

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN BATARYA DOLUM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEMASSIZ GÜÇ AKTARIM SİSTEMLERİ

M. Timur Aydemir
aydemirmt@gazi.edu.tr

Elektrikli araçlar, beklenen hız ve düzeyde olmasa da tüm dünyada yaygınlaşmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşmasını yavaşlatan etkenlerin başında mevcut bataryaların kısıtlamaları gelmektedir. Bu kısıtlamaları ortadan kaldırmak amacıyla, pek çok üniversitede ve sanayi kuruluşunda enerji/güç yoğunluğu daha yüksek, maliyeti düşük batarya teknolojileri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bataryalarla ilgili yapılmakta olan çalışmalardan biri de dolum (şarj) işleminin temassız olarak yapılabilmesine olanak sağlayan sistemlerin geliştirilmesi üzerinedir. Temassız güç aktarım (TGA) sistemlerinde, bir primer sargısına uygulanan güç, geniş bir hava aralığı üzerinden sekonder sargısına aktarılır. Sekonder sargısında oluşan gerilim doğrultularak batarya dolum işleminde kullanılır. Arada bir temas olmaması nedeniyle temassız güç aktarım sistemleri; kullanım kolaylığı, yüksek emniyet, yüksek güvenilirlik, düşük bakım maliyeti ve uzun kullanım ömrü gibi avantajları beraberinde getirmektedir. Ayrıca meteorolojik ve çevresel etkenlerden bağımsız olarak kesintisiz güç sağlayabilen bu sistemler birçok ortamda güvenle çalıştırılabilmektedir. Bu sistemlerin bir başka olumlu yanı da kablo karmaşası ve kirliliğini azaltması ve dolum işlemini daha hızlı ve zahmetsiz hale getirmesidir. Öte yandan, gücün geniş bir hava aralığı üzerinden aktarılacak zorunda olması, doğal olarak verimin düşük olmasına yol açar. TGA sistemlerinde verimin yüksek olması için özel kompanzasyon devreleri kullanılmalıdır. Manyetik bağlaşımı (kuplaj) yüksek sargı yapıları da dolum işleminin verimini arttırmak için önemlidir.

Bu makalede önce TGA sistemlerinin tarihsel gelişimi üzerine kısa bir bilgi verilecek, ardından elektrikli araçların batarya dolum işleminde kullanılan temassız sistemlerin yapıları tanıtılacaktır.

TGA Sistemlerinin Kısa Tarihçesi

Elektrik enerjisinin kablosuz olarak aktarımı ilk kez Nikola Tesla tarafından 1891 yılında ortaya atılmış bir kavramdır. Tesla, elektrik enerjisinin dünyanın her yerine kablosuz olarak aktarılabilmesi hedefine yönelik olarak araştırmalar yapmıştır. Bu amaçla 1901 yılında Long Island Sound yakınlarında "Wardenclyffe" kulesinin yapımına başlamıştır (Şekil 1). Projenin kaynakları tükendiği için kule hiçbir zaman çalışır hale gelememiştir.

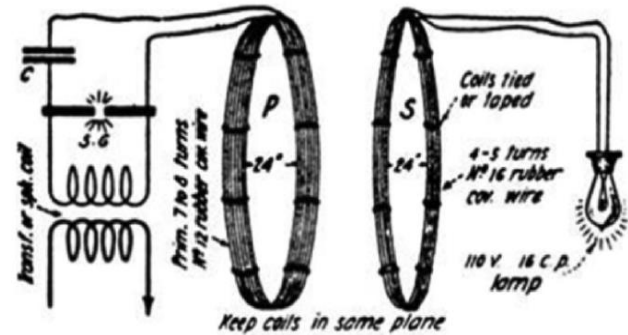
Teknik olanakların yetersizliğine karşı Tesla, Şekil 2'de görülen sistemi geliştirmiş ve 10 – 20 kHz aralığında denemiştir. Tesla, manyetik olarak bağlaşımli sargılar arasında verimli bir güç aktarımının gerçekleştirilebilmesi için manyetik rezonansın gerekli olduğunu göstermiştir.

Kablosuz güç aktarımı, onlarca yıl sonra, mikrodalga teknolojisinin gelişmesiyle yeniden gündeme gelmiştir. İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde, mikrodalga frekanslarında çalışabilen yüksek güçlü vakum tüplerinin geliştirilmesiyle, uzun mesafelere yüksek güçlü bir ışın gönderilmesi mümkün olabilmektedir.

TGA sistemleri üzerine yapılan çalışmalar 2007 yılında MIT'de bir grup araştırmacının 2 m mesafeden 60 W gücünde bir ampulü yakan bir sistemi tanıtmasıyla yeniden ilgi görmeye başlamıştır [4].



Şekil 1: Tesla'nın Wardenclyffe Kulesi [1, 2]



Şekil 2: Tesla Tarafından Geliştirilen İlk Sistemin Kendi Elinden Çizimi [3]

Endüktif Güç Aktarım Sistemlerinin Genel Yapısı

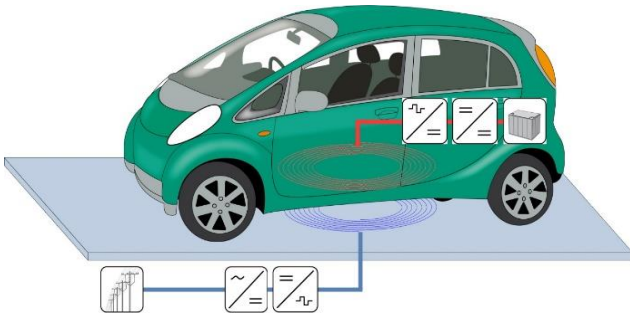
Mikrodalga frekanslarında kullanılan TGA sistemleri uzun süredir günlük yaşamımızın bir parçasıdır. Elektrikli diş fırçaları ve kablosuz algılayıcı ağırlar bu sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Bu sistemlerde aktarılabilecek gücün düşük olması frekansın yüksek tutulabilmesine olanak sağlamaktadır.

Elektrikli araçlarda güçler yüksek, sargılar arası mesafe de yüksek olduğundan çalışma frekansı düşük tutulmalıdır. Bu nedenle bu sistemlerde güç aktarımı endüktif bağlaşımla gerçekleştirilir. Bağlaşımlı katsayısının düşük olmasından dolayı bu sistemlere “gevşek bağlaşımlı sistem” adı da verilir.

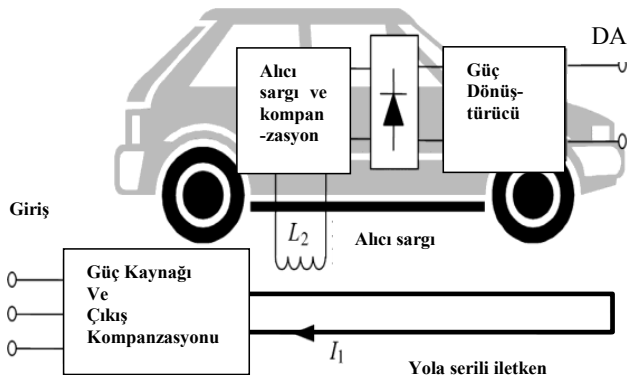
Gevşek bağlaşımlı sistemlerde primer ve sekonder sargılarını üzerinde barındıran ortak bir çekirdek bulunmaz. Ancak her iki sargı da ayrı ayrı bir çekirdek üzerine sarılabilir. Bu yapı, sekonderin primere göre hareketli olmasına izin verdiğinden, elektrikli araçların batarya şarj uygulamaları için kullanışlıdır. Arada bir temas olmaması ve dolayısıyla galvanik yalıtımın sağlanmış olması nedeniyle güvenlik, güvenilirlik, düşük bakım maliyetleri ve uzun kullanım süresi gibi üstünlükleri beraberinde getirir [5].

Gevşek bağlaşımlı sistemlerde kaçak endüktans değerleri çok büyük olur [6] ve doğal olarak güç aktarımı düşük verimlidir. Verimi yükseltebilmek için primer ve sekonder sargılara, rezonansa girmeleri ve güç katsayısını düzenlemek için kondansatörler bağlanır.

Endüktif bağlaşımlı güç aktarımı durağan [7] veya hareket halinde olabilir [8]. Durağan sistemlerde (Şekil 3) sistemin primer tarafı yol altına kurulur. Bataryası dolacak olan araç, sargının bulunduğu konuma gelerek park halinde beklerken dolum işlemi başlatılır. Dinamik sistemlerde (Şekil 4) ise araç yere serili bir iletken hat üzerinde ilerlerken bir yandan da batarya dolum işlemi yürütülür.

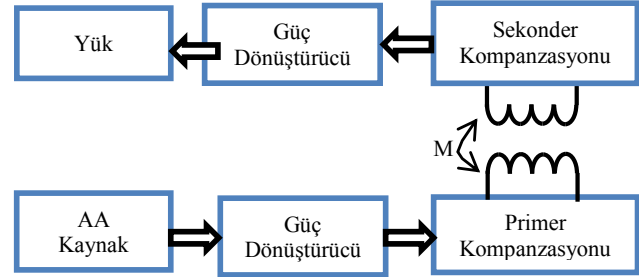


Şekil 3: Örnek Bir Durağan TGA Sistemi [7]



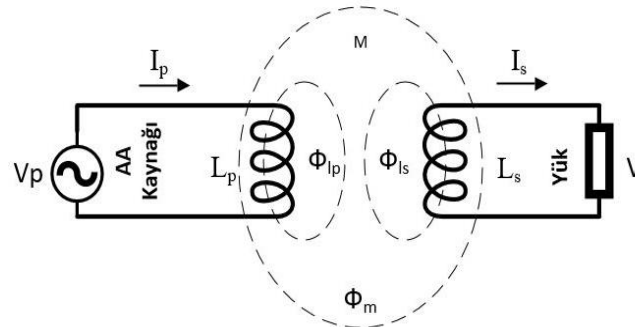
Şekil 4: Örnek Bir Dinamik TGA Sistemi [8]

Gevşek bağlaşımlı endüktif TGA sistemlerinin ilk aşamasında alternatif akım kaynağından alınan gerilim doğrultulur. Doğrultulmuş gerilim, rezonans frekansında çalışan evirici tarafından anahtarlanarak karesi bir gerilim şekli elde edilir. Bu gerilim kompanzasyon devresinden geçirilerek yer platformunda bulunan primer sargısına uygulanır. Araç üzerine yerleştirilmiş sekonder sargısına primer sargısından yansıyan gerilim yeniden doğrultulur ve doğrultulmuş gerilim bir başka güç dönüştürücü kullanılarak bataryanın şarjında kullanılır. Şekil 5'te bu sistemler blok diyagramı olarak gösterilmektedir.



Şekil 5: Endüktif TGA Sisteminin Genel Yapısı

Gevşek bağlaşımlı sistemlerde, sıkı bağlaşımlı sistemlerden farklı olarak primer ve sekonder kompanzasyon blokları yer almak zorundadır. Kompanzasyon devresi olmadan sargılar arasında güç aktarımının nasıl gerçekleştiği, Şekil 6'da basitçe gösterilmektedir [9].



Şekil 6: Bağlaşımlı Sargılarda Güç Aktarımı

Sargılar arasındaki bağlaşımlı kalitesi sargıların öz ve ortak endüktans değerlerine bağlı olarak tanımlanan bağlaşımlı katsayısı ile gösterilir:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}}$$

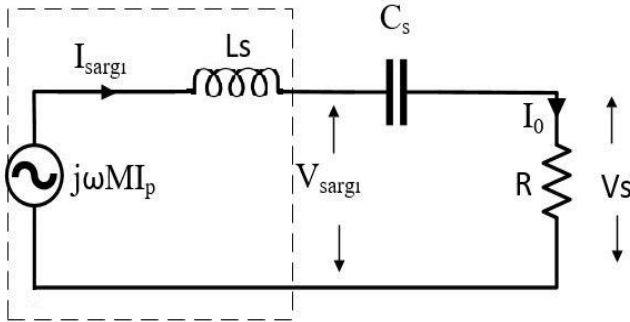
Ortak endüktans, iki sargı arasındaki mesafeye ve bu sargıların birbirlerine göre nasıl yerleştirildiğine bağlı olarak değişir.

Kompanze edilmemiş bir sistemde yüke aktarılabilecek gücün maksimum değeri, maksimum güç aktarım teoremi yardımıyla hesaplanabilir. Bu işlemler yapılırsa maksimum güç değeri şu biçimde bulunur:

$$P_{max} = \frac{1}{2} \frac{\omega M^2 I_p^2}{L_s}$$

Bu eşitlikte I_p primerden akan akımını ve ω anahtarlama frekansını göstermektedir. Bilindiği üzere, maksimum güç elde edildiğinde güç aktarımı %50 verimle gerçekleştirilebilir. Eğer bu değerden daha büyük bir gücün aktarılması isteniyorsa sargının kompanze edilmesi gerekmektedir.

Sekonder kompanzasyonunun güç aktarma kapasitesini nasıl yükselttiği Şekil 7'deki eşdeğer devre yardımıyla incelenebilir. Şekildeki devrede sekonder sargısı seri bağlı bir kondansatörle kompanze edilmiştir.



Şekil 7: Seri Kompanzasyonlu Sekonder

Eğer kondansatörün değeri uygun biçimde seçilirse, seri reaktif elemanlar birbirlerinin etkisini yok edeceğinden, sargıdan aktarılan etkin gücün tümü yüke verilebilir. Bu gücün en yüksek değeri şu biçimde hesaplanır.

$$P_{max} = \frac{\omega M^2 Q_s I_p^2}{L_s}$$

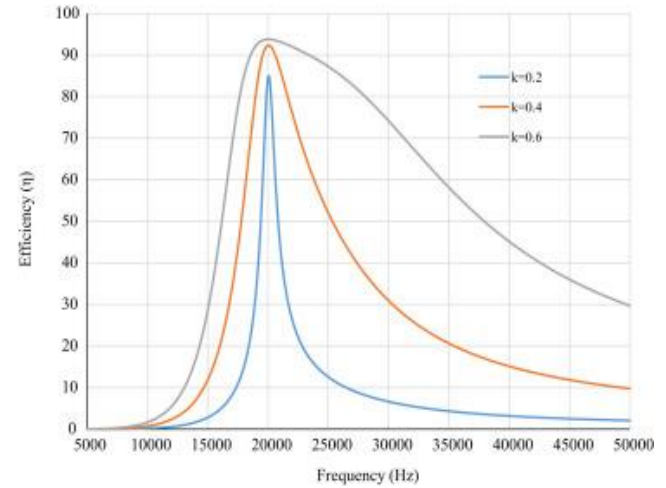
Bu eşitlikte Q_s sekonder sargısının kalite katsayısı olup (elemanda depolanan enerjinin, elemanın aktif gücüne oranı) şu biçimde tanımlanır:

$$Q_s = \frac{\omega L_s}{R_s}$$

Görüldüğü gibi kalite katsayısının yüksek olması aktarılabilecek güç miktarını yükseltebilmektedir. Hareketsiz bir sistemde M ve L_s sabit olduğundan, aktarılabilecek enerjiyi maksimize edebilmek için ωL_p değerinin maksimize edilmesi gereklidir. Primer sargısını anma akımında çalıştırmak, sargının en yüksek düzeyde kullanımı anlamına geldiğinden hacim ve maliyeti de düşürecektir.

Sistemin maliyetini ve karmaşıklığını etkileyen diğer bir unsur da çalışılan frekanstır. Belli bir I_p , M ve L_s değeri için güç aktarım kapasitesi doğrudan frekansa bağlıdır. Günümüz güç elektroniği sistemlerinde kilowattlar düzeyindeki güçler için çalışma frekansı 10 kHz – 100 kHz aralığındadır. Bu frekans bölgesinde deri olayının ve yakınlık etkisinin dikkate alınması gereklidir. Her bir iletkeninin çapı dalma derinliğinden düşük olan Litz sargılar kullanılarak bu etkiler minimize edilir.

Şekil 8'de frekans ve bağlaşım katsayısına bağlı olarak güç aktarım veriminin değişimi gösterilmektedir [10]



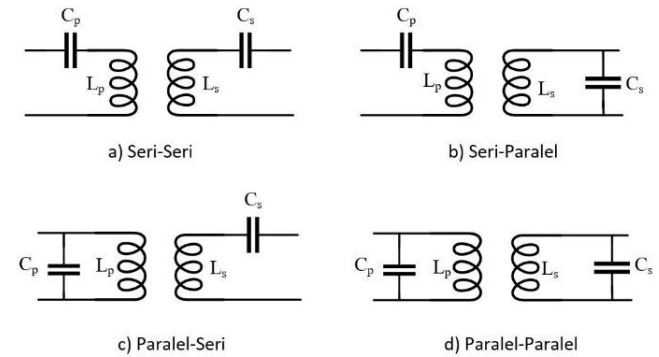
Şekil 8: Güç Aktarım Veriminin Frekans ve Bağlaşım Katsayısına Göre Değişimi [10]

Kompanzasyon Yapıları

TGA sistemi endüktif bir yapıdır. Çalışma frekansı da yüksek olduğundan, kaynak tarafındaki güç katsayısı çok düşük olur [11]. Bu durumun neden olduğu verim kaybını engellemek için sargılara seri veya paralel kondansatörler yerleştirmek gerekebilir. Temel kompanzasyon yapıları Şekil 9'da verilmektedir.

Kompanzasyon devresi tasarımında ilk olarak sekonderdeki kapasite değeri seçilir. Çalışma frekansı değerinde sekonder sargısının öz endüktasını kompanze edecek bir kapasite değeri kullanılır. Tüm topolojiler için kompanzasyon kapasitesinin değeri şu biçimde hesaplanır:

$$C_s = \frac{1}{\omega_o L_s}$$



Şekil 9: Temel Kompanzasyon Yapıları

Bu eşitlikte ω_o sistemin çalışma (rezonans) frekansıdır. Benzer olarak primer kapasite değeri de giriş güç katsayısı bir olacak biçimde seçilir. Dört topoloji için yapılan hesaplamalar Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelgede görülen primer ve sekonder kalite katsayıları (Q_p , Q_s) rezonans frekansında (ω_o) tanımlanmıştır.

Primer sargısı, giriş güç katsayısını iyileştirmek için, sekonder sargısı da aktarılan gücü yükseltmek için kompanze edilir. Eğer primere yansıyan empedans, primerin öz endüktasının yanında ihmal edilebilir düzeyde ise yalnızca primer sargısını kompanze etmek yeterli olabilir [12].

Çizelge 1: Farklı Kompanzasyon Topolojileri İçin Primer Kapasitesi Hesabı

Topoloji	Primer Kapasitansı, C_p	Primer Kalite Katsayısı, Q_p	Sekonder Kalite Katsayısı, Q_s
Seri-Seri	$\frac{L_s C_s}{L_p}$	$\frac{R_L L_p}{\omega_o M^2}$	$\frac{\omega_o L_s}{R_L}$
Seri-Paralel	$\frac{L_s C_s}{L_p} \frac{1}{(1-k^2)}$	$\frac{\omega_o L_p L_s^2}{M^2 R_L}$	$\frac{R_L}{\omega_o L_s}$
Paralel-Seri	$\frac{L_s C_s}{L_p} \frac{1}{Q_s^2 k^4 + 1}$	$\frac{R_L L_p}{\omega_o M^2}$	$\frac{\omega_o L_s}{R_L}$
Paralel-Paralel	$\frac{L_s C_s}{L_p} \frac{1-k^2}{Q_s^2 k^4 + (1-k^2)}$	$\frac{\omega_o L_p L_s^2}{M^2 R_L}$	$\frac{R_L}{\omega_o L_s}$

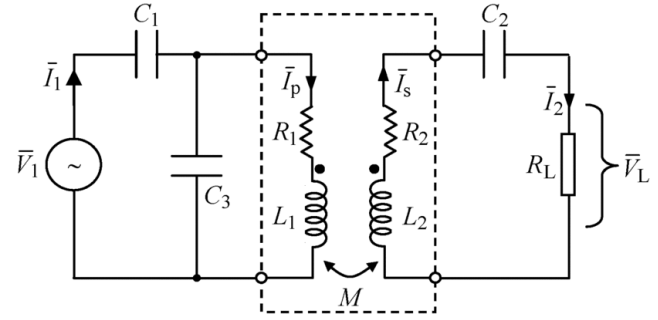
Çizelge 2’de, yükün direnç olması durumunda, kompanze edilmemiş, seri kompanze edilmiş ve paralel kompanze edilmiş sekonder sargıları tarafından aktarılabilen maksimum aktif ve reaktif güç değerleri, kalite katsayısına bağlı olarak verilmektedir. Şekilde sargının yükü direnç artı kondansatör olduğu için reaktif gücün işareti eksi olmaktadır. Bu çizelgeden görüldüğü gibi, sargının kompanze edilmesi durumunda güç aktarım kapasitesi $2Q_s$ katına, anma VA değeri ise $2Q_s\sqrt{1+Q_s^2}$ katına çıkmaktadır.

Çizelge 2: Omik Yük İçin Sekonder Sargısının Maksimum Güç Aktarım Değerleri

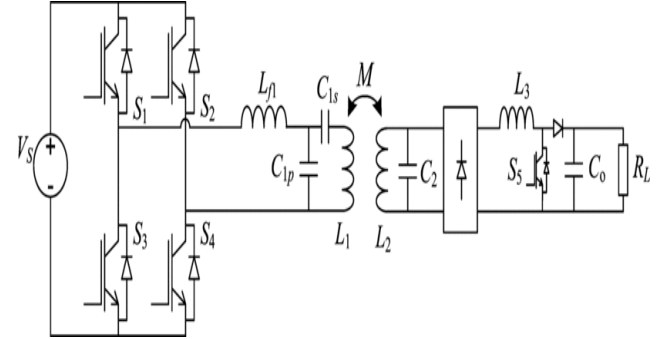
Sargı Parametreleri (Max. Değerler)	Kompanze Edilmemiş	Seri Kompanzasyon	Paralel Kompanzasyon
VA değeri	$\frac{ V_{oc} I_{sc} }{2}$	$\frac{ V_{oc} I_{sc} }{(1-jQ_s)Q_s}$	$\frac{ V_{oc} I_{sc} }{(1-jQ_s)Q_s}$
Aktif güç	$\frac{ V_{oc} I_{sc} }{2}$	$ V_{oc} I_{sc} Q_s$	$ V_{oc} I_{sc} Q_s$
Reaktif güç	0	$-j V_{oc} I_{sc} Q_s^2$	$-j V_{oc} I_{sc} Q_s^2$

Kompanzasyon topolojilerinin kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Hangi topolojinin kullanılacağı uygulamaya göre kararlaştırılır. Örneğin, batarya şarj uygulamalarında sabit akım ve sabit gerilim gerekli olduğundan, bunu sağlayabilecek topolojinin kullanılması gereklidir. Hareket halindeyken şarj gerektiren uygulamalarda primer sargısı uzun bir hat olarak döşendiğinden, kaçak reaktans üzerindeki gerilim düşümü yüksektir ve kaynak geriliminin yeterince yüksek olması gereklidir. Bu uygulamalarda seri kompanzasyon daha caziptir. Böylece kaynak geriliminin uygun seviyelere düşürülmesi mümkün olabilmektedir. Sekonderde, yüke sabit bir gerilim sağlayabilmek için seri kompanzasyon, sabit akım sağlayabilmek için ise paralel kompanzasyon gereklidir. Primerde de seri kapasitör ile primer gerilimi düşürülürken, paralel kondansatörle de primer akımının yükseltilmesi sağlanır [11].

Primer ve sekonder sargıları eş merkezli olmadığında bağlaşım katsayısı ciddi oranda azalır ve yüke aktarılan güç azalır. Bazı kompanzasyon topolojileri bu tür durumlardan fazla etkilenmezler. Bunlardan bir tanesi de Şekil 10’da verilen, yüksek hizalama toleransı sağlayan SPS topolojisidir [12].

**Şekil 10: SPS Kompanzasyon Topolojisi [12]**

Şekil 11’de endüktif TGA sisteminin devre şeması verilmektedir. Tek fazlı bir eviriciden beslenen bu sistemde LCL kompanzasyon devresi kullanılmaktadır. Eviricinin anahtarlama frekansı kompanzasyon devresinin rezonans frekansına eşittir.

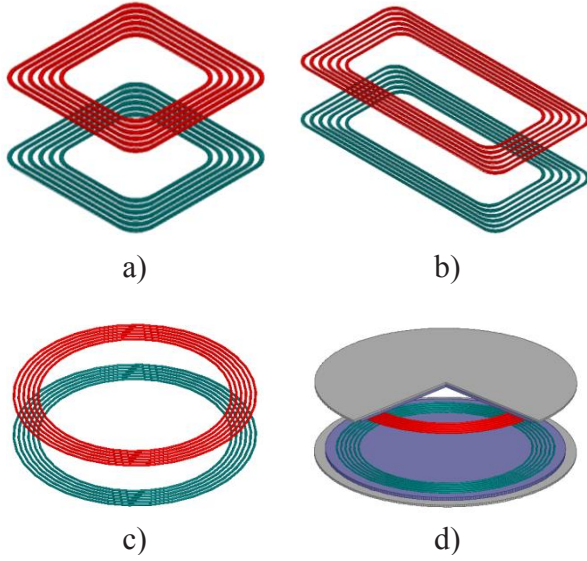
**Şekil 11: TGA Sisteminde Kullanılan Klasik Güç Dönüştürücü Yapısı [13]**

Sargı Yapıları

Gevşek bağlaşımlı güç aktarımında, sargı tasarımı önemli bir yer tutar. Düşük güçlü uygulamalarda MHz seviyesindeki frekanslar, güç düzeyi arttıkça 10-150 kHz aralığında olur. Bu frekanslarda sargılardaki deri ve yaklaşım etkilerini engellemek için yalıtılmış litz sargılar kullanılır. Sargı kesiti akım yoğunluğuna ve kompanzasyon yapısında dikkate alınan sargı direncine bağlıdır. Enerji transferinin yapıldığı primer ve sekonder sargı arasındaki mesafe, bağlaşım katsayısı için kritik öneme sahiptir. Bu nedenle genelde Şekil 12’deki gibi sarmal sargı yapıları kullanılmıştır.

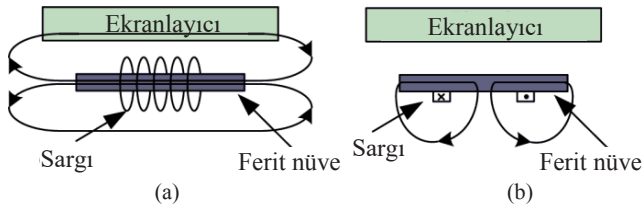
Kaçak akıyı azaltmak ve bağlaşımı arttırmak için Şekil 12’deki gibi ferit nüveler ve ekranlayıcı alüminyum kullanılabilir [14]. Sargılar nüvenin içine gömülecek şekilde nüve yapısı da kullanılabilir [15, 16], ancak bu durumda kullanılan nüve miktarı ve maliyet artar. Elektrikli araçların şarjı için kullanılan TGA’da sekonder sargı aracın üzerine yerleştirilir. Bu nedenle sekonderin ağırlığı önem kazanır.

Blok bir nüve kullanmak yerine ortak bağlaşımı destekleyen çok sayıda çubuk nüve kullanılarak ağırlık ve kalınlık azaltılabilir [8].



Şekil 12: Sarmal Sargılar

Sargıların sarım biçimine bağlı olarak akı yolları Şekil 13'te görüldüğü gibi, tek taraflı veya çift taraflı olabilir [13]. Çift taraf bağlaşımli sargı yapısında, sargının oluşturduğu manyetik akı nüvenin her iki tarafından da dolunur. Bu da kullanılacak faydalı akı miktarını azaltır ve ekranlamayı zorunlu kılar. Alüminyum şase de kayıpları %1-2 artırır [17, 18]. Tek taraf bağlaşımli, üretilen akının büyük bir kısmı tek tarafta toplanır. Kullanılacak ekranlayıcı alüminyum sadece kaçak akıları önlemeye yönelik olur.



Şekil 13: Tek ve Çift Taraf Bağlaşımli Sargı Yapıları

Denetim

Pek çok uygulamada sekonder tarafın rezonans frekansında veya bu frekansın yakınında çalışma tercih edilir. Böylece güç aktarım kapasitesinin en yüksek düzeyde olması sağlanır. Uygulamada, sekonder rezonans frekansı sistemin anma frekansı olarak seçilir ve bu frekansta giriş kaynağının uçlarındaki akım ve gerilimin arasındaki faz açısının sıfır olması hedeflenir.

Güç kaynağı ve primerdeki denetleyici hem frekansı hem de primer akımını denetleyerek maksimum güç aktarımını sağlamaya çalışır. Bunun için sabit veya değişken frekanslı denetim söz konusu olabilir. Çalışma sırasında yükte ve sistem parametrelerinde değişim olabildiği için güç düzenleme için de denetim yapılmalıdır. Bunun için kullanılan yöntemlerden biri girişteki frekansı değiştirmektir. Ancak

birden fazla sekonder sargısı kullanan uygulamalar için bu yöntem uygun değildir. Bu durumda sekonder tarafta anahtarlamalı modda çalışan ikinci bir denetleyici kullanılabilir. Bunun kötü yanı da artan anahtarlama kayıplarıdır.

Sabit frekanslı denetim daha basit ve kolay uygulanabilir. Ancak sıcaklıklardaki değişimden dolayı kapasitans değeri değişebilir. Bu durumda sistem rezonans frekansında çalışmayabilir. Bu da güç aktarım kapasitesini olumsuz etkiler.

Kararlı bir çalışma için primer tarafın kalite katsayısının sekonderin kalite katsayısından büyük olması istenir ($Q_p > Q_s$).

İnsan Sağlığına Etkileri

TGA sistemlerinin insan sağlığı üzerine olumsuz etki yapmaması için önlem almak gereklidir. Sargılar arasındaki hava aralığının büyük olmasından dolayı manyetik alanın çevreye saçılması söz konusu olduğundan saçılmayı sınırlayacak önlemler alınmalıdır. Sargıların bir çekirdek üzerine sarılması saçılmayı azaltacaktır. Ayrıca sargı altlarına yerleştirecek ekranlayıcı malzemeler sistem verimini bir miktar düşürseler de saçılan manyetik alanın sınırlanmasına yardımcı olurlar.

Elektromanyetik dalgaların insan sağlığına olan etkileri ile ilgili bazı uluslararası standartlar mevcuttur.

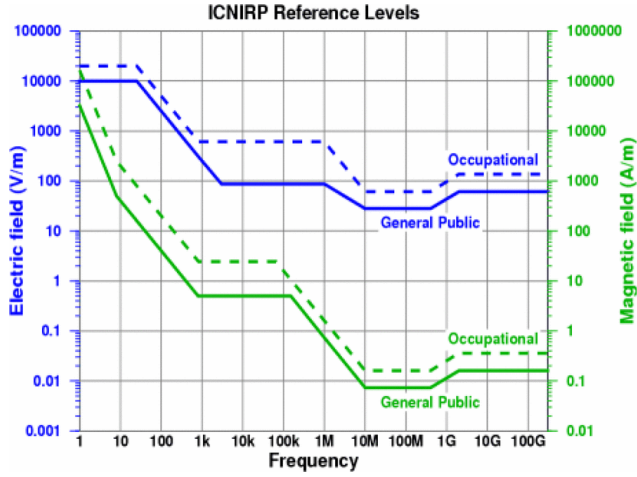
1. IEEE. *Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3kHz to 300GHz*. (Radyo Frekanslı Elektromanyetik Alanlara İnsanları Maruziyetine İlişkin Güvenlik Sınırları)
2. ICNIRP. *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)* (Zamanla Değişen Elektrik, Manyetik ve Elektromanyetik Alanlara Maruziyetin Sınırlanmasına İlişkin Kılavuz).
3. World Health Organization (WHO) *Electromagnetic fields (300Hz to 300GHz)* (Elektromanyetik Alanlar)

Her üç standartta da elektromanyetik alanın kansere sebep olduğu ile ilgili yeterli ve güçlü kanıtların olmadığı belirtilmektedir. Çok ciddi olmamakla birlikte uzun süreli maruz kalınması durumunda karşılaşılabilecek muhtemel problemler şunlardır:

- Dokularda yanma
- Sinir sistemi bozuklukları
- Kas kasılmaları
- Gözde (retina kısmında) bozukluklar.

100 kHz üzeri için her üç standardın da özgül soğurma oranı (specific absorption rate-SAR) tanımı geliştirdiği görülmektedir. Bir insan, 30 dakika boyunca 1-4 W/kg seviyesinde elektromanyetik alana maruz kalırsa vücut sıcaklığı 1°C artmaktadır.

Şekil 14'te, ICNORP tarafından belirlenen sınırlar verilmektedir. Kesikli çizgiler işi gereği bu alanlara maruz kalan kişilere (örneğin sürücüler) ilişkin sınırlamaları, kalın çizgiler ise genele yönelik (yolcular) sınırlamaları göstermektedir. TGA sistemlerinde insanların maruz kalabilecekleri alan değerleri ile ilgili ayrıntılı bir çalışma [19]'da verilmektedir.



Şekil 14: ICNIRP Tarafından Tanımlanan Sınırlamalar [19]

Yabancı Nesne Algılama, Canlı Nesne Algılama ve Hizalama Konuları

TGA sistemleri ile ilgili önemli bir husus da yabancı ve canlı nesnelerin algılanmasıdır.

Güç aktarımı sırasında bobinler arasına girebilecek 2.5 cm²'den büyük, iletkenliği yüksek olan metal nesneler aşırı ısınmadan dolayı yangına yol açabilir. Yabancı nesne algılayıcı özelliği, 2 saniyeden fazla sürede böyle bir nesnenin tespit edilmesi durumunda, güç aktarımının durdurulmasını sağlar.

Araç ile yol arasındaki boşluğa girebilecek bir canlı (örneğin bir kedi), araç bataryasının şarjı sırasında uzun süre manyetik alana maruz kalabilir ve bu alan bu canlının sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. Güç aktarımı sırasında bobinler arasında minimum insan eli/ayağı kadar küçük yapılar veya bu boyutlara sahip bir hayvanın girdiğinin ve 2 saniyeden daha fazla sürede kaldığının algılanması durumunda canlı nesne algılayıcı özelliği sayesinde güç aktarımı durdurulur.

Her iki özellik için de enerji transfer verimini azaltmayacak şekilde çeşitli sensör teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Kapasitif algılayıcılar, havayı dielektrik olarak kabul eden bir RC osilatörü vasıtasıyla kapasitif alan oluşturur. Bu kapasitif alanın içine giren metal veya metal olmayan cisim-

ler, dielektrik seviyesinin değişimine sebep olur. Salınım frekansının değişimi sonucu algılama yapılır.

Dielektrik seviyesi (kapasite) değişikliğini etkileyen faktörler şunlardır:

1. Algılama yüzeyi önündeki cismin uzaklığı ve konumu
2. Cismin boyutları ve şekli
3. Cismin dielektrik katsayısı

Kapasitif sensör teknolojisi, yerel sinyal işleme ve gerçek zamanlı canlı nesne yakınlık tespiti ile entegre halde çalışmaktadır.

Canlı nesne algılayıcı sisteminin hatalı uyarı yapmaması gerekmektedir. Dielektrik seviyesi düşük olan tahta, kağıt veya plastik malzemelerin tespit edilmesi durumunda sistem enerji akışı durdurulmamalıdır.

Yabancı nesne algılayıcılar (YNA) genellikle primer sargıya entegre edilir. İki boyutlu yüksek hassasiyetli manyetik alan sensörleri ve yerel sinyal işleme ve kontrol devreleriyle birlikte sürekli olarak bobinler arasındaki manyetik alanı monitör ederler.

Belirli bir boyut ve iletkenliğe sahip metal parçanın primer sargı üzerine gelmesi durumunda oluşacak girdap akımı manyetik alanda bozulmaya sebep verecek ve bu bozulmalar YNA tarafından tespit edilecektir. Eğer tespit edilen metal nesne tehlike boyutlarında ise sistem enerji akışı durdurulmalıdır. Gerekirse kullanıcıya bu hata durumundan dolayı uyarı verilmelidir. Bu özellik için, enerji transferinin yapıldığı alana yoğunlaşılır. Diğer alanlarda yer alabilecek yabancı nesneler yanlış alarm sebebiyet vermemelidir.

Batarya şarjı sırasında iki sargının birbiriyle aynı hızda olması manyetik bağlaşımın olası en iyi değerinde olması için önemlidir. Bu nedenle hızlamayı sağlayacak geribeslemeli bir denetim sistemi oluşturmak gerekmektedir. Bunun yanında, hızanın tam olarak sağlanamaması durumunda da akı bağlaşımının göreceli olarak iyi olmasını sağlayabilecek sargı yapıları üzerine de çalışmalar yapılmaktadır.

Ticari Uygulamalar

TGA sistemleri üzerinde dünyanın pek çok yerinde çalışmalar yapılmakta olup, bu çalışmaların sonucunda bazı ticari ürünler elde edilmiştir. Çizelge 3'te bu ürünlere ilişkin temel bilgiler verilmektedir.

Fosil yakıtların tükenmeye yüz tutmaları ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle elektrikli araçlar önemli bir seçenek olarak tartışılmaktadır. Elektrikli araçların bataryalarının hızlı ve etkin doldurulamaması, bu araçların yaygınlaştırılmasının önündeki engellerden biridir. Temelleri 1800'lü yılların sonlarında Tesla tarafından kurulan temassız güç aktarım sistemleri, bu engeli aşmaya yönelik olarak yeniden araştırmacıların gündemine girmiştir.

Çizelge 3: Ticarileşmiş Uygulama Örnekleri (BY: Bilgi Yok)

Firma İsmi (Faaliyet Yılı/Yeri)	Frekans (kHz)	Güç (kW)	Hava Aralığı (cm)	Verim (%)
WITRICITY	85	3.3	10-20	90
QUALCOMM	85	3.3-6.6-7-20	13-18	80-9
EVATRAN	19.5	3.3	10	89
BOMBARDIER-PRIMOVE	BY	22-200	BY	BY
CONDUCTIX-WAMPFLER	20	60-180	4	>90
MOMENTUM DYNAMICS	BY	3.3-10	61	92
FRAUNHOFER IWES	BY	0.4-3.6	20	93-95
FRAUNHOFERISE	100	22	13	97.4
BRUSA	81-90	3.7	13	90
Fast In Charge Projesi	13-25	35	9	92

Sonuç

Fosil yakıtların tükenmeye yüz tutmaları ve çevreye verdiği zararlar nedeniyle elektrikli araçlar önemli bir seçenek olarak tartışılmaktadır. Elektrikli araçların bataryalarının hızlı ve etkin doldurulamaması, bu araçların yaygınlaşmasının önündeki engellerden biridir. Temelleri 1800'lü yılların sonlarında Tesla tarafından kurulan temassız güç aktarım sistemleri, bu engeli aşmaya yönelik olarak yeniden araştırmacıların gündemine girmiştir. TGA sistemleri hakkında genel bilgiler vermeyi amaçlayan bu yazının konuya ilgi duyan mühendisler için yararlı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] W. W. Massie and C. R. Underhill, "The future of the wireless art," Wireless Telegraphy Telephony, pp. 67-71, 1908.
- [2] J. Garnica, R. A. Chinga and J. Lin, "Wireless Power Transmission: From Far Field to Near Field," in Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1321-1331, June 2013.
- [3] Secor, H. W., "Tesla Apparatus and Experiments—How to Build Both Large and Small Tesla and Oudin Coils and How to Carry On Spectacular Experiments With Them," Practical Electrics, November 1921.
- [4] A.B. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P.H. Fisher, and M. Soljacic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," Science, 317, pp. 83-86, (2007).
- [5] Chwei-Sen Wang; Stielau, O.H.; Covic, G.A., "Design considerations for a contactless electric vehicle battery

charger," Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.52, no.5, pp.1308,1314, Oct. 2005.

[6] Stielau, O.H.; Covic, G.A., "Design of loosely coupled inductive power transfer systems," Power System Technology, 2000. Proceedings. PowerCon 2000. International Conference on, vol.1, no., pp.85-90 vol.1, 2000.

[7] <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-and-media/press-releases/presseinformationen-2013/cables-no-longer-needed>.

[8] Budhia M., Covic G. A. ve Boys J. T., "Design and Optimization of Circular Magnetic Structures for Lumped Inductive Power Transfer Systems," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 26, no. 11, pp. 3096-3108, Nov. 2011.

[9] Aditya K. ve Williamson S. S., "Design considerations for loosely coupled inductive power transfer (IPT) system for electric vehicle battery charging - A comprehensive review," Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2014 IEEE, Dearborn, MI, 2014, pp. 1-6.

[10] Kalwar, K.A., Amir, M., Mekhilef, S.; "Inductively coupled power transfer (ICPT) for electric vehicle charging - A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews 47 (2015) 462-475

[11] Wang C. S., Covic G. A., Stielau O. H., "Power transfer capability and bifurcation phenomena of loosely coupled inductive power transfer systems," IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 51, no. 1, pp. 148-157, Feb. 2004.

[12] Villa J. L., Sallan J., Sanz Osorio J. F. ve Llombart A., "High-Misalignment Tolerant Compensation Topology For ICPT Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, no. 2, pp. 945-951, Feb. 2012.

[13] Chwei-Sen Wang; Covic, G.A.; Stielau, O.H., "Investigating an LCL load resonant inverter for inductive power transfer applications," Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.19, no.4, pp.995,1002, July 2004

[14] Valtchev S., Borges B., Brandisky K. ve Klaassens J. B., "Resonant Contactless Energy Transfer With Improved Efficiency," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, no. 3, pp. 685-699, March 2009.

[15] Sakamoto H., Harada K., Washimiya S., Takehara K., Matsuo Y. ve Nakao F., "Large air-gap coupler for inductive charger for electric vehicles," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35, no. 5, pp. 3526-3528, Sep 1999.

[16] Kim J. ve arkadaşları., "Coil Design and Shielding Methods for a Magnetic Resonant Wireless Power Transfer System," in Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1332-1342, June 2013.

[17] Nagatsuka Y., Ehara N., Kaneko Y., Abe S., Yasuda T., "Compact contactless power transfer system for electric vehicles," Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International, Sapporo, 2010, pp. 807-813.

[18] Budhia M., Covic G. ve Boys J., "A new IPT magnetic coupler for electric vehicle charging systems," IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Glendale, AZ, 2010, pp. 2487-2492.

[19] Hui S. Y. R., Zhong W. Ve Lee C. K., "A Critical Review of Recent Progress in Mid-Range Wireless Power Transfer," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 9, pp. 4500-4511, Sept. 2014. ■