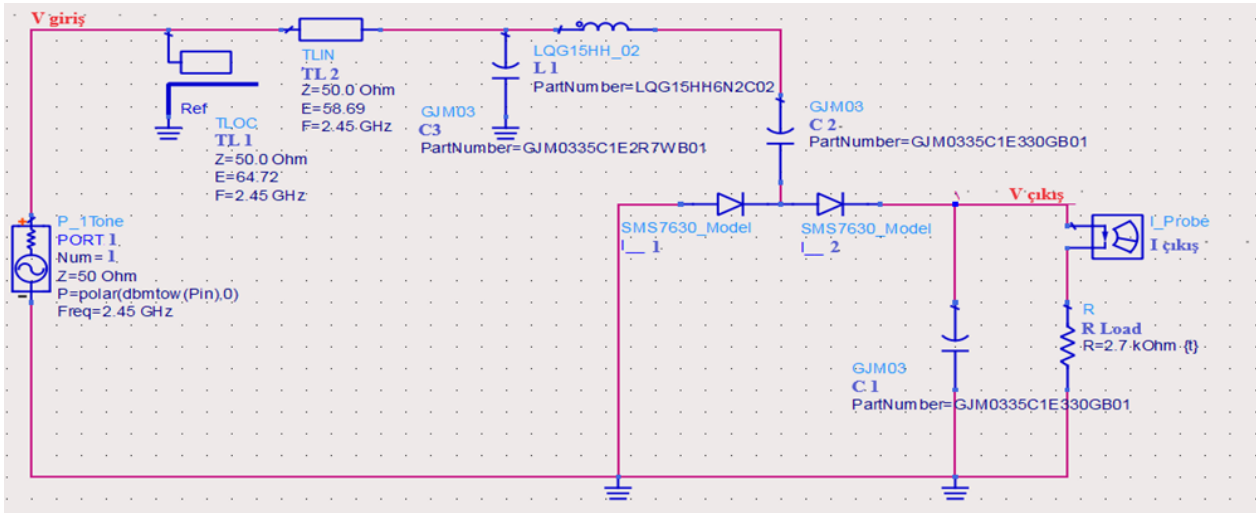
Şekil 6. İdeal empedans uyumlama devresi elemanlarının Murata ürünleri ile değiştirilmesi

Elde edilen bu empedansı  $Z_0=50 \Omega$ 'a eşitlemek için Şekil 7a'da görüldüğü gibi Smith çizelgesinden faydalanılmıştır. Şekil 7b'de verilen TLOC + TLIN devresi tasarlanarak devrenin empedansı; A noktasındaki  $Z_0*(0.245-j*0.725) \Omega$ 'dan B noktasındaki  $Z_0*(0.998-j*4.154E-4) \Omega$ 'a uyulanmıştır. Uyumlama yapılırken  $Z = 50 \Omega$  sabit alınarak E (Elektriksel Alan) değerleri ayarlanmıştır.

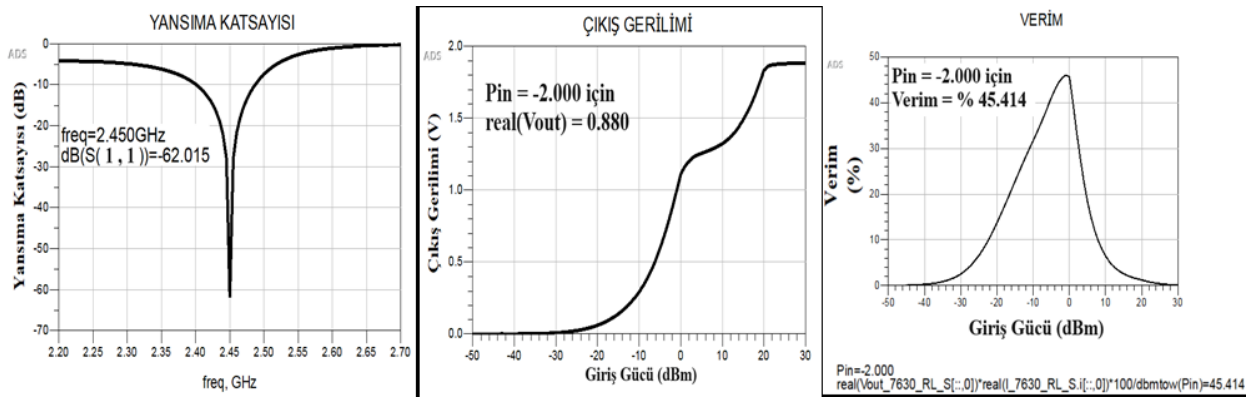


Şekil 7. a) Smith çizelgesi ile TLOC + TLIN hesabı b) TLOC + TLIN devresi

Tasarımda elde edilen en son devre örnek olması açısından, spice modeli ile oluşturulmuş olan gerilim çoklayıcı devre olup, Şekil 8a'da görülmektedir.



(a)



(b)

(c)

(d)

Şekil 8. a) TL ve Murata ile yapılan devre tasarımı, b) Yansım katsayısı, c) Çıkış gerilimi, d) Verim

Şekil 8b’de inceleneceği üzere 2.45 GHz’de -62.015 dB’lik yansıma katsayısı elde edilmiştir. Şekil 8c ve Şekil 8d de ise giriş gücüne bağlı olarak çıkış gerilimi ve verimi sunulmuştur.

#### 4. Simülasyon Sonuçları

Tasarımda ilk aşamada 10 k $\Omega$  değerinde yük direnci seçilmiştir. Seçilen bu yük direncine göre Tablo 1’de görüldüğü gibi her bir diyot için uyumlama devresi elemanları belirlenmiştir. Üretici firmanın ürünlerinin seçimi yapılırken değerleri belirlenen ideal devre elemanlarından faydalanılmıştır.

**Tablo 1.** Diyotlar ile birlikte kullanılan devre elemanlarının değerleri

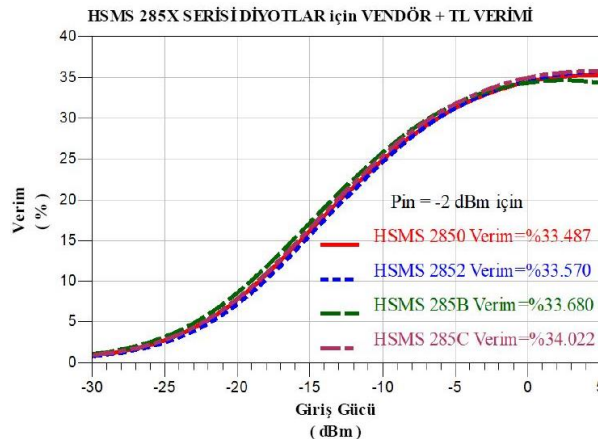
Diyotlar	Empedans Uyumlama					
	İdeal Durum		Vendör + TL			
	L(nH)	C(pF)	L	C	E-TLOC	E-TLIN
HSMS 2850	7.688	2.969	LQG15HH7N5H02	GJM0335C1E3R0WB01	76.100	40.400
HSMS 2852	8.283	2.622	LQG15HH8N2G02	GJM0335C1E2R6WB01	77.980	42.010
HSMS 285B	7.931	2.815	LQG15HH7N5J02	GJM0335C1E2R8WB01	72.660	47.730
HSMS 285C	8.903	2.314	LQG15HH9N1H02	GJM0335C1E2R3WB01	76.990	46.520
HSMS 2860	6.983	8.215	LQG15HH6N8J02	GJM0335C1E8R2WB01	85.210	9.557
HSMS 2862	7.528	7.471	LQG15HH7N5G02	GJM0335C1E7R5WB01	85.920	9.719
HSMS 286B	7.201	7.912	LQG15HH7N5J02	GJM0335C1E7R9WB01	85.910	8.891
HSMS 2820	2.574	4.981	LQG15HH2N7C02	GJM0335C1E5R0WB01	74.840	32.200
HSMS 2822	2.415	4.825	LQG15HH2N4B02	GJM0335C1E4R8CB01	69.950	38.850
HSMS 2810	1.624	4.105	LQG15HH1N6B02	GJM0335C1E4R1WB01	26.680	88.560
SMS 7630	6.392	2.734	LQG15HH6N2C02	GJM0335C1E2R7WB01	64.720	58.690

Enerji hasat sistemlerinin giriş empedansı verimliliği, yük direncinden önemli ölçüde etkilenir. Bu nedenle, tasarımda ADS programının direnç ayar parametresi özelliğinden faydalanarak 0.1 k $\Omega$  ile 30 k $\Omega$  arasında 0.1 k $\Omega$  artışla yük direnci değerine göre verimlilik durumu analiz edilmiş olup, -2 dBm giriş gücü için maksimum verimi veren yük direnci her bir diyot için belirlenmiştir. Değerler Tablo 2’de sunulmuştur. Örnek bir yük direnci belirleme aşaması HSMS285X serisi için Şekil 9’da sunulmuştur.

**Tablo 2.** Vendör + TL eklendikten sonra yük direncine göre maksimum değerler

Diyotlar	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$ için		Maksimum Değerler		
	$V_{\text{ÇIKIŞ}}$	Verim	$V_{\text{ÇIKIŞ}}$	Verim	$R_L$
	(Volt)	(%)	(Volt)	(%)	(k $\Omega$ )
HSMS 2850	1.267	25.433	0.860	33.487	3.5
HSMS 2852	1.259	25.110	0.861	33.570	3.5
HSMS 285B	1.263	25.283	0.887	33.680	3.7
HSMS 285C	1.269	25.525	0.879	34.022	3.6
HSMS 2860	1.290	26.387	1.054	27.927	6.3
HSMS 2862	1.252	24.862	0.994	27.023	5.8
HSMS 286B	1.251	24.813	0.973	26.806	5.6
HSMS 2820	0.380	2.292	0.188	6.255	0.9
HSMS 2822	0.662	6.955	0.459	11.111	3
HSMS 2810	0.106	0.178	0.111	0.179	11
SMS 7630	1.229	23.934	0.880	45.414	2.7

Tablo 2’de yük direnci 10 k $\Omega$  alındığında en yüksek verim Vendör + TL için %26.387 olarak HSMS 2860’da elde edilirken, yük direnci değiştirildiğinde SMS 7630 için %45.414 olarak elde edilmiştir.



**Şekil 9.** 285X serisi diyotların -2 dBm giriş gücünde ve uygun yük direncindeki verimi

Şekil 9’da sunulduğu üzere HSMS 285X diyotlarının verimleri arasında belirgin bir fark yoktur. En yüksek verim değeri ise % 34.022 ile HSMS 285C diyotunda elde edilmiştir.

Tablo 2’deki maksimum değerler altında belirtilen RL yük dirençleri dikkate alınarak, her bir diyot için 0 dBm, -5 dBm, -10 dBm, -15 dBm ve -20 dBm giriş güçlerinde elde edilen verim değerleri Tablo 3’te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Vendör + TL yapısı için giriş güçlerine göre verim değerleri

Diyotlar	Vendör + TL devresindeki Verim ( % )				
	-20 dBm	-15 dBm	-10 dBm	-5 dBm	0 dBm
HSMS 2850	7.677	16.144	24.929	31.225	34.449
HSMS 2852	7.130	15.567	24.642	31.239	34.617
HSMS 285B	8.534	17.145	25.822	31.762	34.355
HSMS 285C	7.821	16.436	25.411	31.776	34.973
HSMS 2860	0.074	1.995	11.806	16.881	29.937
HSMS 2862	0.028	0.906	8.131	21.563	29.191
HSMS 286B	0.005	0.151	3.522	23.995	31.383
HSMS 2820	0.000	0.001	0.088	2.726	8.444
HSMS 2822	0.000	0.004	0.300	4.956	13.481
HSMS 2810	0.000	0.000	0.000	0.009	0.722
SMS 7630	13.712	22.813	31.714	41.040	45.710

Tablo 3’te sunulduğu üzere HSMS 2820, HSMS 2822, HSMS 2810 diyotlarının verimi çok düşüktür. Düşük giriş gücü seviyeleri için en yüksek verimler sırasıyla SMS 7630, HSMS 285X (X: 0, 2, B, C) ve HSMS 286X (X: 0, 2, B)’de elde edilmiştir. HSMS 285X’de elde edilen verimler arasında belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir. HSMS 286X’de ise en yüksek verimler 0 dBm ve -5 dBm için HSMS286B diyotunda, -10 dBm ve daha düşük giriş güçleri için ise HSMS2860 diyotunda elde edilmiştir.

**Tablo 4.** Giriş gücüne göre Vendör + TL devresi için maksimum değerler

Diyotlar	Maksimum değerler	
	Verim (%)	Pin (dBm)
HSMS 2850	35.291	5
HSMS 2852	35.766	6
HSMS 285B	34.622	2
HSMS 285C	35.763	5
HSMS 2860	31.761	4
SMS 7630	46.053	-1

Tablo 4’de HSMS 285X, HSMS 2860 ve SMS 7630 için elde edilen maksimum verim değerleri ve bu değerdeki giriş gücü sunulmuştur. Tablo 4’de belirtildiği üzere, 2.45 GHz için en yüksek verim SMS 7630 diyotunda 2.7 k $\Omega$  yük direncinde, -1 dBm giriş gücünde %46.053 olarak elde edilmiştir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada 2.45 GHz (Wi-Fi) frekansı için RF enerji hasadı yapısı göz önünde bulundurularak bu yapıda kullanılan Schottky diyot, yük direnci ve uyumlama yapısı simülasyon yoluyla incelendi. Analiz için seçilen 11 adet diyottan maksimum verimin SMS 7630’da elde edildiği gözlemlendi. Farklı yük dirençlerinde giriş gücüne bağlı olarak verimin değişimi analiz edildi. İdeal durumdaki uyumlama devresi Murata devre elemanları kullanılarak düzenlendi. Vendör tasarımında tam empedans uyumlaması sağlamak için TL kullanıldı. Kullanılan TL elemanları sayesinde Vendör elemanlarının parametrelerinden dolayı meydana gelen empedans uyumsuzluğu ile yansıma problemi düzeltildi. Vendör + TL kullanılarak yapılan simülasyonlarda maksimum verimin SMS 7630 diyotunda 2.7 k $\Omega$  yük direncinde, -1 dBm giriş gücünde %46.053 olarak elde edildiği gözlemlendi. Böylece ADS Simülasyonları ile Vendör + TL’nin etkisi analiz edildi.

RF enerji hasatında kullanılan Schottky diyotlar düşük ileri kutuplama voltajları ve yüksek anahtarlık hızlarına sahiptirler. 2.45 GHz için seçilen 11 diyot, belirlenen frekansta çalışabilse de gerilim çoklayıcı yapısı içinde birbirlerinden farklı empedanslar oluştururlar. Maksimum güç transferini sağlayacak olan uyumlama devreleri her bir diyot için farklılık göstermektedir. Bu da 2.45 GHz (Wi-Fi) frekansı için diyotlardan elde edilen verimleri etkilemektedir. Gelecekteki çalışmamızda, Wi-Fi bandında kullanılan 5.8 GHz için bu diyotların etkilerini araştırmayı planlamaktayız.



## Kaynaklar

- [1] Bahhar, C., Baccouche, C., Mnif, F., Sakli, H. (2021). Optical Rectenna for 2.4 GHz Wireless Communications, *International Wireless Communications and Mobile Computing, IEEE (IWCMC)*, 1093-1097. DOI: 10.1109/IWCMC51323.2021.9498938.
- [2] Benkalfate, C., Ouslimani, A., Kasbari, A. E. and Feham, M. A. (2022). New RF Energy Harvesting System Based on Two Architectures to Enhance the DC Output Voltage for WSN Feeding, *Sensors*, 22, 9, 3576.
- [3] Dey, K. (2018). Design of Dual Band Rectifiers for Energy Harvesting Applications, Master Thesis, Purdue University, Fort Wayne, India.
- [4] Duong, C. (2023). Passive Voltage Boosting Methods for Wireless Energy Harvesting Systems, University of California, Davis ProQuest Dissertations Publishing.
- [5] Jasim, M. M. (2019). Impedance Matching and It is Quality Factor Investigation for RF Energy Harvesting, Master Thesis, Aksaray University.
- [6] Ang, M. J., Nasimuddin, N., Muhammad, F. K., Karthik, T. C. (2019). A Dual-Band efficient circularly polarized rectenna for RF energy harvesting systems, *Int J RF Microw Comput Aided Eng.*, 2019; 29, e21665.
- [7] Kyrillos, K. S., Shaochuan, W., Demyana, A. S., Ghoneim, S. S. M. (2021). A Quad-Band RF Circuit for Enhancement of Energy Harvesting, *Electronics*, 2021, 10, 1160.
- [8] Salleh, S., Zakariya, M. A., Lee, R. M. A. (2021). A Comparison Study of Rectifier Designs for 2.45 GHz EM Energy Harvesting, *Energy and Power Engineering*, 2021, 13, 81-89.
- [9] Sarı, F. (2021). Çift Bantlı RF Enerji Hasadı İçin Toplu Eleman Devre Yapıları, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, 28, 670-674.
- [10] Sarı, F., Uzun Y. (2019). A Comparative Study: Voltage Multipliers for RF Energy Harvesting System, *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series A2-A3*, 61, 1, 12-23.
- [11] Yalçın, A. B. (2021). Çok Bantlı RF Enerji Hasadı, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi.
- [12] Zhai, X., Song, J., Chen, H., Dai, X., Zhao, T. (2019). High Electron Mobility Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> (x >10%) Folding Space Charge Zone Schottky Diode for Microwave Wireless Power Transfer, DOI 10.1109/ACCESS.2019.2937167, IEEE Access, 7, 127438-127452.
- [13] Contreras, A., Rodriguez, B. (2021). Optimization of a Novel Rectenna for RF Energy Harvesting at 2.45 GHz, *Wireless Personal Communications*, 119, 2451-2467.
- [14] Garcia, J. J. (2022). Considerations for the Design and Implementation of Ambient RF Signal Rectifiers in the 2.45 GHz WiFi Band, *Appl. Sci.*, 2022, 12, 7884. <https://doi.org/10.3390/app12157884>.
- [15] Yalçın, A. B. (2021). Efficiency Analysis for Triple Band RF Energy Harvesting, *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, e-ISSN: 2587-1277, 5, 1, 36-45.
- [16] Halimi, A., Surender, D., Khan, T. (2021). Design of a 2.45 GHz operated Rectifier with 81.5% PCE at 13 dBm Input Power for RFEH/WPT Applications, *2021 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP)*.
- [17] Liu, W., Huang, K., Wang, T., Hou, J. and Zhang, Z. (2022). A compact high-efficiency RF rectifier with widen bandwidth, *IEEE Microw, Wireless Compon. Lett.*, 32, 1, 84-87.
- [18] Kyrillos, K. S., Shaochuan, W., Demyana, A. S., Ghoneim, S. S. M. (2021). An Optimized Rectifier Design for RF Energy Harvesting at the 2.45 GHz WiFi Frequency Band, *27th International Conference on Telecommunications (ICT)*. DOI: 10.1109/ICT49546.2020.9239433.
- [19] Sibille, J., Lucas de Peslouan, P. O., Fougereux, T., Douyère, A., Chabriat, J. P., Genon-Catalot, D. (2023). Wireless Energy Harvesting Performance of 2.45 GHz Rectennas Array Inside Wall, *2023 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO)*.
- [20] URL-1 <alldatasheet.com/view\_datasheet.jsp?Searchword=SMS7630&sField=2>, Erişim Tarihi: 25.11.2023.