

Hibrid Araç Bileşenlerinin Gelişimi

Evolution of Hybrid Vehicle Components

İlker Özelgin, Dr. Murat Yıldırım

Ar-Ge Koordinatörlüğü

Ford Otosan

ozelgin@yahoo.com, iozelgin@ford.com.tr , myildiri@ford.com.tr

Özet

Hibrid elektrikli araç teknolojisi yeni bir araştırma alanı olmuştur. Hibrid araç bileşenlerini enerji depolama sistemi, hibrid araç kontrol birimi, DC/DC çevirici ve elektrik makinası (jeneratör ve motor) oluşturmaktadır. Bileşenlerin gelişimiyle ilgili Dünyada ve Ford Otosan da yürütülen çalışmaların kısa bir özeti yapılmıştır. Ayrıca, projelerimizde elde ettiğimiz tecrübeler değerlendirilerek sektöre yön verecek bilgiler sunulmaya çalışılmıştır.

Abstract

Hybrid electric vehicle technology has been a new research area. Hybrid electric vehicle technology is consist of energy storage system, hybrid vehicle control unit, DC/DC converter, and electric machine (generator and motor). Projects, those are about the development of hybrid vehicle components in the world, are shortly introduced. Also, our experiments in Ford Otosan are added.

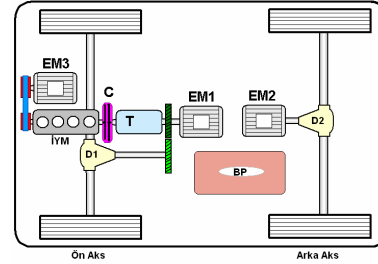
1. Giriş

Günümüzde çevre koşullarının kötüye gitmesi, petrol rezervlerinin azalması ve enerji problemlerinin yaşanması sebebiyle enerjide verimlilik ve enerji tasarrufu konuları ön plana çıkmaktadır. Hibrid araçlar, klasik araçlara göre enerji verimliliğini artırıcı yapılar olduğu için yakın teknoloji olarak önem kazanmıştır. Üstelik, hibrid araçlar klasik araçlardan yakıt hücreli araçlara geçişi sağlayacak bir teknolojidir.

Dünya da hibrid araçlarla ilgili ürün geliştirmeye çalışan kuruluşların sayısı gittikçe artmaktadır. Üniversiteler, enstitüler ve sanayi kuruluşları ortak çalışmalar yürüterek gelişmiş hibrid araç bileşenleri üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Ülkemizde benzer ve daha gelişmiş çalışmaların yürütülmesi için bugüne kadar Dünya da yapılmış çalışmaların yakından takip edilmesi gereklidir.

2. Hibrid Araç Teknolojisi

Hibrid araçlar elektrik motoru, elektrik jeneratörü ve içten yanmalı motor ile tahrik edilebilen araçlardır. Elektrik motoru, jeneratörü ve içten yanmalı motor değişik yapılarla araca bağlanabilir. Ford Otosan tarafından geliştirilen FOHEV 2 yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Araç tahrik yapısına göre geliştirilmiş hibrid araç ana kontrolcü algoritması bu 3 yapıyı kontrol ederek aracı farklı modlarda en verimli şekilde sürer.



Şekil 1: FOHEV 2 yapısı.

Hibrid araç modları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yalnız elektrik modu
- Yalnız içten yanmalı motor
- İçten yanmalı motorun elektrik motoruyla desteklenmesi
- İçten yanmalı motorun jeneratörle bataryayı paralel şarj etmesi
- Jeneratörle, aracın frenleme esnasındaki kinetik enerjisinin bataryaya depolanması

Hibrid aracın ana bileşenlerini enerji depolama sistemi, elektrik makinası, hibrid araç ana kontrolcüsü ve DC/DC çevirici oluşturmaktadır. Hibrid araç bileşenlerinin verimlilik oranlarının çarpımıyla elde edilen değer tüm sistemin verimliliğini göstermektedir. Aracın verimliliğini etkileyen diğer bir husus ise bileşenlerin ağırlık ve hacimleridir. Hibrid araçların ağırlığını, hacmini, fiyatını ve kayıplarını azaltmak için bu bileşenler üzerinde yapılması gereken çalışmalar artırılmalıdır.

3. Hibrid Araç Bileşenleri

3.1. Elektrik Enerjisi Depolama Birimi

Hibrid araçlarda enerji depolama birimi olarak Li-on, NiMH bataryaları ve süper kapasitörler kullanılmaktadır. Tablo 1'de enerji depolama sistemleri karşılaştırılmıştır.

Süper kapasitörler batarya sistemlerine göre daha uzun ömürlü olup kısa sürede yüksek enerji depolayabilir. Fakat fiyatları yüksektir. Hibrid araçlar için en uygun çözüm Lion bataryalar gözükmektedir. Hibrid araçların verimliliğini maksimum seviyeye çıkarmak ve darbeleri akımlara karşı

bataryanın ömrünü artırmak için Lion ve süper kapasitör sisteminden oluşan ortak bir yapı kullanılmalıdır.

Tablo 1: Enerji depolama sistem karşılaştırılması

Karşılaştırma	Süper Kapasitör	NiMH	Lion
Gerilim	125 VDC	288 VDC	324 VDC
Maksimum Akım	750A	190A (10s)	270A (15s)
Özgül Güç	1.7Wh/kg	40Wh/kg	90Wh/kg
HEV Özgül Güç	1Wh/kg	4Wh/kg	18Wh/kg
Güç Kapasitesi	100Wh	2400Wh	14,6KWh
HEV Güç Kapasitesi	70Wh	240 Wh	2920 Wh
Ağırlık	55 kg	88 kg	160 kg

3.1.1. Batarya Yönetim Sistemi

Batarya hücrelerinin paralel ya da seri olarak bağlanıp bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için batarya yönetim birimine gereksinim duyulmaktadır. Batarya yönetim sisteminin görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir,

- Akım, gerilim, sıcaklık bilgilerine göre bataryanın güvenliğini sağlamak.
- Akım ve gerilim bilgisine göre SOC oranını hesaplamak.
- Bataryanın kapasitesini yüksek tutulması için hücre dengelemesini gerçekleştirmek.
- Hibrid araç elektronik kontrol birimiyle haberleşmek.
- Tehlike anında hata ve uyarı mesajları yayınlamaktır.

Son yıllardaki gereksinimler sonucu batarya yönetim biriminden aşağıdaki ek özellikler istenmektedir.

- Batarya SOH (state of health) ve SOF (state of function) bilgileri yönetim birimi tarafından hesaplanarak kullanıcıya bataryanın sağlık durumu hakkında bilgi vermelidir.
- Batarya bilgi kayıt sistemi kurulmalıdır.
- Bataryanın güvenliğini artırmak için watchdog birimi kurulmalıdır.
- Batarya sistemi devreye girmeden evvel besleme geriliminin yeterliliğini, içerisinde bulunan kontaktörlerin, kontaktör sensörlerinin ve sigortanın sağlamlığını kontrol etmelidir.
- Oluşan problemler ayrıntılı olarak CAN veri yoluyla yayınlanmalıdır.

Ayrıca, batarya yönetiminde kullanılan kontrol metodlarının kesinleştirilmek ve batarya özelliklerini belirlemek için standartlar oluşturulmalıdır.

- Hücreler arasında dengeleme işlemini DC/DC çeviriciyle “aktif” mi, yoksa direnç üzerinde enerji kaybı yaratarak “pasif” olarak mı yapılması gerektiği belirlenmelidir.
- Merkezi batarya kontrol birimiyle yan batarya kontrol birimleri arasındaki haberleşme protokolü belirlenmelidir.

- Bataryaların çarpma, kısa devre ve yangın gibi test planlarının çıkarılması gerekmektedir.

Yukarıda sayılan durumlara ek olarak batarya içerisinde arızalanan bir hücrenin ancak benzer yaşlılığa sahip bir hücreyle değiştirilmesi gerekliliği problemi aşılmalıdır.

Batarya teknolojisinin araçlara güvenilir olarak yerleştirilebilmesi için yukarıda sayılan çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

3.1.2. Ford Otosan Batarya Çalışmaları

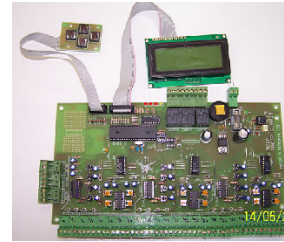
Ford Otosanda prototip olarak ithal ürünlerle üretilen FOHEV 1 ve FOHEV 2 araçlarında kullanılan NiMH ve Lion bataryalarının teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

FOHEV 1 aracını yerli ürünlerle yapılandırmak için ana bileşenlerden, batarya, hibrid araç ana kontrolcüsü, elektrik makinası ve sürücüsü üzerine projeler yürütülmüştür. Batarya sistem tasarım projemiz Tübitak MAM Enerji Enstitüsüyle beraber ortak yürütülmüştür. Batarya hücreleri ithal edilerek, 288 VDC, 27Ah ve 50A teknik özelliklere sahip batarya sistemi tasarlanmıştır (Şekil 2-3). Batarya sisteminin görevleri aşağıda sıralanmıştır.

- Veri toplama ve depolama.
- SOC oranını belirleme.
- Batarya açma, kapama ve sıcaklık kontrolü.
- Güvenlik kontrolü ve iletişimdir.



Şekil 2: Batarya sistemi.



Şekil 3: Batarya yönetim sistemi.

3.2. Elektrik Makinası ve Sürücüsü

3.2.1. Elektrik Makinaları

Başlıca elektrik makinası tipleri; DC makina, asenkron makina, senkron makina, fırçasız DC makina ve fırçasız senkron DC makina sayılabilir. Hibrid araç teknolojisi için en

uygunu fırçasız DC makinadır. Diğer makinalara göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Ağırlığı ve hacmi küçüktür.
- Yüksek güç yoğunluğu bulunmaktadır.
- Rotorda sargı yerine mıknatıs bulunması sebebiyle yüksek verimlilik göstermekte ve düşük sıcaklıklara maruz kalmaktadır.
- Düşük devirlerde bile yüksek moment uygulayabilmektedir. Araçlarda kalkış patinajını önleyebilmektedir.
- Sürücü algoritması daha basittir.
- Devir sayısı değiştiççe verimliliği fazla değişmemektedir. Bu sebeple asenkron makinalara uygulanan vektör kontrolü gibi bir algoritmaya ihtiyaç duymamaktadır.

Dezavantajları ise;

- Maliyeti yüksektir.
- 120C⁰ sıcaklıktan sonra rotordaki mıknatıslar demagnetize olmaktadır.

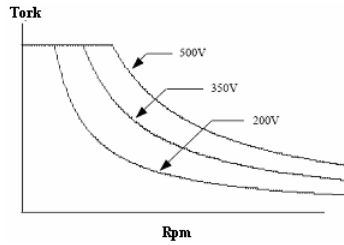
Geliştirilmesi gereken yönleri;

- Daha yüksek sıcaklıklara çıkabilecek ucuz mıknatıs teknolojisi araştırılmalıdır.
- Güvenirliği ve verimliliği artırmak için daha dayanımlı hall sensör paketleme çalışmalarının yapılması gereklidir.
- Verimliliği ve momenti artırıcı çalışmalar içerisinde bulunulmalıdır.
- Hacim ve ağırlık azaltıcı çalışmaların yapılması gereklidir.

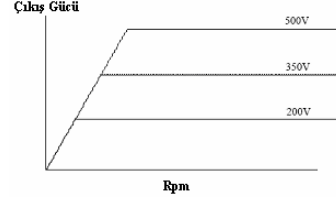
Fırçasız senkron DC makinanın, fırçasız DC makinadan farkı uygulanan gerilimin AC olmasıdır. Yüksek güçlü fırçasız DC makinalar yeni geliştirilmeye başlanan sistemler oldukları için bu konuda yapılan teknolojik çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Piyasada satışı olan binek araçlarda yapılan araştırmada, 50 Kw gücünde, 400N moment uygulayabilen 10.000rpm dönüş hızına çıkabilen fırçasız senkron DC makina kullanıldığı görülmüştür [1],[2]. Şekil 4 ve 5'te görüldüğü gibi motorun gücünü, momentini ve verimliliğini artırabilmek için batarya gerilimini 200V'tan 500V'ta çıkaran DC/DC çevirici kullanmıştır. 500V'ta çıkan sistem gerilimi sayesinde motor akımı, motor kayıpları, sürücü kayıpları ve DC/DC çevirici kayıpları minimuma indirgenmiş durumdadır (Şekil 6).

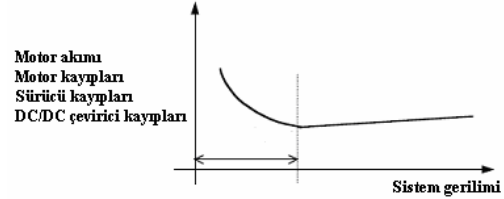
Neodymium permanent magnet mıknatıslar rotor içerisine V şeklinde yerleştirilerek moment artışı sağlanmıştır (Şekil 7).



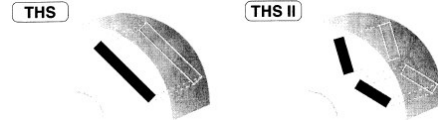
Şekil 4: Gerilim-Moment arasındaki ilişki.



Şekil 5: Gerilim-Çıkış Gücü arasındaki ilişki.



Şekil 6: Gerilimin sistem üzerindeki etkisi.



Şekil 7: Elektrik makinasındaki mıknatıs şekilleri.

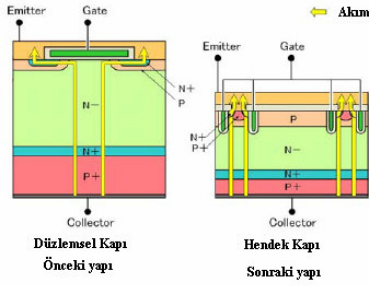
Hibrid araçlarda elektrik makinaları İYM'ye veya diferansiyele bağlanırken tam elektrikli araçlarda hub motor denilen direk tekerleklere bağlanan sistemler mevcuttur. Bu sayede verim hesabında diferansiyelde yaşanan kayıplar ortadan kalkar ve maliyette azalma olur.

3.2.2. Elektrik Makina Sürücüsü

Sürücü, elektrik makinasının istenilen devirde veya momentte sürülmesini sağlayan sistemlerdir. Yüksek güç, gerilim ve akım şartlarında çalışan sürücüler için IGBT elektronik anahtarlama elemanları kullanılmaktadır. Bunların dışında sürücü içerisinde sürücü kontrol birim işlemcisi, pasif elektronik elemanları, soğutucu ve DC gerilim düzenleyicileri bulunmaktadır.

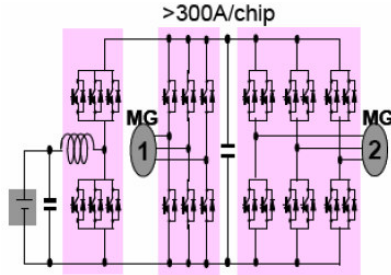
Sürücü tasarımında ve algoritma içeriğinde elektrik makinasının yüksek sıcaklık, kısa devre ve yüksek akım gibi durumlara karşı güvenlik önlemlerinin alınması gerekir. Özellikle mıknatıslı motorlarda akım değeri mıknatısları demagnetize etmeyecek şekilde kontrol edilmelidir.

Sürücü tasarımı için 600V ve 600A akımlara dayanabilen IGBT modülleri bulunmaktadır. Hibrid araçlar için güç konusunda yeterli olan teknoloji için verim, maliyet, ağırlık ve hacim kazançlarının yapılması gereklidir. Sadece tam elektrikli araçlar için daha yüksek akımlara dayanabilecek teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Sürücünün verimliliğini artırabilmenin en etkili yolu soğutma ve IGBT'deki kayıpların azaltılmasıyla sağlanabilir. IGBT'deki kayıpların azalması için iç mimarında yapılacak iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Piyasada üretimi bulunan bir diğer hibrid araçta geliştirmiş olan IGBT yapısı iç mimari iyileştirmeye örnek olarak verilebilir (Şekil 8). Hendek tipi olarak adlandırılan IGBT yapısının iç direnci düşük olduğu için IGBT'den geçebilecek akım yoğunluğu artarken, hacimsel olarakta IGBT'nin boyutları küçülmüştür [3].

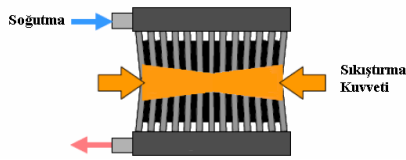


Şekil 8: IGBT içmimarisi.

IGBT'lerden geçen akımın miktarını düşürmek için 1 adet IGBT yerine, 3 adet IGBT konulması piyasada uygulanan metodlardan biridir (Şekil 9). IGBT boyutu küçülmektedir. Yüzeysel olarak ise soğutma alanı artmıştır. Soğutma işlemini artırabilmek için IGBT modülleri soğutma plakalarıyla çift taraflı olarak temas ettirilip sıkıştırılmaktadır (Şekil 10) [4].

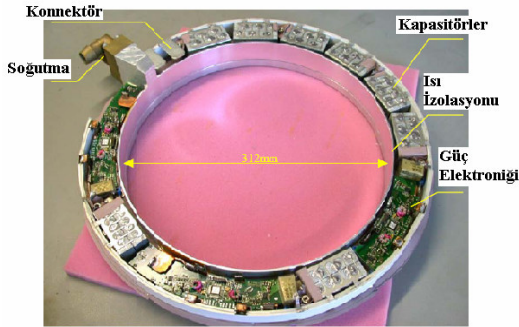


Şekil 9: Elektrik makina sürücü mimarisi.



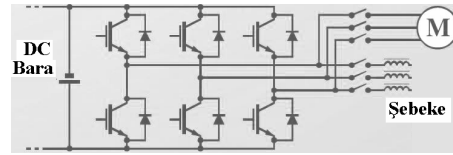
Şekil 10: IGBT soğutma sistemi.

Sürücü teknolojisi artık elektrik makinası içerisine yerleştirilmeye başlanmıştır. Fraunhofer enstitüsü sürücüyü elektrik makinasının etrafına halka şeklinde yerleştirmeyi başarmıştır (Şekil 11) [5].



Şekil 11: Fraunhofer enstitüsü elektrik makinası ve sürücüsü.

Hibrid araçlarda maliyet, ağırlık ve hacim kazancı sağlamanın bir diğer yolu ise hibrid araç komponentlerinden biri olan batarya şarj sisteminin sürücü sistemi içerisine adapte edilmesiyle sağlanabilir. Araç 3 fazlı şebekeden şarj edilirken, motor sürücüsü şarj sistemi olarak görev görecektir. Şarj sırasında motor devre dışı kalacaktır (Şekil 12). Ek olarak takılacak bir şarj sistemi 8dm³ hacim, 9kg ağırlık, 2300 Euro maliyet miktarı getirmektedir. Sistemdeki endüktanslar motor sargılarındaki endüktansın görevini görmektedir. Enerji verimliliği açısından küçük güçteki şarj sistemlerinde IGBT yerine MOSFET yapısının kullanılması daha uygundur.



Şekil 12: Sürücünün şebekeden bataryayı şarj etmesi.

3.2.3. Ford Otosan Elektrik Makinası Çalışmaları

FOHEV 2 aracında 25Kw, 8000rpm ve 100Nm'lik 3 adet elektrik makinası kullanılmıştır. Elektrik motorları 2.4L 100Ps'lik içten yanmalı motor ve araç dinamiğine göre seçilmiştir. Elektrik makinalarının araca bağlanma yapısı Transit aracımızı dört çeker haline getirmiştir.

Hibrid araç yerleşime çalışmaları içerisinde BLDC makina tasarımı ve sürücüsü geliştirme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 13-14). Ford Otosan, Arçelik ve Tübitak MAM Enerji enstitüsüyle beraber yürütülen ortak çalışmayla proje tamamlanmıştır. Üretilen prototip ürün piyasadaki ürünlerle eşdeğer özellikleri içermektedir (Tablo 2).

Tablo 2: BLDC Motor Özellikleri

Maksimum Güç	70Kw
Maksimum Moment	230Nm
Nominal Güç	30Kw
Nominal Moment	70Nm
Maksimum Hız	8000rpm
Maksimum Verim	86%
Maksimum Akım	320A
Maksimum Gerilim	400V
Minimum Gerilim	240V
Ağırlık	47Kg



Şekil 13: BLDC Makina.



Şekil 14: BLDC Makina Sürücüsü.

3.3. Elektronik Kontrol Birimi

Hibrid araç elektronik kontrol birimi araç hızı, gaz pedalı, fren pedalı, batarya SOC bilgisi gibi bilgileri alan ve bu bilgilere göre elektrik makinasına ve İYM'ye gerekli moment sinyal bilgilerini yollayan bir sistemdir. Bütün bunları yaparken aracın güvenliğini sağlar.

Elektronik kontrol birimini oluşturan yapıda hibrid aracın ihtiyaçlarını karşılayacak miktarda PWM, analog ve dijital sinyal giriş ve çıkışları, CAN ve seri haberleşme birimleri ve veri kayıt birimi gereklidir. Hibrid aracın ihtiyaçları tam belirlendikten sonra elektronik kontrol birimi tasarlanırsa minimum hacim, ağırlık ve maliyet sağlanmış olur. Kontrol biriminin sinyal çıkışları röleleri ve elektronik anahtarları tetikleyebilecek güçte tasarlanmalıdır.

3.3.1. Ford Otosan Elektronik Kontrol Birimi Çalışmaları

FOHEV 2 araçında Dspace kontrol birimi kullanılmıştır. Yerleştirme çalışmaları içerisinde hibrid araç ana kontrolcüsü tasarımı gerçekleştirilerek maliyet azaltma ve sisteme müdahalede kolaylaşma sağlanmıştır (Şekil 15). Proje Ford Otosan ve Tübitak MAM Enerji Enstitüsü ortak çalışmasıyla tamamlanmıştır. Hibrid araç elektronik kontrol biriminin teknik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 15: Elektronik Kontrol Birimi.

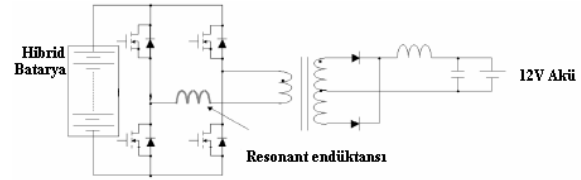
Tablo 3: Hibrid Araç Elektronik Kontrol Birimi Özellikleri

Dijital I/O	8 giriş, 8 çıkış
Analog I/O	16 giriş, 8 çıkış
CAN Veri İletişimi	2
Seri Port Veri İletişimi	RS-232
Besleme Gerilimi	9-18V
Yazılım Yeteneği:	Simulink, Code Composer
Kontrolcü	TMS320F2808, 32 bit
İşlemci	100MHZ

3.4. DC/DC Çevirici

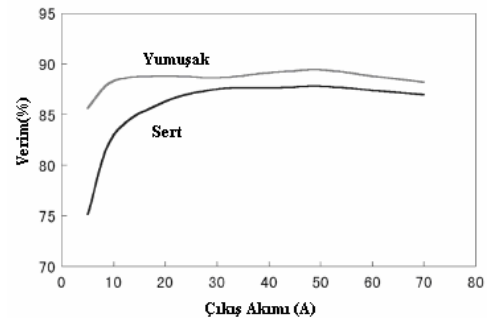
Hibrid araçlarda iki tip DC/DC çeviriciye ihtiyaç vardır. Bunlardan biri batarya gerilimini aracın ihtiyacı olan 12 V'ta indiren DC/DC çevirici, diğeri batarya gerilimini elektrik motorunun çalışma gerilimine çeviren yüksek güçlü DC/DC çeviricilerdir. Batarya sisteminin gerilimi, elektrik makinası için gerekli çalışma gerilimini sağlıyorsa yüksek güçlü DC/DC çeviriciye gerek yoktur. Enerji kaynağı süper kapasitör olan araçlarda gerilim değişimi yüksek olduğu için yüksek güçlü DC/DC çeviriciye ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 16'da 12V DC/DC çevirici yapısı gösterilmiştir. 12V DC/DC çeviriciler 2-3 Kw arası enerji sağlamalıdır. Düşük güçlerde verimli ve anahtarlama frekansı yüksek olan MOSFET teknolojisi 12V DC/DC çeviricilerde kullanılmaktadır. Çeviricilerin verimleri %90'ların üzerinde seyretmektedir. Hacim, ağırlık ve maliyette kazanç sağlamak için batarya şarj sistemiyle birleştirilerek tek bir yapı haline getirme üzerinde çalışılabilir.

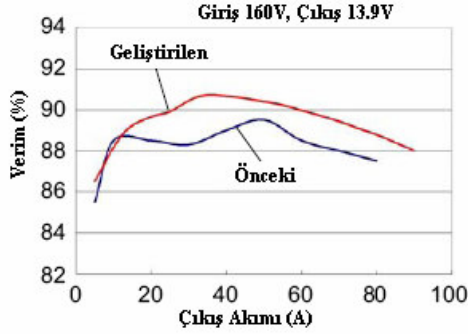


Şekil 16: DC/DC çevirici mimarisi.

12V DC/DC çeviricilerde verim artışı sağlamak için sert anahtarlama tekniği yerine yumuşak anahtarlama uygulanarak anahtar açma/kapatma kayıpları azaltılmıştır [6]. DC/DC çeviricideki verim artışı Şekil 17'de gösterilmiştir. Yumuşak anahtarlama tekniğinde 70 KHz sabit anahtarlama tekniğini uygulanmıştır. İkinci aşamada yumuşak anahtarlama etkisinin az olduğu düşük yüklerde 90 KHz, yumuşak anahtarlama etkisinin arttığı yüksek yüklerde 115 KHz kullanılarak verim artışı sağlanmıştır (Şekil 18).

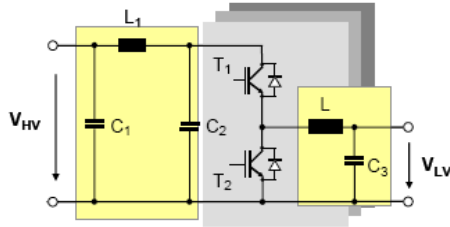


Şekil 17: Sert anahtarlama ve yumuşak anahtarlama verimleri.

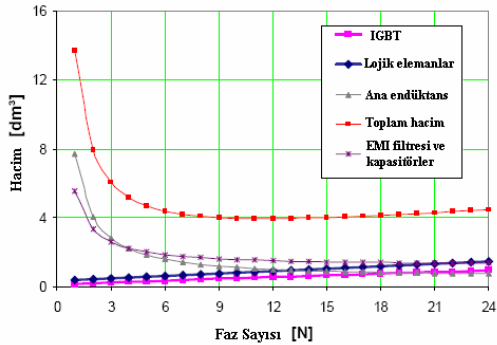


Şekil 18: Farklı yüklerde, değişen anahtarlama frekansının verim'e etkisi.

Yüksek güçlü DC/DC çeviriciler ultra kapasitörlü sistemlerde kullanılmak zorundadır. Gücün, gerilimin ve akımın yüksek olması sebebiyle IGBT teknolojisi kullanılmaktadır. Fraunhofer enstitüsü tarafından prototip olarak üretilen DC/DC çevirici 100 Kw gücünde, 25Kw/dm³ güç yoğunluğunda, %97 verimliliğe sahiptir [7]. 100V gerilimi, 450V'ta kadar çıkarabilmektedir. Anahtarlama frekansı 100 KHz ve çevirici yapısı basit buck/boost çevirici olarak seçilmiştir (Şekil 19). 1 faz yerine, 12 adet buck/boost yapısı kullanarak toplam hacim azaltılmıştır. Şekil 20'de faz sayısına göre DC/DC çeviricideki bileşenlerin hacim değişimi gösterilmiştir.



Şekil 19: Buck/Boost yapısı.



Şekil 20: Buck/Boost çeviricinin faz sayısına göre hacim değişimi.

4. Sonuçlar

Petrol rezervlerinin azalması sebebiyle Dünya'daki çalışmalarını sürdürülen alternatif yakıt teknolojilerini yakından takip edip, teknolojiye yön veren çalışmaların sürdürülmesi gereklidir. Ülkemizin kalkınması ve çağa ayak uydurabilmesi için

özellikle yakın zamanın teknolojisi olan hibrid araçlar konusunda çalışmalara hız verilmelidir.

Hibrid araç bileşenlerinin daha ucuza üretilmesi için tüm hibrid araç bileşenleriyle ilgili projeler başlatılmalıdır. Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar örnek alınarak daha verimli, hafif, akıllı ve ucuz bileşenler üretilmelidir.

Hibrid araç bileşenlerini genel olarak güç elektroniği elemanları oluşturmaktadır. Güç elektroniği ve elektronik devre tasarımı konusunda teknik elemanlar yetiştirilmelidir.

Klasik araçlardan, elektrikli araçlara geçişin hızlanması ancak Lion batarya ve süper kapasitör teknolojilerindeki gelişmelerle sağlanacaktır. Hükümetimizin teşvikleri, sanayicilerin atılımları ve üniversitelerde oluşturulacak ortak proje guruplarıyla bu teknolojinin ülkemizde üretilmemesi imkansızdır.

5. Kaynaklar

- [1] Shingo K., Kubo K., Katsu T. ve Hata Y., "Development of Electric Motors for the Toyota Hybrid Vehicle Prius", *EVS17*, 2000.
- [2] Okamura M., Sato E. ve Sasaki S., "Development of Hybrid Electric Drive System Using a Boost Converter", *EVS20*, 2003.
- [3] Matsuoka T., Nakamura M. ve Hasegawa K., "Development of Intelligent Power Unit for 2006 Civic Hybrid", SAE Technical Paper 2006-01-1504.
- [4] Sakai Y., Ishiyama H. ve Kikuchi T., "Power Control Unit for High Power Hybrid System", SAE Technical Paper 2007-01-0271.
- [5] Tadros Y., Ranneberg J. ve Schafer U., "Ring Shaped Motor-Integrated Electric Drive for Hybrid Electric Vehicles", *EPE 2003*.
- [6] Aitaka K., Hosodo M. ve Nomuro T., "Development of Intelligent Power Unit for Hybrid Four-Door Sedan", *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 4, No. 2, pp. 57-64, 2003.
- [7] Eckardt B., "High Power Buck-Boost DC/DC Converter for Automotive Powertrain Applications", *PCIM 2005*.