

Kablosuz Elektrik Enerjisi İletimi Üzerine Deneysel Çalışmalar

Uğraş Erdoğan^{1,2} (ugraserdogan@yahoo.com), Özgür Tamer³ (ozgur.tamer@deu.edu.tr)

¹İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Elektrik-Elektronik Müh.,

²Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik AD.

³Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik Elektronik Müh.

Kablosuz Elektrik İletimi – Tesla'nın hayali...

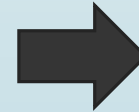
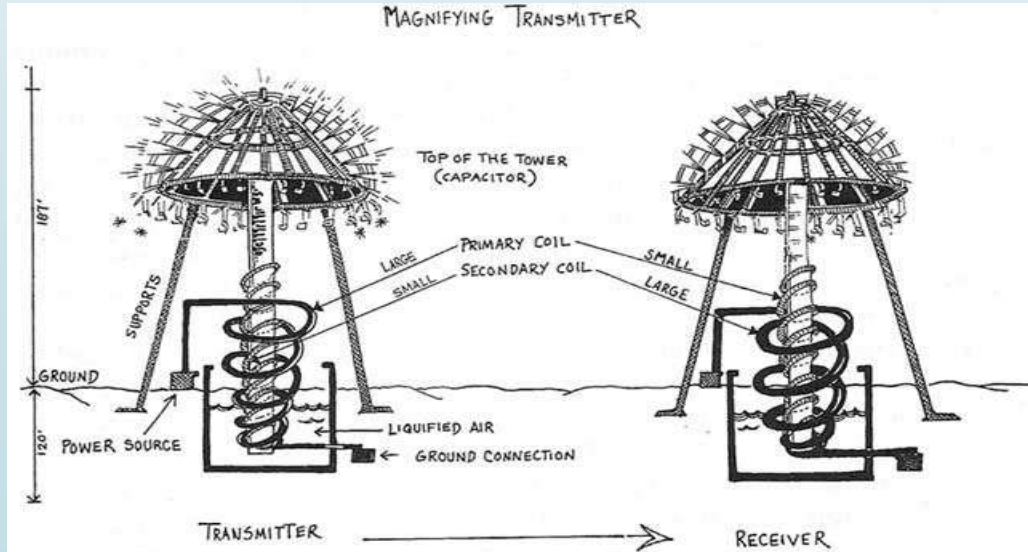
- N. Tesla, enerjinin doğanın her yerinde her bireye açık ve ulaşılabilir olması gerektiğine inanıyordu.
- Hedefi, kablolu iletim hatlarına yatırım yapılmadan, yüksek miktarda elektrik enerjisini ihtiyaç duyulan noktaya iletebilmektir.
- Çalışmalarının temeli manyetik rezonansa dayanmaktaydı.



Wardenclyffe Güç İstasyonu. Tesla'nın deneysel rezonant endüktif alıcı/verici sistemi; Colorado Spring, 1899. (1)

Kablosuz Yüksek Elektrik Enerjisi İletim Çalışmaları (2006 - 2015)

- N. Tesla'nın 1900'lerin başında gerçekleştirmeye başladığı elektrik iletimini kablosuz gerçekleştirme çalışmaları, 2000'lerin başında akademik kurum ve özel sektörün çalışmaları öncülüğünde tekrar ivem kazanmıştır.
- Bu süreçte elektronik, malzeme ve kablosuz iletim sistemlerindeki ilerlemeler etkili olmuştur.



- (2) Kablosuz araç şarj sistemi (üstte).
- (3) Tesla'nın tasarımı (solda)

Kablosuz Yüksek Elektrik Enerjisi İletim Çalışmaları (2006 - 2015)-1

► Tüketici elektroniğine yönelik kablosuz şarj sistemleri:

- * Qi standardı, Witricity (From MIT), A4WP.
- * Cep telefonu, taşınabilir sistemleri, RFID, otonom sensör ağlarına kablosuz gerekli enerjinin iletimi veya çevresel RF enerjisi yardımıyla çalıştırılması.
- * Televizyon, ses ve sinema sistemlerine enerji iletimi.
- * Bilgisayar ve çevre birimlerinin kablosuz enerjilendirilmesi.



TV seti(15) ve telefon(14)
kablosuz enerji aktarımı



Kablosuz Yüksek Elektrik Enerjisi İletim Çalışmaları (2006 - 2015)-2

- Tıbbi ürünlere yönelik kablosuz enerji iletim sistemleri.
 - * İmplant sistemlerin şarjı.
 - * Hasta destek sistemlerine kablosuz enerji iletimi.



Kablosuz güç aktarımı yapılabilecek tıbbi implantlardan bazıları. (17)

Kablosuz Yüksek Elektrik Enerjisi İletim Çalışmaları (2006 - 2015)-3

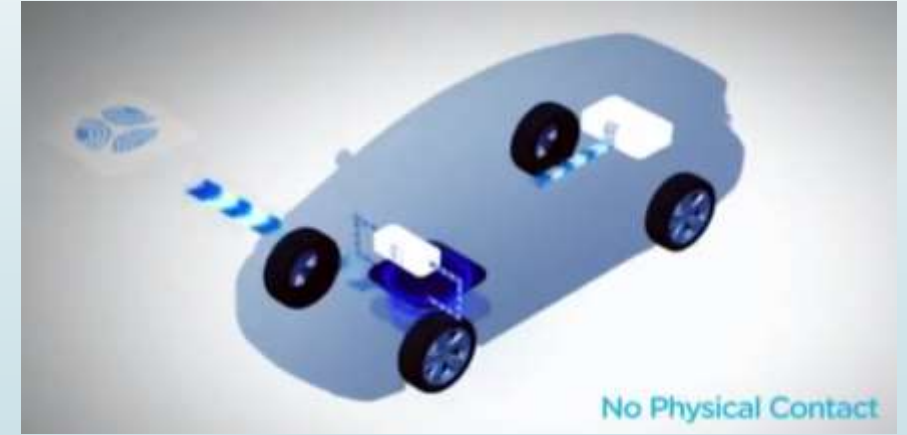
- Otomobil ve endüstriyel sistemlerde kablosuz yüksek enerji iletimi.
 - * Dinamik ve statik araç şarj sistemleri.
 - * Elektrik kablosu kullanmanın zor olduğu endüstriyel koşullar.



OLEV Technologies –
Wireless powered electric
bus. (13)



Qualcomm Halo Wireless
Electric Vehicle Charging. (16)



Kablosuz Yüksek Elektrik Enerjisi İletim Çalışmaları (2006 - 2015)-4

- Askeri uygulamalarda kablosuz elektrik aktarım sistemleri.
 - * İnsansız araçların enerji ihtiyaçlarının karşılanması.
 - * Askeri taşınabilir cihazlara enerji iletimi.
 - * Askeri iletişim sistemleri batarya şarjı.

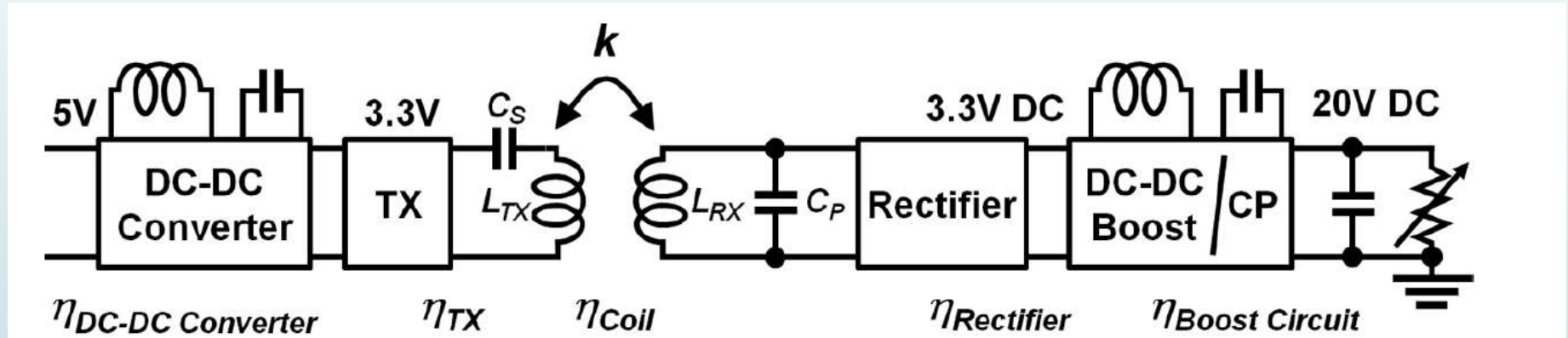


Witricity – Kablosuz güç aktarımı
Savaş alanı projesi (5)



Temel Bir Yüksek Elektrik Enerjisi Aktarım Sisteminin Bileşenleri-1

- Uzun yıllardan beri kullanılan endüktif kuplaja dayanan enerji aktarımından farklı olarak, yeni nesil sistemler manyetik rezonans prensibine dayanmaktadır – rezonant endüktif kuplaj.
- Temel bir sistemin parçaları ve bizim de deneysel çalışmamızda oluşturduğumuz sistem şu şekildedir:

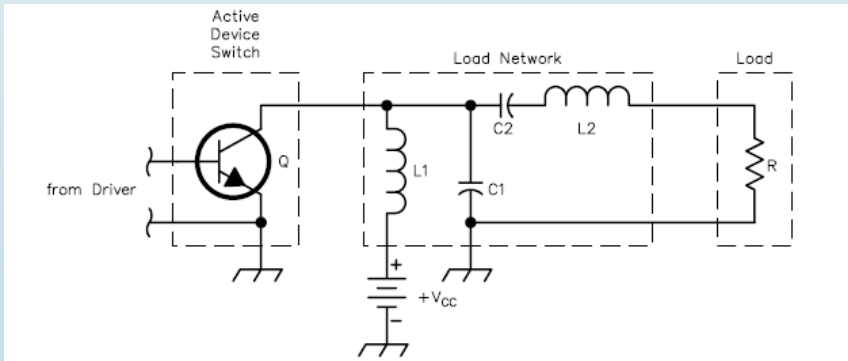


Temel bir iletim sisteminin ve basit deneysel çalışmamızda oluşturduğumuz sistemin bileşenleri (uygulamada ihtiyaç duyulan güç değerine göre değişiklikler yapılmıştır.) (6)

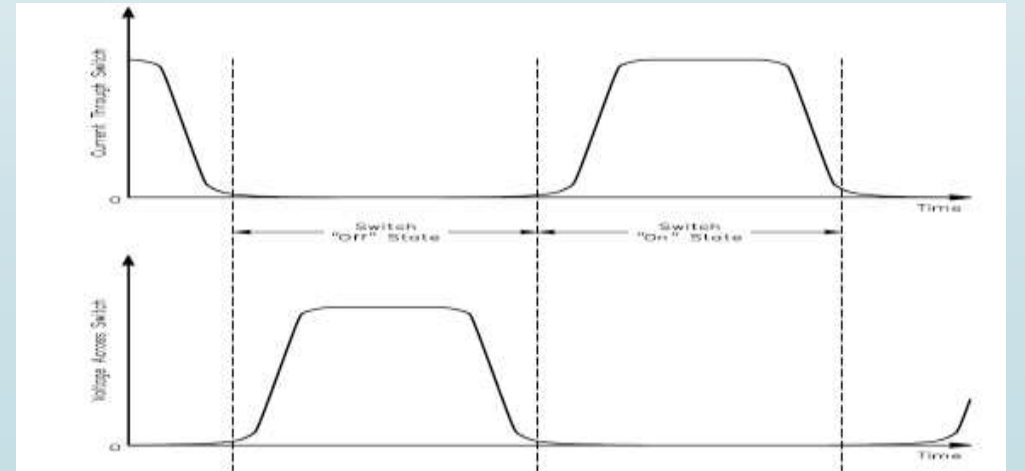
- **Güç osilatörü:** İstenilen rezonans frekansında, yeterli güç üretebilecek sinüsoidal osilatör. Ör: Royer osilatörü (ZVS-zero voltage switching osc.)

Temel Bir Yüksek Elektrik Enerjisi Aktarım Sisteminin Bileşenleri-2

- **RF güç yükselticileri:** Gerektiğinde, osilatörden alınan gücü yükseltmek için yükseltici devrelerinden yararlanılabilir. Bu noktada uygun frekans aralığında çalışabilecek RF BJT ve RF MOSFET'ler tercih edilmektedir.
- Sınıf A, B, AB, C, D gibi yükselticiler olmasına karşın verimleri düşüktür. Son çalışmalarda Sınıf E ve F tipi yükselticilerden yararlanılmaktadır.
- Oldukça eski bir tasarım olmasına rağmen aşağıda görülen E sınıfı yükseltici aktif elemandaki güç kaybını en aza indirerek verimi arttırmaktadır. Anahtarlama anlarındaki Akım/Voltaj eğrilerinden de bu görülmektedir



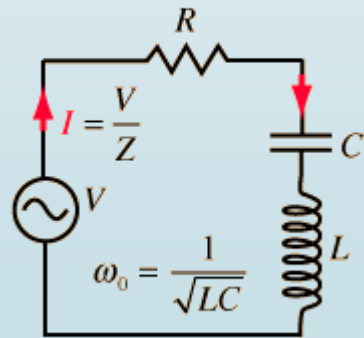
E Sınıfı yükseltici ve doyum/kesim anlarındaki akım/voltaj grafikleri(8)



Temel Bir Yüksek Elektrik Enerjisi Aktarım Sisteminin Bileşenleri-4

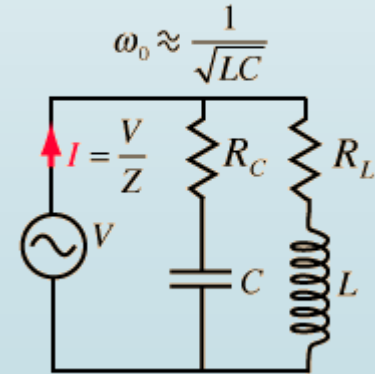
- **Alıcı / verici rezonans devreleri:** Bobin ve kapasitörlerden oluşan, enerjinin elektrik ve manyetik alan arasında salınım yapmasını sağlayarak istenilen frekans ve dalga formunda çıkış verebilen seri veya paralel RLC devreleridir. Topolojileri aşağıdaki gibidir (7).
- Verici ve alıcı kısımda, parazitik kapasite etkilerinin frekansa etkisini en aza indirmek için paralel rezonans devreleri tercih edilmektedir.

Minimum impedance
at resonant frequency



Series Resonance

Maximum impedance
at resonant frequency



Parallel Resonance

Temel Bir Yüksek Elektrik Enerjisi Aktarım Sisteminin Bileşenleri-3

- **Alıcı ve verici antenler:** Sistemin en önemli bileşenlerindedir. Temel amacı bulunulan ortam ile devre arasında empedans uyumu sağlayarak, enerjinin mümkün olduğunca az kayıp iletilmesine imkan vermektir.

* Literatürde başta halka ve helis antenler olmak üzere uygulamaya göre şerit ve PCB antenlerden faydalanılmaktadır.



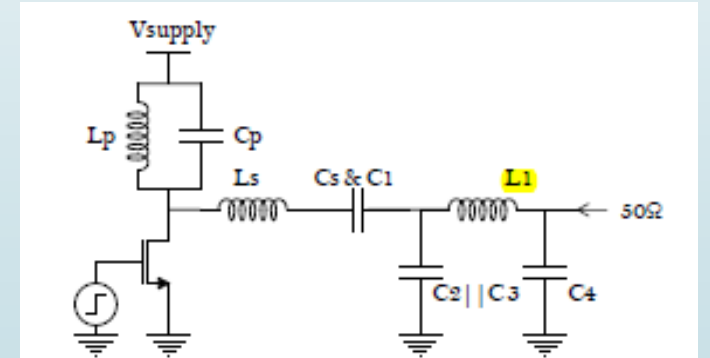
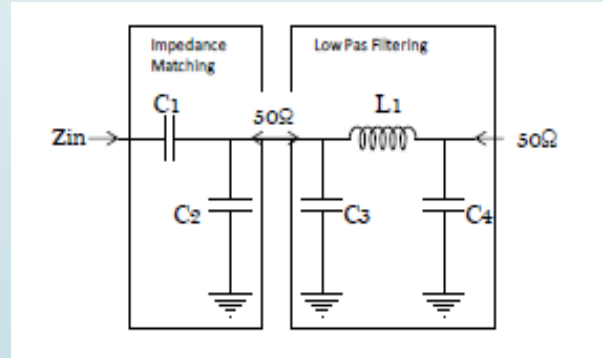
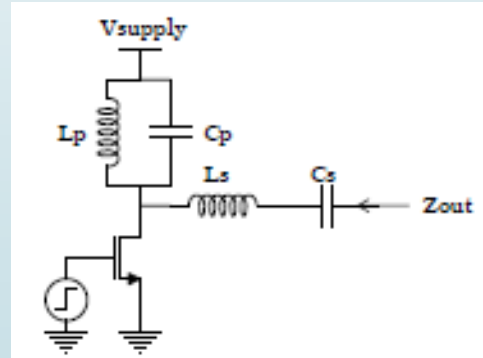
Intel firması tarafından oluşturulan alıcı/verici sistemi(9)

Temel Bir Yüksek Elektrik Enerjisi Aktarım Sisteminin Bileşenleri-5

- Uygulamaya göre AC/DC doğrultucular, voltaj yükseltici, akım düşürücü ... Devreler.
 - * Boost / Buck regülatörler, tam / yarım köprü doğrultucular...

Temel Bir Yüksek Elektrik Enerjisi Aktarım Sisteminin Bileşenleri-6

- **Empedans uyumlandırma:** Yüksek frekans develerinde yansımaları ve dolayısıyla kayıpları en aza indirmek için gerçekleştirilmelidir. Alıcı ve verici kısımlardaki empedans uyumlandırma sistem verimini büyük ölçüde arttıracaktır. Buna ek olarak, kayıpları azaltmada PCB hatlarının geometrileri de büyük rol oynamaktadır; dik açığa yakın hat tasarımları yerine daha kavisleri yaklaşımlar tercih edilmelidir.



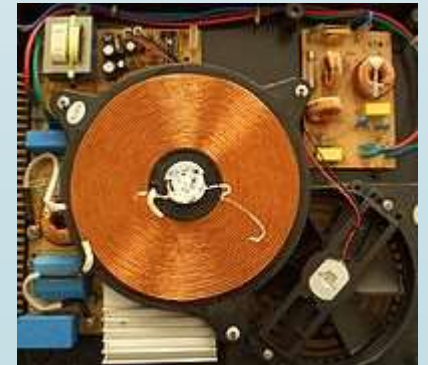
Soldan saga doğru, sınıf-E yükseltici, empedans uyumlandırma tasarımı ve sonuç tasarım(10)

Temel Bir Yüksek Elektrik Enerjisi Aktarım Sisteminin Bileşenleri-6

- **Deri etkisi (Skin Effect):** Yüksek frekansta, tel merkezinde oluşan elektrik alan nedeniyle elektronlar tel yüzeyine yakın şekilde tel boyunca yol almaktadırlar. Dolayısıyla gördükleri etkin direnç frekansla birlikte artmaktadır.
- **Yakınlık etkisi (Proximity Effect):** Sarılmış bobin telleri gibi birbirine yakın hatlar üzerinde ilerleyen AC akımlar, birbirleri üzerindeki akım dağılımının daha dar alanlara sıkışmasına neden olacaktır, dolayısıyla görülen etkin direnç frekans ile artacaktır
- Yüksek frekansta meydana gelen deri etkisini (skin effect) önlemek için yalıtılmış çok damarlı (20 ile 50 damar arası) 0.08mm, ... yarıçaplı teller tercih edilmelidir. Bu tip teller **Litz teli** olarak adlandırılmaktadır.



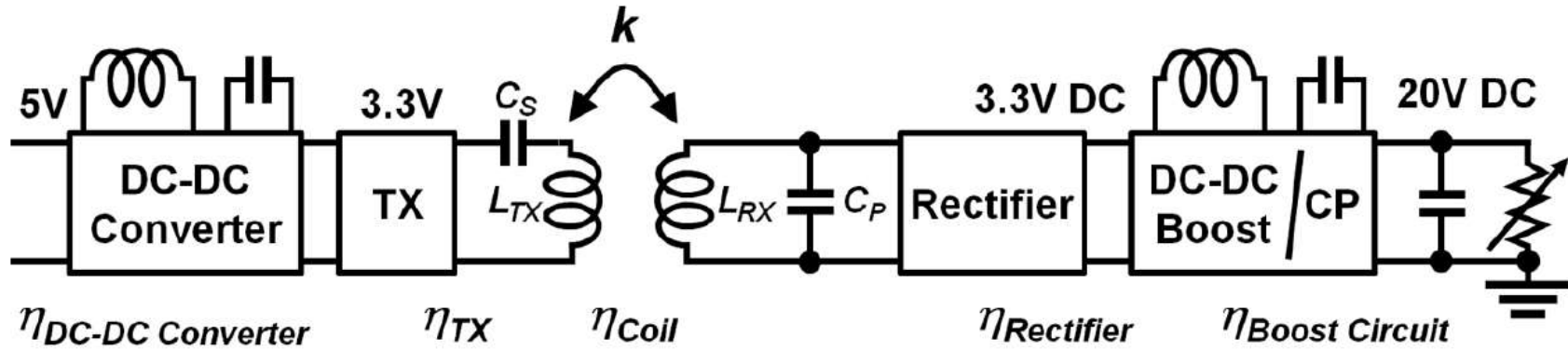
Litz telleri (4.a, 4.b, 4.c)



Kullanılan Frekans Bantları

- Deneysel alışmalar farklı rezonans frekanslarında iletim gerekleştirseler de, genele bakıldığında iletim 100kHz ile 13.56Mhz arasındaki frekanslarda gerçekleştirilmektedir.
- MIT: 1MHz \geq
- Qi: ~150 kHz – 200kHz
- Biomed: 13.56 MHz.

Yaptığımız Deneysel Çalışmanın Sonuçları-1



Temel bir iletim sisteminin ve basit deneysel çalışmamızda oluşturduğumuz sistemin bileşenleri(uygulamada ihtiyaç duyulan güç değerine göre değişiklikler yapılmıştır.) (6)

365kHz, 15cm, 5.5Vdc regulator çıkışı.



Yaptığımız Deneysel Çalışmanın Sonuçları-2

- Deneysel amaçlı oluşturduğumuz kablosuz telefon şarj ve aydınlatma sisteminden aldığımız sonuçlar aşağıdaki gibidir. **Sistemde empedans uyumlama gerçekleştirilmemiştir. Kullanılan ZVS tipi Royer osilatörü yerine daha verimli bir topoloji tercih edilebilir.**

Çalışma frekansı: 365kHz,

Halka anten yarıçapı: 8cm

Sistem DC besleme: 12V, 0.20A, giriş güç: 2.4W

Alıcı tarafta doğrultucu çıkışı (1 ohm üzerinden) güç: (36mW)²

Mesafe: 10cm, verim: %0.054

- **İncelendiğinde henüz verimsiz bir aşamada olduğu görülecektir.**

<u>Mesafe(cm)</u>	<u>Verici (Vrms)</u>	<u>Alıcı (Vrms)</u>
11	99.1	11.1
6	102.5	60
3	106	96

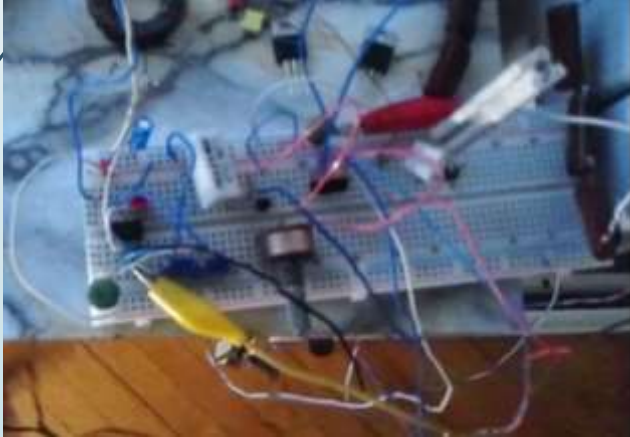


Nokia 5110 için kablosuz şarj deneyimiz, ~6cm

Nokia 5110 için kablosuz şarj ve diğer testler için kullandığımız deney düzeneğimiz.

Yorumlar

- Malzeme bilimi ve elektronik bileşen teknolojisi geliştikçe iletişim alanında yaşanan kablosuz bilgi aktarımı devrimi yakın bir gelecekte yüksek enerjinin kablosuz aktarılmasında gerçekleşebilir. Yaptığımız deneysel çalışmada daha verimli topolojiler kullanılmalıdır.
- Günümüz itibariyle, iletim verimleri uzak mesafe kullanılabilirlik için çok düşük. Rapor edilen verim değerleri %10 ile %50 arasında değişim gösteriyor.
- Devre teorisi, analog ve dijital elektronik, fizik, kimya, biyoloji bilgi kuramı gibi birçok alanda olduğu gibi güç iletiminde de karşımıza rezonans terimi önemli bir kavram olarak çıkıyor. Farklı rezonans metotları üzerinde çalışılabilir. Ör: Schumann rezonansı.
- Canlı sağlığı üzerindeki etkileri irdelenmeli.
- Son olarak doğayı ve evreni gerçekten anlayabildik mi? Bu belki de doğal bilimlerin önemini ortaya koyan en önemli soru. Doğal sistemler arasında gezegen ölçeğinden kuantum ölçeğine kadar bizim güncel olarak kullandığımızdan farklı bilgi ve yüksek enerji iletim mekanizmaları mevcut mu?



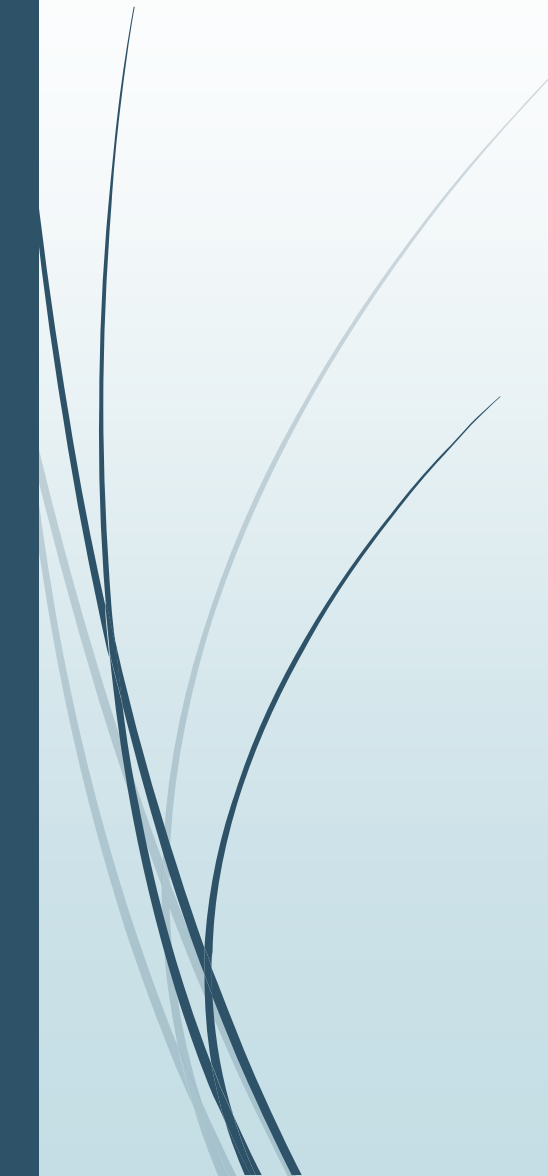
Schumann rezonansı benzetimi (12)

Şarj sisteminde kullanmak amacıyla tasarladığımız E sınıfı RF rezonant amplifier ve giriş/çıkışı. Sisteme henüz entegre edilmemiştir.



Dinlediđiniz için teŖekkr ederiz...

► Sorular.....



Kaynakça

- 1) Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_power, Son giriş: 14.05.2015.
- 2) <http://electriccarsreport.com/2014/04/tdk-looks-witricity-wireless-charging-electric-vehicles/>, Son giriş: 14.05.2015.
- 3) <https://www.linkedin.com/pulse/20140815082801-46771699-most-genius-nicola-tesla-inventions-were-stolen-for-personal-gains-science-vedicscience>, Son giriş: 14.05.2015.
- 4.a, 4.b, 4.c) http://en.wikipedia.org/wiki/Litz_wire, Son giriş: 14.05.2015.
- 5) WITRICITY, <http://witricity.com/applications/>, Son giriş: 14.05.2015.
- 6) 1-W 3.3–16.3-V Boosting Wireless Power Transfer Circuits With Vector Summing Power Controller; K. Tomita, R. Shinoda, T. Kuroda, H. Ishikuro; IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 47, No. 11, November 2012.
- 7) <http://www.ustudy.in/node/7243>, Son giriş: 14.05.2015.
- 8) *Class-E RF Power Amplifiers*; Nathan O. Sokal, WA1HQC of Design Automation, Inc ARRL Technical Advisor.
- 9) <http://www.dvhardware.net/article29355.html>, Son giriş: 14.05.2015.
- 10) Wireless Power Transmission for Powering Medical Implants Situated in an Abdominal Aortic Aneurysm; BT. Bradford, W. Krautschneider, D. Schroeder; Hamburg University of Technology; Biomed Tech, 2012; 57 (Suppl.1).
- 11) <http://www.qjwireless.com/>, Son giriş: 14.05.2015.
- 12) Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Schumann_resonances, Son giriş: 14.05.2015.
- 13) OLEV Technologies, <http://olevtech.com/>, Son giriş: 14.05.2015.
- 14) Qi Wireless Charger, https://www.youtube.com/watch?v=zb_GU6UOk9g, Son giriş: 14.05.2015.
- 15) Long Distance Wireless Power Transfer to TV smart phones and fans, <https://www.youtube.com/watch?v=wwGZHtj2Gc>, Son giriş: 14.05.2015.
- 16) Qualcomm Halo Wireless Electric Vehicle Charging, <https://www.youtube.com/watch?v=CIFu4Z954rs>, Son giriş: 14.05.2015.
- 17) Smart Implants for Surgery, Henry Ip, Guang-Zhong Yang, <http://lifesciences.ieee.org/publications/newsletter/march-2014/521-smart-implants-for-surgery>, Son Giriş: 14.05.2015.