



## 915 MHz taşıyıcı frekansında RF enerji hasatlama

**Mustafa CANSIZ\***

Dicle Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

[mustafa.cansiz@dicle.edu.tr](mailto:mustafa.cansiz@dicle.edu.tr) ORCID: 0000-0003-2534-9770, Tel: (412) 241 10 00 (3514)

Geliş: 08.11.2018, Kabul Tarihi: 12.11.2018

### Öz

RF enerji hasatlama gelecek vaat eden bir teknolojidir. Nesnelerin interneti, kablosuz sensör ağları veya çok düşük güç tüketen birçok cihaz ve uygulama için gerekli olan enerji RF enerji hasatlama teknoloji sayesinde kablosuz olarak karşılanabilmektedir. Fiziksel erişimin çok zor olduğu veya çok riskli olduğu alanlardaki cihazların enerji ihtiyacı yine bu teknoloji tarafından sağlanabilmektedir. Bununla birlikte RF enerji hasatlama destekleyici bir enerji kaynağı olarak kullanıldığında batarya ömrünü de uzatmaktadır.

Bu çalışmada, National Instruments firmasına ait PXIe-1082 sinyal üretici 915 MHz taşıyıcı frekansında ve sürekli dalga modunda 0 dBm'den başlayarak 10 dBm'e kadar RF giriş güç sinyali üretmiştir. Üretilen RF güç sinyali koaksiyel kablo vasıtasıyla doğrudan Powercast firmasının P2110-EVB enerji hasatlama modülüne gönderilmiştir. Enerji hasatlama modülünün girişine gelen RF güç sinyaline karşılık üretmiş olduğu akım ve gerilim değerleri bir multimetre ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra ölçülen akım ve gerilim değerleriyle enerji hasatlama modülünün üretmiş olduğu DC çıkış gücü hesaplanmıştır. Ayrıca enerji hasatlama devrelerinin performansını gösteren güç verimlilik eğrisi grafik üzerinde gösterilmiştir.

Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre 5 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık en yüksek güç verimlilik oranı %56.92 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte 0 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık en düşük güç verimlilik oranı %45.60 olarak belirlenmiştir. 915 MHz taşıyıcı frekansında sürekli dalga modunda 0 dBm ile 10 dBm arasında RF enerji hasatlama modülünün girişine gelen gücün yaklaşık yarısı oranında enerji hasatlama yaptığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** RF enerji hasatlama; Kablosuz enerji hasatlama; Güç verimliliği

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Yeni enerji kaynaklarının keşfi ve mevcut enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanımı bilimsel araştırma konularının başında yer almaktadır. Güneş, ısı, mekanik titreşim ve çevremizi saran elektromanyetik dalgalar çok önemli enerji kaynaklarıdır (Kim vd., 2014). Bu enerji kaynaklarından elde edilen güç yoğunluğu enerji kaynağına göre değişmektedir. Bahsi geçen enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi en çok yararlanılan ve aynı zamanda en yüksek güç yoğunluğuna sahip enerji türüdür (Jaffe ve McSpadden 2013). Buna karşın güneş enerjisinden sadece güneş varken yararlanılır. Isı enerjisi termoelektrik malzemedeki sıcaklık farkından elde edilmektedir (Siddique vd., 2016). Sıcaklık farkının olmadığı durumlarda ise herhangi bir enerji elde edilememektedir. Piezoelektrik malzemeler uygulanan mekanik titreşimler ile enerji üretebilmektedir (Turkmen ve Celik 2018). Uygulanan mekanik titreşimlerin şiddetine göre üretilen enerji değişmektedir ve mekanik titreşimlerin olmadığı durumlarda enerji üretilmemektedir. Çevremizi saran elektromanyetik dalgalardan elde edilen güç yoğunluğu bahsi geçen diğer enerji türlerine göre en düşük olan enerji türüdür. Ancak bu dalgaların hemen hemen her yerde olması ve aynı zamanda geniş bir alana yayılmış olması gibi avantajları göz önünde tutulduğunda bu enerji türünden gelecekte daha çok faydalanılacağı anlaşılmaktadır.

Kablosuz enerji hasatlama veya radyo frekans (RF) enerji hasatlama teknolojisinde son zamanlarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir (Takacs vd., 2017; Le vd., 2008; Reinisch vd., 2011). Bu teknolojik gelişmeler sayesinde Kablosuz Sensör Ağları (Wireless Sensor Networks) ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things) gibi birçok uygulama için RF enerji hasatlama uygun bir kablosuz enerji kaynağı olmuştur. Batarya değişiminin çok zor ve riskli olduğu veya fiziksel erişimin sorunlu olduğu

cihazlarda RF enerji hasatlayıcılardan elde edilen enerji bu cihazların beslenmesinde kullanılabilir.

Bir RF enerji hasatlama devresi genel olarak anten, doğrultucu (Rectifier), gerilim katlayıcı (Voltage Multiplier), empedans uyumlandırma ve enerji depolama gibi bölümlerden oluşmaktadır. RF enerji hasatlama devresinde kullanılan anten ortamdaki elektrik alan şiddetini gerilim farkına dönüştüren bir elemandır. Doğrultucu bölümü antenden gelen RF sinyali içinde barındırdığı diyot sayesinde doğrultur ve kondansatör ile regüle eder. Böylece RF sinyalini DC sinyale dönüştürmüş olur. Genellikle RF enerji hasatlama devresinin doğrultucu çıkışındaki DC gerilim seviyesi düşük değerli olmaktadır. Hasatlama devresinin gerilim katlayıcı bölümü bu düşük DC gerilim seviyesini daha yüksek değerli DC gerilim seviyesine çıkarmakta kullanılır. Tüm bu devre bölümleri arasında maksimum güç transferi için empedans uyumu olması gerekmektedir. Empedans uyumunun olmadığı kısımlarda çeşitli tekniklerle empedans uyumu sağlanabilmektedir. RF enerji hasatlama devresi ile elde edilen enerji son olarak süper kapasitör veya bataryada depolanabilmektedir veyahut doğrudan beslenecek olan cihaza bağlanabilmektedir.

Ortamdaki en yüksek güç yoğunluğuna sahip elektromanyetik dalgaların frekans bandının tespiti enerji hasatlamak için çok kritik bir öneme sahiptir. Dolayısıyla bu frekans bandında yapılacak olan enerji hasatlama ile hem elde edilecek enerji miktarı hem de verimlilik değeri diğer bandlara göre daha fazla olabilmektedir. Birçok ülkede ortamdaki elektromanyetik dalgaların güç yoğunluğunun tespiti için çeşitli ölçümler yapılmıştır (Pinuela vd., 2013; Cansiz, vd., 2016; Kawahara vd., 2009; Visser ve Vullers 2012; Cansiz ve Kurt 2012; Sun vd., 2013; Noguchi ve Arai 2013; Arrawatia vd., 2011). Ülkeden ülkeye farklı frekans bandlarının güç yoğunluğu değişebilmektedir. Bu ölçüm sonuçlarına göre RF enerji hasatlama

devresi en yüksek miktarda enerji hasatlamak için tek bandlı, çok bandlı veya geniş bandlı olarak tasarlanabilmektedir.

Bu çalışmada, sinyal üretici 915 MHz taşıyıcı frekansında ve sürekli dalga modunda 0 dBm - 10 dBm arasında RF giriş gücü sinyali üretmiştir. RF güç sinyali koaksiyel kablo ile enerji hasatlama modülüne gönderilmiştir. RF güç sinyaline karşılık enerji hasatlama modülünün üretmiş olduğu akım ve gerilim değerleri bir multimetre ile ölçülmüştür. Daha sonra ölçülen akım ve gerilim değerleriyle DC çıkış gücü hesaplanmıştır. Bununla birlikte enerji hasatlama devrelerinin performansını gösteren güç verimlilik eğrisi elde edilmiştir.

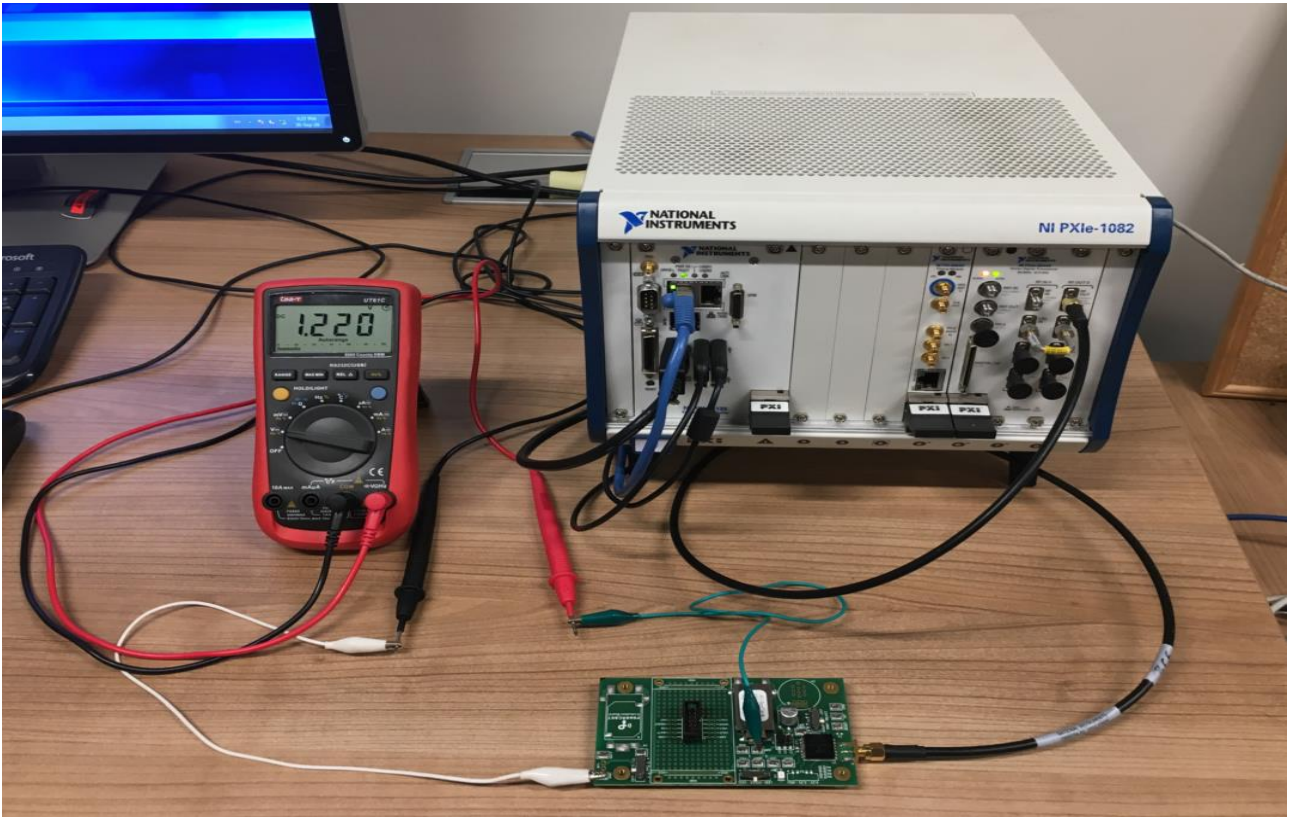
## Materyal ve Yöntem

### Ölçüm Düzenegi

Şekil 1'de görüldüğü gibi Powercast firmasına ait olan P2110-EVB Powerharvester modülü RF

enerji hasatlama devresi olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte National Instruments firmasının NI PXIe-1082 cihazı RF enerji hasatlama devresini beslemek için çeşitli güç değerlerinde sinyal üretmiştir. P2110-EVB Powerharvester modülünün üretmiş olduğu akım ve gerilim değerlerini ölçmek için de bir adet multimetreden faydalanılmıştır.

National Instruments firmasının NI PXIe-1082 sinyal üretici 915 MHz taşıyıcı frekansta sürekli dalga (Continuous wave) modunda 0 dBm ile 10 dBm arasında 1 dBm aralıklarla RF giriş gücü sinyali üretmiştir. Bu üretilen belirli seviyedeki RF güç sinyali koaksiyel kablo vasıtasıyla doğrudan P2110-EVB enerji hasatlama modülüne bağlanmıştır. Daha sonra bir multimetre aracılığıyla P2110-EVB enerji hasatlama modülünün çıkışındaki akım ve gerilim değerleri ölçülmüş ve hasatlama modülünün üretmiş olduğu DC çıkış gücü bu ölçümlere göre hesaplanmıştır.



Şekil 1. RF enerji hasatlama ölçüm düzenegi.

### P2110-EVB enerji hasatlama modülü

RF enerji hasatlama modülü girişine gelen RF güç sinyalini DC güç sinyale dönüştürmektedir. Böylece üretilen DC güç süper kapasitörde veya bataryada depolanabilmektedir. P2110-EVB enerji hasatlama modülü 902 MHz ile 928 MHz frekans bandında verimli bir şekilde enerji hasatlamaya imkan tanımaktadır. Bu enerji hasatlama modülünün RF giriş güç seviyesi hassasiyeti -11.5 dBm'e kadar inmektedir. Bu çalışmada P2110-EVB enerji hasatlama modülüne, sinyal üretici ile enerji hasatlama modülü arasında güç kaybı olmaması için, doğrudan koaksiyel kablo ile bağlanılmıştır. Modülde 50  $\Omega$  değerinde anten girişi bulunmaktadır. Böylece anten takılıken havadan doğrudan enerji hasatlama yapmak yine mümkün olmaktadır. Bununla birlikte ortamdaki RF güç yoğunluğunun yeterli olması şartıyla enerji hasatlama modülü belirli sabit gerilim değerlerinde DC güç ürettiğinden bazı uygulamaları doğrudan besleyebilmektedir. Böylece bu uygulamalar için başka bir enerji kaynağına gereksinim duyulmamaktadır.

### Güç verimlilik oranı

RF enerji hasatlama modüllerinin performansı girişlerine gelen RF gücü hangi oranda DC güce dönüştürdükleri ile ölçülebilir (Altinel & Karabulut Kurt 2016; Altinel & Kurt 2014).

$$\eta = \frac{DC \text{ çıkış gücü}}{RF \text{ giriş gücü}} \times 100 \quad (1)$$

Bağıntıda  $\eta$  güç verimlilik oranını göstermektedir. Bununla birlikte *RF giriş gücü* NI PXIe-1082 sinyal üreticinin güç seviyesini ve *DC çıkış gücü* ise P2110-EVB enerji hasatlama modülünün ürettiği DC çıkış güç seviyesini göstermektedir.

RF enerji hasatlama modüllerinin içinde bulunan doğrultucu diyotlar ve diğer devre elemanları bu dönüştürme sırasında güç kayıplarına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu da enerji hasatlama modüllerinin verimliliğini düşürmektedir. Güç verimlilik oranını artırmak için hassas devre elemanları seçilmelidir. Ayrıca güç kaybına neden olacağından gereksiz devre elemanlarından mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır.

### Bulgular ve Tartışma

Literatürde çok sayıda RF enerji hasatlama ile ilgili devre tasarımı ve uygulamaları yer almaktadır (Kuhn vd., 2015; Niotaki vd., 2014; Olgun vd., 2010; Wang ve Negra 2013; Oka vd., 2014; Song vd., 2016; Bolos vd., 2016; Song vd., 2015). Bu çalışmada, RF enerji hasatlama devresi olarak Powercast firmasına ait P2110-EVB modülü hazır alınarak kullanılmıştır.

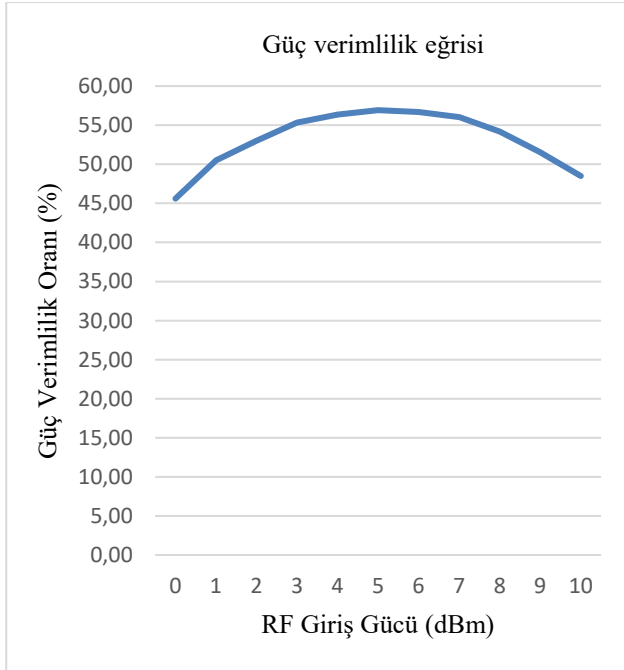
NI PXIe-1082 sinyal üretici 915 MHz taşıyıcı frekansta sürekli dalga modunda 0 dBm'den başlayarak 1 dBm aralıklarla 10 dBm'e kadar RF giriş güç sinyali üretmiştir. Üretilen bu RF güç sinyali koaksiyel kablo aracılığıyla doğrudan P2110-EVB enerji hasatlama modülüne gönderilmiştir. RF giriş güç seviyesine karşılık enerji hasatlama devresinin ürettiği DC çıkış güç seviyesi ve 1 nolu bağıntıdaki gibi hesaplanan güç verimlilik oranı Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu çalışmada 5 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık enerji hasatlama devresi tarafından 1.8 mW DC çıkış gücü üretilmiştir ve %56.92 gibi en yüksek güç verimlilik oranı yakalanmıştır. Bununla birlikte 0 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık enerji hasatlama devresi tarafından 0.456 mW DC çıkış gücü üretilmiştir ve %45.60 gibi en düşük güç verimlilik oranı elde edilmiştir.

**Tablo 1.** RF giriş gücü, DC çıkış gücü ve güç verimlilik oranı

RF giriş güç seviyesi (dBm)	DC çıkış güç seviyesi (mW)	Güç verimlilik oranı (%)
10	4.848	48.48
9	4.092	51.52
8	3.420	54.20
7	2.808	56.03
6	2.256	56.67
5	1.800	56.92
4	1.416	56.37
3	1.104	55.33
2	0.840	53.00
1	0.636	50.52
0	0.456	45.60

RF giriş güç seviyelerine karşılık güç verimlilik oranlarındaki farklılıklar diyot gibi doğrusal olmayan devre elemanların yapısından kaynaklanmaktadır. Doğrusal olmayan bu devre elemanları farklı frekans ve güç seviyelerine farklı tepkiler vermektedirler.

0 dBm - 10 dBm RF giriş güç seviyelerine karşılık 1 nolu bağıntıdan yararlanılarak Şekil 2'deki güç verimlilik eğrisi elde edilmiştir. Güç verimlilik eğrisi dikkatle incelendiğinde güç verimlilik oranlarının en yüksek %56.92 ve en düşük %45.60 değerleri arasında olduğu görülecektir. 0 dBm - 10 dBm RF giriş güç seviyelerine karşılık P2110-EVB enerji hasatlama modülünün yaklaşık olarak %50 oranında hasatlama yaptığı kabul edilirse enerji hasatlama modülünün, girişine gelen gücün yaklaşık yarısını hasatladığı kabul edilecektir. Dolayısıyla P2110-EVB kablosuz enerji hasatlama modülünün 915 MHz taşıyıcı frekansta sürekli dalga modunda 0 dBm - 10 dBm RF giriş güç seviyelerine karşılık güç verimlilik oranının yaklaşık %50 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Güç verimlilik eğrisi

## Sonuçlar

RF enerji hasatlama ya da kablosuz enerji hasatlama umut vaat eden bir teknolojidir. Kablosuz sensör ağları, nesnelerin interneti veya çok az güç tüketen birçok cihaz veya uygulama için gerekli olan enerji bu teknoloji sayesinde kablosuz olarak sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, National Instruments firmasına ait NI PXIe-1082 sinyal üretici ile 915 MHz taşıyıcı frekansında sürekli dalga modunda 0 dBm ile 10 dBm arasında enerji hasatlama devresini beslemek için RF giriş güç sinyali üretilmiştir. Sinyal üreticiden gelen RF güç sinyali koaksiyel kablo aracılığıyla doğrudan P2110-EVB enerji hasatlama modülüne gönderilmiştir. Enerji hasatlama modülünün ürettiği akım ve gerilim değerleri bir multimetre ile ölçülmüş ve daha sonra bu akım ve gerilim değerlerine göre DC çıkış gücü hesaplanmıştır.

Yapılan ölçümlere göre %56.92 gibi en yüksek güç verimlilik oranı 5 dBm RF giriş güç seviyesine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte %45.60 gibi en düşük güç verimlilik oranı ise 0 dBm RF giriş güç seviyesine denk gelmektedir. RF enerji hasatlama modülünün 915 MHz taşıyıcı frekansında sürekli dalga modunda 0 dBm ile 10 dBm arasında RF giriş güç seviyelerine karşılık olarak kendisine gelen gücün yaklaşık yarısını oranında hasatlama yapmış olduğu tespit edilmiştir.

## Teşekkür

İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç.Dr. Güneş KARABULUT KURT'a vermiş olduğu değerli desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- Altinel, D. & Karabulut Kurt, G., 2016. Energy Harvesting from Multiple RF Sources in Wireless Fading Channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(11), pp.8854–8864.
- Altinel, D. & Kurt, G.K., 2014. Statistical models for battery recharging time in RF energy harvesting systems. In *2014 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*. IEEE, pp. 636–641. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6952122/>.
- Arrawatia, M., Maryam Shojaei Baghini & Kumar, G., 2011. RF energy harvesting system from cell towers in 900MHz band. In *2011 National Conference on Communications (NCC)*. IEEE, pp. 1–5. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5734733/>.
- Bolos, F., Belo, D. & Georgiadis, A., 2016. A UHF rectifier with one octave bandwidth based on a non-uniform transmission line. In *2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*. IEEE, pp. 1–3. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7540083/>.
- Cansiz, M. et al., 2016. Mapping of radio frequency electromagnetic field exposure levels in outdoor environment and comparing with reference levels for general public health. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, (October), pp.1–5. Available at: <http://www.nature.com/doi/10.1038/jes.2016.64>.
- Cansiz, M. & Kurt, M.B., 2012. Drive Test Yöntemi ile Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması ve Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 3(2), pp.101–110.
- Jaffe, P. & McSpadden, J., 2013. Energy Conversion and Transmission Modules for Space Solar Power. *Proceedings of the IEEE*, 101(6), pp.1424–1437. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6494252/>.
- Kawahara, Y., Tsukada, K. & Asami, T., 2009. Feasibility and potential application of power scavenging from environmental RF signals. In *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. IEEE, pp. 1–4. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5171785/>.
- Kim, S. et al., 2014. Ambient RF energy-harvesting technologies for self-sustainable standalone wireless sensor platforms. *Proceedings of the IEEE*, 102(11), pp.1649–1666.
- Kuhn, V. et al., 2015. A Multi-Band Stacked RF Energy Harvester With RF-to-DC Efficiency Up to 84%. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 63(5), pp.1768–1778. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7080943/>.
- Le, T., Mayaram, K. & Fiez, T., 2008. Efficient Far-Field Radio Frequency Energy Harvesting for Passively Powered Sensor Networks. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 43(5), pp.1287–1302. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4494663/>.
- Niotaki, K. et al., 2014. Dual-Band Resistance Compression Networks for Improved Rectifier Performance. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 62(12), pp.3512–3521. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6957619>.
- Noguchi, A. & Arai, H., 2013. Small loop rectenna for RF energy harvesting. In *2013 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*. IEEE, pp. 86–88. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6695199/>.
- Oka, T. et al., 2014. Triple-band single-diode microwave rectifier using CRLH transmission line. *Asia-Pacific Microwave Conference*, (c), pp.1013–1015.
- Olgun, U., Chen, C.-C. & Volakis, J.L., 2010. Wireless power harvesting with planar rectennas for 2.45 GHz RFIDs. In *2010 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory*. IEEE, pp. 329–331. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5637008/>.
- Pinuela, M., Mitcheson, P.D. & Lucyszyn, S., 2013. Ambient RF Energy Harvesting in Urban and Semi-Urban Environments. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 61(7), pp.2715–2726. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6519964/>.
- Reinisch, H. et al., 2011. An Electro-Magnetic Energy Harvesting System With 190 nW Idle Mode Power Consumption for a BAW Based Wireless Sensor Node. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 46(7), pp.1728–1741. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5928970/>.
- Siddique, A.R.M. et al., 2016. Thermal energy harvesting from the human body using flexible thermoelectric generator (FTEG) fabricated by a dispenser printing technique. *Energy*, 115, pp.1081–1091. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.087>.

- Song, C. et al., 2015. A High-Efficiency Broadband Rectenna for Ambient Wireless Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(MAY), pp.3486–3495.
- Song, C. et al., 2017. Matching Network Elimination in Broadband Rectennas for High-Efficiency Wireless Power Transfer and Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(5), pp.3950–3961. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7801010/>.
- Sun, H. et al., 2013. A Dual-Band Rectenna Using Broadband Yagi Antenna Array for Ambient RF Power Harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, pp.918–921. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6557434/>.
- Takacs, A. et al., 2017. Recent advances in electromagnetic energy harvesting and Wireless Power Transfer for IoT and SHM applications. In *2017 IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM)*. IEEE, pp. 1–4. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7945868/>.
- Turkmen, A.C. & Celik, C., 2018. Energy harvesting with the piezoelectric material integrated shoe. *Energy*, 150, pp.556–564. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.159>.
- Visser, H.J. & Vullers, R.J.M., 2012. Wireless sensors remotely powered by RF energy. In *2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*. IEEE, pp. 1–4. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6206234/>.
- Wang, D. & Negra, R., 2013. Design of a dual-band rectifier for wireless power transmission. In *2013 IEEE Wireless Power Transfer (WPT)*. IEEE, pp. 127–130. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6556899/>.

## RF energy harvesting at 915 MHz carrier frequency

### Extended abstract

*RF energy harvesting is a promising technology. The energy required for Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSN), or many devices and applications that consume very low power can be supplied wirelessly by the RF energy harvesting technology. The energy requirements of the devices in areas where physical access is very difficult or too risky can be provided by this technology. In addition to that, when the RF energy harvesting is used as a supporting energy source for some devices, it also extends the battery life of the devices.*

*An RF energy harvesting circuit generally consists of sections such as antenna, rectifier, voltage multiplier, impedance matching circuit and energy storage devices. The antenna used in the RF energy harvesting circuit is a device that converts the electrical field strength into the voltage difference. The rectifier section rectifies the RF signal and regulates it with a capacitor. Therefore, the RF signal is converted to DC signal. Generally, the DC voltage level at the rectifier output of the RF energy harvesting circuit is low. For that reason, the voltage multiplier section of the energy harvesting circuit is used to increase this low DC voltage level to a higher DC voltage level. For maximum power transfer, it is necessary to have impedance matching between all these energy harvesting circuit sections. In case of impedance mismatching between circuit sections, impedance matching can be achieved by various techniques. The energy obtained by the RF energy harvesting circuit may be stored in the super capacitor or battery or may be connected directly to the device which to be fed.*

*The detection of the frequency band of the electromagnetic waves which carry the highest power density in the ambient environment is of critical importance for harvesting energy. Therefore, the energy to be harvested in this frequency band might be higher than the other frequency bands in terms of amount of harvested energy and the power efficiency value. Several measurements have been performed to determine the power density level of electromagnetic waves in the ambient environment in many countries.*

*According to these measurement results, the RF energy harvesting circuit can be designed as single band, multi band or wide band to harvest the highest amount of energy.*

*In this study, the PXIe-1082 signal generator from National Instruments produced an RF input power signal from 0 dBm up to 10 dBm at 915 MHz carrier frequency in continuous wave mode. The generated RF power signal was sent directly to the P2110-EVB energy harvesting module from Powercast Company through the coaxial cable. The current and voltage values produced by the energy harvesting module versus the RF input power level were measured with a multimeter. Besides, the power efficiency curve that shows the performance rate of the RF energy harvesting circuits was shown on the graph.*

*According to the results of the measurement, the highest power efficiency ratio versus the 5 dBm RF input power level was calculated as %56.92. In addition to that, the lowest power efficiency ratio versus 0 dBm RF input power level was stated as %45.60. It was determined that between 0 dBm and 10 dBm power range at 915 MHz carrier frequency in the continuous wave mode, the RF energy harvesting module harvested approximately half of the input power.*

**Keywords:** *RF energy harvesting; Wireless energy harvesting; Power efficiency*