



Kablosuz Güç Aktarımında Kuplaj Katsayısının Analizi ve Frekans Ayrılmasına Etkisi

Analysis of Coupling Coefficient in Wireless Power Transfer and Its Effect on Frequency Splitting

Beyza AYDOĞAN¹ , Ali Bekir YILDIZ^{2,*} 

¹ Elektrik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, *Orcid*: 0000-0000-9463-9208

² Elektrik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, *Orcid*: 0000-0003-4043-7859

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 31/03/2024

Kabul Tarihi : 07/06/2024

Anahtar Kelimeler

Kablosuz Güç Aktarımı,
Bobin Tasarımı
Kuplaj Katsayısı
Frekans Ayrılması

Özet

Kablosuz Güç Aktarımı, kablo bağlantısı olmadan, herhangi bir kaynaktan herhangi bir yüke enerji aktarma yöntemidir. Kablosuz enerji transferi, birincil (primer) ve ikincil (sekonder) bobinler arasında hava boşluğu üzerinden elektrik iletimini mümkün kılar. Bobinler arasındaki mesafenin değişmesiyle kuplaj (bağlantı) katsayısı ve ortak endüktans gibi verimi doğrudan etkileyen parametreler de değişiklik göstermektedir. Bu makalede kuplaj katsayısının kablosuz güç aktarımı sistemine etkisi araştırılmıştır. Bobinler arası mesafe değiştirilerek kuplaj katsayısının değişimi ve sistemin verimine etkisi irdelenmiştir. Bobinler arası mesafenin arttırılması sonucu kuplaj katsayısının ve sistemin veriminin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, kuplaj katsayısının değişiminin neden olduğu frekans ayrılması incelenmiştir. Sistemin aşırı (sıkı) ve zayıf (seyrek) kublajlı bölgedeki maksimum verim noktaları grafiklerle açıklanmıştır.

Research Paper

Received Date : 31/03/2024

Accepted Date : 07/06/2024

Keywords

Wireless Power Transfer
Coil Design
Coupling Coefficient
Frequency Splitting

Abstract

Wireless Power Transfer is a method of transferring energy from any source to any load without cable connection. Wireless energy transfer enables electrical conduction across the air gap between the primary and secondary coils. As the distance between the coils changes, parameters that directly affect the efficiency, such as coupling coefficient and mutual inductance, also change. In this article, the effect of the coupling coefficient on the wireless power transfer system is investigated. It has been observed that the coupling coefficient and efficiency decrease as a result of increasing the distance between the coils. By changing the distance between the coils, the change in the connection coefficient and its effect on the efficiency of the system were examined. Additionally, frequency splitting caused by the change of coupling coefficient is examined. The maximum efficiency points of the system in the extreme (tight) and weak (sparse) regions are explained with graphics.

1. Giriş

Kablosuz Güç Aktarımı (KGA), kablo bağlantısı olmadan herhangi bir kaynaktan yüke enerji aktarma yöntemidir. KGA, birincil ve ikincil bobinler arasında hava boşluğu üzerinden elektrik iletimini mümkün kılar. KGA'nın günümüzde bu kadar popüler hale gelmesinin nedeni, insan hayatını kolaylaştıran etkileri, kablo karmaşıklığını azaltması şeklinde sıralanabilir. KGA, ilk

kez 1891 yılında Nikola Tesla tarafından ortaya atılmış bir kavramdır. Nikola Tesla, dünya çapında kablosuz güç dağıtım sistemi kurmak amacıyla manyetik alan ile kablosuz enerji aktarımı üzerine çalışmalar yapmıştır. Lee ve Lorenz, 3.7MHz'de 30cm mesafeden %95 verim oranıyla 200W değerinde elektriksel gücü kablosuz bir şekilde başarıyla iletmiştir [1]. Günümüzde KGA, teknolojik aletler ve günlük ev eşyaları, insansız hava aracı (İHA), elektrikli araçlar [2-5], uzay uygulamaları,

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): abyildiz@kocaeli.edu.tr



biyomedikal cihazlar [6-7] gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

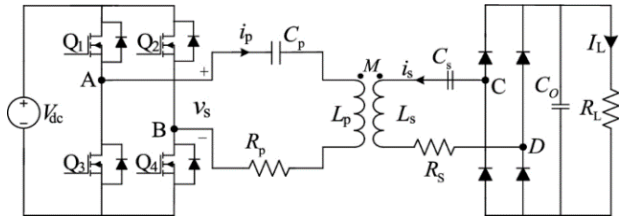
KGA sisteminin amacı bir bobinde enerji biriktirmek ve biriken enerjiyi çeşitli yöntemler kullanarak ikincil (sekonder) bobine aktarmaktır. Birincil (primer) bobinden akan zamanla değişen akım, manyetik alan üretir. Üretilen manyetik alan ile ikincil bobinde gerilim indüklenir. Buradan hareketle, akan akımın yüksek frekansta zamanla değişmesi (sinüzoidal), iki bobin arasındaki ortak endüktansın olabildiğince yüksek olması ve bobinlerden akan akımın neden olduğu güç kaybının en az olması yüksek sistem verimi için gereklidir. Kablosuz enerji transferi için günümüze kadar birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar; mikrodalga güç transferi (MGT), lazer güç transferi (LGT), endüktif güç transferi (EGT), endüktif kuplajlı güç transferi (EKG) yöntemleridir [8-9]. Bu yöntemlerden en çok tercih edilen EKG kısa mesafede yüksek verimlilikle çalışabilmektedir, ancak mesafe arttıkça manyetik alan azaldığı için bu yöntemde verim düşmektedir. Kullanılacak olan yöntem uygulama alanına göre belirlenir. Elektrikli araçlarda, yüksek verime sahip endüktif kuplajlı güç transferi yöntemi kullanılır [5,10]. Bu yöntemde endüktif güç transferi yönteminden farklı olarak, akan akım sonucu güç kaybını en aza indirmek amacıyla sistem rezonans durumuna getirilerek, birincil ve ikincil sargılara kondansatör bağlanır [11]. Bu işlem, kondansatörün sargılara bağlanma şekline göre değişiklik gösterir. Bu makalede seri-seri endüktif kuplajlı güç transferi yöntemi incelenmiş ve analizi yapılmıştır.

Sistemin verimini, rezonans frekansı, kuplaj katsayısı, kalite faktörü ve bobinler arası ortak endüktans değeri belirler [8, 12-13]. Ortak endüktans değeri değişen manyetik akı ile orantılıdır. Akı, sargılar arası mesafeye ve hizalanmalara göre değişir [14]. Bobinlerin boyutları ortak endüktans değerini doğrudan etkiler. Bobinler arası mesafeye göre bobin parametre değerleri belirlenir [15].

Kuplaj katsayısı bobinler arasındaki mesafe ve hizalanma ile ters orantılı olarak değişir [16]. Gerçek uygulamalarda iletim mesafesinin tam olarak ayarlanması oldukça zordur. Verim, kuplaj katsayısının bir fonksiyonu olarak elde edilirse, iletilen çıkış gücü sabit tutulabilir. Bunu sağlamak için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bu makalede kuplaj katsayısının kablosuz güç aktarımı sistemine etkisi araştırılmıştır. Bobinler arası mesafe değiştirilerek kuplaj katsayısının değişimi ve sistemin verimine etkisi irdelenmiştir. Bu çalışmada Ansys Maxwell-3D kullanılarak bobin tasarımı yapılmıştır. Sistemin çıkış gücü 1757W, sistemin verimi %90,84 olarak elde edilmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

KGA sistemi için en çok tercih edilen seri-seri topoloji devresi Şekil 1'de verilmiştir. Sistemin maksimum verimde çalışabilmesi için birincil (primer) devreden akan akım yüksek frekansta zamanla değişim göstermelidir. Frekansın yüksek seviyede tutulması için şebekeden çekilen 220V 50Hz gerilim evirici devre ile 85kHz seviyesine çıkartılmıştır. Elektromanyetik indüksiyon prensibiyle ikincil (sekonder) devreye aktarılan enerji doğrultucu kullanılarak yüke aktarılmıştır.



Şekil 1. Seri-Seri EKG Devre Şeması

R_p ve R_s birincil (primer) ve ikincil (sekonder) bobinlerin iç direncidir. I_p ve I_s sırasıyla birincil (primer) ve ikincil (sekonder) bobinden geçen zamanla değişen akımlardır. L_p ve L_s birincil (primer) ve ikincil (sekonder) bobinlerin öz endüktanslarıdır. C_p ve C_s kondansatörleri sırasıyla birincil (primer) ve ikincil (sekonder) bobinleri kompanze etmek için kullanılır. f_0 sistemin rezonans frekansı olmak üzere kondansatör değerleri aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanır.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

$$C_p = \frac{1}{\omega_0^2 \times L_p} \quad (2)$$

$$C_s = \frac{1}{\omega_0^2 \times L_s} \quad (3)$$

İkincil bobinde indüklenen gerilim miktarı ortak endüktans değerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Ortak endüktans değeri iterasyon yöntemleri kullanılarak elde edilebilir. Kuplaj katsayısının değeri ortak endüktans ile birincil ve ikincil bobinlerin endüktanslarının geometrik ortalamasıdır. Bu ilişki denk.(4)'te gösterilmiştir. Kalite faktörü (Q), rezonans frekansındaki bobin ve kondansatör empedanslarının dirence oranı olarak ifade edilir (denk.5).

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_p \times L_s}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{\omega_0 \times L}{R} \quad (5)$$

Seri-seri devre topolojisi kullanan KGA sistemi için eşdeğer empedans denk.(6)'da, aktarılabilecek maksimum güç ise denk.(7)'de gösterilmiştir.

$$Z_T = (j\omega L_p) + \left(\frac{1}{j\omega C_p} \right) + \left(\frac{M^2 \times \omega^2}{j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C_s} + R_L} \right) \quad (6)$$

$$P_{max} = \left(\frac{j\omega M I_p}{R_L} \right)^2 \times R_L \quad (7)$$

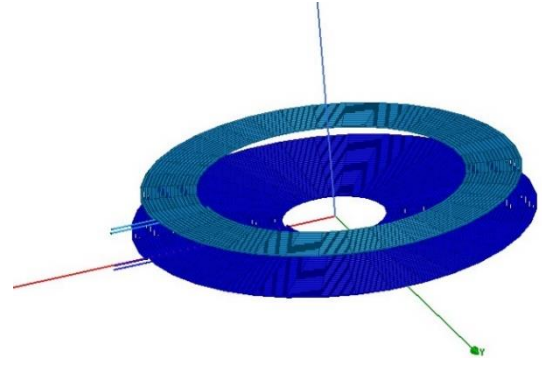
2.1. KGA Sisteminin Tasarımı

Yapılan bobin tasarımında birincil bobin yarıçapı 25cm, ikincil bobin yarıçapı 24cm olacak şekilde tasarlanmıştır. KGA sisteminde maksimum verim elde etmek için Tx (birincil bobin) boyutu, hem Rx (ikincil bobin) boyutuna hem de bobinler arasındaki mesafeye göre belirlenmelidir. Devrenin rezonans frekansı 85kHz olarak belirlenmiştir. Yapılan araştırmalara göre KGA sisteminin optimum rezonans frekansı 85 kHz'dir. Kondansatörlerin kapasite değerleri ise denk.(2) ve denk.(3)'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Birincil devre için kondansatör kapasite değeri 12,52nF, ikincil devre için kondansatör kapasite değeri 26,94nF olarak hesaplanmıştır. Çıkış gücü 1,75 kW olan KGA sisteminin bobin tasarımı için Ansys Maxwell 3D simülasyon programı kullanılmıştır. Tasarlanan bobinler Şekil (2)'de gösterilmiştir. Devrenin analizi Matlab

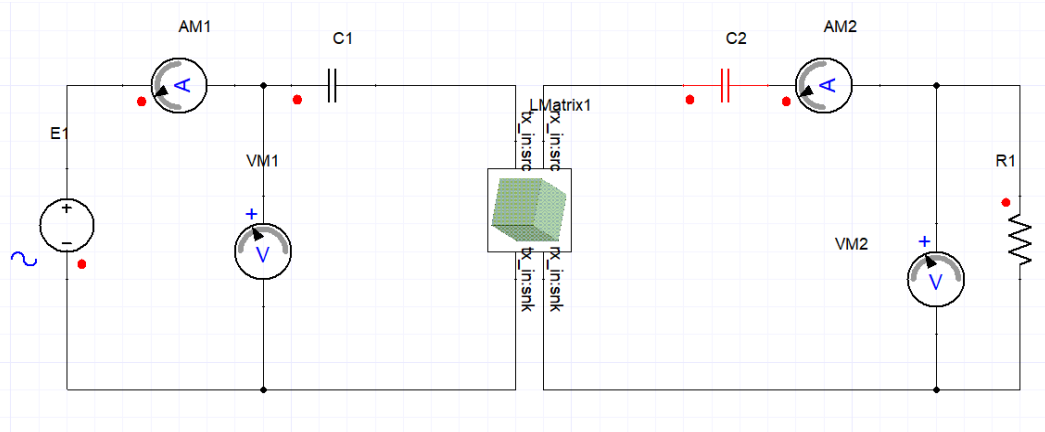
programında yapılmıştır, çıkış gücü ve verim değerleri burada hesaplanmıştır. Bobinler arası mesafe 5cm'den. 14cm'ye kadar arttırılmış ve kuplaj katsayısının değişimi gözlemlenmiştir. Kuplaj katsayısının frekansa ve mesafeye göre değişimini gözlemlemek için Ansys Simplorer programı kullanılmıştır. Tasarımı yapılan Tx ve Rx bobinlerinin parametre değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Birincil ve İkincil Bobin Parametreleri

	Tx-Birincil	Rx-İkincil
Sarım Sayısı (N_1, N_2)	40	15
Sargı Kesitleri (mm^2)	4	4
Sargı Yarıçapı (mm)	256	241



Şekil 2. KGA Sistemine ait Bobin Tasarımı



Şekil 3. KGA Sisteminin Devre Tasarım

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1'de belirtilen değerlere göre birincil ve ikincil bobinler tasarlanmıştır. KGA sistemine ait bobinlerin öz

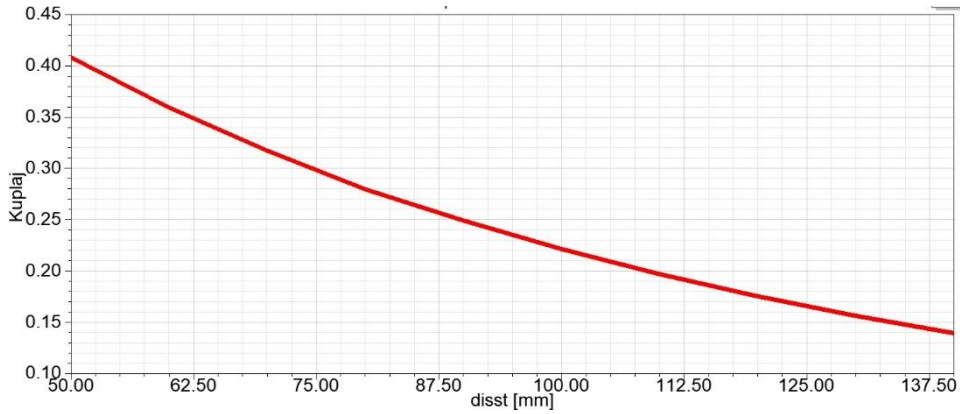
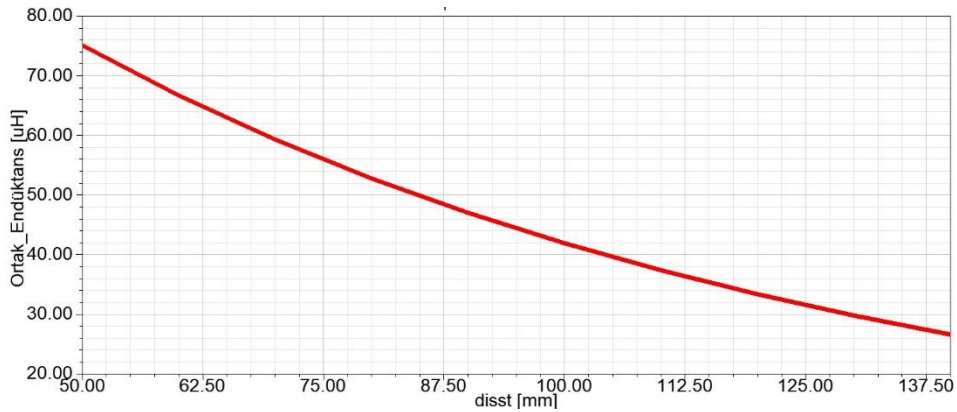
endüktansları (L_p, L_s), ortak endüktansı (M) ve bobinler arasındaki kuplaj katsayısı (k) değerleri farklı mesafe (d) değerleri için elde edilmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen bu değerler Tablo 2' de gösterildiği gibidir.

Tablo 2. Ansys Maxwell Simülasyon Sonuçları

Mesafe (cm)	d=5	d=6	d=7	d=8	d=9	d=10	d=11	d=12	d=13	d=14
Tx - öz endüktans	280.88 uH	280.88 uH	280.87 uH	281.85 uH	280.88 uH	280.88 uH	280.88 uH	280.88 uH	280.88 uH	280.88 uH
Rx - öz endüktans	120.52 uH	124.68 uH	124.36 uH	126.35 uH	126.77 uH	127.65 uH	128.35 uH	128.97 uH	129.41 uH	129.82 uH
Ortak Endüktans	75.09 uH	66.69 uH	59.31 uH	52.79 uH	47.04 uH	41.95 uH	37.43 uH	33.41 uH	29.85 uH	26.67 uH
Kuplaj Katsayısı	0.41	0.36	0.32	0.28	0.25	0.22	0.2	0.17	0.16	0.14

Birincil ve ikincil bobinler arasındaki mesafenin kuplaj katsayısına ve ortak endüktansa olan etkisi incelenmiştir. Mesafe arttıkça kuplaj katsayısının ve ortak endüktansın

azaldığı gözlemlenmiştir. Simülasyon sonuçları Şekil 4 ve Şekil 5’de gösterilmiştir.

**Şekil 4.** Mesafe-Kuplaj Katsayısı Grafiği**Şekil 5.** Mesafe-Ortak Endüktans Grafiği

3.1. Kuplaj Katsayısı Analizi ve Frekans Ayrılması

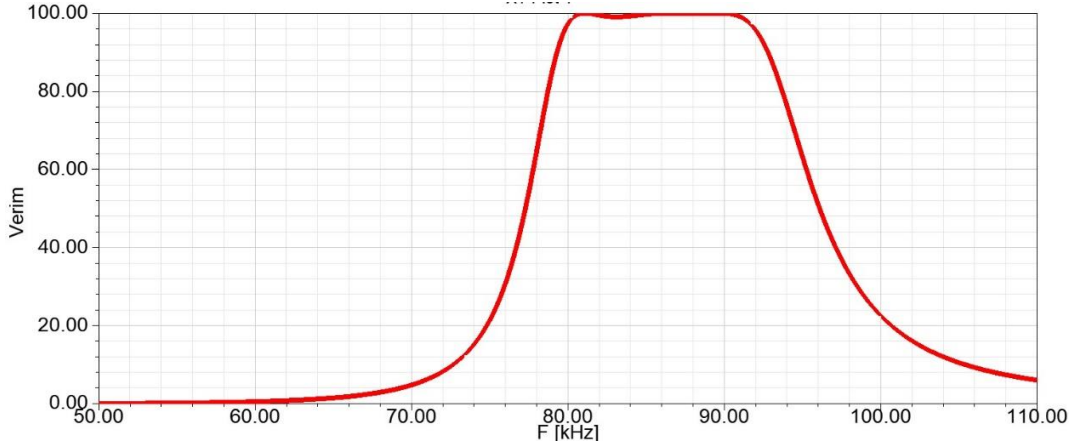
Kuplaj katsayısı birincil ve ikincil bobinler arasındaki manyetik akı transferini temsil eder, 0 ile 1 aralığında değer alır. Verim çıkış gücünün giriş gücüne oranı olarak tanımlanır. Verimin yüksek olması için k maksimum değerinde olmalıdır. Kuplaj katsayısının değeri bobinlerin sargı şekli, sarım sayısı ve sargı boyutu gibi parametrelere

bağlı olarak farklılık gösterir [17]. Akı, sargılar arası mesafeye ve hizalanmalara göre değişir. Kaynak ile cihaz yakın mesafede olduğunda ortak akı artar, bu duruma bağlı olarak da kuplaj katsayısının değeri artar.

Optimum iletim mesafesinde bobinler kritik olarak bağlanır ve maksimum enerji transferi sağlanır. Bobinler arası mesafe arttırılırsa kuplaj katsayısının değeri azalır ve buna bağlı olarak verim de azalır. Tam tersi durumda, bobinler arası mesafe azaltılırsa kuplaj katsayısının değeri

artar ve sistem aşırı (sıkı) kublajlı bölgeye geçer. Sıkı kublajlı bölgede frekans ayrılması olarak bilinen olay meydana gelir. Rezonans frekansından farklı birden fazla frekansta verimin maksimum olduğu görülür. Verim, kuplaj katsayısının bir fonksiyonu olarak elde edilirse iletilen çıkış gücü sabit kalır. Verimi sabit tutmak için kaynak frekansının değiştirilmesi gibi geri bildirim mekanizmaları önerilmiştir [18]. Bu yaklaşımlar karmaşıktır ve sistemin maliyetini artırır. Bunun yerine lineer olmayan kondansatör kullanılarak verimin mesafeden bağımsız maksimum değerinde kalması sağlanır [19-20].

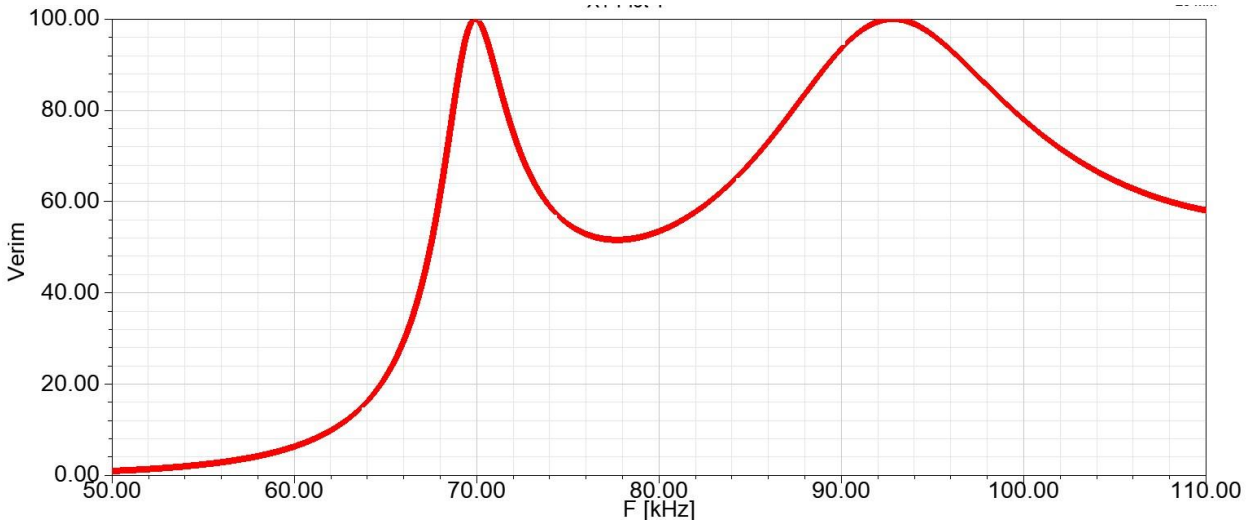
Bobinler arası mesafe 14cm ve kuplaj katsayısı 0.14 iken sistemin verimi, 50kHz ile 110kHz aralığında incelenmiştir. Sistemin frekansı 85kHz olarak belirlenmiş ve kondansatörlerin kapasite değerleri rezonans durum için hesaplanmıştır. Sistemin analizi Matlab program ile yapılmış ve frekans 85kHz iken maksimum verim değeri %90.84 olarak hesaplanmıştır. Frekans-verim grafiği Şekil 6'de gösterildiği gibidir. Grafik, Ansys Simplorer programı kullanılarak elde edilmiştir. KGA sistemi 85kHz frekansında maksimum verime ulaşmıştır. Sistemin frekansı rezonans frekanstan uzaklaştıkça verimin azaldığı görülmüştür.



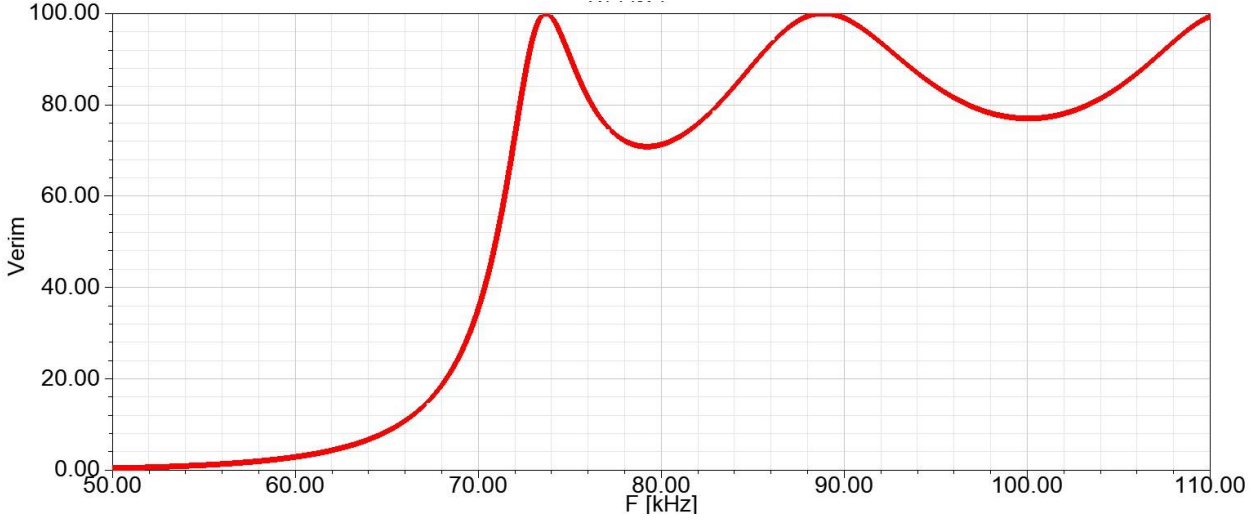
Şekil 6. Frekans-verim grafiği

Sistem zayıf kublajlı şekilde bağlandığında verimin maksimum olduğu nokta rezonans frekansıdır. Sistem aşırı kublajlı bağlı durumdayken rezonans frekansının çok az altında ve çok az üstünde w_{odd} ve w_{even} olarak adlandırılan iki ayrı frekans oluşur [19-21]. Bu iki frekans değerinde de verim maksimum değerindedir. Mesafe azaldıkça bu iki frekans noktası birbirinden uzaklaşır. Mesafe arttığında bu iki frekans birbirine yaklaşır ve tek bir rezonans frekansı olur.

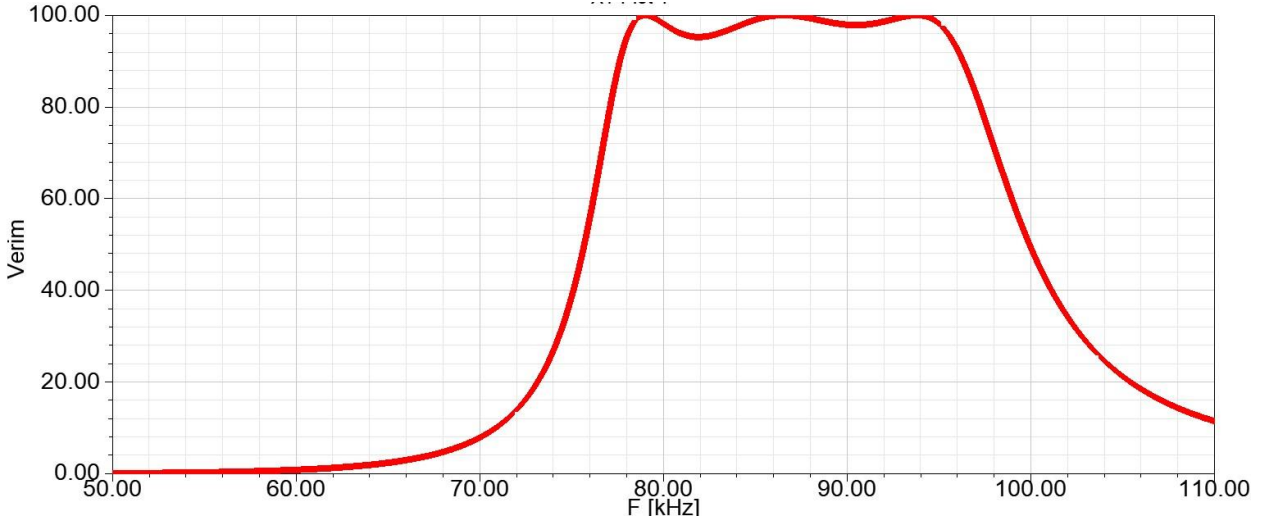
Bobinler arası mesafe 2cm iken kuplaj katsayısı 0,615 olarak bulunmuştur ve iki ayrı rezonans frekansı olduğu görülmüştür. Mesafe arttıkça kuplaj katsayısının değeri azalmıştır. Sistem aşırı (sıkı) kublajlı bağlı bölgeden zayıf (seyrek) kublajlı bağlı bölgeye geçmiştir. Bunun sonucu olarak w_{odd} ve w_{even} noktaları birbirine yaklaşmış ve en sonunda tek bir rezonans noktası haline gelmiştir. Simülasyon sonuçları Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 7. Mesafe 2cm iken frekans-verim grafiği



Şekil 8. Mesafe 5cm iken frekans-verim grafiği



Şekil 9. Mesafe 10cm iken frekans-verim grafiği

4. Sonuçlar

Bu çalışmada seri-seri endüktif kuplajlı kablosuz güç aktarımı yönteminin simülasyonu yapılmıştır. Bobin tasarımı için Ansys Maxwell programı kullanılmıştır. Rezonans devresinde bobinler arası mesafe 14cm ve yük direnci 10Ω olarak belirlenmiştir. Devrenin çıkış gerilimi 132V, çıkış akımı 13.2A, sistemin verimi %90.84 olarak elde edilmiştir. Bobinler arası mesafe arttırılarak mesafenin kuplaj katsayısına ve ortak endüktans değerine olan etkisi incelenmiştir. Verimi etkileyen parametrelerin simülasyonu yapılmıştır. Bobinler sıkı kublajlı bağlıyken meydana gelen frekans ayrılması olayı grafiklerle açıklanmıştır.

Etik Standartlar Beyanı

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalede bildirilen çalışmayı etkilemiş gibi görünebilecek, bilinen rakip mali çıkarları veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

- [1] Lee, SH., Lorenz, RD., 2011. Development and validation of model for 95%-efficiency 220-W wireless power transfer over a 30-cm air gap. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 47(6), 2495-2504.
- [2] Aydın, E., Pashaei A., Yıldırım E., Aydemir MT., 2018. Elektrikli araçlar için 2.2 kW gücünde bir kablosuz güç aktarım sisteminin tasarımı, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 30(3) 1-6.
- [3] Fincan, B., 2015. Elektrikli araçlar için kablosuz şarj cihazı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Kızıldağ, U., 2021. Elektrikli Araçlarda Kablosuz Şarj Devrelerinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [5] Fincan B., 2015. Elektrikli Araçlar İçin Kablosuz Şarj Cihazı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Khan, S.R., Pavulari, S.K., Cummins, G., Desmullies, M.P.Y., 2020. *Wireless Power Transfer Techniques for Implantable Medical Devices*, National Library of Medicine
- [7] Avan, O., 2017. *Wireless Power Transfer with Bidirectional Telemetry for Active Implantable Medical Devices*, MSc. Thesis, METU
- [8] Boztepe, M., Ünal, H., Tezcan Y., 2022. Endüktif Kuplajlı Kablosuz Güç Aktarımı Sistemlerinin Analizi ve Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [9] Kaplan O., 2020. Manyetik Rezonans Kuplajlı Kablosuz Enerji Transfer Sistemi için Empedans Analizi ve Değişken Kapasite Dizisi Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C*, 8(4), 1005-1020.
- [10] Erol, M., Ateş, K., Özen, Ş., 2023. Elektrikli Araçlarda Kablosuz Güç Transferi Sistem Tasarımı ve Elektromanyetik Alan Maruziyetinin Değerlendirilmesi, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 605-618.
- [11] Lee, H.C., Jung, G., Hosani, A.K., Song, B., Seo, D., Cho, D., 2020. *Wireless Power Transfer System for an Autonomous Electric Vehicle*, IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC)
- [12] Ağçal, A., Doğan, T.H., 2021. 1kW gücünde kablosuz enerji transfer sistemi tasarımı ve insan sağlığına etkileri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 856-865.
- [13] Arslan, E., Özüpak, Y., 2021. Kablosuz Güç Transferi İçin Q Faktörü Etkisinin Simülasyonla Analizi, *NÖHÜ Müh. Bilim Dergisi*, 11(2).
- [14] Sampath, J.P.K., Alphones, A., and Shimasaki, H., 2016. *Coil design guidelines for high efficiency of wireless power transfer (WPT)*, 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Singapore.
- [15] Kaplan O., 2019. Kablosuz güç aktarımı için karşılıklı endüktans hesaplama aracının geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1), 37-48.
- [16] Tel Ö., Kuşdoğan Ş., 2019. Elektrikli araçların kablosuz güç iletimi ile şarj edilmesi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 15-26.
- [17] Özder Ö., 2020. Kablosuz güç transferinde kullanılan bobbin yapılarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [18] Özdemir C., 2017. Kablosuz Güç Aktarım Sistemlerinde Maksimum Güç Aktarımı İçin Bir Adaptif Frekans Kontrol Sistemi Tasarlanması ve Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] Abdelatty, O., Wang, X. and Mortazawi, A., 2019. *Position-Insensitive Wireless Power Transfer Based on Nonlinear Resonant Circuits*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.
- [20] Chai, R., and Mortazawi, A., 2020. *A Coupling Factor Independent Wireless Power Transfer System Employing Two Nonlinear Circuits*, IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS), Los Angeles
- [21] Bıçakçı, S., Sis S.A., 2017. Rf Uygulamalarda Genel Amaçlı Tınlama Frekansı Takip Edici Sistem Tasarımı, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C*, 5(2).
- [22] Çelik M., Abut N., 2022. Elektrikli Araçlar için Kablosuz Şarj Sistemi Simülasyonu, *ELECO 2022, Bursa*.