

Elektrikli Araçların Kablosuz Güç Transferi Sistemi için Dairesel Bobinli Bir Transformatorün Tasarımı ve Veriminin Analizi

Yıldırım ÖZÜPAK*¹ ORCID 0000-0001-8461-8702

¹Dicle Üniversitesi Silvan Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Diyarbakır

Geliş tarihi: 23.02.2022

Kabul tarihi: 21.03.2022

Atf şekli/ How to cite: ÖZÜPAK, Y., (2022). Elektrikli Araçların Kablosuz Güç Transferi Sistemi için Dairesel Bobinli Bir Transformatorün Tasarımı ve Veriminin Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(1), 209-219.

Öz

Kablosuz Güç Transferi (KGT), elektrik enerjisinin iletkenlere ihtiyaç duyulmadan aktarılmasıdır. KGT zamanla değişen elektrik, manyetik veya elektromanyetik alanlar kullanan teknolojilere dayanır. Bu teknolojilerde güç, kısa mesafelerde, manyetik alan ve bobinler arasındaki endüktif kuplaj yoluyla veya elektrik alan ile metal elektrotlar arasındaki kapasitif kuplaj yoluyla aktarılabilir. Diğer bir ifade ile bu sistemin temel çalışma prensibi manyetik rezonansa (MR) dayanmaktadır. Endüktif kuplaja dayalı KGT sistemi, kısa mesafelerdeki elektrikli cihazların şarj edilmesi için kullanılmaktadır. Bu teknolojinin gelişmesi, endüktif kuplajlı güç aktarım sistemini elektrikli araçların şarj uygulamaları için vazgeçilmez hale getirmiştir. Bu çalışmada, elektrikli araçlardaki şarj uygulaması için KGT sisteminin verimliliğini etkileyen faktörler analiz edilmiştir. KGT sisteminde kullanılan transformatorlerin karmaşıklığı nedeniyle, karşılıklı endüktans ve kuplaj katsayısının hesaplanmasını kolaylaştırmak için Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılmıştır. Bunun için bir elektrik devresini doğrusal olmayan bir eleman modeliyle birleştiren bir simülasyon modeli ANSYS yazılım paketi kullanılmıştır. Dairesel bobinli bir KGT transformator modeli, Ansys-Maxwell yazılımında modellenmiş ve farklı koşullar altında simüle edilmiştir. Ayrıca tasarlanan KGT sisteminin performansı analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: KGT, Transformator, Manyetik rezonans, SEY

Design and Efficiency Analysis of a Circular Coil Transformer for Wireless Power Transfer System of Electric Vehicles

Abstract

Wireless Power Transfer (WPT) is the transfer of electrical energy without the need for conductors. WPT relies on technologies that use time-varying electric, magnetic or electromagnetic fields. In these

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Yıldırım ÖZÜPAK, yildirimozapak@gmail.com

technologies, power can be transferred over short distances by inductive coupling between the magnetic field and coils or by capacitive coupling between the electric field and metal electrodes. In other words, the basic working principle of this system is based on magnetic resonance (MR). WPT system based on inductive coupling is used for charging electrical devices over short distances. The development of this technology has made the inductive coupling power transmission system indispensable for charging applications of electric vehicles. In this paper, the factors affecting the efficiency of the WPT system for the charging application in electric vehicles are analyzed. Due to the complexity of the transformers used in the WPT system, the Finite Element Method (FEM) is used to facilitate the calculation of mutual inductance and coupling coefficient. For this, a simulation model ANSYS software package is used, which combines an electrical circuit with a nonlinear element model. A circular coil WPT transformer model was modeled in Ansys-Maxwell software and simulated under different conditions. In addition, the performance of the designed WPT system has been analyzed.

Keywords: WPT, Transformer, Magnetic resonance, FEM

1. GİRİŞ

Teknoloji Kablosuz Güç Transferi (KGT), elektrik enerjisini bir vericiden diğer bir alıcıya kablosuz olarak aktarmak için kullanılan umut verici bir teknolojidir. KGT, kablolu bağlantılara oranla sahip olduğu avantajlar sayesinde birçok endüstriyel uygulama için önem arz etmektedir. Kablo taşıma zorluğu olmaması, kolay şarj edebilmesi ve olumsuz çevre koşullarında güç aktarımının verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi avantajları arasında yer almaktadır. KGT fikri ilk olarak 19. yüzyılın sonlarında Nicola Tesla tarafından ortaya atılmıştır. Elektrik yükünü kablosuz aktarmak için kullanılan kablosuz bir aydınlatma ampulü üretmiştir. Bu amaçla, Tesla, birbirine yakın yerleştirilmiş iki metal plaka kullanmıştır. Bu iki plaka arasından yüksek frekanslı Alternatif Akım (AC) geçirmiş ve ampule yük aktarmayı başarmıştır. Ancak, KGT teknolojisini kullanırken bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Plakalar arasındaki mesafe arttıkça gücün azaldığını ve güç transferinde verimin düştüğü saptanmıştır. Bu durum KGT teknolojisinin performansını düşürmektedir. Endüktif Güç İletimi (EGİ) ve Kapasitif Güç İletimi (KGİ) iki önemli KGT teknolojisini oluşturmaktadır. KGİ çok kısa hava boşluklarına sahip düşük güçlü uygulamalara uygulanabilirken, EGİ birkaç metre civarındaki büyük hava boşlukları için kullanılabilir ve çıkış gücü KGİ'den çok daha yüksek olmaktadır.

KGT ışınımsal ve ışınımsal olmayan yöntemlerle yapılmaktadır. Işınımsal olmayan yöntemlerden manyetik rezonans (MR) yöntemi; insan sağlığına zarar vermemesi ve yüksek verimliliği yönüyle araştırmacılar arasında oldukça ilgi görmektedir. MR kuplaj yöntemi kullanılarak 2 m mesafedeki 60 W gücündeki bir lamba % 40 civarında bir verimle çalıştırılmıştır [1]. İlk başlarda daha çok düşük güç seviyelerinde KGT uygulamaları yapılmaktayken, özellikle son 10 yılda, farklı aktarım mesafelerinde 7-10 kW güç seviyelerine ulaşabilen, % 80-95 arasında verim değerlerine sahip uygulamalar yapıldığı görülmüştür [2].

MR kuplaja dayanan KGT sistemleri; transformatör, besleme kaynağı ve yük devrelerinden meydana gelmektedir. Nüve yapısı ve verici-alıcı bobinler transformatör devresini oluşturmaktadır. Manyetik devre (nüve), verici bobinin besleme frekansı ve bobinlerin rezonansı bu sistemde maksimum enerji transferini sağlamak için önem teşkil etmektedir.

MR kuplajlı KGT sistemlerinin rezonans durumunda çalışması verim açısından önemlidir [3]. Rezonans, KGT sistemlerinde kaynak ile yük arasındaki güç aktarımını oransal olarak artırır ve böylece sistem verimini yükseltmektedir. Bununla beraber MR'nin gerçekleştirilmesinde; alıcı ve verici bobinlerin hizalanmış olması, eğer hizalanma yapılamıyorsa rezonans kondansatörlerinin değerlerinin yeni duruma göre

güncellenmesi gereklidir [4]. KGT sistemlerinde verici tarafın şebeke frekansına göre oldukça yüksek frekanslı bir kaynak ile beslenmesi sistem verimi artıran diğer bir faktördür [5]. Bu sebeple aktarımı yapan bobinlerin tasarımında ve beslemesinde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır [6].

KGT sistemlerinde verimi etkileyen en önemli noktalardan diğer biri de düşük kayıp kuplajlı transformatör kullanmaktır. Bir transformatörde elektrik enerjisi transferi birincil ve ikincil bobinler arasında manyetik enerji kuplajıyla gerçekleşmektedir. Verimli bir transfer için bu bobinler arasında maksimum manyetik akı geçişi sağlanmalıdır. Hava nüveli transformatörlü KGT sistemlerinde manyetik devre tamamen hava üzerinden tamamlanır. Bu yapı uzun mesafelere enerji aktarımda tercih edilir. Kısa mesafeli enerji aktarımlarında ise hibrit yapılar (hava- manyetik nüve) tercih edilir [7-10].

KGT teknolojileri televizyonlarda, telefon şarj cihazlarında, indüksiyonlu ısıtmada, tıbbi cihazlarda, kalp pillerinde, radyo frekansı tanımlamada, sensörlerde ve robotlarda uygulanabilmektedir [11-18]. KGT sistemi elektrikli araçların şarj uygulaması için mükemmel bir alternatif çözüm sunmaktadır. Elektrikli araçlardaki bataryalar, sınırlı ömrü ve yüksek maliyeti nedeniyle araştırmacılar için zorluk teşkil etmektedir [15]. Elektrikli araç akü şarjı işlemi iki yöntemle yapılır: Kablolar kullanılarak iletken şarj edilebilir veya endüktif kuplaj ile şarj edilebilir. İletken kullanılarak, bataryaları şarj etmek hem uzun bir süre gerektirmekte hem de elektrik çarpmasına neden olabilecek etkenlerden dolayı insan hayatı için olumsuzluk teşkil etmektedir. Endüktif kuplaj ile şarj sistemi ise enerjinin kablosuz olarak şebekeden bobinler vasıtasıyla yüke aktarıldığı kablosuz güç aktarım sistemi şarjıdır.

Kablosuz güç aktarım sistemi şarj teknolojisi, sürücüler için çok daha güvenli, müdahale gerektirmediği için kullanımı kolaydır. Bununla birlikte, bu teknolojinin ana sorunları, verici ve alıcı bobin arasındaki büyük hava boşluğu nedeniyle bağlantının zayıf olması, insanın üretilen

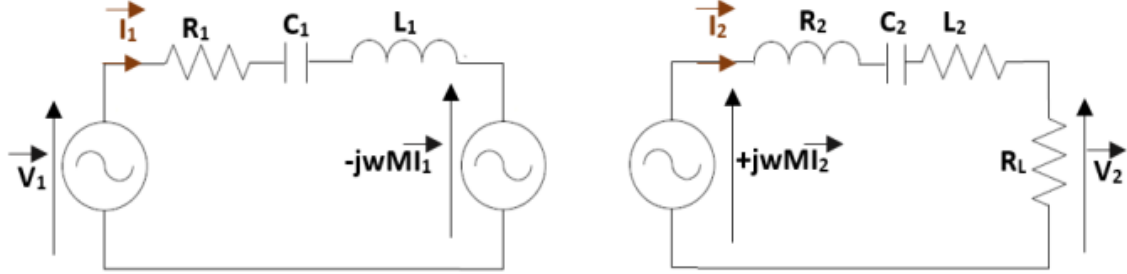
manyetik alana maruz kalması ve düşük sistem verimliliğine neden olan büyük kaçak akıların meydana gelmesidir [12]. Manyetik alan rezonansına dayalı KGT teknolojisi, manyetik alan kuplajını en üst düzeye çıkarmak ve rezonans frekansında güç aktarım kapasitesini artırmak için kullanılır [13]. Manyetik rezonans kullanılarak kablosuz güç aktarım sisteminin verimliliğini artırmak amacıyla akıyı yoğunlaştırmak ve sızıntıyı azaltmak için sisteme bir ferrit çekirdek ve alüminyum kalkan eklenmiştir.

Bu çalışmada, MR'ye dayalı kuplaj kullanan bir manyetik rezonanslı KGT transformatör modeli sunulmuştur. Ansys-Maxwell yazılımı kullanılarak Sonlu Eleman Yöntemi (SEY) ile MR'ye dayalı bir KGT sisteminin analizi yapılmıştır. Bunun için dairesel bir bobin modeli seçilmiştir. Karşılıklı endüktans ve kuplaj katsayısı, farklı koşullar altında belirli mesafeler için hesaplanmıştır. Bu iki parametre, KGT sistem verimliliğinin analizinde büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, Ansys-Maxwell ile farklı hava boşlukları, yanlış hizalama değişimi, ferrit çekirdek ve alüminyum kalkanın farklı şekillerde eklenmesi gibi sistem bağlantısını etkileyen faktörlerin etkileri incelenerek KGT sisteminin bu değişkenlere bağlı olarak simülasyon ve analizi yapılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Manyetik Rezonansa Dayalı KGT Transformatör Modeli

Elektromanyetik Manyetik rezonansa dayalı KGT sistemlerinde güç, hava boşluğu ile ayrılmış iki bobin arasında kablosuz olarak aktarılır. Araçların altında bulunan alıcı bobine R_x , verici bobinden T_x akan akım tarafından üretilen bir manyetik alan gönderilir. Bu manyetik alan, elektrikli araçta pili şarj etmek için kullanılan alıcı R_x 'de bir gerilim indükler. Farklı KGT teknolojileri arasında manyetik rezonanslı KGT sistemi, özellikle elektrikli araç uygulaması için yüksek güç aktarım verimliliği ve en önemlisi yakın mesafede yüksek kablosuz iletim gücü sunmaktadır [14]. Şekil 1'de, elektrikli araçlar uygulaması için manyetik rezonansa dayalı bir KGT sistemi verilmiştir.



Şekil 1. Elektrikli araçlar için manyetik rezonansa dayalı KGT sistem modeli

Burada, L_1 ve L_2 sırasıyla primer ve sekonder taraflarının endüktansları, R_1 ve R_2 primer ve sekonder tarafın dirençleri, C_1 ve C_2 birincil ve ikincil tarafın kapasitörleri, R_L eşdeğer yük direnci ve M , bobinler arasındaki karşılıklı endüktansı ifade etmektedir. Ayrıca, endüktif bileşen iptal edilerek primer ve sekonder tarafa bir dengeleme kapasitörü eklenmiştir. KGT sistemlerinde dört farklı kompanzasyon topolojisi bulunmaktadır: seri-seri (SS), seri-paralel (SP), paralel-paralel (PP) ve paralel-seri topolojileridir [15]. [15]'e göre SS topolojisi, birincil kapasitansının kuplaj katsayısına bağlı olmadığı tek topolojidir. SS kompanzasyon teknolojisi için hesaplanan kapasitörler Eşitlik 1 ve 2 ile verilmiştir [17]:

$$C_1 = \frac{1}{\omega^2 L_1} \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{1}{\omega^2 L_2} \quad (2)$$

Verici ve alıcı bölümlerinin gerilim denklemleri (Eşitlik 3-4):

$$V_1 = Z_{T1} I_1 - j\omega M I_2 \quad (3)$$

$$Z_{T2} I_2 = j\omega M I_1 \quad (4)$$

Burada, Z_{T1} ve Z_{T2} verici ve alıcı bobinin aşağıdaki şekilde ifade edilen empedansdır (Eşitlik 5-6):

$$Z_{T1} = Z_{C1} + Z_{R1} + Z_{L1} = \frac{1}{j\omega C_1} + R_1 + j\omega L_1 \quad (5)$$

$$Z_{T2} = Z_{C2} + Z_{R2} + Z_{L2} = \frac{1}{j\omega C_2} + R_2 + j\omega L_2 \quad (6)$$

Rezonans frekansında Eşitlik 1 ve 2'den aşağıda verilen sonuca varılmaktadır (Eşitlik 7-9):

$$Z_{C1} + Z_{L1} = 0 \quad (7)$$

$$Z_{C2} + Z_{L2} = 0 \quad (8)$$

Sonuç olarak;

$$V_1 = R_1 L_1 - j\omega M I_2 \quad (9)$$

Alıcı bobinde I_2 akan akım Eşitlik 10'da verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$I_2 = \frac{j\omega M}{R_2 + R_L} \times I_1 \quad (10)$$

Gerilim kaynağı tarafından P cinsinden iletilen giriş gücü (Eşitlik 11):

$$P_{in} = V_1 I_1 = \frac{R_1 \times (R_2 + R_L) + (\omega M)^2}{R_2 + R_L} \times I_1^2 \quad (11)$$

şekindedir. Böylece, yükün çıkış gücü P (Eşitlik 12):

$$P_{out} = R_L I_2^2 = R_L \times \frac{\omega^2 M^2 I_1^2}{(R_2 + R_L)^2} \quad (12)$$

Şeklinde olmaktadır. Burada η güç aktarım verimliliği, şu şekilde yazılabilen P_{out} 'un P_{in} 'ne oranıdır (Eşitlik 13):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{R_L \times (\omega M)^2}{(R_2 + R_L) \times [R_1 \times (R_2 + R_L) + (\omega M)^2]} \quad (13)$$

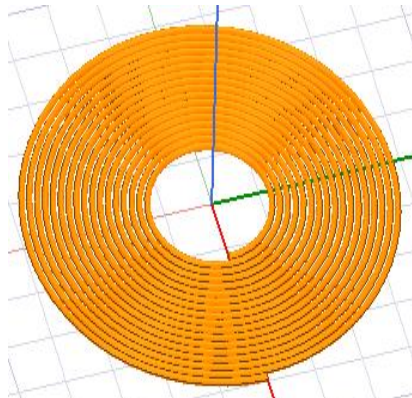
$R_L \gg R_2$ ise, daha yüksek frekans ve daha büyük karşılıklı endüktansın daha yüksek verim anlamına geldiği sonucuna varılmaktadır (Eşitlik 14).

$$\eta \approx \frac{1}{1 + \frac{R_1 R_2}{(\omega M)^2}} \quad (14)$$

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. SEY ile Bobin Tasarımı

Bobin, enerjiyi elektrik formundan ile manyetik forma dönüştürdüğü için kablosuz güç aktarım sisteminde vazgeçilmez bir bileşendir. Bu yüzden, indüksiyon veriminin düşük olması tüm sistemin verimliliğinde bir düşüş meydana getirmektedir. Bu çalışmada, referans bir dairesel bobin modeli seçilmiştir. Dairesel bobin, Ansys-Maxwell yazılımı kullanılarak modellenip simüle edilmiştir. Şekil 2'de tasarlanan bobin modeli sunulmuştur.



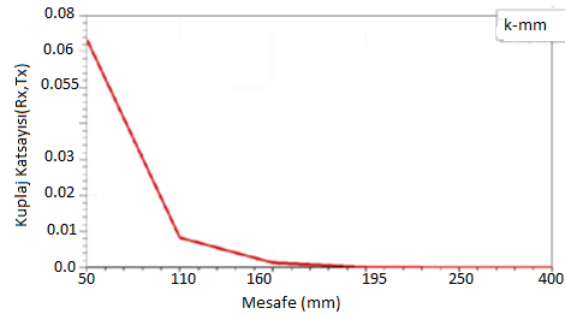
Şekil 2. Referans dairesel bobin modeli

3.2. Hava Boşluğu Mesafesinin Analizi

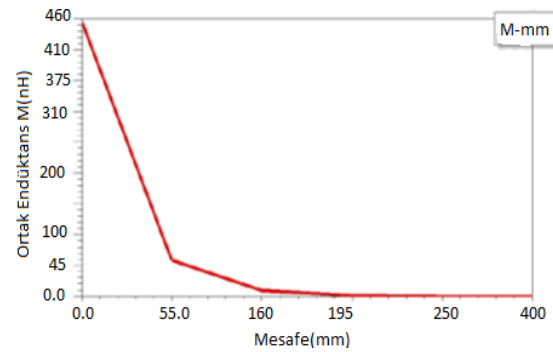
Hava boşluğu, aracın şasisi ile toprak arasındaki z-mesafesini temsil eden verici ve alıcı bobin arasındaki dikey boşluktur. Önceki bölümde bahsedildiği gibi dairesel bobin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmayı basitleştirmek için bu yapı hem verici hem de alıcı bobin için kullanılmıştır. Çizelge 1'de ve Şekil 3 ve 4'te 55 mm ile 250 mm arasında değişen bir hava boşluğu ile sırasıyla kuplaj katsayısı ve karşılıklı endüktansın simülasyon sonuçları verilmiştir.

Çizelge 1. Dairesel çekirdekli bobin modelinin simülasyon sonuçları

Mesafe (mm)	Kuplaj katsayısı	Ortak endüktans (nH)
55	0,065	450,1
110	0,009	60,2
160	0,0015	11,1
195	0,0003	0,42
250	0,00005	0,02



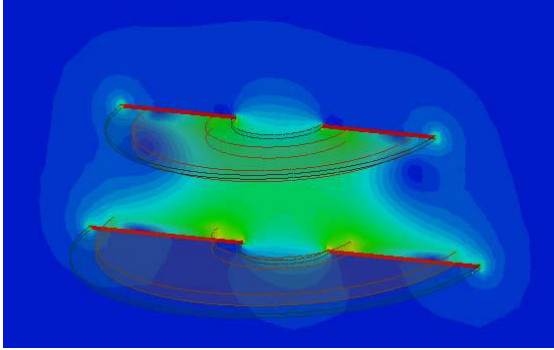
Şekil 3. Kuplaj katsayısı ve boşluk simülasyon sonuçları dairesel çekirdeksiz bobin modelinden



Şekil 4. Boşluğa karşı karşılıklı endüktansın Simülasyon sonuçları dairesel çekirdeksiz bobin modelinden

Çizelge 2, Şekil 3 ve 4'te görüldüğü üzere, iki bobin arasındaki mesafe arttıkça kuplaj katsayısının ve karşılıklı endüktansın azaldığı görülmüştür. Çekirdeksiz transformator, fazla ağırlığa ve fiyata göre avantajları temsil etse bile, verimliliği, elektrikli araç şarjında uygulama alanını sınırlamaktadır. Bu nedenle, sistem verimliliğini artırmak için belirli malzemelerin KGT

transformatörüne eklenmesi gerekmektedir. Hava boşluğunun=55 mm olduğu bir sistemin manyetik alan yoğunluğu grafiği Şekil 5'te sunulmuştur. Mavi ve kırmızı renkler, sırasıyla en düşük ve en yüksek manyetik akı değerlerini temsil etmektedir.



Şekil 5. Dairesel çekirdeksiz bobin modeli için manyetik alan yoğunluğu grafiği

Yukarıda Şekil 5'ten de anlaşılacağı gibi, büyük bir akı sızıntısı meydana gelmiştir. Verici bobin ile alıcı bobin arasındaki z-mesafesi arttıkça manyetik alan çizgileri alıcı bobine daha az ulaşmıştır. Ayrıca, iki bobin arasındaki sızıntı bağlantısı, sekonder bobinden uzaklaşan manyetik alan çizgilerinden kaynaklanıyor olabilir. Bu sorunun üstesinden gelmek için akıyı yoğunlaştırmak ve sızıntıyı azaltmak için bir malzeme eklemek gerekir.

3.3. Yatay Yanlış Hizalama Analizi

Verici ve alıcı bobin arasındaki yanlış hizalama, araç park etme ile ilgilidir, sürücü, aracın %100 elde edilemeyen verici bobini ile hizalandığından emin olmalıdır. [18]'e göre, yatay yanlış hizalamanın, dikey ve açılmalardan daha fazla ortaya çıkma olasılığı yüksektir. Bu nedenle, bu hizasızlığın bir dairesel bobinin kuplaj katsayısı ve karşılıklı endüktansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 3'te, yatay yanlış hizalama varyasyon sonuçları verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, yatay mesafe arttıkça kuplaj katsayısı ve karşılıklı endüktans azalmaktadır. Bu nedenle yatay kaçak akı, düşük kuplaj katsayısı k' 'ye ve dolayısıyla sistem

kuplajında ve verimliliğinde düşüşe neden olan etkenlerden kaynaklanmaktadır.

3.4. Sisteme Ferrit Çekirdek ve Alüminyum Kalkanın Tanıtılması

Bobin sistemine ferrit ve alüminyum eklenmesinin etkisi araştırılmıştır. Ferrit malzemeler, yüksek elektrik direnci ve düşük girdap akımı kayıpları gibi çeşitli avantajlar ve yalnızca birkaç malzemenin sunabileceği şeyleri şekillendirebilme olanağı sunmaktadır [16].

Çizelge 2. Dairesel bobinin yatay hatalı hizalama analizi sonuçları

Mesafe (mm)	Kuplaj katsayısı	Ortak endüktans (nH)
0	0,068	461,4
55	0,019	95,7
110	0,006	10,2
160	0	0
195	0	0
250	0	0

3.5. Ferrit-nüve ve Alüminyum Kalkan Plakaları ile Yapılan Tasarımın Analizi

Bu bölümde, bobin sisteminde basit bir ferrit levha ve alüminyum koruyucu levhanın tanıtımı analiz edilecektir. Ansys-Maxwell'de dairesel bir bobin transformatörü üç koşul altında modellenmiştir:

- Dairesel çekirdeksiz transformatör
- Ferrit çekirdekli dairesel transformatör modeli
- Ferrit çekirdekli ve alüminyum kalkanlı dairesel transformatör modeli

Ansys-Maxwell kullanılarak tasarlanan üç dairesel transformatör modelleri Şekil 6, 7 ve 8'de gösterilmiştir.

Şekil 6'da transformatörün bobin yapısı sunulmuştur. Şekil 7, ferrit plakalı dairesel bir bobinden oluşan yapıyı temsil etmektedir. Şekil 8'de, ferrit ve alüminyum plakalara sahip

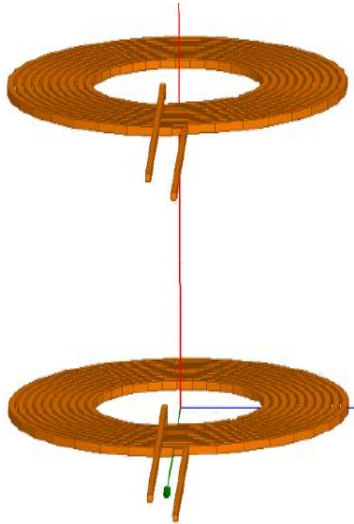
dairesele bir bobinden oluşuşı yapı verilmiştir. Çizelge 3'te kalkan plakların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3. Ferrit çekirdek ve alüminyum kalkan ölçüleri

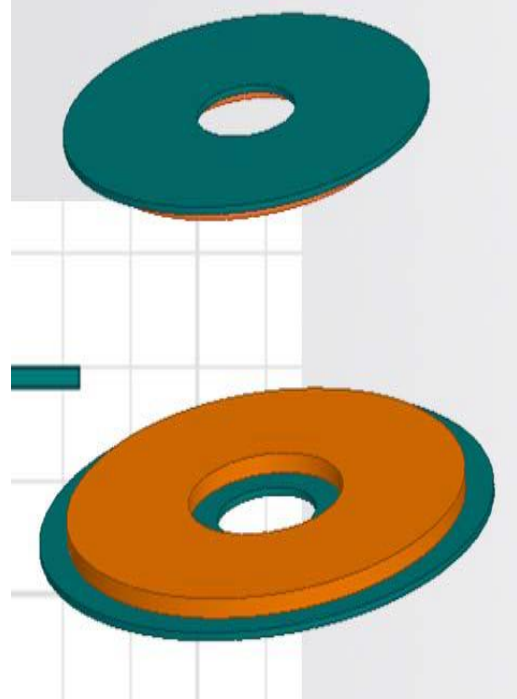
	Ferrit disk	Alüminyum plak
Yarıçap	87 mm	112 mm
Kalınlık	1,4 mm	1,4 mm

Şekil 6'da verilen dairesele nüvesiz transformatör, iki bakır bobinden oluşur ve manyetik alan sızıntısı nedeniyle düşük bir manyetik bağlantı sunmaktadır. Manyetik indüksiyon bağlantıyı güçlendirmek, kuplajı iyileştirmek ve yakınlık kayıplarını en aza indirmek için bobinler manyetik bir malzemenin etrafına yerleştirilir. Transformatörün yapısına ferrit ve alüminyumun malzemelerinin dahil edilmesi ile akı yoğunlaşmış ve sızıntı etkisi azalmıştır.

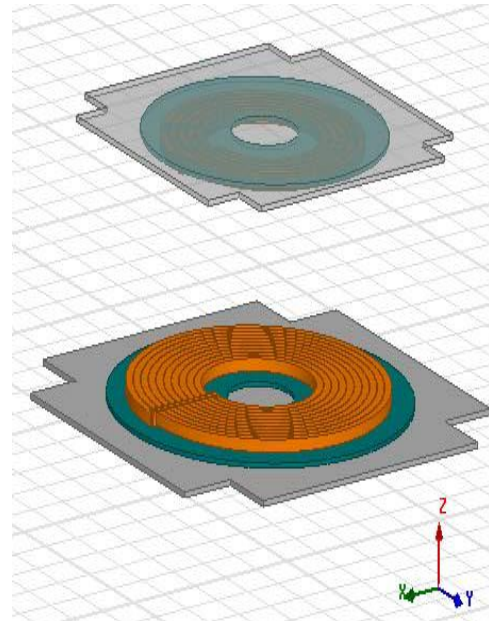
Farklı durumları analiz etmek için, Ansys-Maxwell yazılımında 75 kHz frekansında, aralığın 55 mm ile 250 mm arasında değişen varyasyonu ile bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Çizelge V ve VI'da verilmiştir. Çizelge V ve VI'da verilen sonuçlara göre, her durumda, iki bobin arasındaki mesafe arttıkça kuplaj katsayısı ve karşılıklı endüktans değerlerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 6. Durum 1: Dairesel çekirdeksiz transformatör, boşluk=90 mm



Şekil 7. Durum2: Ferrit çekirdekli dairesele transformatör modeli, boşluk=90 mm



Şekil 8. Durum 3: Ferrit çekirdekli ve alüminyum kalkanlı dairesele transformatör modeli, boşluk=90 mm

Çizelge 4. Ferrit çekirdekli dairese bobin modelinin simülasyon sonuçları

Mesafe (mm)	Kuplaj katsayısı	Ortak endüktans (nH)
55	0,101	1,120
110	0,0121	0,176
160	0,0023	0,0261
195	0,000406	0,0048
250	0,000022	0,00014

Çizelge 5. Ferrit çekirdekli ve alüminyum kalkanlı dairese bobin modelinin simülasyon sonuçları

Mesafe (mm)	Kuplaj katsayısı	Ortak endüktans (nH)
55	0,0961	1,0620
110	0,0122	0,1381
160	0,001901	0,02310
195	0,000354	0,000879
250	0,000018	0,000141

Verici bobinin üstüne ve alıcının altına ferrit plaka eklenmesi bu değeri artırır. Ferritli bobin, tüm 3 durum arasında yalnızca en yüksek bağlantı katsayısı değerini temsil eder. Çünkü ferrit manyetik akıyı yoğunlaştırır ve kaçak manyetik alan miktarını azaltır. Ancak sızıntıdan

olabildiğince kurtulmak için alüminyum plak eklemek uygundur. Alüminyumun ferritli dairese bobine eklenmesi, bağlantı katsayısını ve karşılıklı endüktans değerlerini azaltır.

3.6. Farklı Ferrit Nüveli Şekillerinin Analizi

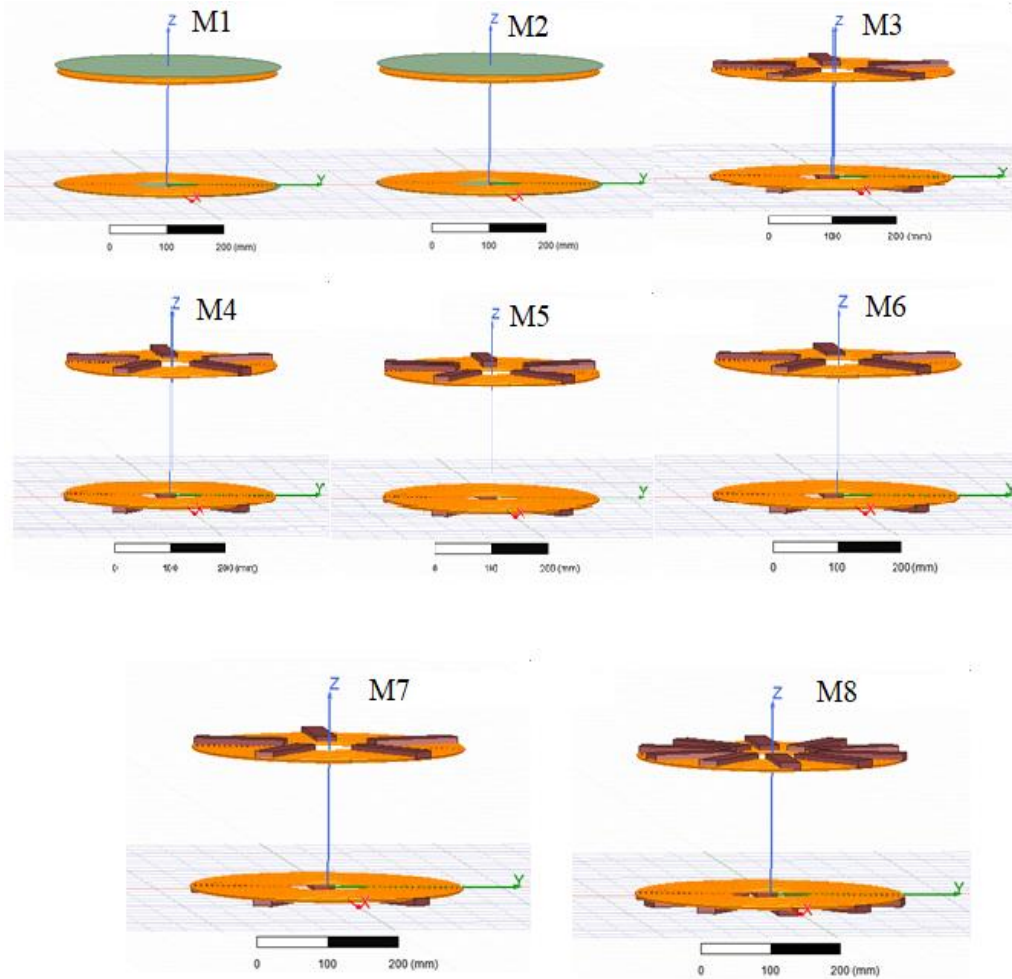
Bu bölümde, hava boşluğu 100 mm'de sabitlenerek ve ferrit şeklinin ve yerleşiminin kuplaj katsayısı ve karşılıklı endüktans üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı ferrit nüveli şekillere sahip sekiz dairese transformator bobin modeli Ansys-Maxwell ile modellenmiş ve simüle edilmiştir.

Ferritin etkisini analiz etmek için, çap, kalınlık, genişlik, uzunluk gibi bir dizi farklı etkeni hesaba katan çok yönlü bir analiz gerekmektedir. Bunun için transformatorün farklı durum ve konumları için analizler yapılmıştır.

- Durum 1: M1, M2: Kalınlığın dairese ferrit şekli üzerindeki etkisi.
- Durum 2: M3, M4: Kalınlığın parçalı ferrit şekli üzerindeki etkisi.
- Durum 3: M3, M5: Y eksenli varyasyonunun etkisi.

Çizelge 6. Farklı ferrit şekilli dairese trafo modelinin tanımı

Modeller	Nüve yapısı	Mesafe (mm)	Kalınlık (mm)	X*Y (mm ²)
1	Disk	84	1,4	
2	Disk	84	4,2	
3	5 parçalı ferrit nüve	84	4,2	10x24
4	5 parçalı ferrit nüve	84	1,4	10x24
5	5 parçalı ferrit nüve	84	1,4	10x24
6	5 parçalı ferrit nüve	84	1,4	5x24
7	5 parçalı ferrit nüve	84	1,4	5x24
8	10 parçalı ferrit nüve	84	1,4	5x24



Transformatör Modelleri

Şekil 9. Farklı ferrit şekillerine sahip sekiz dairesel transformatör modeli

- Durum 4: M3, M6: X eksen varyasyonunun etkisi.
- Durum 5: M3, M7: X ve Y eksen varyasyonunun etkisi.
- Durum 6: M7 ve M8: Ferrit dilim sayısının etkisi.

Genel ölçüm sonuçları Çizelge 7’de özetlenmiştir.

Çizelge 7. Farklı ferrit şekli, boşluk=90 mm dairesel bobin modelinin simülasyon sonuçları

Model	Kuplaj katsayısı	Ortak endüktans (nH)
1	0,012	128,9
2	0,0191	135,2
3	0,0131	140,1
4	0,0101	100,3
5	0,014	97,52
6	0,0091	77,16
7	0,0099	93,17
8	0,0011	82,01

Sonuçlar, 4.2 mm kalınlığındaki diski temsil eden M3'ün, diğer tüm şekillere kıyasla en yüksek bağlantı katsayısı ve karşılıklı endüktans değerine sahip olduğunu göstermektedir. Birinci ve ikinci karşılaştırma sonuçlarından anlaşılacağı gibi, daha yüksek bir kalınlık, kuplaj katsayısı ve karşılıklı endüktans değerlerinde bir gelişme anlamına gelir. Üçüncü, dördüncü ve beşinci karşılaştırmalara göre ferrit boyutunun x ve y eksenleri arasında küçültülmemesi tercih edilir. Son olarak, ferrit segmentinin sayısını artırmak, kuplaj katsayısını ve karşılıklı endüktans değerlerini artırır.

Bu analiz, konumun, transformatörün nüve yapısının ve ferritin boyutunun bağlantı üzerindeki etkisi hakkında bir fikir vermesi için yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen sonuçlar, ferrit ilavesinin, sistemdeki ferritin yerleşimine bağlı olarak bağlantı katsayısını ve karşılıklı endüktansı artırabileceğini veya azaltabileceğini göstermektedir. Genel olarak, ferrit bu değerleri artırır. Bununla birlikte, ferrit materyalinin nüveye dahil edilmesi hem bir sistemdeki çekirdek kayıplarını hem de iletkenlerde alan modifikasyonu nedeniyle bakır kayıplarını artırır. Ayrıca, ferrit tasarım zorluğu ve sistem ağırlığı, bobin sistemi tasarlanırken dikkate alınması gereken kritik faktörlerdir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, manyetik rezonans kuplajlı kablosuz güç transferinin sisteminin tasarımı yapılmıştır. Öncelikle düşük kayıp kuplajlı özgün transformatör tasarlanmıştır. Tasarlanan transformatörün bobin yapısı bakır yüksek frekanstaki deri ve yakınlık etkilerini önlemek amacıyla litz telden oluşturulmuştur. Transformatörün manyetik nüve yapısında ferrit malzeme kullanılmıştır. Transformatörde kaçak akıları önlemek amacıyla nüvenin dış yüzeylerine alüminyum levhalar kullanılarak manyetik akı sargılar arasında kalmaya zorlanmış, bu sayede enerji kayıpları en aza indirgenmek amaçlanmıştır. Tasarlanan transformatör seri-paralel rezonans topolojisi ile bir benzetim devresi yardımı ile test edilmiştir. KGT sistem eşleşmesini ve verimini etkileyen parametreler incelenmiştir. Verici bobin ile alıcı bobin arasındaki bağlantı katsayısı ve

karşılıklı endüktans, SEY'e dayanarak çözüm gerçekleştiren Ansys-Maxwell kullanılarak hava boşluğunu ve yatay yanlış hizalamayı ifade eden z mesafesi ve y mesafesinin bir fonksiyonu olarak analiz edilmiştir. Sistem verimliliğini artırmak için ferrit ve alüminyum levhaların kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Ferrit şekillerin sisteme etkisi ve yerleşimi gerçekleştirilmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R.J., Joannopoulos, D.P., Soljacic, M., 2007. Wireless Power Transfer Via Strongly Coupled Magnetic Resonances. *Science*, 317(5834), 83–86.
2. Cederlöf, M., 2012. Inductive Charging of Electrical Vehicles, Stockholm: KTH, School of Electrical Engineering (EES), Electromagnetic Engineering. Master Thesis.
3. Karalis, A., Joannopoulos, D.P., Soljacic, M., 2008. Efficient Wireless Non-radiative Mid-range Energy Transfer. *Annals of Physics*, 323(1), 34–48.
4. Ağçal, A., Bekiroğlu, N., Özçira, S., 2018. Manyetik Rezonanslı Kuplaj ile Kablosuz Enerji Transferinde Hizalanmış ve Hizalanmamış Durumların Limitlerinin İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(3), 67-73.
5. Zhang, R., Ho, C.K., 2013. MIMO Broadcasting for Simultaneous Wireless Information and Power Transfer. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 12(5), 1989-2001.
6. Miller, J.M., Onar, O.C., Chinthavali, M., 2014. Primary-side Power Flow Control of Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Charging. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 3(1), 147-162.
7. Aditya, K., Williamson, S.S., 2018. Design Guidelines to Avoid Bifurcation in a Series-series Compensated Inductive Power Transfer System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(5), 3973-3982.
8. Li, S., Mi, C.C., 2015. Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications. In

- IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 3(1), 4-17.
9. Lassioui, A., Fadil, H.E., Belhaj F.Z., Rachid, A., 2018. Battery Charger for Electric Vehicles Based ICPT and CPT-A State of the Art, Renewable Energies. Power Systems & Green Inclusive Economy (REPS-GIE), Casablanca, 1-6.
 10. Ahn, S., Hwang, C., Park, H.H. 2014. Optimized Shield Design for Reduction of EMF from Wireless Power Transfer Systems. IEICE Electronics Express, 11(2), 20130930–20130930.
 11. Dolara, A., Leva, Longo, Castelli-Dezza S.M.F., Mauri, M., 2017. Coil Design and Magnetic Shielding of a Resonant Wireless Power Transfer System for Electric Vehicle Battery Charging. IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), San Diego, CA, 200-205.
 12. Kim, S., Park, H., Kim, J., Ahn, S., 2014. Design and Analysis of a Resonant Reactive Shield for a Wireless Power Electric Vehicle. in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 62(4), 1057-1066.
 13. Ongayo, D., Hanif, M., 2015. Comparison of Circular and Rectangular Coil Transformer Parameters for Wireless Power Transfer Based on Finite Element Analysis. IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Fortaleza, 1-6.
 14. Patil, D., McDonough, M.K., Miller, J.M., Fahimi, B., Balsara, P.T., 2018 Wireless Power Transfer for Vehicular Applications: Overview and Challenges. in IEEE Transactions on Transportation Electrification, 4(1), 3-37.
 15. Mude, K.N., 2015. Wireless Power Transfer for Electric Vehicle. Ph.D Thesis, University of Padova, Italy, March.
 16. Lassioui, A., Fadil, H.E., Rachid, A., Belhaj, F.Z., Tarkany, O., Bajit, A., 2018. Characteristics Analysis of Wireless Power Transfer System for Electric Vehicle Charging Applications. International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), Rabat, Morocco, 1-6.
 17. Duarte, R.M., Felic, G.K., 2014. Analysis of the Coupling Coefficient Inductive Energy Transfer Systems. Active Passive Electron. Compon, 2014, 1-6.
 18. Mohammad, M., Choi, S., Islam, Z., Kwak S., Baek, J., 2017. Core Design and Optimization for Better Misalignment Tolerance and Higher Range of Wireless Charging of PHEV. In IEEE Transactions on Transportation Electrification, 3(2), 445-453.

