

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrikli Otomobiller

Yüksek Lisans Tezi

Tamer Özkahraman

1988

R 152
93



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLI OTOMOBİLLER

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

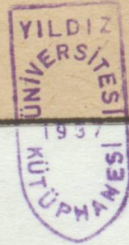
Elk.Müh. Tamer ÖZKAHRAMAN

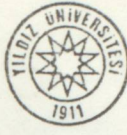
İstanbul-1988

YILDIZ UNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

R 152

Kot :93.....
Alındığı Yer : ~~Pen Bilimleri Enst.~~.....
Tarih : 13/05/1991.....
Fatura :
Fiatı : 4000 TL.....
Ayniyat No : 1/3.....
Kayıt No : 47642.....
UDC : 621.3 378.242.....
Ek :





YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLER

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)



Tezi yöneten : Prof.Dr. Atıf URAI
Tezi hazırlayan : Tamer ÖZKAHRAMAN

İstanbul-Haziran-1988

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLER

İÇİNDEKİLER

Özet	I
Summary	II
I. Giriş	1
Elektrikli ulaşım sistemlerinin sınıflandırılması ve elektrikli otomobillerin yeri	6
II. Elektrikli otomobillerin yapısı	7
III. Elektrikli otomobillerden kullanılan tahrik motorları	21
1. Doğru akım tahrik motorlarında iyileşme	24
2. Elektronik değiştirmeli motorlar	27
3. Sabit mıknatıslı doğru akım motorları	30
IV. Kontrol Sistemleri	34
1. Doğru akım seri motora dirençle yol verme ve devir sayısının ayarı	35
2. Doğru akım seri motorun frenlenmesi	36
3. Doğru akım tahrik sistemlerinin gelişimi	37
4. Güç elektroniği sistemleri ile kontrol	
4.1 Doğru akım motorlarının kontrolü	38
4.1.1 Doğru akım seri motorun doğru akım kıyıcısı ile beslenmesi	41
4.1.2 Doğru akım kıyıcılı sistemler	45
4.1.3 Alan kontrollü sistemler	50
4.1.4 Geribeslemeli alan kontrollü sistemler	52
4.2 Alternatif akım motorlarının kontrolü	56
4.2.1 Doğru akım kıyıcısı ara devreli eviriciler	57
4.2.2 Darbe genişlik değiştirmeli eviriciler	61
4.2.3 Doğru akım kıyıcısı ara devreli evirici ile darbe genişlik değiştirmeli eviricilerin karşılaştırılması	63

4.2.3 Elektrikli otomobiller için evirici-batarya şarj edicisi	63
V. Enerji kaynakları (Bataryalar)	70
1. Kurşun-asit-bataryalar	70
2. Çinko-bromin bataryalar	73
3. Yakıt pilleri	76
4. Tahrik bataryalarının şarjı	79
5. Batarya şarjının zamanlaması ve elektrik şebekesine etkisi	82
VI. Elektrikli araçlarla ilgili denemeler ve sonuçları	83
VII. Sonuç	88
Kaynaklar	89
Özgeçmiş	90

ELEKTRİKLI OTOMOBİLLER

ÖZET

Aşağıda sunmuş olduğum tezimde,elektrikli otomobillerin,gelecek için ne denli önemli olduklarını değerlendirdikten sonra,yarıları,içerdiği elemanlar ve gelişimlerinden söz edilmiştir.Elektrikli araçlar içindeki yeri vurgulanan elektrikli otomobillerin,denenmekte veya kullanılmakta oldukları bir kaç yerden örnekler verilmiştir.

Üzerinde ağırlıkla durulan konular,ağırlık sorunu olan elektrikli otomobiller için yüksek verimli ve özgül gücü (birim ağırlık başına güç) büyük olan batarya,kontrol sistemleriyle motorlardaki gelişmeler ve bu amaçla üretilen yeni tip elemanlardır.Aracın yapısı hakkında bilgi verilirken,kullanılan mekanik ara aksamlara da kısaca değinilmiştir.

Tezimi hazırlarken,özellikle yakın gelecekte önem kazanacağı düşünülen bu konuyla ilgili,yurdumuzda,hemen hiçbir ciddi araştırma-geliştirme çalışmaları rastlayamamış olmam üzücüdür.Sınırlı olanak ve çalışmalarım ve tez yöneticisi hocam Prof.Dr.Sayın Atif URAL'ın değerli yardımlarıyla hazırladığım tezimin,konuya biraz olsun katkıda bulunmasını dilerim.

ELECTRIC OTOMOBİLLER

SİRİS

SUMMARY

In this thesis, the importance that electric vehicles will have in the future is evaluated, and then their constructions, components and development are discussed. Among electric vehicles, personal vehicles and vans hold a significant place. Examples are given of cases where electric personal vehicles or vans are in use or under test.

Since weight is the main problem with electric vehicles, emphasis is placed upon developments leading to batteries, control systems and motors having higher specific power and efficiency as well as upon new components intended to help solve the weight problem. In describing the construction of the vehicle, mechanical features are also touched upon.

I consider it unfortunate that, while preparing my thesis, I found that almost no serious work of research or development had yet been attempted in this country on this subject which is likely to gain increasing importance in the near future. I hope that this thesis which has been prepared under the valuable supervision of Prof. Dr. Atif URAL, though in a somewhat limited environment will contribute a little to the subject.

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLER

GİRİŞ

Çağımızda, çevre kirliliği ve petrole bağımlı yakıtların tükenmekte olması, yarının taşıt araçları için farklı ve yeni çözümler aranmasını gerektirmektedir. Elektrik enerjisinin sürekli elde edilebilir bir enerji şekli olması, demiryolu ve toplu taşımacılıkta kullanılan en uygun ve sağlıklı enerji şekli olması, binek araçları için de uygun çözüm olabileceğini göstermektedir. Üretildiği yerden tüketileceği yere iletiminin ve kontrolünün kolay oluşu ile verimliliği en büyük etkenlerden sayılabilir.

Toplu taşımacılıkta sorunlar çözümlenmiş olmasına karşın, binek otolarda araçların gideceği güzergâhların belli olmaması, bazı sorunlar ortaya koymaktadır. Bu türlü araçların enerji, kaynak ve depolarını; beraberlerinde taşıma zorunlulukları, günümüz için çözümlenmesi gereken en büyük sorundur. Henüz tam olarak çözülemeyen bu sorun için, çeşitli yollar ve yöntemler denenmektedir.

Günümüze dek, elektrikli araçlarda kullanılan tahrik makinası genellikle d.a. seri motoru olmuştur. Şimdilerde ise, bunun yanında serbest uyarmalı d.a. motorları ile a.a. motorları da kullanılmaya başlanmıştır. A.a. motorlarının en büyük yararı, kollektörsüz oluşu, dolayısıyla da az bakım gerektirmesidir. Ayrıca komütasyon sorununun olmaması devir sayılarının yükselebilmemesine de olanak sağlamaktadır. Güç elektroniğindeki gelişmelerden sonra kontrol sorunu da çözümlenen a.a. motorları, istenen pekçok özelliği üzerinde taşıyan, ideal bir motor haline gelmek üzeredir. Yapılan çalışmalardan sonra hacim ve kütle olarakta oldukça küçültülmesi başarılan bu tür motorlarda, üç fazlı, frekans ve gerilim ayarlı eviricilerle hız ve moment kontrolü, verimli bir şekilde sağlanabilmektedir.

Binek araçlar için bugün ilk akla gelen enerji kaynağı akümülatör bataryalarıdır. Bunların kütle ve hacim olarak büyük olmaları ve sık sık bakım gerektirmeleri iyileştirilmesi gereken olumsuz yönlerdir. Bu konu üzerindeki çalışmalar oldukça hızla ilerlemekte, umut veren sonuçlar elde edilebilmektedir. Bataryaların enerji depolayan

kaynaklar olduğu göz önüne alındığında, araçların beraberlerinde taşıyabilecekleri, elektrik enerjisini üreten kaynakların araştırılması yoluna gidilmiştir. Önümüzdeki yüzyıl için, kullanılabilir duruma gelmesi söz konusu olabilecek kaynaklar olarak, güneş pilleri, atom pilleri ve daha yakın bir gelecek için söz konusu olabilen yakıt pilleri geliştirilmektedir.

Bugün elektrik enerjisini depolama konusunda yeterince ilerlenememesine karşın, bilinen klâsik bataryalar ve tahrik sistemleri ile çalışan, deneme ve geliştirme safhasında olan, şehir içi servis otoları kullanılmakta, dinlenme, gezi ve bazı spor alanlarında, doğaya hiçbir zararlı etkisi olmayan elektrikli taşıt araçlarından yararlanılmaktadır.

Ulaşım denince, kara, deniz veya hava yoluyla, yük veya insanların bir yerden bir başka yere götürülmesi anlaşılmaktadır. Ulaşım sistemi;

Kara yolu,

Deniz yolu,

Hava yolu ile olmak üzere üçe ayrılabilceği gibi,

Elektrikli ulaşım sistemleri,

Elektrikli olmayan ulaşım sistemleri olarak da ikiye ayrılabilir.

Elektrikli olmayan ulaşım sistemlerinde enerji kaynağı genellikle petrol ürünleridir. Günümüzde elektrikli ulaşım sistemlerinin yaygın kullanımı, kara yolu ulaşımı, hatta daha dar bir çerçeve içine alırsak demiryolu taşımacılığındadır. Yaygın olarak demiryollarında kullanılmasının nedeni, henüz çözümlenmeye uğraşılan enerji kaynağı sorunudur. Demiryolu taşımacılığında enerji iletimi raylar ve kablolar yardımı ile olabildiği için, enerji kaynağını beraberinde taşıma zorunluluğu yoktur. Aynı şekilde, çalıştığı güzergâhlar belli olan trolleybüs, tramvay ve metrolarda da, elektrik kullanılabilir, verimli bir enerji şekli olarak karşımıza çıkmaktadır.

Günümüzde artık oldukça önem kazanan, temizlik ve sessizliği yanında, enerji tüketimi bakımından da elektrikli ulaşım sistemleri, ekonomik olarak karşımıza çıkmaktadır. Örnek vermek gerekirse 1200 kişilik bir banliyö treninin ortalama özgül enerji tüketimi, 45 Wh/t.km, 460 kişilik tramvay katarınının 60 Wh/t.km, 4 kişilik bir elektrikli otomobilde 820 Wh/t.km iken, 100 kişilik bir kent içi otobüsün 256 Wh/t.km, 4 kişilik otomobilde ise bu değer 1550 Wh/t.km'ye yükselmektedir.

Petrol ve petrol ürünlerinin yakın bir gelecekte tükeneyeceği, hatta çok yakın bir gelecekte rezervlerin azalmasıyla ekonomikliğini yitireceği düşünülerek, yerini doldurabilecek çeşitli seçenekler aranmaya başlanmıştır. Elektrikli araçlar dışında düşünülen seçenek, petrol ürünü yakıtlar yerine, metanol, etanol, metan, amonyak ve doğal gaz gibi yakıtların kullanılmasıdır. Ancak bu yakıtların bugünkü içten yanmalı ısı motorlarına, doğrudan, hiçbir değişiklik yapılmaksızın uygulanması olanaksızdır. İstenen iyi sonuçları elde edebilmek için, anti-vuruntu özelliği amacıyla yüksek basınç, turbo-şarjlı yakıt alma ve yakıt ekonomisi için de basınçlı ateşleme gerekmektedir. Bu gereksinimlere yanıt veren Stirling ve Brayton makinaları en büyük adaylar olmakla birlikte 1990'

diesel motorlu araçların hızlanma sürelerine yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir.

		<u>Bugünkü</u>	<u>İstenen</u>
Yolcu kapasitesi		2	4-5
Yük kapasitesi	(kg)	200	400-475
Bagaj hacmi	(m ³)	0,2	0,4-0,5
90 km/h hıza ulaşma süresi	(s)	23	20
Hız sınırı	(km/h)	100	110
Durmakta iken harekete geçebileceği eğim	(%)	30	30
Yeniden enerji olmadan gidebileceği uzaklık	(km)	128	400
(Şehir içi ve otoyolda karışık sürüş)			
Yeniden enerji alma süresi		8	15-30
		(saatten fazla)	(Dakika)
Araç ömrü		10 yıl veya	160.000 km.

Tablo 2.

İstenen bu özelliklere ulaşmak amacıyla sistemler araştırılmakta ve varolanlar geliştirilmektedir. Bunların arasında bataryalar (dolaşımli elektrolitliler, akışkanlılar, yüksek sıcaklık ve meta(-hava bataryaları gibi), yakıt pilleri(fosforik asid, geliştirilmiş asid-ler ve katı polimer elktrolit kullanılanlar), geliştirilmiş a.a.ve d.a. motorları ve kumandaları ile hareket iletim sistemleri ele alınmıştır. Ayrıca bunlara ek olarak güneş pilleri ve daha uzak bir gelecek için atom pilleri düşünülmektedir.

Elektrikli Ulaşım Sistemlerinin Sınıflandırılması ve
Elektrikli Otomobillerin Yeri:

Elektrikli ulaşım sistemleri çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Fakat konumuzla ilgili genel bir sınıflandırma yapacak olursak.

1- Elektrik enerjisini dışardan bir akım alıcısıyla (seyr iletkeni veya akım rayı gibi) alan taşıtlar.

2- Enerjilerini veya enerji depolarını bünyelerinde içeren taşıtlar

Elektrik enerjisini dışarıdan sağlayan taşıtlar, akım taşıyıcılarının izin verdiği bölgelerde çalışmak zorundadırlar. Bu nedenle kullanımları sınırlı bölgeler, güzergâhlar içinde kalmaktadır. Enerji depolarını bünyelerinde bulunduran taşıtlar için böyle bir sorun olmamakla birlikte ulaşım alanı bu kez depo edilebilen enerji miktarına bağlı olarak sınırlanmaktadır. Bu tür elektrikli araçlarda enerji iki şekilde depo edilmektedir;

a. Bir akümülatör bataryası ile,

b. Bir ısı motorunu beslemek üzere ısı yakıt deposu ile.

Elektrikli tahrik sistemi yanında ısı motoru da içeren araçlara, hibrit elektrikli araçlar denir. Bunlar daha çok büyük güçlü elektrikli araçlarda kullanılır. Isı motorunun tahrik ettiği generatörde üretilen elektrik enerjisi, kontrol edilerek elektrikli tahrik motorunda kullanılmaktadır.

Enerji deposu olarak akümülatör bataryaları kullanılan araçlarda, enerji, bataryalarda kimyasal enerjiye dönüştürülerek saklanmaktadır. Ayrıca daha ileri bir teknoloji ile de, yakıtlı piller, hatta atım pilleri taşınabilir enerji kaynakları olarak söz konusu olabilecektir. Bizim konumuz içine giren elektrikli taşıt araçları enerjilerini doğrudan elektrik enerjisi olarak depolayan veya üreten, belli bir güzergâha bağlı olmadan, serbestçe dolaşabilen, bireysel kullanıma olanak tanıyan elektrikli otomobillerdir.

II. ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERİN YAPISI

Elektrikli ulaşım araçları çeşitli amaçlarla ve çeşitli şekillerde tasarlanmakta, üretilmektedir. Buna rağmen hepsinde ortak olan bir tahrik motoru, motora kumanda eden bir sistem ve motorda üretilen hareketi tekerlere ileten mekanik bir hareket iletim elemanı mevcuttur. Özel olarak, bir elektrikli otomobilde yer alan elemanlar ise;

Enerji depolama birimi,

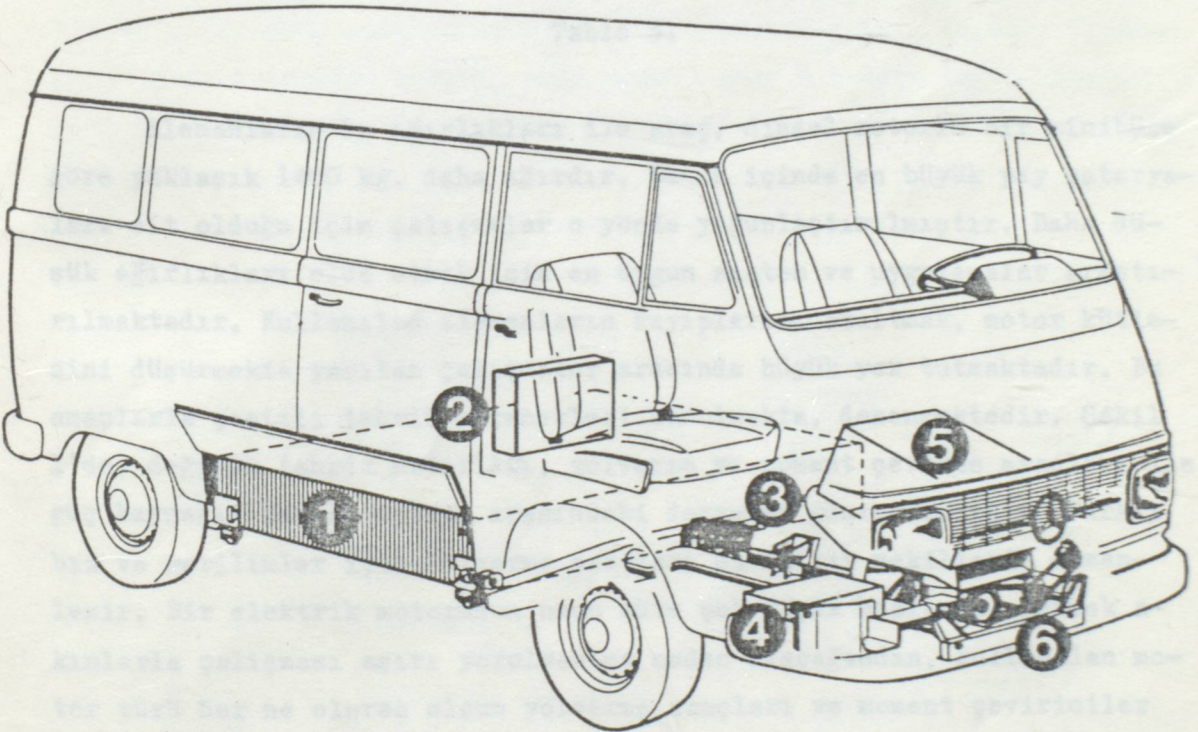
Tahrik motoru,

Kontrol birimi,

Şarj birimi,

Moment değiştirici ve debriyaj olarak başlıklar halinde ele alınabilir.

Aşağıda, üretilmekte olan elektrikli bir minibüs ve ana elemanları gösterilmiştir.



- 1 Tahrik bataryası
- 2 Yardımcı batarya için şarj devresi
- 3 Tahrik motoru
- 4 Ek andüi kontrol devresi
- 5 Elektronik kontrol devresi
- 6 Fren ve dümen sistemi için servomotor

- 1- Tahrik bataryası
- 2- Yardımcı batarya için şarj devresi
- 3- Tahrik motoru
- 4- Ek endüi kontrol devresi
- 5- Elektronik kontrol devresi
- 6- Fren ve dümen sistemi servomotor

Bugünün teknolojisi ile üretilen ve halen pekçok yerde, özellikle servis amacıyla, şehir içi dolaşımında kullanılan elektrikli minibüslerin, tahrik elemanlarının, tahrik için kullanılan tüm elemanların toplam ağırlığı içindeki oranları yaklaşık olarak şöyledir:

Enerji depolama birimi(bataryalar)	:	1100 kg, % 70
Elektrikli tahrik motoru	:	120 kg, % 7,6
Kontrol birimi	:	46 kg, % 3
Şarj devresi	:	64 kg, % 4
Vites kutusu	:	46 kg, % 3
Kablo ve ek mekanik parçalar	:	200 kg, % 12,4

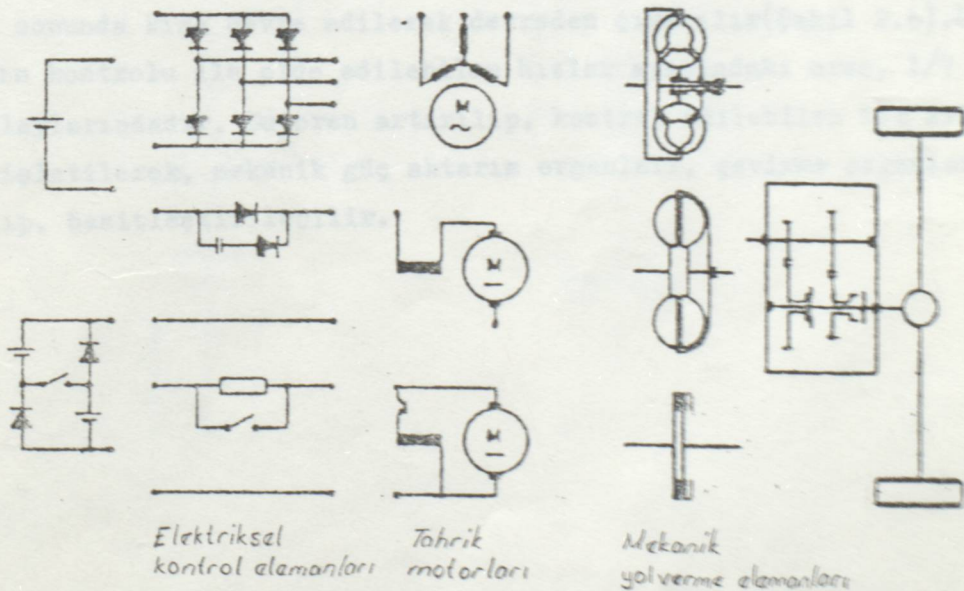
Tablo 3.

Elemanların bu ağırlıkları ile araç, diesel motorlu bir minibüse göre yaklaşık 1400 kg. daha ağırdır. Bunun içinde en büyük pay bataryalara ait olduğu için çalışmalar o yönde yoğunlaştırılmıştır. Daha düşük ağırlıkları elde etmek için en uygun sistem ve uygulamalar araştırılmaktadır. Kullanılan elemanların kayıplarını azaltmak, motor kütlelerini düşürmekte yapılan çalışmalar arasında büyük yer tutmaktadır. Bu amaçlarla çeşitli tahrik seçenekleri sunulmakta, denenmektedir. Şekil 1'de, değişik tahrik motorları, yol verme ve moment çevirme araçları ile güç kaynağı- tahrik motoru arasındaki devreler gösterilmiştir. Farklı hız ve gerilimler için yol verme araçları da farklı şekillerde düzenlenir. Bir elektrik motorunun uzun süre çok düşük hızlarda, yüksek akımlarla çalışması aşırı yorulmasına neden olacağından, kullanılan motor türü her ne olursa olsun yol verme araçları ve moment çeviriciler zorunlu olmaktadır.

Şekil 1'de, üstte üç fazlı senkron veya asenkron motor gösterilmiştir. Batarya çıkışındaki doğru gerilim, bir evirici yardımı ile üç

fazlı alternatif akıma çevrilerek motora uygulanmaktadır. Motorun devir sayısı, evirici frekansı ayarlanarak değiştirilirken, yol olmada gerilimde ayarlanabilmektedir. Az bakım gerektirmesi, kollektör sorunları olmayışı ve yapısının basitliği nedeniyle tercih edilen bu motorlarda, bu kez, yarı iletken giderleri yükselmektedir. Eviricinin, komütasyondan doğan olumsuz bir yönü de, 200 V batarya gerilimi altındaki gerilimlerde verim çok düşmektedir. Verimin düşüklüğü, zaten sorun olan enerji depolanmasına, depolanan enerjinin kayıplara harcanması yoluyla ek olumsuzluklar getirmekte, basit yapıllı asenkron motorların bu olumlu yönü, olumsuzluklar yanında pek bir anlam taşımamaktadır.

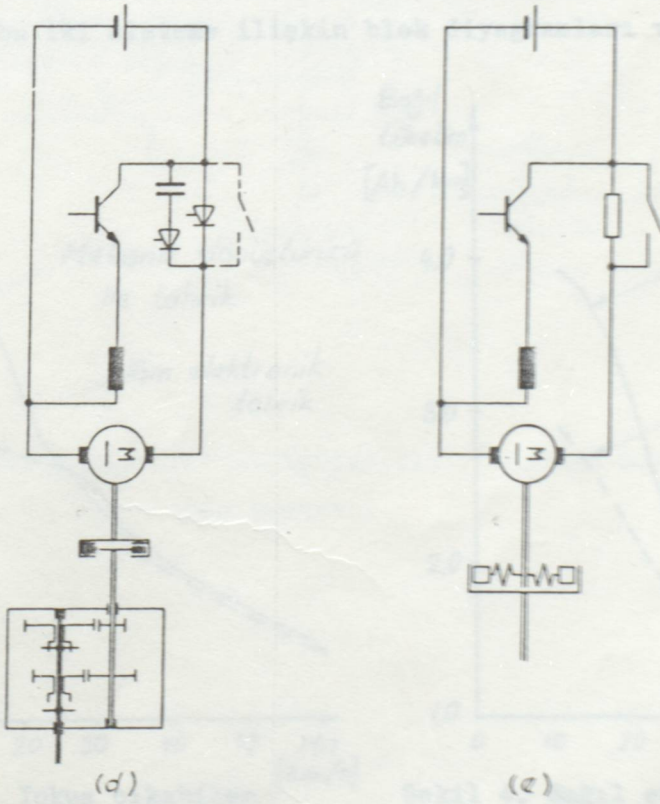
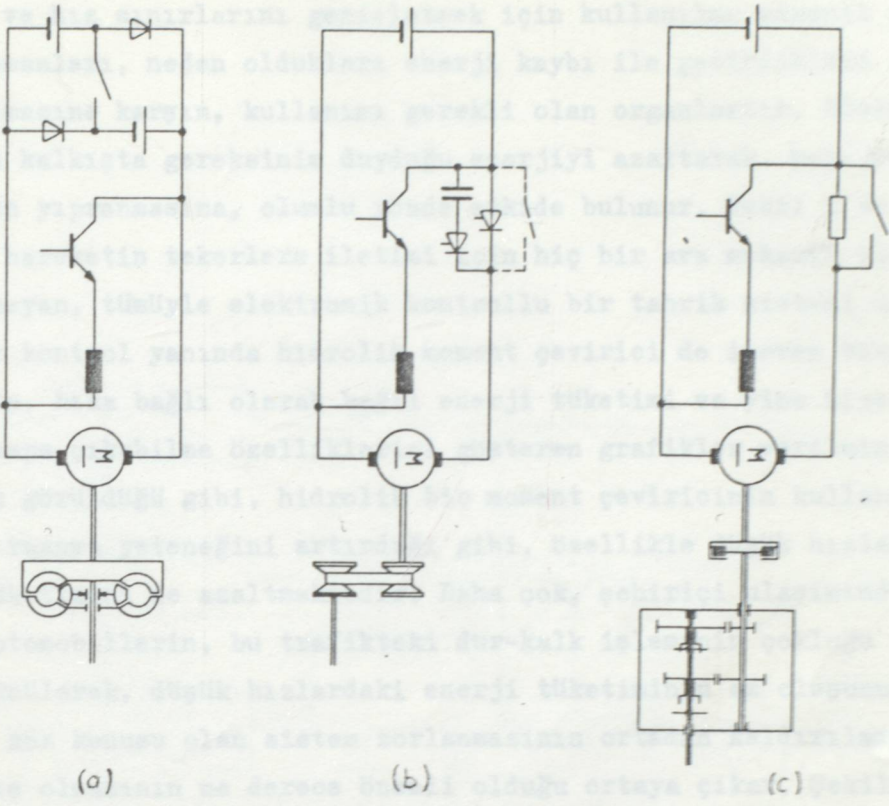
Klâsik kullanımında, akım-moment karakteristiğinden dolayı sürekli karşılaşılan d.a. seri motorda, uyarma akımı ile endüi akımı aynıdır. Şönt motorda, endüi ile uyarma akımları farklı olduğundan, uyarma devresi akımı daha kolay ve ucuz kontrol edilebilir. Seri motorda kontrol edilecek akım, endüi ve uyarma akımları toplamı olduğu için pratik değildir. Uyarma devresi gerilimi küçük, akımı büyük olması, endüi akımından bağımsız kontrolünü olanaksız kılmakta, ayar yalnızca kaynak geriliminin, bir kıyıcı yardımıyla değiştirilmesi şeklinde mümkün olabilmektedir. Aynı uzaklık ve aynı yolucu sayısı için, faydalı frenlemeyle geri kazanılan enerji, seri motora göre % 5 daha fazla olurken, seri motor ve kontrol sisteminin enerji harcamasında % 9'luk artış gözlenmiştir.



Şekil 1. Tahrik elemanları

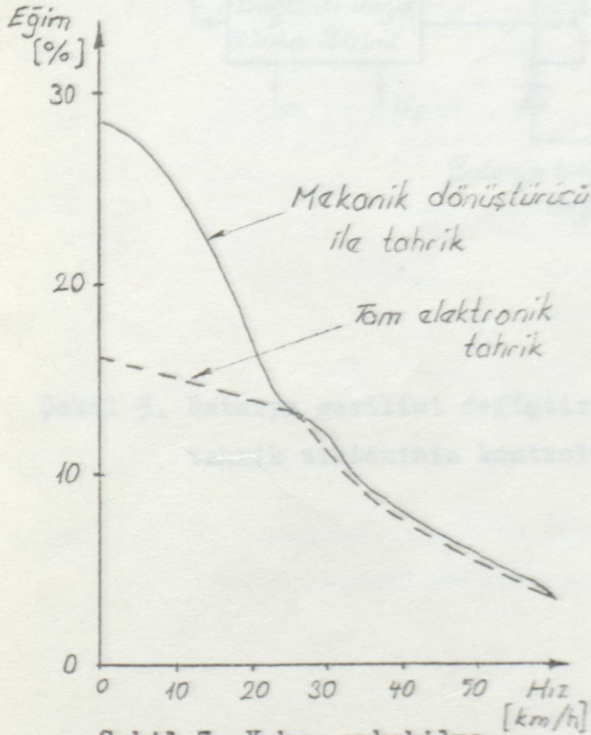
Bataryalar ikiye ayrılıp, bunlar seri veya paralel bağlanarak hız sınırı genişletilebilir. Düşük hızlar için, düşük gerilim-yüksek akım istemini çok daha rahat ve uygun bir şekilde karşılama olanağı sağlar. Di-yotlar yardımıyla, batarya bölümleri, simetrik olarak yüklenmektedir. Ba-taryalar, daha fazla gruplara ayrılarak daha farklı gerilim değerleri elde etmek olanaklıdır. Örneğin, dört bölüme ayrılan bir batarya grubu ile üç değişik gerilim elde edilebilir. Bunun için 6 diyot ve 3 anahtar gerekli olmaktadır. Kontrol devresine ek olarak böyle bir sistemin de kul-lanılması, motorun devir ve momentine daha kolay etki edilmesini sağlar-ken, kontrol devresinin işini de basitleştirmiş olmaktadır.

Şekil 2 çeşitli güç iletim sistemlerini göstermektedir. Şekil 2.a' da görülen sistemde hız ayarı için uyarma alanı kullanılmakta, hidrodinamik çevirici de kalkışta gerekli moment ayarlamasını yapmaktadır. Ba-tarya grupları ikiye ayrılmıştır ve bunlar seri yada paralel bağlanarak hız sınırlarına değiştirme olanağı tanımıştır. Kalkış koşullarını iyileştirmek için diğer bir seçenek, mekanik sistem yanında bir endüi akım kıyıcısı da kullanılmaktadır. Şekil 2.b ve 2.d'de buna ilişkin sistemler verilmiştir. Yüksek tahrik verimi için, el kumandalı bir vites kutusunun kullanımı da uygun olabilir. Böylece, motorun veriminin en yüksek oldu-ğu sınırlar içinde alan zayıflatılması ile hız ayarı yapılabilir.(Şekil 2.c, 2.d).Diğer bir hareket iletim sisteminde ise merkezkaç kuvveti ile çalışan bir debriyaj sistemi, yol alma için kullanılabilir. Hız ayarı, uyarma alanı zayıflatılarak yapılır. Kalkış akımını sınırlandı-rmak amacıyla endüi devresine seri, bir direnç bulundurulur ve yol alma işlemi sonunda kısa devre edilerek devreden çıkarılır(Şekil 2.e).Uyarma alanının kontrolü ile elde edilebilen hızlar arasındaki oran, 1/7 ile 1/8 dolaylarındadır. Bu oran artırılıp, kontrol edilebilen hız sınırla-rı genişletilerek, mekanik güç aktarım organları, çevirme organları azaltılıp, basitleştirilebilir.

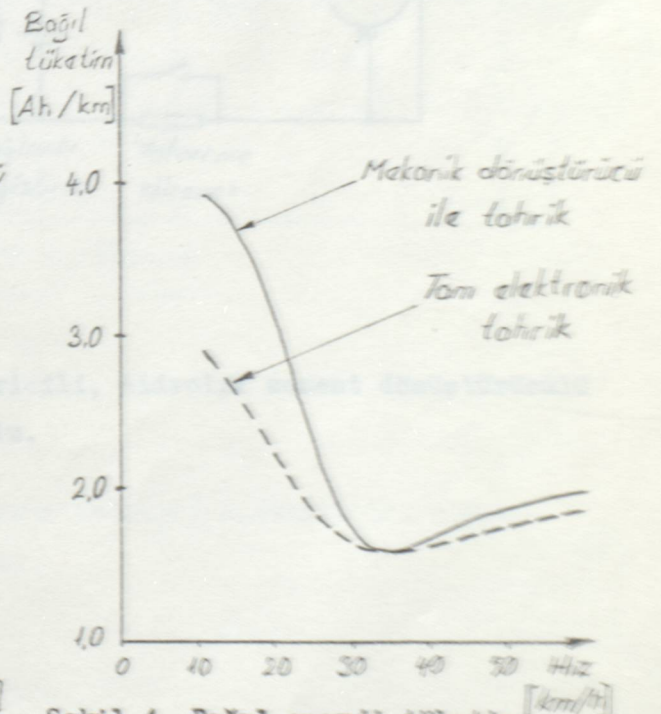


Şekil 2. Elektrikli araçlarda güç iletim elemanları.

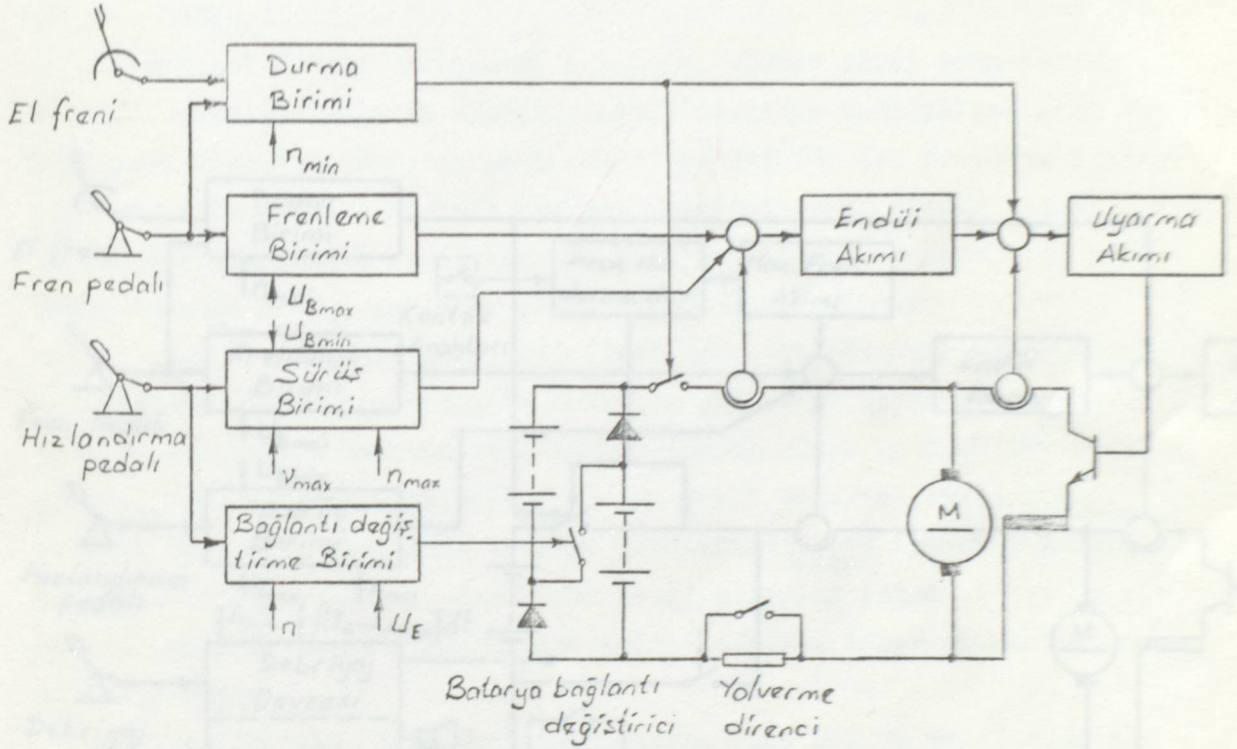
Elektrikli otomobillerde, kalkış için gerekli en iyi koşulları sağlamak ve hız sınırlarını genişletmek için kullanılan mekanik güç iletim elemanları, neden oldukları enerji kaybı ile getirdikleri ek ağırlık olmasına karşın, kullanımı gerekli olan organlardır. Elektrik motorunun kalkışta gereksinim duyduğu enerjiyi azaltarak, kayıplara ve motorun yıpranmasına, olumlu yönde etkiye bulunur. Şekil 3 ve şekil 4'de hareketin tekerlere iletimi için hiç bir ara mekanik eleman bulundurmeyen, tümüyle elektronik kontrollu bir tahrik sistemi ile, elektronik kontrol yanında hidrolik moment çevirici de içeren bir sisteme ilişkin, hıza bağlı olarak bağlı enerji tüketimi ve yine hıza, bağlı olarak rampa çıkabilme özelliklerini gösteren grafikler verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, hidrolik bir moment çeviricinin kullanılması aracın tırmanma yeteneğini artırdığı gibi, özellikle düşük hızlardaki enerji tüketimini de azaltmaktadır. Daha çok, şehir içi ulaşımında kullanılan otomobillerin, bu trafikteki dur-kalk işleminin çokluğu ve sıklığı düşünülerek, düşük hızlardaki enerji tüketiminin az oluşunun ve her kalkışta söz konusu olan sistem zorlanmasının ortadan kaldırılmış ya da azaltılmış olmasının ne derece önemli olduğu ortaya çıkar. Şekil 5 ve şekil 6'da, bu iki sisteme ilişkin blok diyagramları verilmiştir.



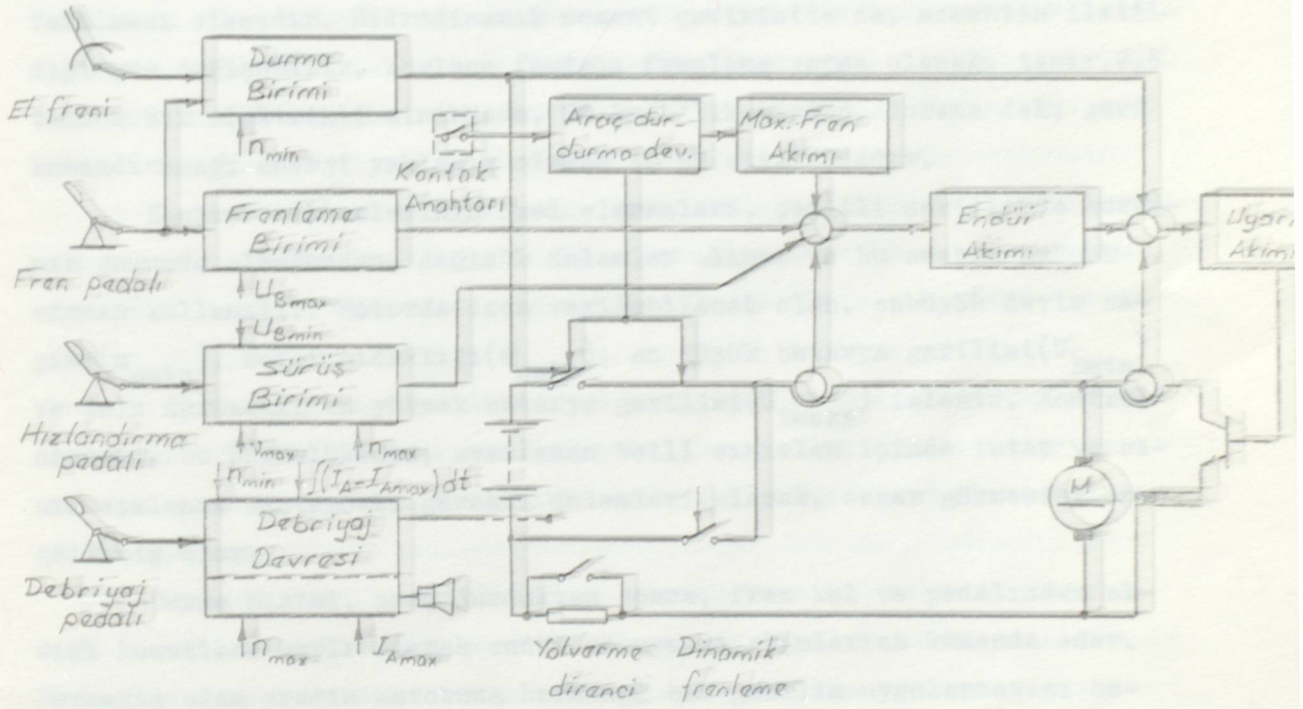
Şekil 3. Yokuş çıkabilme özellikleri



Şekil 4. Bağlı enerji tüketimi özellikleri



Şekil 5. Batarya gerilimi değiştiricili, hidrolik moment dönüştürücülü tahrik sisteminin kontrolü.



Şekil 6. El kumandalı vites ve klasik debriyaj sistemlerini içeren tahrik sisteminin kontrolü.

Hidrodinamik moment çevirici ile güç iletilen sistemde ,otomatik çalışmayı sağlamak ve sürüş alanını genişletmek için bataryalar bölünmüştür. Uyarma akımı ayarlanarak, motor hızı değiştirilmektedir. Moment çeviricinin ve batarya bağlantılarının değiştirilip,kaynak gerilimi ayarınının motor devir sayısı ayarlanmasına yardımları, uyarma akımıyla ayarın etkisini 1/3 dolaylarında tutma olanağı verir. Hidrodinamik çevirici, motorun, yarı besleme gerilimi ile yüksüz olarak yolalmasını sağlar. Yolalmada, endüi akımını sınırlayıcı direnç, akımı uygun seviyelerde tutar.

Nominal devrin üzerindeki hızlarda, uyarma akımı artırılarak, motorun yavaşlatılması ve aradaki enerji farkının bataryalara geri aktarılması olasıdır. Hidrodinamik moment çeviricide de, momentin iletiği yön değişebilir, böylece faydalı frenleme yapma olanağı tanır.2,5 tonluk bir elektrikli minibüsün, 50 km/h'lık hızdan, durana dek, geri kazandıracacağı enerji yaklaşık olarak 40 wh civarındadır.

Kontrol sistemlerinin özel elemanları, çeşitli şekillerde korunmak zorunda olduğundan, değişik önlemler alınır ve bu amaçla pekçok eleman kullanılır. Motorda izin verilebilecek olan, en büyük devir sayısı(n_{maks}), motor sıcaklığı(θ_{maks}), en düşük batarya gerilimi(U_{Bmin}) ve dolu durumdaki en yüksek batarya gerilimi(U_{Bmaks}) izlenir. Kontrol sistemi, bu büyüklükleri, ayarlanan belli sınırlan içinde tutar ve sınır aşılınca sistemdeki gerekli önlemleri alarak, zarar görmesini engellemiş olur.

Durma birimi, araç durduktan sonra, fren kol ve pedalından aldığı komutlara bağlı olarak endüi ve uyarma akımlarına kumanda eder. Durmakta olan aracın motoruna herhangi bir gerilim uygulanmasını önlemek amacıyla, endüi devresindeki şalter açtırılırken, uyarma akımının kesilmesi için de, uyarma akımı kontrol birimine sinyal yollanır. Aracın durduğunu yada yeterince yavaşladığını algılaması gerekli olan bu birime, en düşük devir sayısı(n_{min}) sinyali gönderilir.

Frenleme birimi, fren pedalından aldığı sinyale göre endüi akımını kontrol eder. Frenlemenin şiddeti, bu birimin endüi ve uyarma akımlarına kumanda eden birimlere yolladığı sinyallerle değiştirilen, faydalı frenleme akımına bağlıdır. Batarya geriliminin, ayarlanan, en büyük batarya gerilimine(U_{Bmaks}) ulaştığını bildiren sinyal, bu birim tarafından işleme alınır ve endüi ile uyarma akımlarındaki

gerekli düzeltmelerin yapılması için bunlara ilişkin birimlere komut gönderilir.

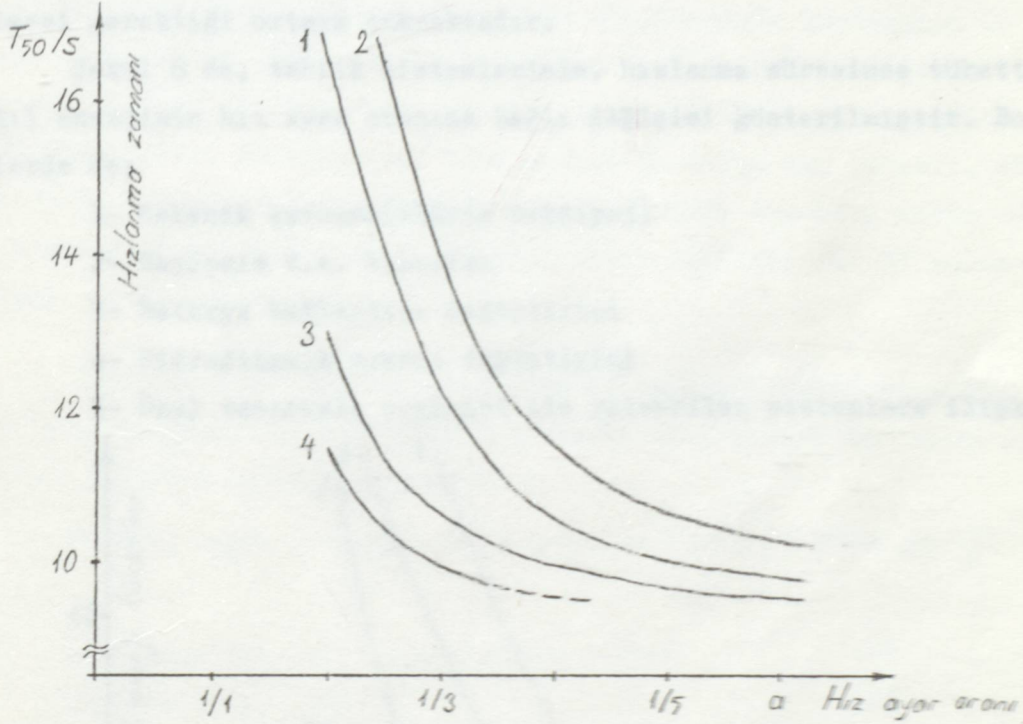
Sürüş birimi, gaz pedalından aldığı sinyallerle motor ve dolayısıyla araç hızını ayarlayan, aracı hızlandırıp yavaşlatmak için kullanılan birimdir. Doğrudan endüi akımına kumanda eder. Batarya geriliminin en düşük değeri (U_{Bmin}), motor sıcaklığı (θ_{maks}) ve en büyük devir sayısı (n_{maks}) değerleri bu birime girilir. Ayarlanan değerleri aşmaları durumunda, gerekli önlemler alınarak sistemin zarar görmesi önlenmiş olunur. Gerekirse motor tümüyle durdurulur yada hızı düşürülür.

Batarya bağlantı değiştirme birimi, motorun devir sayısı ayar sahasını genişletmek, yol almada daha iyi koşullar sağlamak amacıyla bölünmüş olarak kullanılan, batarya gruplarını seri veya paralel bağlama işlevini üzerine alan birimdir. Batarya gerilimi (U_B) ve devir sayısı (n) değerlerine göre, gaz pedalından gelen sinyal değerlendirilerek, hız düşük ve hızlanmanın yüksek olması isteniyorsa bataryalar paralel bağlanarak en iyi koşullar sağlanır. Yüksek hızlarda ise bataryalar seri bağlanarak devrin yükselebilmesi için gerekli koşullar elde edilir.

Şekil 6'da blok diyagramı verilmiş olan klasik debriyaj ve el kumandalı vites ile donanmış sistemde, batarya gruplarının ayrılması seri veya paralel bağlanması söz konusu olmadığından, batarya bağlantı değiştirme birimi kullanılmamakta, yerini debriyaj devresi almaktadır. Batarya gerilimini küçültme olanağı olmayan bu sistemde, faydalı frenleme yanında dinamik frenleme kullanma zorunluğu da olduğundan, yolverme direnci aynı zamanda dinamik frenleme direnci olarak görev üstelir.

Dur-kalklı şehir içi trafiğinde elektrikli araçlar, zorunlu olarak bazı hızlandırma evrelerine sahip olma durumundadır. Bu nedenle tahrik sisteminin uygulamaya yönelik tasarımında, hızlanma anındaki davranış ve harcanan enerji büyük ölçüde önem kazanmaktadır. Söz konusu olabilecek sistemlerin bu çerçevede içinde incelenmesi ve karşılaştırılması gerekecektir. Şekil 7'de çeşitli sistemlere ilişkin hız ayar oranına bağlı olarak hızlanma zamanını gösteren eğriler verilmiştir. Ölçülen hızlanma süreleri, araçların durmakta iken 50 km/h'lık hıza ulaşma zamanlarıdır.

Şekildeki "1" nolu eğri mekanik kavramlı (klâsik debriyaj) ile d.a. kıyıcı sistemlere ilişkindir."2" nolu eğri ise batarya bağlantısı değiştirmeli sisteme ilişkin olup, görüldüğü gibi bu sistemlerde hızlanma zamanı uzun olmaktadır. Hidrodinamik moment çeviricili sistemin değişimi "3" , özel bir çevirici tasarımı ile elde edilebilecek değişimde "4" nolu eğride gösterilmiştir. 3 ve 4 nolu eğrilere hızlanma zamanının daha kısa olduğu görülmektedir."a" kontrol edilebilir,hız ayar sınırırır.

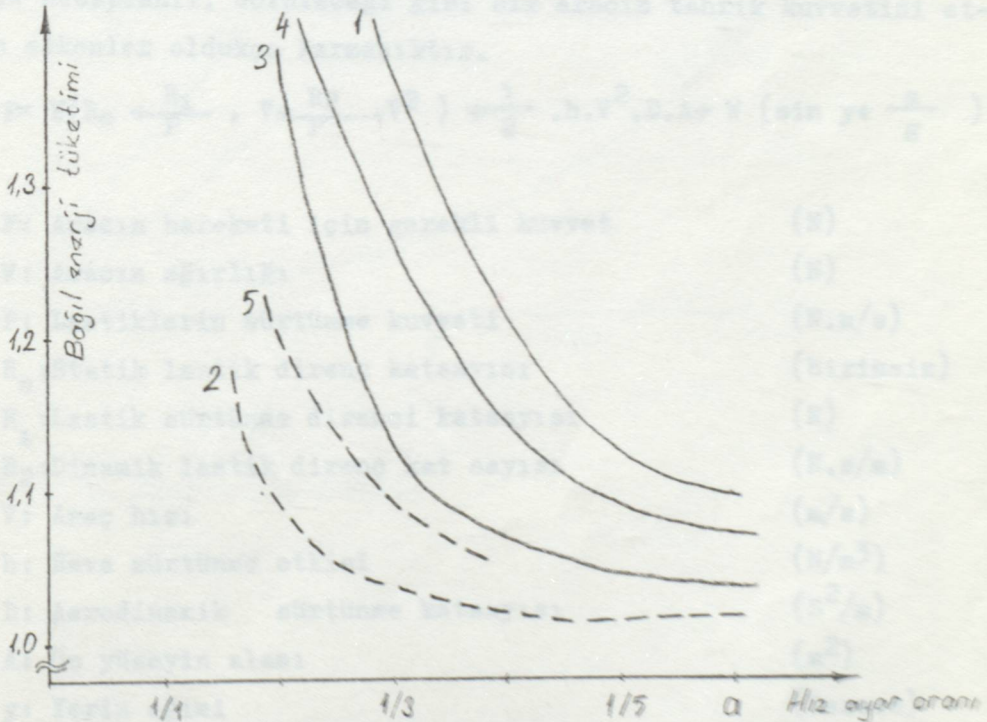


Şekil 7. Değişik tahrik sistemleri için, hız ayar oranına bağlı olarak hızlanma zamanının değişimi.

Şekil 7'den görülebileceği gibi 50 km/h lik hıza 1m/s^2 lik bir hızlanma ile ulaşmak istiyorsak , kontrol edilebilir hız oranının en az 1/2,5 olması gerekmektedir. 14 saniyelik hızlanma süresinde ulaşılacak hızlanma süresinde ulaşılacak uzaklık ise yaklaşık 1 mt olacaktır. 50 km/h lik sabit sürüş hızına ulaşmak için, gücün 1/4 gerekir. Hızlanmada kullanılan bu enerji ile, sabit hızda 800 metre gidilebilir. Enerjinin çok dikkatli kullanılması zorunlu olan elektrikli otomobillerde, duruş-kalkış anındaki bu güç tüketimi bakımından hızlandırmaya, dolayısıyla yolverme sistemlerine, ne derece önem verilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Şekil 8 de, tahrik sistemlerinin, hızlanma süresince tükettiği bağlı enerjinin hız ayar oranına bağlı değişimi gösterilmiştir. Bu eğrilerde de;

- 1- Mekanik kavrama(klâsik debdiyaj)
- 2- Kayıpsız d.a. kıyıcısı
- 3- Batarya bağlantısı değiştirici
- 4- Hidrodinamik moment değiştirici
- 5- Özel tasarımı çeyirici ile yolverilen sistemlere ilişkindir.



Şekil 8. Değişik tahrik sistemleri için hız ayar oranına bağlı olarak bağlı enerji tüketiminin değişimi.

Batarya bağlantısı değiştiricili yolverme sistemlerinin, enerji tüketimi bakımından mekanik kavramlı (klâsik debriyaj) sistemlerden daha iyi olduğu şekil 8'den görülebilmektedir. Enerji tüketiminin artması, kontrol edilebilir hız sınırlarının küçülmesi gibi düşünülebilir. Bu nedenle, yalnızca iletim kayıplarının artması değil, aynı zamanda hızlanma zamanının da büyümesi söz konusu olur. Böyle bir durumda da batarya bağlantısı değiştirilerek araca yol verilmesi, mekanik kavrama kullanılarak yol vermekten daha uygun olmaktadır.

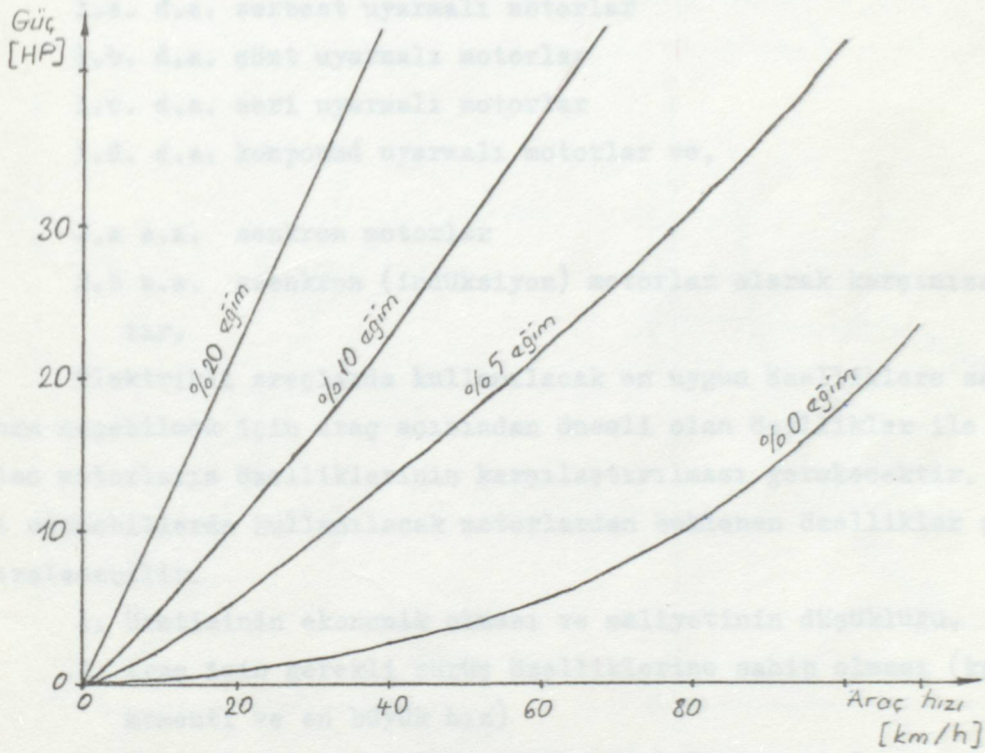
Elektrikli otomobillerde kayıpları en aza indirirken, hız ayar sınırlarını da uygun değerlerde tutmak düşüncesiyle kullanılan üç vitesli otomatik bir şanzımanın, her vites için en büyük hızlardaki verimleri birinci viteste % 84, ikinci viteste % 81 ve üçüncü vitestede % 80 olmaktadır. Buna karşın, özel olarak üretilen iki vitesli, el kontrollü bir vites kutusunun her yük ve devirde denemiş verimi % 90-95 arası olarak saptanmıştır. Bu şanzımanın ağırlığı ise 36 kg.dır ve oldukça uygun kabul edilebilir.

Hergangi bir otomobil için gerekli tahrik kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanır. Görüleceği gibi bir aracın tahrik kuvvetini etkileyen etkenler oldukça karmaşıktır.

$$F = W(R_0 + \frac{R_1}{P} \cdot V + \frac{R_2}{P} \cdot V^2) + \frac{1}{2} \cdot h \cdot V^2 \cdot D \cdot A + W \left(\sin \gamma + \frac{a}{g} \right)$$

F: Aracın hareketi için gerekli kuvvet	(N)
W: Aracın ağırlığı	(N)
P: Lastiklerin sürtünme kuvveti	(N.m/s)
R ₀ : Statik lastik direnç katsayısı	(birimsiz)
R ₁ : Lastik sürtünme direnci katsayısı	(N)
R ₂ : Dinamik lastik direnç kat sayısı	(N.s/m)
V: Araç hızı	(m/s)
h: Hava sürtünme etkisi	(N/m ³)
D: Aerodinamik sürtünme katsayısı	(s ² /m)
A: Ön yüzeyin alanı	(m ²)
γ: Yerin eğimi	(Derece)
a: Araçtan istenen hızlanma	(m/s ²)
g: Yer çekimi sabiti	(m/s ²)

Enerji depolama sorunu olan bugünkü elektrikli otomobillerde tüm bu etkenlerin en aza indirilmesi gerektiği için yapılan araştırma ve geliştirme çabaları bu amaca yönelik olarak yürütülmektedir. Şekil 9'da 1350 kg ağırlığında ve 1,75 m²'lik ön yüzey alanına sahip bir aracın, yer eğimine bağlı olarak hız-güç eğrileri verilmiştir. Görüldüğü gibi eğriler, farklı yer eğimleri için verilmiştir. Ancak buradaki güçler verilen değerler için ivmesiz olarak hareket eden aracın gereksinim duyduğu güçler olup, hızlandırma için ayrıca ek bir güce gereksinim vardır.



Şekil 9. Aracın güç istemi.

2

III. ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE KULLANILAN
TAHRİK MOTORLARI

Elektrikli araçlarda güç üreten makinanın elektrik motoru olduğu göz önüne alındığında, istenen sürüş özelliklerinin elde edilmesinde motor seçiminin önemi açıkça ortaya çıkar bilindiği gibi elektrik motorları genel olarak iki gruba ayrılmaktadır.

1. Doğru akım (d.a) motorlar
2. Alternatif akım (a.a) motorları

Bu motor türleride kendi aralarında gruplandırılırsa

- 1.a. d.a. serbest uyarmalı motorlar
- 1.b. d.a. şönt uyarmalı motorlar
- 1.c. d.a. seri uyarmalı motorlar
- 1.d. d.a. kompond uyarmalı motorlar ve,

2.a a.a. senkron motorlar

2.b a.a. asenkron (indüksiyon) motorlar olarak karşımıza çıkacaktır.

Elektrikli araçlarda kullanılacak en uygun özelliklere sahip motoru seçebilmek için araç açısından önemli olan özellikler ile aday olan motorların özelliklerinin karşılaştırılması gerekecektir. Elektrikli otomobillerde kullanılacak motorlardan beklenen özellikler şöylece sıralanabilir.

1. Üretiminin ekonomik olması ve maliyetinin düşüklüğü,
2. Araç için gerekli sürüş özelliklerine sahip olması (kalkış momenti ve en büyük hız)
3. Olabildiğince hacminin küçük, ağırlığının az olması
4. İstenen özellikleri verirken enerji isteminin de düşük olması
5. Bakım ve onarımının kolay, hızlı ve ucuz olması,
6. Motorun hız ve moment kontrolü için kullanılabilecek kontrol sisteminin ekonomik olması

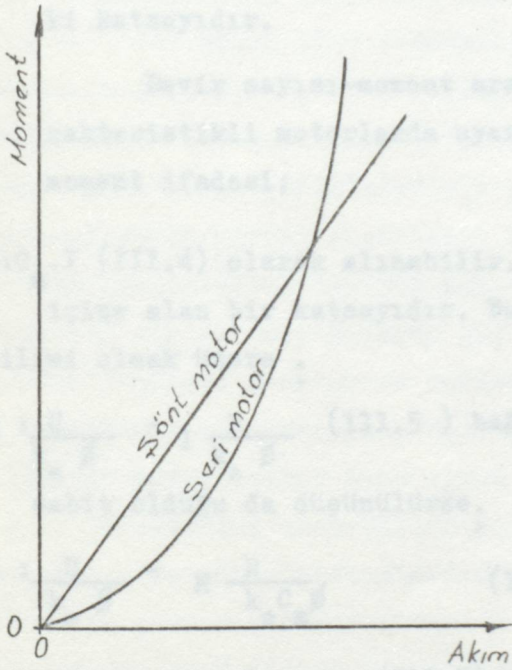
Yukarıda sıralanan özelliklerin tümünü birarada içeren bir motor henüz üretilmemektedir. Fakat buna karşın olabildiğince fazla özelliği bünyesinde barındıran motorlar kullanılmaktadır.

Motorları moment bakımından genellersek karşımıza iki tip motor karakteristiği çıkmaktadır. Bunlar aşağıda moment-akım karakteristiği

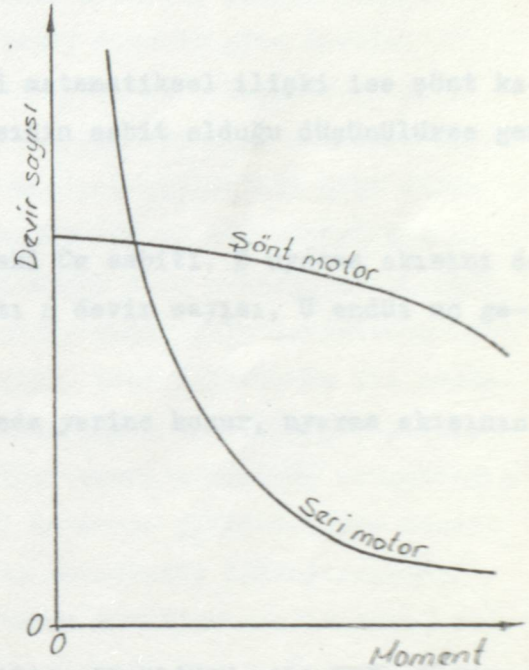
ve devir sayısı-moment karakteristikleri verilen:

1- Seri motor,

2- Şönt motorudur. Seri motor karakteristiğine sahip tek motor d.a. seri motor olmasına karşılık, güç elektroniğindeki ilerlemelerle, farklı tiplerdeki motorlardada aynı karakteristik elde edilebilmektedir. Şönt motor karakteristiğine sahip motorlar ise d.a. şönt motor ve a.a. asenkron motordur. Bazı kompond motorlar ile serbest uyarımalı motorlarda aynı karakteristiğe sahipolmasalar bile ana hatlarıyla aynı özellikleri gösterirler.



Şekil 10. Şönt ve seri karakteristikli motorlara ilişkin moment-akım eğrileri.



Şekil 11.Şönt ve seri karakteristikli motorlara ilişkin devir sayısı-moment eğrileri.

Doğru akım motorları için genel moment bağıntısı;

$$M: k_m \phi . I \text{ 'dir. Burada,} \quad (III.1.)$$

k_m : motorun yapısına ilişkin bir katsayı,

ϕ : uyarma akısı,

I : endüi akımıdır. Şönt motorlarda endüi akımı ile uyarma akısı birbirlerinden bağımsız oldukları halde, seri motorda durum farklıdır. Uyarma akımı ile endüi akımının aynı olması, uyarma akısını endüi akımına bağımlı kılar.

$$\phi : k_u . I \text{ olarak alınır} \quad (III.2.)$$

M : $k_m . k_u . I^2$ (III.3.) olur ki, momentin endüi akımının karesi ile orantılı olduğu görülür. Bağıntısı k_u , uyarma akısı ile uyarma akımı arasındaki katsayıdır.

Devir sayısı-moment arasındaki matematiksel ilişki ise şönt karakteristikli motorlarda uyarma akısının sabit olduğu düşünülürse genel moment ifadesi;

$M: C_m . I$ (III.4) olarak alınabilir. Buradaki C_m sabiti, ϕ uyarma akısını da içine alan bir katsayıdır. Bu bağıntı n devir sayısı, U endüi uç gerilimi olmak üzere ;

$$n : \frac{U}{k_e \phi} - 1 \frac{R}{k_e \phi} \quad (III.5) \text{ bağıntısında yerine konur, uyarma akısının sabit olduğu da düşünülürse,}$$

$$n : \frac{U}{k_e \phi} - M \frac{R}{k_e C_m \phi} \quad (III.6)$$

$$n : \frac{U}{C_e} - M \frac{R}{C_e C_m} \quad (III.7) \text{ elde edilir. Görüldüğü gibi bağıntı ötelenmiş bir doğrudur.}$$

Aynı bağıntıyı seri motor için çıkaracak olursak:

$$n: \frac{U}{k_e \phi} - I \frac{R}{k_e \phi} \quad \text{formülünde } \phi : k_u \text{ I yerine konarak} \quad (\text{III.8})$$

$$n: \frac{U}{k_e k_u l} - \frac{R}{k_e k_u} \quad (\text{III.9}) \text{ bulunur } k_e \text{ ve } k_u \text{ lar birer sabit ol-}$$

duklarından, çarpımlarını C_e göstermekle ;

$$n: \frac{U}{C_e l} - \frac{R}{C_e} \quad (\text{III. 10}) \text{ bağıntısı elde edilir. Görüldüğü}$$

gibi bu da, ötelenmiş bir hiperbol ifadesidir.

Elektirikli araçlarda istenen kalkış anındaki yüksek moment ile birlikte aşırı akım çekmemesi ve istenen momente göre devrini kendinin düşürmesi gibi özelliklerinden dolayı, seri karakteristikli motorlar en çok kullanılan, istenenleri en iyi verebilen motorlar olmuştur. Fakat bu özelliklerinin yanında kontrol güçlükleri gibi sorunlar nedeniyle yerini alabilecek farklı motor tip ve sistemleri arama yoluna gidilmiştir. Kontrol açısından en uygun olan serbest uyarlamalı motorlar ele alınmış gelişen güç elektroniği yardımıyla da istenen karakteristikleri göstermesi sağlanabilmiştir. Buna rağmen, en iyi sürüş koşullarının ve ekonominin elde edilebilmesi için elektroniğin gelişiminde yararlanarak daha uygun seçenekler arama zorunluğu sürmektedir.

Elektrikli otomobiller için ileri derecede geliştirilmiş deneysel motor ve sürüş sistemlerindeki önemli boyutlarda iyileştirmeler, verim ve performans açısından % 20 ye varan artışlar gösterirken, maliyetlerde de % 15'lik bir tasarruf yapma olanağı tanır. Kullanılmakta olan d.a. motorlarındaki iyileştirme çabaları, maliyetlerde ancak % 10 ve performans ile verimde ise yalnızca % 3 lük bir iyileşmeye izin verebilmektedir. Bugün üzerinde ciddi çalışmalar sürdürülen ve umut verici görülen iki ileri gelişmiş motor tipi görülür. Bunlar elektronik çeviricili (kollektörlü) motorlar ve sabit mıknatıslı motorlardır.

1- Doğru Akım Tahrik Motorlarında İyileşme:

Yüksek verimli d.a. tahrik motorlarının gelişimiyle, sistemlerin performanslarında önemli iyileşmeler olup olmayacağı tartışma konusudur. Hatta bu gelişmelerle beraber daha pahalı, daha büyük ve daha ağır olabileceği görülmüştür. Motor sistemlerinde aşağıdaki değişiklikler yapı-

larak, verimin yükseltilmesi olasıdır;

1. Endüideki direnç üzerinde oluşan kayıplar ($I_a^2 R_a$) azaltmak için sargıların iletkenliğini artırmak,

2. Alan sargılarındaki kayıpları ($I_f^2 R_f$) azaltmak için yine iletkenliği artırmak yada sabit mıknatıslı kutuplar kullanarak tümüyle ortadan kaldırmak,

3. Demir kayıplarını azaltmak için sacları inceltmek,

4. Yine demir kayıplarını azaltmak için kullanılmakta olan silisli saclardan, düşük kayıplı saclara geçmek veya endüi çekirdek boyunu uzatmak veya ikisini aynı anda yapmak.

5. Yatak, fan ve fırçaların neden olduğu kayıpları azaltmak için bunları iyileştirmek (sürtünme ve vantilasyon kayıplarını azaltmak)

6. Uyarma gereksinimini azaltmak için hava ağırlığını küçültmek

Bu değişiklikler sonucunda maliyet ve motor ağırlığı da performans verimine paralel olarak artar. Doğru akım motorlarında uyarma alanı magnetik devresi motorun gövdesi olarakta kullanılır. Buda ağırlığın artmasında büyük etken olmaktadır. Yeni asenkron motorlardaki gibi gövde, alüminyum döküm kullanılarak artan ağırlığın dengelenmesi mümkün değildir .Fakat yinede ayak, fırça bağlantıları, korunak gibi yerlerde ağırlığı azaltmak için, alüminyum ve çeşitli plastikler kullanma olanağı vardır.

Tipik olarak, elektrikli otomobillerde kullanılan tahrik motorlarındaki çalışma kayıpları ve toplam kayıplar içindeki oranları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1- Endüi bakır kayıpları (Fırça kayıpları dahil)	% 40
2- Uyarma alanı bakır kayıpları	% 15
3- Demir kayıpları	% 25
4- Mekanik kayıplar	% 20

Uyarma alanı ve endüi sargı kayıplarına, özellikle düşük hızlarda egemen olan hızlandırma anındaki yüksek akımlar burada oluşan kayıpların % 75'i için sorumlu tutulabilir. Bu kayıpları azaltarak verim ve performansı iyileştirmek için devre dirençlerini düşürmek, olası bir yol olarak görülmektedir.

Elektrikli araçlarda, uygulama bakımından birtek çalışma koşullarındaki performans ve verim hesabı fazlaca bir anlam ifade etmez. Bunun sebebi, araçların çok değişik koşullarda çalışma durumunda olmasıdır. Bu amaçlada, tüm işlevlerin değerlendirilebilmesi için, tahrikte kullanılan tüm elemanların bilgisayarla benzetimi yoluna gidilmiş, endüvi devresi direnci azaltılarak, umulduğu gibi araç menziline olumlu etkisi olduğu kesin olarak saptanmıştır. Aşağıdaki tabloda, normal motor endüvi direncini baz alarak per-unit cinsinden endüvi direncine göre araç performansı gösterilmektedir.

Direnç (p.u)	Yük (kg)	Batarya Ağırlığı (kg)	Araç Ağırlığı (kg)	72 km/h sabit Hızdaki verim (%)	Menzil (km)
1.0	135	600	1335	86.0	80.5
0.9	135	600	1335(1350)	86.6	82.5(81.0)
0.8	135	600	1335(1370)	87.2	84.2(82.4)
0.7	135	600	1335(1395)	87.8	86.1(82.5)
1.2	135	600	1335(1315)	84.9	76.1(77.7)

Tablo 4.

Yukarıdaki tablodan görülebileceği gibi hiçbir ek ağırlık olmaksızın, motor direnci % 30 azaltıldığından araç menzili %7 ve 72 km/h sabit hız için verim yalnızca %2 artmaktadır. Kalkıştaki hızlanmada ise % 8lik artış olmaktadır. Buda şehir içindeki dur-kalkın çok olduğu kullanımlarda önemli bir etkidir.

Fakat gerçekte, ağırlık, boyut ve maliyet artmadan, motor direncini düşürmek olası değildir. Örneğin, 24 HP ve 3000 d/d lik bir motor için % 30 luk direnç azaltması söz konusu olduğunda, ağırlığı da 105 kg'dan 160 kg'na (% 50 oranında artış) yükselmektedir. ağırlık artışında göz önüne alındığında, kalkıştaki moment artımı sadece % 3,5 olabilmektedir. Ayrıca menzil artışında % 2,5 ta kalmaktadır. Tabloda, parantez içindeki büyüklükler, ağırlık artışı eklendikten sonra sonraki durumlar için verilmiştir.

Değiştirilebilecek diğer noktalar ele alındığında sürtünme etkisi azaltılacak, menzilde % 0,7 lik artış vantilasyon azaltılarak % 0,4 lük menzil artışı olasıdır. Daha ince sac kullanılmak suretiyle de % 0,7 lik iyileşme söz konusu olabilir. Sözü geçen tüm yapılabilecek değişikliklerle bile aracın menzilineki artış ancak % 3.5-4 olabilecektir. Kullanılacak sacların kalitesi iyileştirilerek elde edilebilecek artış % 1,7 dolaylarındadır.

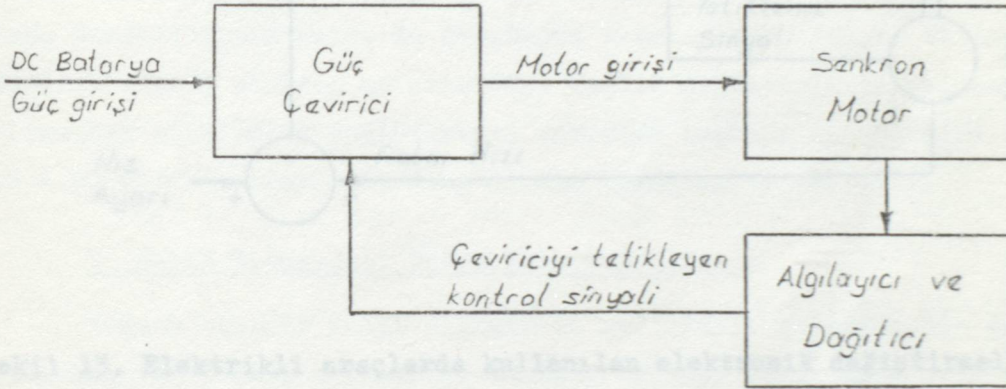
Yüksek verimli d.a. tahrik motoru daha büyük ve daha ağır olduğu gibi gerekli olan üretim tekniği de daha pahalı ve karmaşık olmak zorundadır. Bu nedenle, sadece motorda değişiklik yaparak iyileştirmeye gitmek yerine, motorları elektronik kumandası ile bir bütün sistem olarak ele alıp, değişik seçenekler aramak yoluna gidilmiştir.

2. Elektronik Değiştirmeli Motorlar :

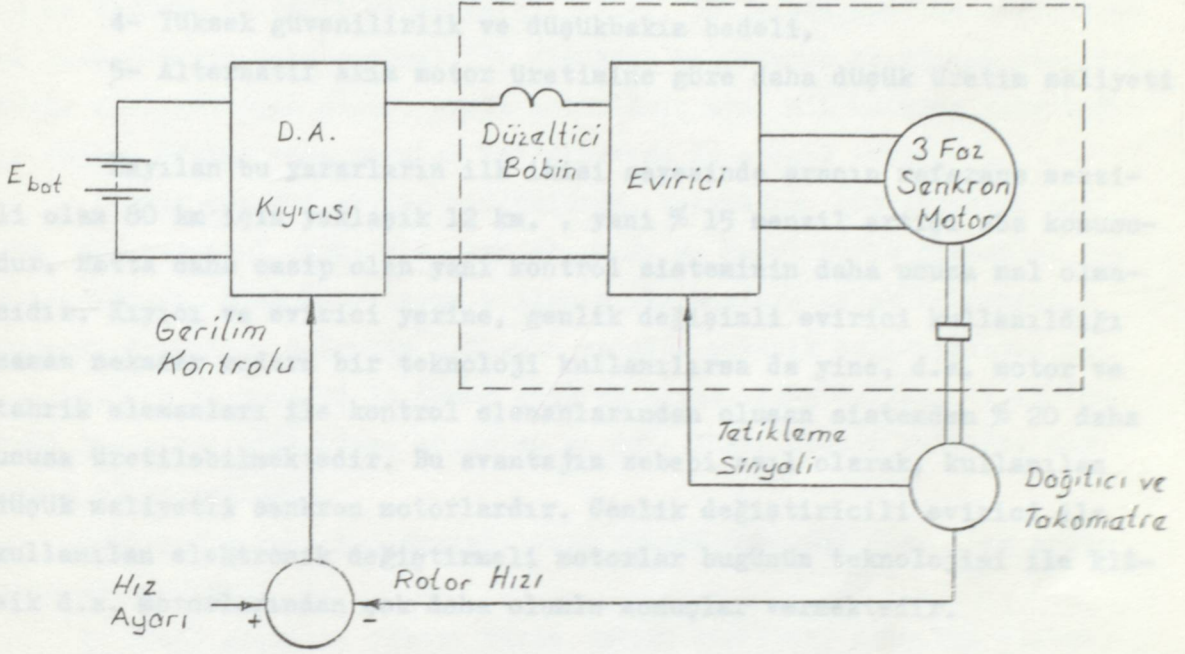
Kullanılmakta olan d.a. motorları, gövdeye tutturulmuş ve magnetomotor kuvveti üreten uyarma alanı sargılarına sahiptir. Her endüi sargısı da uyarıldığı zaman, magnetik alan oluşturur. Fırça ve kollektör düzeni , endüi magnetomotor kuvvetini sabit ve uyarma alanı magnetomotor kuvvetine göre 90°lik faz farkı ile, endüi sargılarını mekanik olarak anahtarlayan düzeneklerdir.

Kollektörün metalik yüzeyinden fırçaların kaldırılmasıyla pek çok yararlar sağlanabilir. Bunlar verim artışı, uzun ömür, az bakım, yüksek güvenlik şeklinde sayılırken, çevreye zarar vermek ve elektriksel parazitlerin seviyesinin düşmesi söz konusu olur. Yarı iletken değiştirmeli ve bir veya daha fazla geri besleme çevirimine sahip bir senkron makina, dönüştürücü olmaksızın üretilebilir. (Eğer rotorda uyarım alanı sabit mıknatıs kullanılarak elde ediliyorsa, fırça ve bilezik sistemide ortadan kalkacaktır.) Böylece yapısı basitleştiği halde d.a. seri motorların en uygun olduğu belirtilen karakteristiklerini de göstermeleri mümkün olabilir. (Bu sistem aslında kollektörsüz bir motor veya kendi kendini kontrol eden bir senkron makinadır.) Güç dönüştürücüsü elektronik değiştirmeli motorlarda (aynen motor miline monte edilmiş kollektörün anahtarlar karakteristiğine benzer şekilde) algılanan işaretlere göre sargıları anahtarlar ve kendi kendisini kontrol etmiş olur. Şekil 12'deki blokdiyagramda gösterildiği gibi mekanik çıkış hızının komutuyla motorun besleme frekansı kontrol edilir.

Momentin gelişmesi için, endüi magnetomotor kuvvetiyle rotor magnetomotor kuvveti, önceden ayarlanmış bazı açılarla yer değiştirmelidir. (Bu d.a. motorlarında 90° dir.)Kullanılmakta olan d.a. motorlarındaki kolektörün mekanik olarak yaptığı işlemleri rotor algılayıcı da, anahtarlama devrelerini izin verilen akımı geçirmek üzere periyodik olarak tetikleyerek yapmış olur. Rotorun durumu(hızı) güç çeviricinin anahtarlama frekansına etkilir. Böylece de açık çevrim senkron motorlarda ortaya çıkan, senkron devrin kaybı sorunu, burada söz konusu olmaz. Şekil 13'te elektrikli araçların tahrik sistemlerinde kullanılan bir elektronik değiştirmeli motorun blokdiyagramı gösterilmiştir.



Şekil 12. Elektronik değiştirmeli motorun prensip blok şeması.



Şekil 13. Elektrikli araçlarda kullanılan elektronik değiştirmeli motor.

Şekil 13'te gösterilen elektronik değiştirmeli motorda akım düzgünleştirci bobin evirici ve üç fazlı senkron makina aynı yapı içinde olup bir bütün şeklindedir. Sistem bu haliyle bir d.a. makinası gibi düşünülür. Dağıtıcı ile durum algılayıcılar, rotor durumunu ve endüi ile uyarma akımı arasındaki 90° lik elektriksel açığı algılar. Kısıyıcı devresi ile, aynen d.a motorlarında olduğu gibi bataryadan alınan gerilimin şekli değiştirilerek değişken gerilim elde edilir. Uyarma alanı için, rotorda, geliştirilmiş sabit mıknatıslar kullanılır. Böylece kollektör bilezik ve fırça gibi mekanik sistemlerden kaçılmış olmaktadır.

Elektronik değiştirmeli motorların kullanılmasının elektrikli araçlar için yararları şunlardır.

- 1- Daha düşük ağırlık,
- 2- Verimde % 5 artış,
- 3- Endüinin stntorda olması nedeniyle , daha fazla aşırı yüklenbilme olanağı,
- 4- Yüksek güvenilirlik ve düşükbakım bedeli,
- 5- Alternatif akım motor üretimine göre daha düşük üretim maliyeti

Sayılan bu yararların ilk ikisi sayesinde aracın referans menzili olan 80 km için yaklaşık 12 km. , yani % 15 menzil artışı söz konusudur. Hatta daha cazip olan yanı kontrol sisteminin daha ucuza mal olmasıdır. Kıyıcı ve evirici yerine, genlik değişimli evirici kullanıldığı zaman ne kadar modern bir teknoloji kullanılırsa da yine, d.a. motor ve tahrik elemanları ile kontrol elemanlarından oluşan sistemden % 20 daha ucuza üretilebilmektedir. Bu avantajın sebebi asıl olarak, kullanılan düşük maliyetli senkron motorlardır. Genlik değiştiricili evirici ile kullanılan elektronik değiştirmeli motorlar bugünün teknolojisi ile klâsik d.a. motorlarından çok daha olumlu sonuçlar vermektedir.

3. Sabit Mıknatıslı Doğru Akım Motorları :

Yüksek verimli sabit mıknatıslı motorların gelişimi ile daha uzun doluşıma olanak sağlanmış, bunlar, bilinen seri, şönt veya kompond d.a motorlarının yerini almıştır. Uyarma alanı için sabit mıknatısların kullanılmasıyla, alan sargılarındaki elektriksel kayıplar yok edilmiş daha yüksek verim ve daha derli toplu bir sistem elde edilmiştir. Sımdiki çalışmalar, sabit mıknatıslar kullanılan bu motorlarda, hız ve moment ayarınının alan kuvvetini kontrol ederek nasıl yapılabileceği yolundadır. Mıknasıtlığı ayarlanabilen daha yumuşak sabit mıknatıs malzemeleri olmasına karşın, ağır olmaları nedeniyle elektrikli araçlarda kullanılmaları olanaksız görülmektedir.

1970 li yılların başında, yeni sabit mıknatıs malzemeleri geliştirildi ve durum değişti. Hava kuvvetleri için geliştirilen bu yeni magnetlere GECOR adı verildi. Bu magnetlerin mıknatıslığının kaybolması gibi bir sorun yoktur. Fakat buna rağmen iki sorun beraberinde gelmekte, maliyet ve üretim sorun olarak görülmektedir.

Kanada'da yapılan çalışmalarla GECOR'un kullanıldığı motorlar kullanılmıştır tasarıda, silindirik yapı yerine disk şekli kullanıl-

mıştır. Kullanılan mıknatısların hafifliği ve küçüklüğü nedeniyle ve endüi demiri(nüvesi) olmayışından dolayı, klâsik bir d.a. motoruna göre çok daha küçük ve hafif olarak üretilebilmektedirler. Boyutları bakımından eşdeğerlerinin yaklaşık 1/4'üne düşürülmüşlerdir. Bu motorların mıknatıslığını yitirtecek etkilere dayanıklılığını, tam hızda endüide oluşabilecek kısa devreye bile dayanabilir olduğunu belirterek açıklamak olasıdır. Ayrıca disk şeklinde oluşu, küçük motorların aynı mil üzerine veya bağımsız olarak kaskad veya paralel bağlanmasına da olanak verir.

Bugüne dek kullanılan sistemlerde, tekerlere güç aktarımı için shaft, diferansiyel, arka mil gibi ağırlığı ve hacmi büyük elemahlar kullanılmaktaydı. Disk motorların kullanımıyla bunlara gerek kalmamakta, böylece, tekerlere doğrudan bağlantı sonucu, mekanik bağlantıların sayısı azalmış ve sonuçta da düşük araç ağırlığı, daha kullanışlı sistem küçük kayıplar, ufaltılmış boyutlar ve daha düşük üretim maliyeti sağlanmış olabilmektedir.

Prensip olarak, kullanılabilir yüksek momentli d.a. disk motorların avantajları:

- 1- Düşük ağırlık, yüksek verim, küçük kayıplar, daha iyi sistem performansı,
- 2- Doğrudan tahrik olanağı(vites ve dişli sistemine gereksinim olmaması),
- 3- Kapalı ve derli toplu bir şekil, uzunlukta küçülme,
- 4- Yüzeyin tamamını kuşatabilen soğutma şekli.

İkinci bir yaklaşım ise, sabit mıknatıslı motorları elektronik değiştirmeli motor gibi kullanabilme seçeneğidir. Alternatif akım sabit mıknatıslı motorların hepsi, rotor yapısındaki GECOR magnetlerle, hava aralığının her iki yanındaki, paralel endüi sargılarına sahiptir. Bu tip motorların verimi yaklaşık % 95 lere ulaşabilmekte, hatta aynı zamanda senkron motora göre de 1/3 oranında daha hafif olabilmektedir. Verim ve ağırlığın önemi yazının çeşitli yerlerinde vurgulanmıştır.

Kullanılan tahrik motorlarının iyileştirilmesi, söz edildiği gibi araç performansının artması bakımından önemlidir. İyileştirmeye, araç menziline % 20 lik artış, buna karşın maleytte ise % 15'lik düşme elde edilebilmektedir. Elektronik değiştirmeli motorlar ve sabit mıknatıslı motorlar gibi ileri tip motorların geliştirilmesi ile verim ve iş ya-

pabilme yeteneği, klasik d.a. tahrik motorlarına göre artmıştır.

Klasik d.a. motorları için etkin parçaların boyutlarının kabaca tasarımı için, gerekli moment ve endüi hacmi arasındaki bağıntı şu şekilde verilebilir.

$$T_n = \frac{P_n}{n_n} = \pi^2 \cdot B \cdot N \cdot I \cdot d^2 \cdot l \quad (III.11)$$

- I_n : gerekli nominal moment (N.m)
 P_n : nominal güç (N.m/s)
 n_n : nominal devir sayısı (1/s)
 B : hava aralığındaki ortalama akı yoğ. (H)
 N : endüi devresi iletken sayısı (adet)
 I : endüi akımı (A)
 d : endüi yarıçapı (m)
 l : endüi boyu (m)

Aşağıdaki tabloda, iyileştirme yoluna gidilmiş ve devir sayısı ayar sahasını genişletmek için kompozisyon sargılarının kullanıldığı bir motora ilişkin veriler gösterilmiştir.

	Normal tasarım	Kompozisyon sargılı tasarım
En büyük devir sayısı (n_{maks})	7100	7000
Tam uyarma akımındaki devir sayısı (n_{min}) (d/d)	2100	900
Uyarma skımıyla ayarlanabilen		
hızlararası oran (birimsiz)	3,4	7,8
Motor ağırlığı (kg)	85	128
En büyük çıkış gücü (P_{maks})	32	32
Endüi çapının dış çapa oranı (birimsiz)	0,6	0,73

Tablo 5.

Elektrikli bir aracın tahriği için gerekleri kuvvet ve güçlerin kabaca hesabında aşağıdaki bağıntılar kullanılmaktadır. Ağırlığı ve hızı belirlenmiş olan bir aracın hareketi için gerekecek kuvvet:

$$F = W(2,5 + 0,025 \left(\frac{V}{10}\right)^2) + 3 \left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ dir. Burada} \quad (\text{III.12})$$

F: Gerekli tahrik kuvveti (kg)

W: Aracın ağırlığı (ton)

V: Aracın hızı (km/h)

Tahrik edilen aracın hareket ettikten sonra, hareketini sürdürbilmesi için gerekli güç:

$$P_r = R \cdot M_t \cdot g \cdot V \text{ 'dir.} \quad (\text{III.13})$$

Pr: Hareket direnci yenmek için gereken güç (kw)

R : Yuvarlanma direnci katsayısı (birimsiz)

M_t : Taşıt kütlesi (kg)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

V : Aracın hızı (m/s)

Durmakta olan bir aracın hızlandırılmasına ilişkin bağıntı ise:

$$P_h = 0,5 \cdot D \cdot A \cdot p \cdot V^3 \text{ şeklinde alınmaktadır.} \quad (\text{III.14})$$

P_h : Hızlandırma için gerekli güç (kw)

D : Hava direnci katsayısı (s^2/m)

A : Aracın ön yüzey alanı (m^2)

p : Hava yoğunluğu (kg/m^3)

V : Aracın ulaşması istenen hız (m/s)

Buraya kadar verilen bağıntılar hiç bir eğim olmayan yolda ilerlediği düşünülen araçlar için verilmiştir. Eğimli bir arazide yolun eğiminden dolayı gerekecek ek güç içinde şu bağıntı alınır.

$$P_e = g \cdot M_t \cdot V \cdot \sin \alpha \quad (\text{III.15})$$

Pe: Eğim gücü (kw)

α : Yolun eğimi ($^\circ$) buradaki M_t ve V daha önceki bağıntılarda olduğu gibi aracın kütlesi ve hızıdır. Aracın, koşulları belirlenmiş bir durum için motor gücü, bu üç gücün toplamıdır. Tahrik sistemi ile motorun verimlerine de bağıntıda yer verilirse motor gücü:

$$P_m = (P_r + P_h + P_e) / \eta_{top} \text{ olacaktır.} \quad (\text{III.16})$$

IV. KONTROL SİSTEMLERİ

Elektrikli otomobillerde kullanılan kontrol sistemlerinden beklenen özellikler, öncelikle yüksek verim, dolayısıyla düşük kayıp ve motorla uyum içinde olmak, faydalı frenlemeye uygun olup, en önemli sorun olan enerjinin geri kazanılmasını sağlayabilmek, kalkışta gerekli olan yüksek momenti alabildiğince az kayıp ve zorlamayla elde etmek şeklinde sıralanabilir. Bu özelliklerin temini için farklı tip motorlarda, farklı tiplerde kontrol sistemleri denenmekte ve kullanılmaktadır. Bunlar ana hatları ile:

1. Doğru akım motorlarında kullanılan sistemler,

a. Kıyıcılı sistemler.

- Seri motorlarda kullanılan, gerilimin etkin değerini küçülterek ayar yoluna gidilen sistemler.

- Serbest uyarımalı motorlarda, endüi akımını ayarlamada kullanılan sistemler.

b. Alan kontrollü sistemler.

Serbest uyarımalı motorlarda uyarma devresine seri, seri uyarımalı motorlarda ise uyarma devresine paralel bağlı olan, uyarma alanının zayıflatılıp, nominal değerine ulaştırılarak, özellikle yüksek devirde ayar için kullanılan sistemler.

c. Batarya gerilimini değiştiren sistemler.

Özellikle kalkış anında gerekli yüksek moment, büyük endüi akımı ve bunlara karşın düşük devir sayıları ile küçük besleme gerilimi elde etmek üzere, bölünen batarya gruplarının değişik şekillerde anahtarlanarak geriliminin kademeli olarak ayarlanmasını sağlayan sistemler.

2. Alternatif akım motorlarında kullanılan sistemler,

a. Doğru akım kıyıcılı enversörler,

b. Genlik kontrollü enversörler.

Bunların d.a kıyıcılı enversörlerden olan üstünlüğü, faydalı frenlemeye olanak tanıyan sistem oluşudur.

Yukarıda söz edilen sistemler, tek veya birkaçı birarada olmak üzere bugün üretilen veya üretilmesi düşünülen ticari amaçlı otomobillerde kullanılmakta ve denenmektedir. Fakat bu sistemleri daha geniş olarak ele almadan önce klasik yol verme yöntemlerine kısaca değinmekte yarar vardır. Tahrik motoru olarak, bugüne dek kullanılan seri motoru örnek a-

lalım.

1. Doğru Akım Seri Motora Dirençle Yol Verme ve Devir Sayısının Ayarı:

$$U = k.n. \phi + R_t \cdot I \text{ 'dir. Burada; (IV. 1)}$$

k: motorda endüklenen gerilimle ilgili bir sabit,

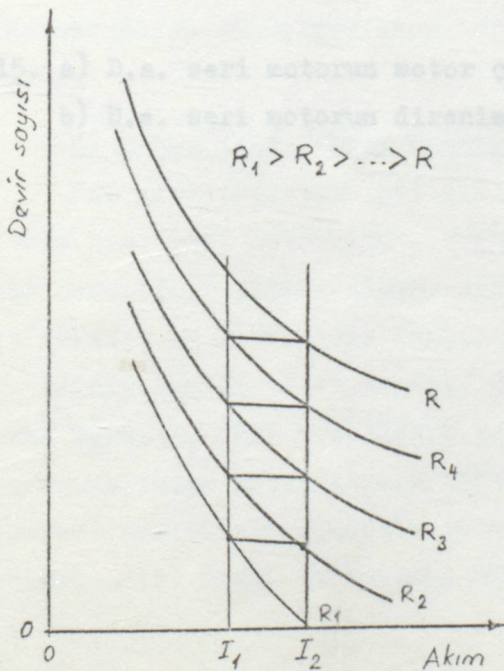
n: motorun devir sayısı, (d/d)

ϕ : kutup başına magnetik akı, (Weber)

R_t :endüi devresindeki dirençlerin toplamı, (Ω)

I: endüi akımıdır. (A)

Motora yol verirken, ilk anda endüi endüklenen gerilim (n:0 için) sıfır olur. Bu anda, motorun çekeceği akımın çok büyük olacağı açıktır. Yol alma süresince, motorun çekeceği akımı zararsız sınırlar içinde tutmak amacıyla devreye dirençler sokulur. Motor devri yükseldikçe dirençlere olan gereksinim ortadan kalkacağından, bu dirençler ya kademeli olarak yada sürekli olarak devreden çıkarılırlar. Bu durumda, her bir direnç kademesine bir devir sayısı-akım eğrisi karşılık gelecektir. Şekil 14'de kademeli dirençlere yol verilen bir d.a. seri motorunun devir sayısı-akım sayısı ayarında da kullanılabileceğidir. Klasik devir ayarı bu yöntemle yapılmaktaydı. Fakat bu yöntemle dirençlerde kaybolan enerji büyük boyutlara erişmektedir. Güç elektroniği elemanlarının gelişimiyle, çok daha küçük kayıplarla, aynı işlemlerin yapılması olanaklı duruma gelmiştir.

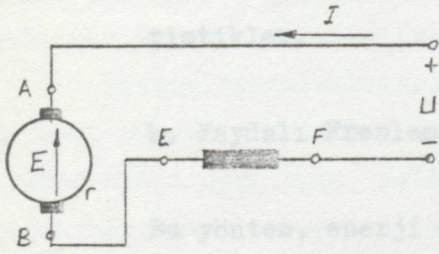


Şekil 14. Doğru Akım seri motora kademeli dirençlerle yol verilmesi ve devir ayarı.

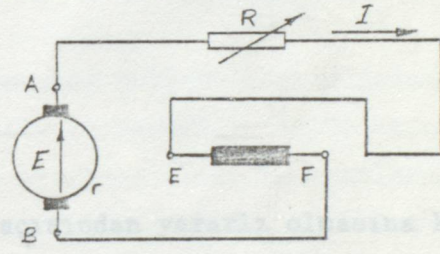
2. Doğru Akım Seri Motorun Frenlemesi:

a. Elektriksel direnitle frenleme:

Bu yöntemle frenleme, belirli bir devirle dönmekte olan motorun, generatör olarak kullanılıp, ürettiği gerilimin dirençlere uygulanarak enerjisini ısıya dönüştürülmesi temeline dayanır. D.a. seri motorda bu işlem, motorun gerilim kaynağından ayrılarak uçlarının bir direnç üzerine kapatılması, fakat bu arada akım yönü değişeceğinden uyarma olan sargılarının da uçlarının yer değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. Fren etkisinin oluşabilmesi için; toplam devre direncinin, motorun o anki devrine ait kritik dirençten küçük olması gerekir. Devre direncinin değiştirilmesiyle istenen fren kuvveti ayarlanır. Buna ilişkin bağlantı şeması ve devir sayısı-akım değişimleri şekil 15 ve şekil 16 'da gösterilmiştir.



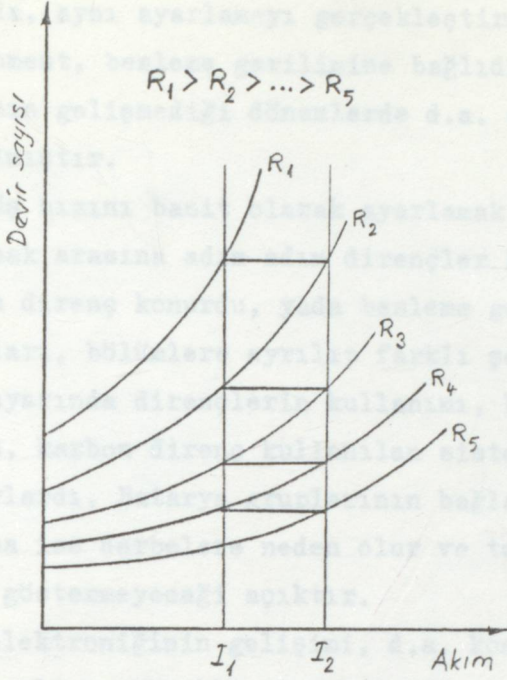
(a)



(b)

Şekil 15. a) D.a. seri motorun motor çalışma durumu

b) D.a. seri motorun direnitle frenleme bağlantısı



Şekil 16. D.a. seri motorun direnitle frenlenmesine ilişkin karakteristikler.

b. Faydalı Frenleme:

Bu yöntem, enerji ekonomisi açısından yararlı olmasına karşılık, seri motorun faydalı frenleme yapması için uyarma sargılarının ayrılması ve bir kaynaktan uyarılması gerekmektedir. Böylece, motor serbest uyarmalı generatör olarak çalışır. Milindeki frenleme momenti, elektrik enerjisine dönüştürülerek, üreyen gerilim besleme kaynağına geri verilir.

3. Doğru Akım Tahrik Sistemlerinin Gelişimi:

Güç elektroniğinin gelişimine dek, araç tahrikinde en uygun motor türü d.a. seri motorlardı. Bunun nedeni, düşük hızlarda ve kalkış anındaki momentinin yüksek oluşu, hız-moment karakteristiğinden dolayı, hareket iletici ek sistemlere fazlaca gereksinim duymamasıydı. D.a. motorları tarafından üretilen moment, uyarma sargılarının şekline bağlı olmanla beraber, seri motorların yapısından dolayı, düşük hızlarda uyarma sargılarından geçen akımın büyük olması, uyarma alanını otomatik olarak kuvvetlendirerek, momentin yüksek olmasını da, kendiliğinden sağlamış olmaktadır. Oysa, ek kontrol birimleri olmaksızın diğer d.a. mo-

motorlarında, aynı ayarlamayı gerçekleştirmek olanaksızdır. D.a. şönt motorda, moment, besleme gerilimine bağlıdır. Bu özellikler, kontrol elemanlarının gelişmediği dönemlerde d.a. seri motorunun kullanımını zorunlu kılmıştır.

Sürüş hızını basit olarak ayarlamak için, kontaktörlerle, motor ve kaynak arasına adım adım dirençler konur veya, sürekli ayar için karbon direnç konurdu, yada besleme gerilimini ayarlamak için, batarya grupları, bölümlere ayrılıp farklı şekillerde bağlanırlardı. Hız ve moment ayarında dirençlerin kullanımı, büyük enerji kayıplarına neden olurken, karbon direnç kullanılan sistemler de, aşırı bakıma gereksinim duyarlardı. Batarya gruplarının bağlantıları değiştirilerek yapılan ayarlama ise darbelere neden olur ve tek başına kullanıldığında, bir süreklilik göstermeyeceği açıktır.

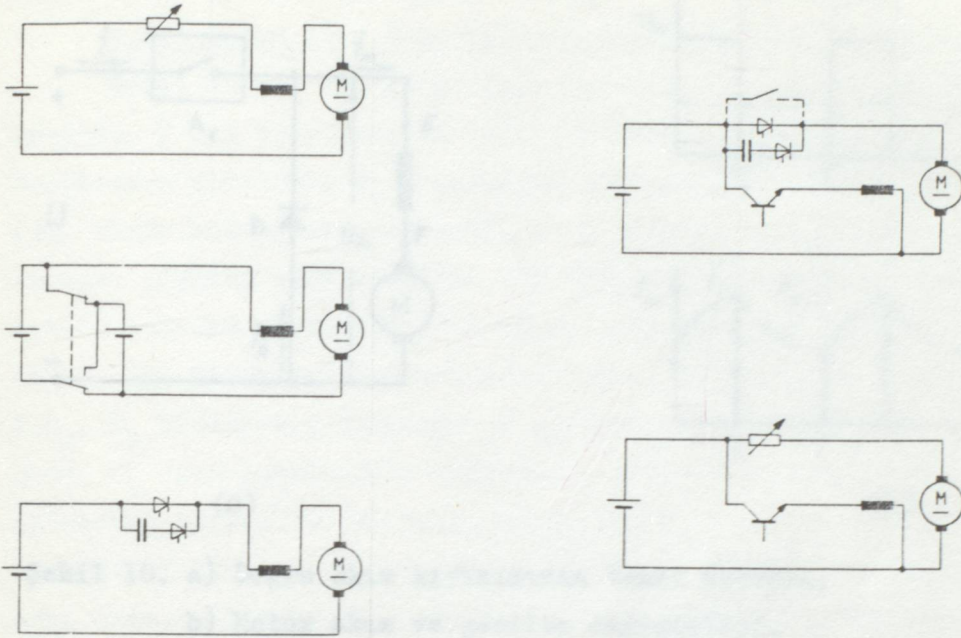
Güç elektroniğinin gelişimi, d.a. kontrolünü daha düşük kayıplarla daha az bakımla ve sürekli olarak ayarlama olanağı tanımıştır. Bu amaçla çeşitli gereksinimler için farklı özelliklerde kıyıcı devreleri ve kontrol sistemleri geliştirilmiştir.

Kıyıcı devrelerinin, d.a. motorlarında kullanılması durumunda, serbest uyarmalı motorlar daha uygun hale gelmektedir. Endüi akımı ve uyarma alanı ayrı ayrı, istendiği gibi ayarlanabilir. Bu ayarlamalar, uygun sistemlerle yapıldığında, besleme gerilimlerinden de bağımsız olabilirler. Motor hızdan bağımsız olarak, sabit güçle çalıştırılabilir. Endüi devresi ile uyarma devreleri ve kontrolleri ayrı olabileceğinden, hız sınıfı daha genişletilmiş olmaktadır. Ayrıca serbest uyarmalı motorlarda, faydalı frenlemeye geçmek için hiçbir ek birim gerekmeyecektir. Şekil 17'de, tahrik sistemlerindeki gelişim gösterilmiştir.

4. GÜÇ ELEKTRONİĞİ SİSTEMLERİ İLE KONTROL :

4.1. Doğru Akım Motorlarının Kontrolü

Doğru akım motorları, yol verme ve kontrolü, klâsik yöntemlerde olduğu gibi, akımın sınırlandırılması ve besleme geriliminin ayarlanması ile yapılır. Akım ve gerilimin ayarı, anahtarlanan bir tristörün akım iletmesi ile, tıkama sürelerinin oranına bağlı olarak, etkin değer değiştirilmesi ile yapılır.

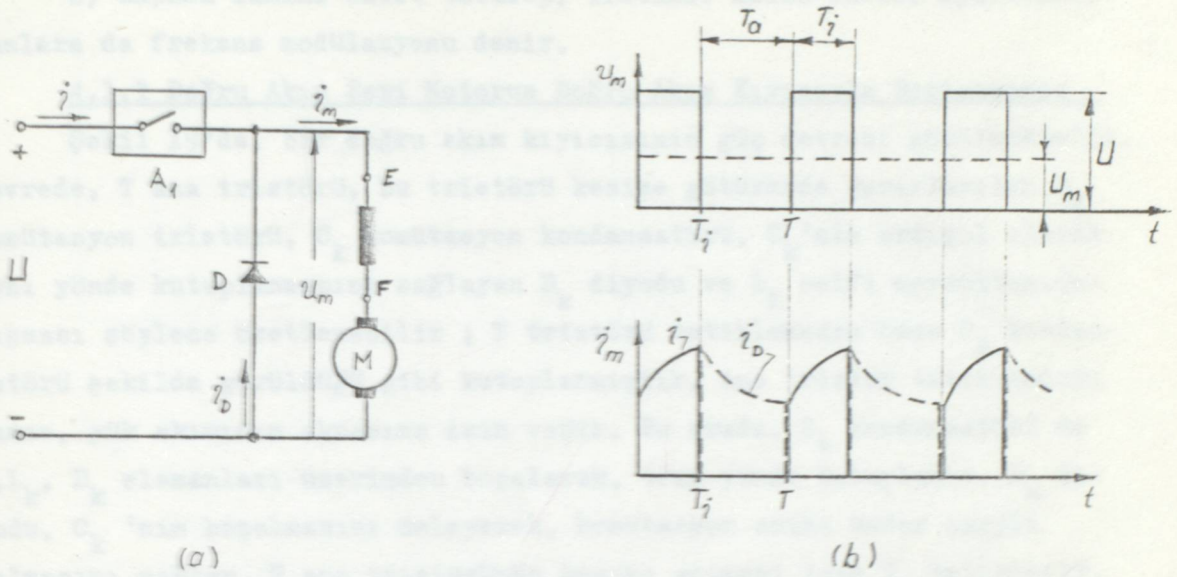


Şekil 17. Doğru akım tahrik sistemleri.

Doğru Akım kıyıcısının çalışma prensibi:

Doğru akım kıyıcısı; bir kontaklız anahtar (tristör) ve bir boşalma diyodundan oluşur. Şekil 18'de akım kıyıcısının temel devresi verilmiştir. A_1 ile gösterilen kontaklız anahtar, T_1 süresince kapalı olduğu takdirde, motora U gerilimi uygulanmış olur. Bu sürece motor akımı I_M , kaynak akımı I 'ye eşit olur. Boşalma diyodundan akım geçmemektedir.

Motor akımı, devrenin zaman sabitine bağlı olarak bir artış gösterecektir. A_1 anahtarı açılıp, T_a süresince açık kaldığı durumda motora uygulanan gerilim $U_M=0$ olur ve kaynak akımı da $I=0$ 'a düşer. Bu anda, motorun magnetik devresinde depolanmış olan enerji, motordan daha bir süre akım akmasına neden olur. Bu akım, devresini boşalma diyodundan tamalar ve akım zaman sabitine bağlı olarak gittikçe azalır.



Şekil 18. a) Doğru akım kıyıcısının temel devresi,

b) Motor akım ve gerilim değişimleri,

Motora uygulanan gerilimin periyodu;

$$T = T_i + T_a = \frac{1}{f} \quad \text{ve gerilimin ortalama değeri de; (IV. 2)}$$

$$U_m = T_i / (T_i + T_a) \cdot U \quad \text{ve,} \quad U_m = T_i \cdot f \cdot U \text{ dir. (IV. 3)}$$

T_i/T darbe oranı değiştirilerek, motor geriliminin ortalama değeri, sürekli olarak ayarlanabilir. Bu ayarlama, kontaklı anahtardaki kayıplar ihmal edilirse kayıp yok sayılabilir. Kaynaktan çekilen akımla motorun çektiği ortalama akım arasındaki bağıntı da aşağıdaki

$$I = T_i \cdot f \cdot I_m \quad \text{(IV. 4)}$$

Doğru akım kıyıcılarında gerilim ayarı için, iki sistem kullanılır;

1- Sabit frekans sistemi: Bu sistemle ayarlama, frekans sabit tutulur ve sabit periyot içinde iletimde olma zamanı değiştirilir. Buna darbe genişlik modülasyonu denir.

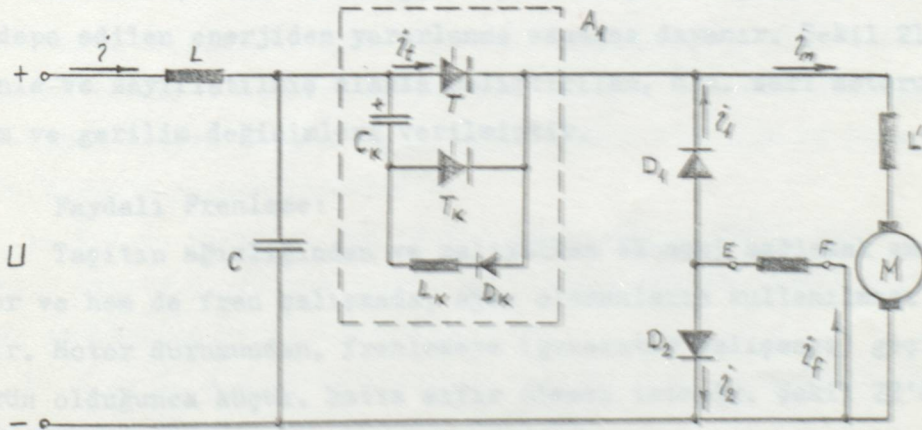
2. Değişken frekans sistemi : Bu sistemde, iki farklı tarzde ayarlama yapılır.

- a) Açma zamanı sabit tutularak, kesim süresi ayarlanır, veya,
- b) Kapama zamanı sabit tutulup, iletimde kalma süresi ayarlanır.

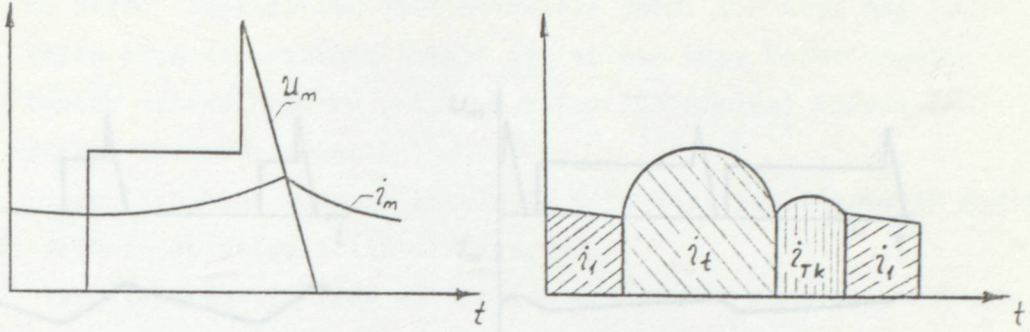
Bunlara da frekans modülasyonu denir.

4.1.1 Doğru Akım Seri Motorun Doğru Akım Kıyıcısıyla Beslenmesi:

Şekil 19'da, bir doğru akım kıyıcısının güç devresi görülmektedir. Devrede, T ana tristörü, bu tristörü kesime götürmede yararlanılan T_k komütasyon tristörü, C_k komütasyon kondansatörü, C_k 'nin ardışıl olarak aynı yönde kutuplanmasını sağlayan D_k diyodu ve L_k selfi mevcuttur. Çalışması şöylece özetlenebilir ; T tristörü tetiklenmeden önce C_k kondansatörü şekilde görüldüğü gibi kutuplanmıştır. Ana tristör tetiklendiği zaman, yük akımının akmasına izin verir. Bu arada, C_k kondansatörü de T, L_k , D_k elemanları üzerinden boşalarak, ters yönde kutuplanır. D_k diyonu, C_k 'nin boşalmasını önleyerek, komütasyon anına kadar şarjlı kalmasını sağlar. T ana tristörünün kesime geçmesi için T_k tetiklenir. Bu anda, besleme gerilimi ile C_k üzerinden yüklenmiş olan gerilimler, seri bağlı olduklarından toplanır. Toplam gerilimin değeri, besleme gerilimi ile C_k üzerinde yüklenmiş olan gerilimler, seri bağlı olduklarından toplanır. Toplam gerilimin değeri, besleme geriliminden yüksek olduğu için, akım, T_k tristöründen geçer. Böylece iletimden çıkan T ana tristörü, söndürülmüş olur. T_k 'dan geçen akım, C_k 'nin boşalıp, yeniden ilk anki yönde kutuplanmasına dek sürer ve kesilir. Bu işlemler, tetikleme periyod ve şekillerine uygun olarak süregider.



Şekil 19. Otomatik alan ayarlatmalı d.a. seri motorun, d.a. kıyıcısıyla beslemeli

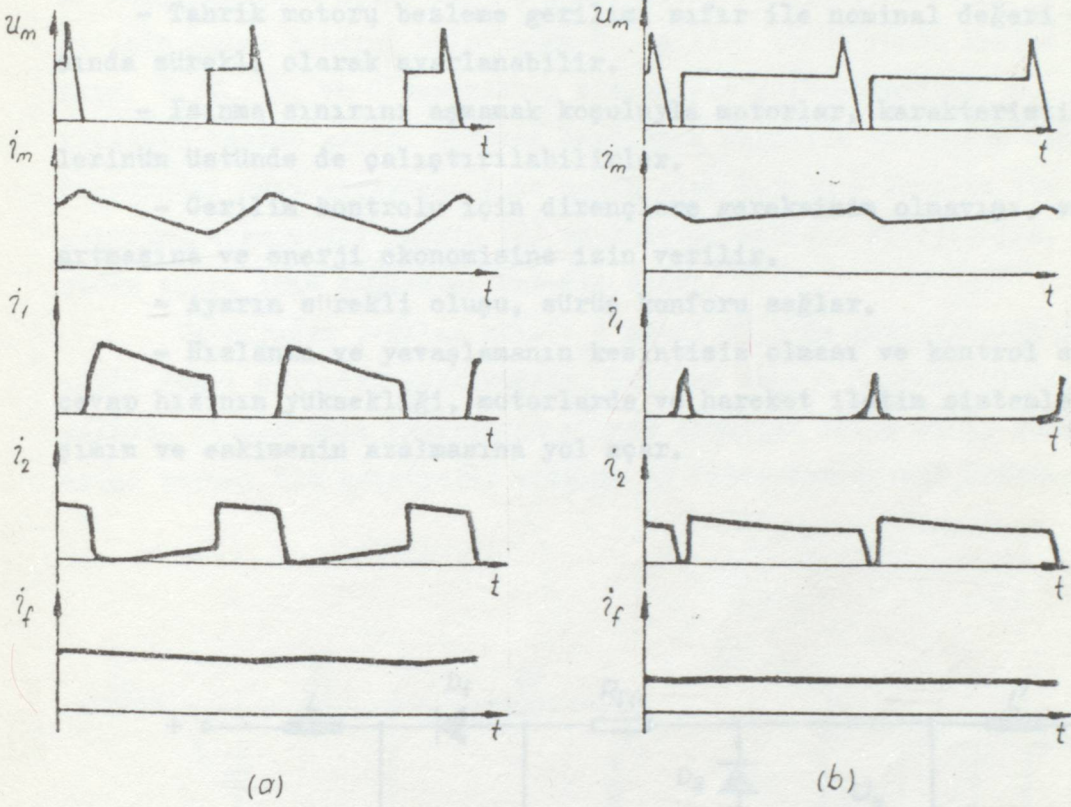


- \dot{I}_{Tk} : Komütasyon tristöründen geçen akım
 \dot{I}_m : Motor endüi akımı
 \dot{I}_T : Ann tristör akımı
 U_m : Motor endüi gerilimi
 \dot{I}_1 : Geri besleme akımı.

Şekil 20. Otomatik alan zayıflatma yöntemi, motor veya fren çalışmada, yüksek hızlar için kullanılır. Alan zayıflatması iki şekilde yapılabilmektedir. Birinci yöntemde, d.a. seri motorun uyarma sargısı iki bölümden oluşur. Sargılardan biri endüiye seri bağlıdır. Diğer sargı ise, serbest dolaşım diyodu ile şöntlenerek, tüm devreye paralel girer. Ancak bu yöntemde, paralel bağlı sargılarda da ayrıca bir d.a. kısıyıcısı kullanılmaktadır. Bu da, bir sakınca oluşturur. Bunun yerine, şekil 19'da gösterilen montaj şekline sahip, ikinci yöntem kullanılabilir. Buradaki devre, serbest dolaşım diyotları yardımıyla, uyarma sargısında depo edilen enerjiden yararlanma esasına dayanır. Şekil 21'de normal alanla ve zayıflatılmış alanla çalıştırılan, d.a. seri motoruna ilişkin akım ve gerilim değişimleri verilmiştir.

Faydalı Frenleme:

Taşıtın ağırlığından ve maliyetten ekonomi sağlanmak amacıyla, hem motor ve hem de fren çalışmada, aynı elemanların kullanılması yoluna gidilir. Motor durumundan, frenlemeye (generatör çalışmaya) geçişte, akımın mümkün olduğunca küçük, hatta sıfır olması istenir. Şekil 22'de faydalı frenlemenin yapılabildiği, örnek bir fren devresi verilmiştir. Sisteme ek olarak, birde yardımcı kaynağa gereksinim vardır. Uy yardımcı kayna-



Şekil 21. a) Normal alanla b) Zayıflatılmış alanla çalışan d.a. seri motorun akım ve gerilim değişimleri.

ğından uyarma sargısına, akım darbeleri uygulanarak, fren kuvvetinin oluşmasına yardımcı olunur. Devre, hem faydalı ve hemde direnitle frenlemeye uygun olarak tasarlanmıştır. Faydalı frenleme ve direnitle frenleme üç bölümde gerçekleşmektedir.

a. T, d.a. kıyıcısı tek başına iletimdedir. Endüi akımı, uyarma sargısı ve T tristörü, yolunu izler. Bu bölümün süresi, endüi geriliminin besleme gerilimine oranı ile belirlenir.

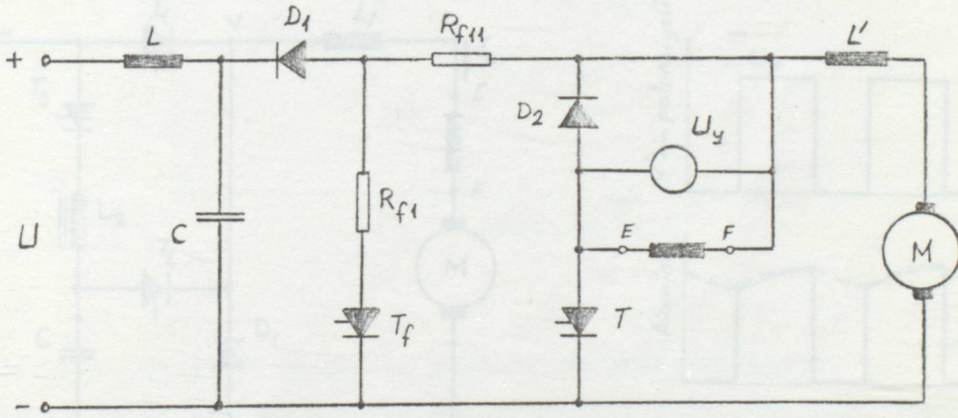
b. T ve T_f d.a. kıyıcılarının her ikisi de kesimdedir. Endüi akımı D_1 geribesleme diyodu ile kaynağa iletilir.

c. T_f , d.a. kıyıcısı iletimdedir. Bu bölümde direnitle frenlemeye geçilmiştir. Frenleme enerjisi, kaynağa verilmeyerek, endüi akımı R_{f1}

frenleme direnci üzerinden akıtılır. R_{f11} direnci ise yüksek hızlarda frenleme yapılacağı zaman devreye girerek, fren kuvvetinin tam uygulanmasını ve hatta oluşabilecek kısa devrelere karşı korumayı sağlar.

Doğru Akım Kıyıcısının Klâsik Sistemlere Göre Üstünlükleri:

- Tahrik motoru besleme gerilimi sıfır ile nominal değeri arasında sürekli olarak ayarlanabilir.
- Isınma sınırını aşmamak koşuluyla motorlar, karakteristik değerlerinin üstünde de çalıştırılabilirler.
- Gerilim kontrolü için dirençlere gereksinim olmayışı, verimin artmasına ve enerji ekonomisine izin verilir.
- Ayarın sürekli oluşu, sürüş konforu sağlar.
- Hızlanma ve yavaşlamanın kesintisiz olması ve kontrol sisteminin cevap hızının yüksekliği, motorlarda ve hareket iletim sistemlerinde aşımın ve eskimenin azalmasına yol açar.

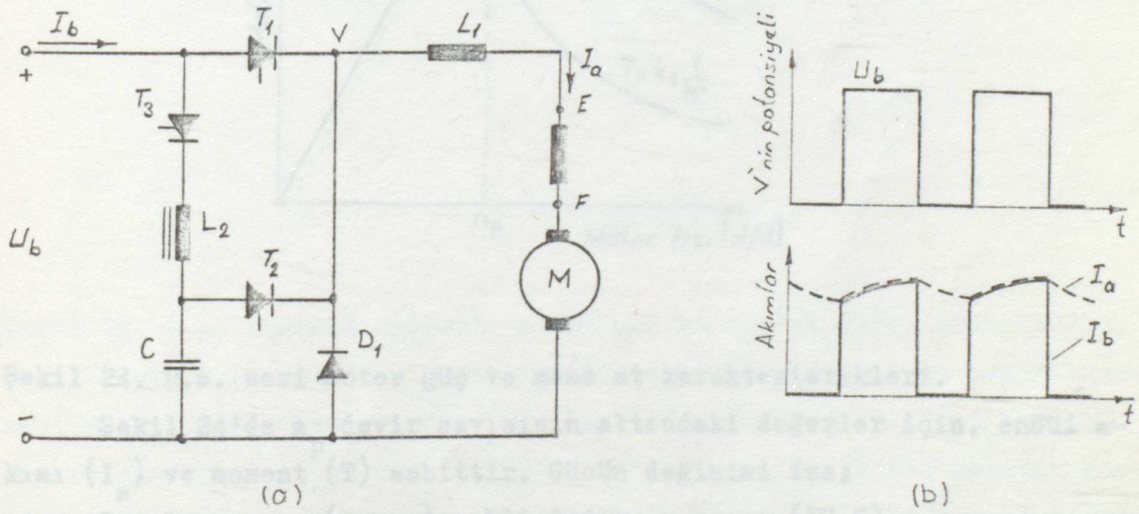


Şekil 22. Faydalı ve dirençle frenlemeye olanak tanıyan d.a. kıyıcılı kontrol devresi

4.1.2 Doğru Akım Kıyıcılı Sistemler:

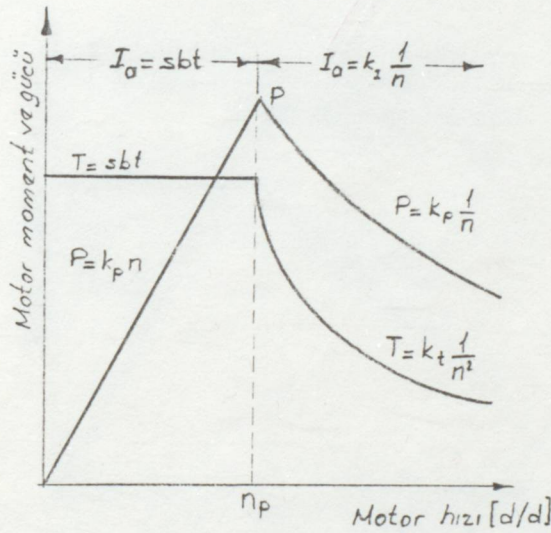
Şekil 23'de gösterilen d.a. kıyıcılı kontrol devresi, motor hız ayar alanını, düzgün bir şekilde kontrol edip, ayar alanını genişletmeyi sağlayabilmek için, kazanç genişliğine sahiptir. Besleme gerilimi, iletimde kalma oranını belirleyen T_1 anahtar tristörünün kesime geçirmek için, T_2, T_3, L_2 ve C komütasyon elemanları kullanılmıştır. L_1 selfi, T_1 tristörü kesime geçip, motorda depolanan magnetik enerjiden dolayı D_1 diyodundan akım geçerken, buna neden olan kıyılmış gerilim ile motor gerilimi arasındaki farkın (V) azalmasını sağlar. Dolayısıyla, bu devreden aşırı akım geçmesini önlemiş olur.

Bataryadan çekilen akım (I_b) şekil 23.b'de gösterildiği gibi, sürekli değil darbeler şeklindedir. Çekilen akımın darbeli oluşu, bataryalarda oluşan omik kayıpların yüksek olmasına neden olur. Bunu önlemek için, kıyıcı ile bataryalar arasına ek filtreler koymak gerekmektedir.



Şekil 23. a) D.a. kıyıcılı kontrol devresi,
b) Kıyıcıya ilişkin akım, gerilim değişimleri.

Şekil 24'de, enbüyük endüi akımına ayarlanmış, d.a. kıyıcılı sistemin, hıza bağlı olarak, moment ve güç değişimleri gösterilmiştir. Tam batarya gerilimi ile çalışmaya ilişkin nokta P harfi ile gösterilmiştir. Değişimlerden görüleceği gibi, n_p 'den küçük devir sayıları için, moment sabit, güç ise devre bağlıdır. P noktasının üzerinde, d.a. seri motoru, sabit gerilim ve zayıflamış endüi-alan akımları ile çalışır. Basit bir seri motorda, alan akımına bağlı olan endüi akımı, alan akımı azaltıldığı zaman düşer ve çıkış gücü, şekilde gösterildiği gibi azalır. Fakat alan sargularından paralel olarak bir akım geçirtilerek, n_p 'nin üzerindeki hızlarda güç, daha iyi olacak şekilde sabit tutulabilir.



Şekil 24. D.a. seri motor güç ve moment karakteristikleri.

Şekil 24'de n_p devir sayısının altındaki değerler için, endüi akımı (I_a) ve moment (T) sabittir. Gücün değişimi ise;

$$P = k_p \cdot n \quad (n < n_p) \text{ şeklindedir.} \quad (IV.5)$$

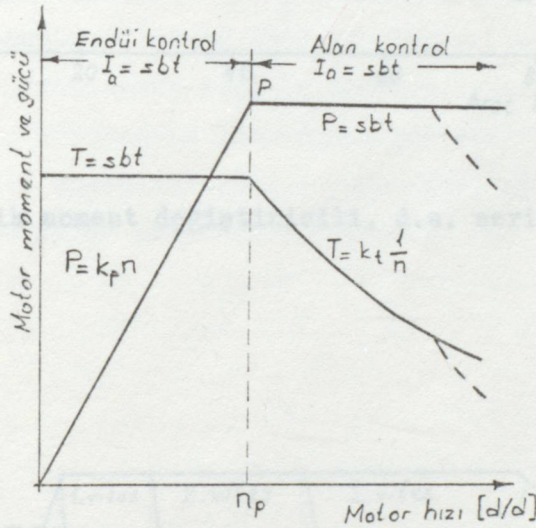
n_p 'den büyük devir sayıları ($n > n_p$) için:

$$I_a = k_i \cdot \frac{1}{n} \quad (IV.6)$$

$$T = k_t \cdot \frac{1}{n^2} \quad (IV.7)$$

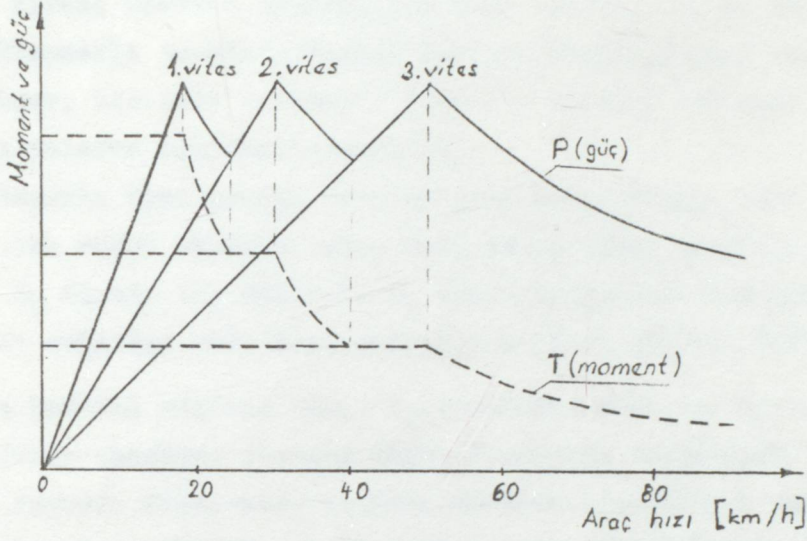
$$P = k_p \cdot \frac{1}{n} \text{ 'dir.} \quad (IV.8)$$

Yüksek hızlarda, yüksek performans, serbest uyarımalı motor kullanılarak elde edilebilir. Şekil 25'te karakteristik eğrileri gösterilen, d.a. serbest uyarımalı motorun, endüi kontrol bölgesinde, uyarı alanı tam ve sabittir. Bu anda endüiye uygulanan gerilim, endüi akım kıyıcısı tarafından kontrol edilir. n_p devir sayısından büyük devir sayıları için, alan kontrol bölgesine geçilir. Bu bölgede, endüiye tam batarya gerilimi ve alan sargılarını da, hızla ters orantılı olarak zayıflatılan uyarı akımı uygulanır. Güç, hızla ters orantılı olarak değişen momente karşılık, sabit kalır. Şekilde kesik çizgilerle gösterilen, yüksek hızlardaki moment ve güç azalması, komütasyon etkisi ile oluşmaktadır.

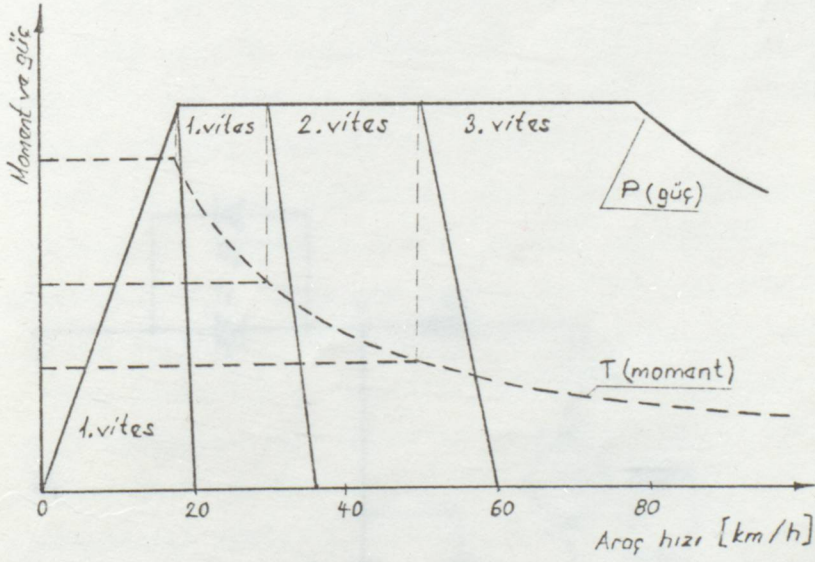


Şekil 25. D.a. serbest uyarımalı motor güç ve moment karakteristikleri.

Tahrik sisteminde, elektronik kontrol yanında bir de mekanik moment değiştirici (Vites kutusu) kullanılması, motor momentini artırma bakımından büyük yarar sağlar. Şekil 26'da, üç vitesli bir mekanik moment değiştiriciye sahip d.a. seri motorlu sistemin, güç ve moment değişimleri, yine hıza bağlı olarak gösterilmiştir. Düşük hızlardaki performans ve yokuş çıkabilme yeteneği, momentin artırılabilir olması sayesinde oldukça büyütülmüştür. Serbest uyarımalı motorlarda kullanılan birbirlerinden bağımsız endüi ve alan akım kontrollerinin yararları da şekil 27'den görülebilir. Alan kontrolü bölgesinde elde edilebilen sabit güç, daha geniş hız sınırlarında, en büyük gücün alınabilmesini sağlar.



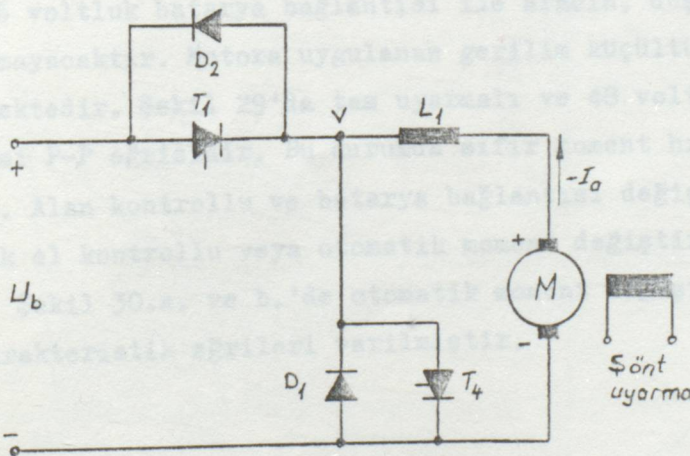
Şekil 26. Mekanik moment değıştircili, d.a. seri motor tahrik sistemi.



Şekil 27. Mekanik moment değıştircili, d.a. serbest uyarmalı motor tahrik sistemi.

İnişte veya yavaşlatmada, güvenlik açısından motorun kullanılması önemlidir. Bu sırada motor generatör olarak çalışır ve mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürür. Dinamik frenleme kuvveti, motor bir direnç üzerine kapatılarak elde edilebilir. Bu yöntemle yavaşlama sağlanmakla beraber, yeniden kullanılabilen elektrik enerjisi, direnç üzerinde harcanır. Oysa ki, faydalı frenleme ile bu enerji, bataryalarda saklanabilmektedir.

Faydalı frenlemede, bataryaların doldurulması için, tersine akacak olan endüi akımına, akım yolu tesis etmek gerekir. Bu şekil 28'teki D_2 diyodu ile sağlanır T_4 tristörü, motorun ürettiği gerilimin etkin değerini ayarlamak amacıyla kontrol edilir. Böylece I_a akımı da kontrol edilmiş olur. T_4 tristörü, yalnızca T_2 tristörü ke-simde olduğu zamanlar ilettime geçecek şekilde tetiklenebilir. Şekil 28'deki faydalı frenlemeye ilişkin devrede, tristörleri söndürmek için kullanılan, komütasyon elemanları gösterilmemiştir. Faydalı frenleme ile geri kazanılan enerji sayesinde, aracın verimi ve dolayısıyla menzili de artırılmış olunur.



Şekil 28. Faydalı frenleme devresi.

4.1.3. Alan Kontrollü Sistemler

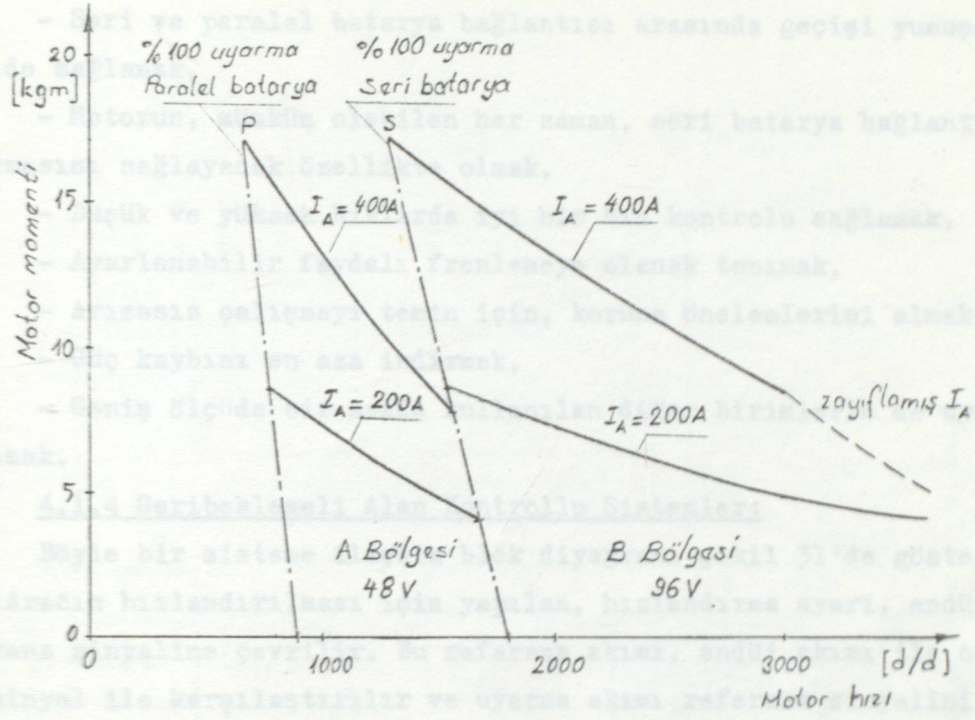
Ağırlık, boyut ve maliyet avantajlarının olabileceği düşünülerek serbest uyartımlı d.a. makinaları için geliştirilen, düşük güçlü alan kontrol sistemleri, düşük hızlarda da endüi akımı kıyıcısı olmaksızın, yeterli performans elde edilebilirse, kontrol için tüm yükü üzerine alabilecektir.

Alan kontrollü sistemlere örnek olarak, denenen bir otomobili alırsak, özellikleri aşağıda açıklandığı şekilde karşınıza çıkar:

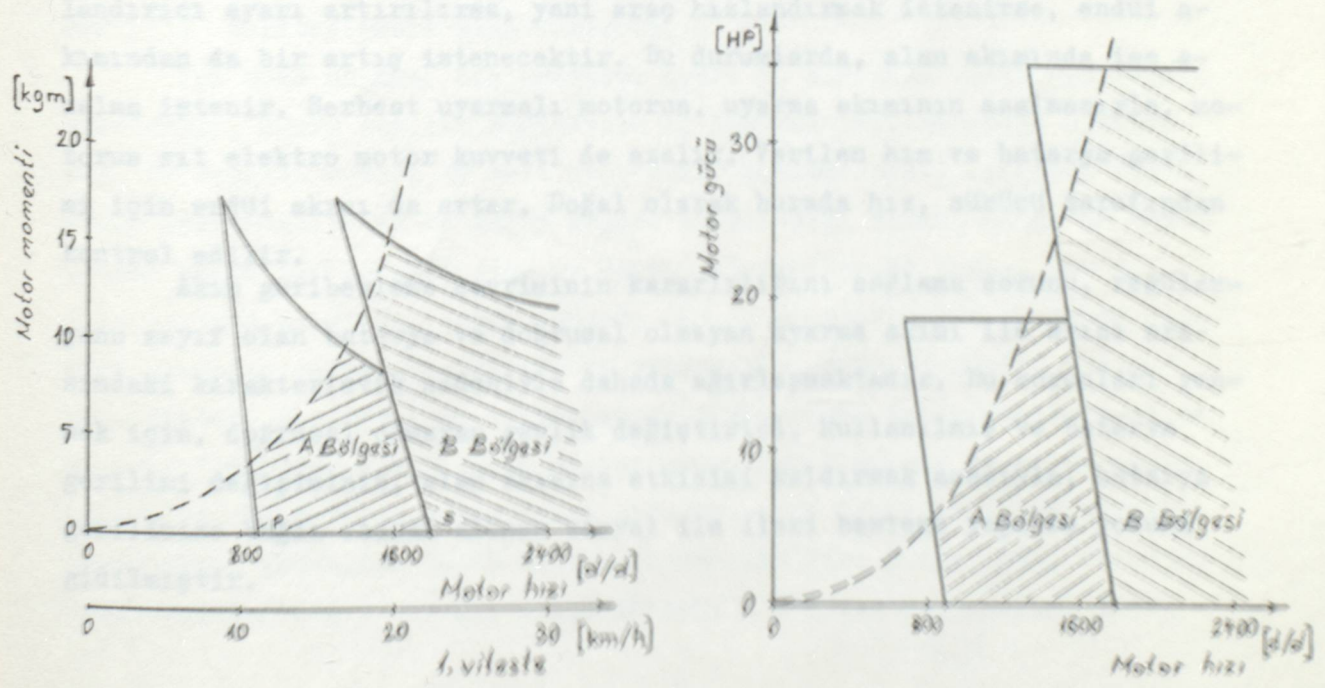
400 A'lik bir endüi akımı kıyıcısına sahip d.a. seri motorlu otomobilde, el kontrollü, üç vitesli bir mekanik moment değiştirici ile 16 adet, 6 şar voltluk kurşun asid batarya mevcuttu. Bu sistem, alan kontrollü olarak değiştirildi. Seri motor, uyarma sargıları değiştirilip, 12 A lik uyarma akımında, tam alan akısı oluşturabilecek şekilde, serbest uyarmalı motor haline dönüştürüldü. Bataryalar ikiye ayrılarak, sekizerli gruplar halinde bağlandı. Böylece iki grup seri bağlandığı zaman 96 volt ve 50 mili ohmluk bir kaynak, paralel bağlandığında ise 48 volt ve 12,5 miliohmluk bir kaynak elde edilmiş olmaktadır. Bataryalardaki bu bağlantı değişikliği yoluyla, motorun kalkış momenti yükseltilirken, bu anki kayıpları da azaltılmış olmaktadır. Bu durumlara ilişkin moment-hız değişimleri şekil 29'da gösterilmiştir. 96 voltluk bağlantıda elde edilen güç 34 HP, 48 voltluk bağlantıda elde edilebilecek güç ise 18 HP olmasına karşılık, yol alma anındaki uygunluk nedeniyle, batarya geriliminin değiştirilmesi yöntemi, verimli bir yöntemdir.

96 voltluk batarya bağlantısı ile aracın, düşük devir performansı uygun olmayacaktır. Motora uygulanan gerilim küçültülerek durum iyileştirilebilmektedir. Şekil 29'da tam uyarmalı ve 48 volt ile beslenen motorun eğrisi P-P eğrisidir. Bu durumda sıfır moment hızı 1900 d/d'ya düşmektedir. Alan kontrollü ve batarya bağlantısı değiştirmeli sistemlere ek olarak el kontrollü veya otomatik moment değiştiriciler de kullanılabilir. Şekil 30.a. ve b.'de otomatik moment değiştiricili deney aracının karakteristik eğrileri verilmiştir.

Gelişmiş bir alan kontrolünden beklenen özellikler şöylece sıralanabilir.



Şekil 29. Alan kontrollü serbest uyarımalı motorun, batarya bağlantısı değiştirilerek elde edilen moment karakteristiği.



Şekil 30. Otomatik şanzumanlı ve batarya bağlantısı değiştiricili motorun moment ve güç karakteristikleri.

Gelişmiş bir alan kontrolundan beklenen özellikler şöylece sıralanabilir.

- Seri ve paralel batarya bağlantısı arasında geçişi yumuşak bir şekilde sağlamak,

- Motorun, mümkün olabilen her zaman, seri batarya bağlantısında çalışmasını sağlayacak özellikte olmak,

- Düşük ve yüksek hızlarda iyi bir hız kontrolu sağlamak,

- Ayarlanabilir faydalı frenlemeye olanak tanımak,

- Arızasız çalışmayı temin için, koruma önelemlerini almak,

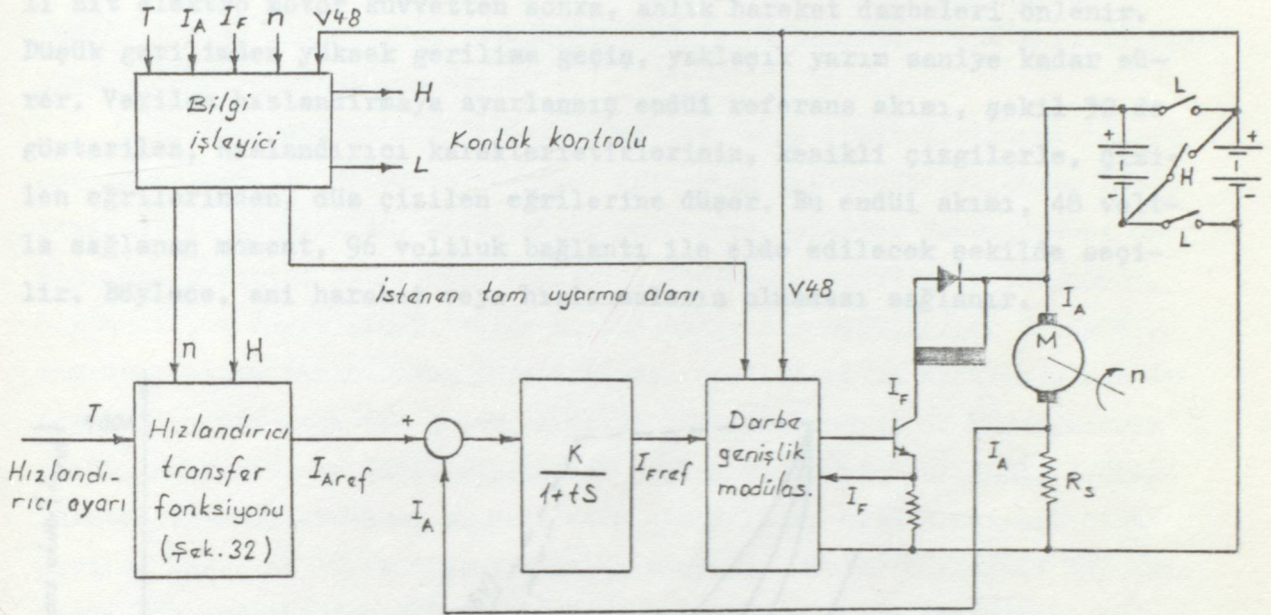
- Güç kaybını en aza indirmek,

- Geniş ölçüde bir arada kullanılan diğer birimlerle de uyumlu çalışmak.

4.1.4 Geribeslemeli Alan Kontrollü Sistemler:

Böyle bir sisteme ilişkin blok diyagramı şekil 31'de gösterilmiştir. Aracın hızlandırılması için yapılan, hızlandırma ayarı, endüi akımı referans sinyaline çevrilir. Bu referans akımı, endüi akımı ile orantılı bir sinyal ile karşılaştırılır ve uyarma akımı referans sinyalini elde etmek için, hata sinyali ile karşılaştırılır ve uyarma akımı referans sinyalini elde etmek için, hata sinyaliyle işleme alınır. Alan referans sinyali, 12 amperlik tam uyarma akımını taşıyabilen çıkış güç transistörlerine sahip, 2 kHz'lik bir genlik değiştirme devresine kumanda eder. Hızlandırıcı ayarı artırılırsa, yani araç hızlandırmak istenirse, endüi akımından da bir artış istenecektir. Bu durumlarda, alan akımında ise azalma istenir. Serbest uyarmalı motorun, uyarma akımının azalmasıyla, motorun zıt elektro motor kuvveti de azalır. Verilen hız ve batarya gerilimi için endüi akımı da artar. Doğal olarak burada hız, sürücü tarafından kontrol edilir.

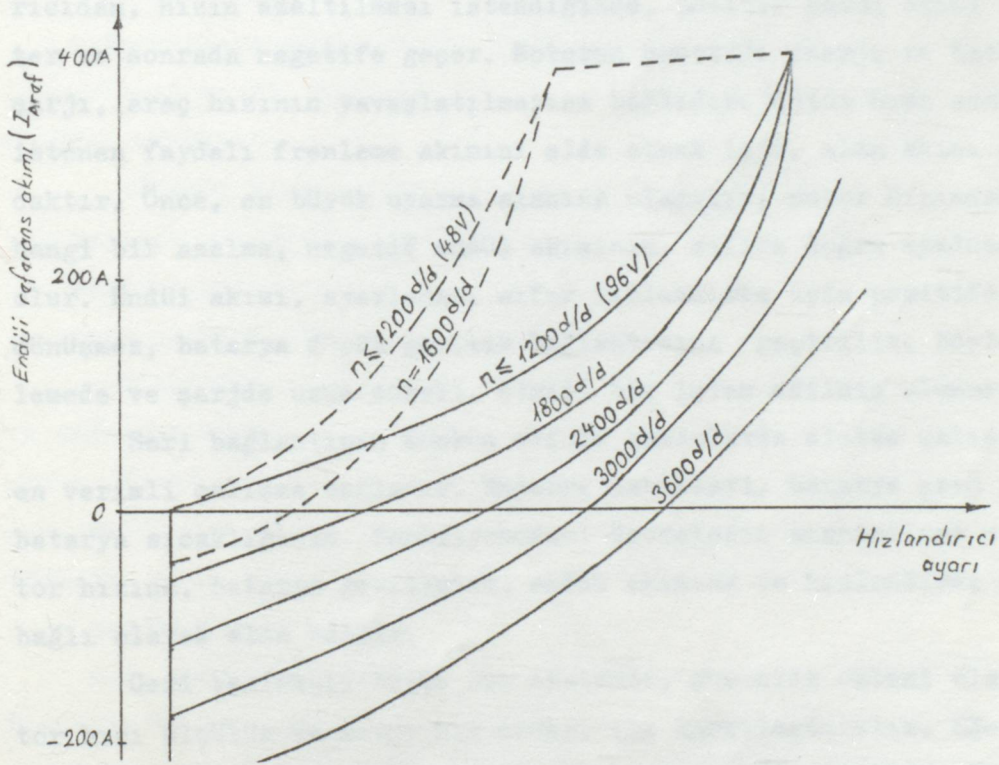
Akım geribesleme çevriminin kararlılığını sağlama sorunu, regülasyonu zayıf olan batarya ve doğrusal olmayan uyarma akımı ile akısı arasındaki karakteristik nedeniyle dahada ağırlaşmaktadır. Bu sorunları yenmek için, doğrusal olmayan genlik değiştirici, kullanılmış ve batarya gerilimi değişiminin, alan akımına etkisini kaldırmak amacıyla, batarya gerilimine bağlı olarak alınan sinyal ile ileri besleme yapılma yoluna gidilmiştir.



Şekil 31. Geribeslemeli alan kontrolü.

Yol alma anında, hızlandırıcı ayarı T, sıfırdan büyük bir değere ayarlanmış, düşük gerilim kontaktörü L, kontaklarını kapatmış olmaktadır. Bu şekilde motora 48 volt uygulanır. Hızlandırıcı, sıfırdan büyük, fakat ayarlanabilecek en küçük değere ayarlandığı zaman, motor en büyük uyarma akımı ile hareket eder ve devrin ulaşabileceği değer, 950 d/d dolaylarında olur. Bu, içten yanmalı bir araç motorunun en küçük devrine karşılık gelir. Kavramanın da yardımıyla, araç ağır ağır ilerlemeye başlar. Hızlandırıcı (İçten yanmalı motorlara sahip araçlardaki deyimle "gaz")'ya basıldıkça, uyarma akımı zayıflatılır ve endüi akımı artırılır. Bu şekilde motor devri artarak, araç hızlanır. Park yerinde çalışırken, istenirse düşük hızlar kullanılabilir. Bunun için, bataryaların paralel bağlı olduğu, şekil 29'taki A bölgesi kullanılır, Endüi

akımı, bu kullanımda en fazla 400 ampere çıkabilir. Motor hızı arttığı zaman, yüksek gerilimli seri bağlantıya geçilir. Böylece şekil 29'taki B bölgesi elde edilir. Uyarma alanının tam değerinde, S-S doğrusu üzerinde çalışılır. Önce, düşük gerilim kontakları açılır. Uyarma akımı, tam değerine yükseltilir ve sonra yüksek gerilim kontakları H kapatılır. Motorda yüksek dalga akımlarını önlemek için, bunu sağlayabilecek yeterli zıt elektro motor kuvvetten sonra, anlık hareket darbeleri önlenir. Düşük gerilimden yüksek gerilime geçiş, yaklaşık yarım saniye kadar sürer. Verilen hızlandırmaya ayarlanmış endüi referans akımı, şekil 32 de gösterilen, hızlandırıcı karakteristiklerinin, kesikli çizgilerle, çizilen eğrilerinden, düz çizilen eğrilerine düşer. Bu endüi akımı, 48 voltla sağlanan moment, 96 voltluk bağlantı ile elde edilecek şekilde seçilir. Böylece, ani hareket veya hızlanmaların olmaması sağlanır.



Şekil 32. Hızlandırıcının transfer fonksiyonları.

Eğer, büyük hızlandırma istenirse, kontrol edicinin en büyük endüi akımında ve düşük gerilim bağlantısında, karakteristiklerin A bölgesinde çalışması sağlanır. Devir sayısı, ayarlanan hızlandırıcı ile, B bölgesinde, istenen akıma karşılık gelen S-S noktaları arasındaki devre yükselir yükselmez, gerilimin yükselmesi, yani bataryaların seri bağlanması, çalışma noktasının B bölgesine aktarılması sağlanacaktır. Bu durumda, yüksek hızlandırma istendiği için, yeni moment, düşük gerilim bağlantısındaki momenti aşacaktır.

Kontrol edilebilir faydalı frenleme, alan kontrol sistemi içinde gerçekleştirilir. Motor çalışmadan, adım adım generatör çalışmaya geçiş şekil 32'de gösterilen, endüi akımı referansı transfer fonksiyonuna sahip, hızlandırıcı tarafından sağlanır. İrdelenen endüi akım referansı, hızlandırıcı ayarı kadar, motor hızına bağlı bir değişimdir. Hızlandırıcıdan, hızın azaltılması istendiğinde, pozitif endüi akımı azalmak ister ve sonrada negatife geçer. Motorun ürettiği enerji ve bataryaların şarjı, araç hızının yavaşlatılmasına bağlıdır. Motor hızı azaltılırken, istenen faydalı frenleme akımını elde etmek için, alan akımı artırılacaktır. Önce, en büyük uyarma alanına ulaşılır, motor hızındaki her akı hangi bir azalma, negatif endüi akımının, sifıra doğru azalmasına neden olur. Endüi akımı, ayarlanan, sıfır hızlandırma için pozitive dönüşür dönüşmez, batarya düşük gerilim bağlantısına geçirilir. Böylece, frenlemede ve şarjda uzun süreli, etkili bir işlem edilmiş olunur.

Seri bağlantının mümkün olduğu zamanlarda sistem çalıştırılarak, en verimli çalışma sağlanır. Batarya sabitleri, batarya şarj yüzdesi ve batarya sıcaklığının fonksiyonudur. Devrelerin anahtarlama noktası, motor hızına, batarya gerilimine, endüi akımına ve hızlandırma durumuna bağlı olarak elde edilir.

Geri beslemeli böyle bir sistemde, güvenlik önlemi olarak, motor hızı ölçülür ve motor hız sınırı ile karşılaştırılır. Eğer sınır aşılsa, hızı aşağı çekmek için tam uyarma alanı gerekir. Bu alan, en büyük faydalı frenlemeyi sağlamalıdır. Bu inişlerde, hızın aşırı değerlere ulaşmasını önleyecektir. Eğer, tam uyarma alanı, kısa bir süre için de negatif endüi akımına gerçekleştiremezse, kontrol edici birim, hataya el koyarak, kontakları açtırır. Endüi akımı sürekli kontrol edilerek, daha önceden ayarlanmış aşırı akım değerini aşarsa, tam uyarma akımı vermek

gerekir. Bir sonuç alinamazsa, kontaklar açtırılır. Aşırı kullanma sonucu batarya fazlaca boşalırsa, endüi akımı azalır. Bu durumda, izin verilen en küçük gerilim 48 voltluk bağlantı için 28 voltur. Bu gerilim en küçük çalışma ve kontrol gerilimidir.

4.2. Alternatif Akım Motorlarının En Kontrolu :

Alternatif akım motorlarından olan, asenkron ve senkron motorlar özellikle güç elektroniğinin gelişimine bağlı olarak, d.a. motorlarına göre elektrikli otomobiller için daha uygun hale gelmiştir. Buna neden olan üstünlükleri, şöylece sıralanabilir.

-A.a. motorları az bakım gerektirirler. Fırça ve kollektör bakımına gereksinileri yoktur.

-Daha hafif ve daha az karmaşık oldukları için üretim maliyetleri daha düşüktür. Ağırlık ve hacimlerinin küçük oluşu, elektrikli otomobiller açısından oldukça önemlidir.

Komütasyon sorunlarının olmayışı, devir sayılarının yükseltilmesine olanak tanır. Böylece, aynı hacimdeki d.a. motorlarına göre, güçleri daha büyüktür.

-Yüksek devir sayılarında büyük güç verebilirler. Nominal devir sayılarında yararlanma faktörleri iyi olan kollektörlü motorlar, maksimum devir sayılarına kadar, nominal gücü veremezler. Buna neden ise, reaktans gerilimlerinin çok büyük oluşudur.

Elektrikli araçlarda senkron motorların kullanımı henüz araştırma safhasındadır. Buna karşın, asenkron motorların kullanımı söz konusudur. Fakat, senkron motorların, birim hacim ve ağırlığa karşılık gelen güzlerinin ve verimlerinin, asenkron motorlardan iyi oluşu, bu motorların d.a. ile, ve elektrikli otomobil tahriği için kullanılabilir hale getirilmesini düşündürmektedir.

A.a. motorlarında devir sayısı kontrolu ile moment kontrolu, birbirlerinden ayrı olarak yapılmaktadır. Moment kontrolu için, gerilim ayarlanırken, devir sayısı ayarı, güç elektroniği kullanılarak, frekansın değiştirilmesiyle elde edilir.

Asenkron motoru besleyerek olan eviricinin seçiminde şu noktalara dikkat çeker: Kullanılan güç yarı iletkenleri, komütasyon işlemi için gerekli olan elektronik kumanda devreleri ve koruma devreleri tarafından belirlenen, ağırlık ve boyutlar evirici maliyetine etki eder.

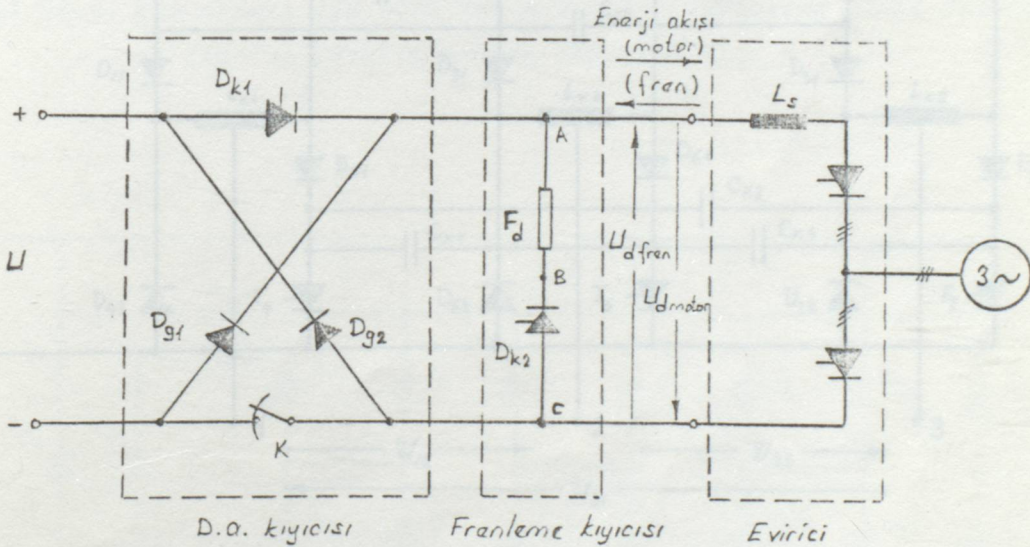
Evirici çıkışından alınan, sinüsoidal olmayan gerilimin, motorun ısınmasına etkisi ve özellikle küçük hızlarda önem kazanan, moment dalgalanmaları söz konusudur. Kullanımdaki verim açısından, eviricinin faydalı frenlemede de kullanılabilir olması istenir.

Asenkron motorların kontrolünde iki tür sistem kullanılır:

1. Doğru akım kıyıcısı ara devreli eviriciler,
2. Darbe genişlik değiştirmeli eviriciler.

4.2.2 Doğru akım kıyıcısı ara devreli eviriciler:

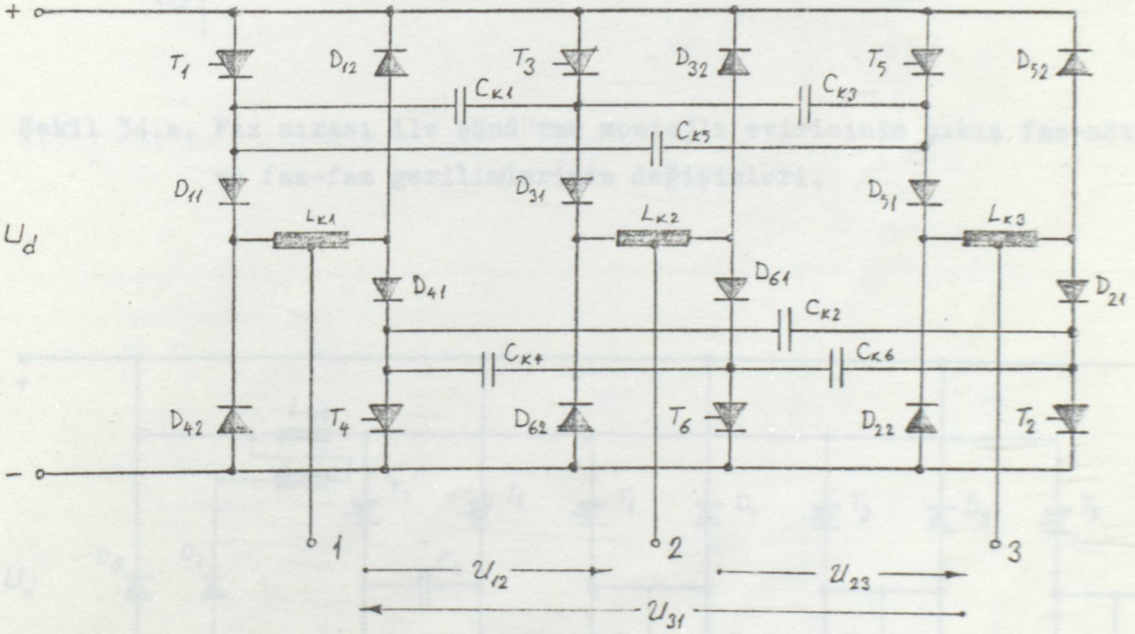
Doğru akım besleme kaynağındaki sabit gerilimden, d.a. kıyıcısı ile değiştirilebilir bir gerilim elde edilir. Bu bir bobin yardımıyla, darbelerden arındırılarak, eviriciye uygulanır. Eviricide, belli bir sıraya göre tetiklenen tristörlerin tetiklenme frekansları değiştirilerek, motora uygulanan gerilimin frekansı ayarlanır. Bu şekilde, asenkron makinanı, stator gerilim ve frekansının ayarlanmasıyla, devir ve momente, ihmal edilebilecek kadar küçük kayıplarla kumanda edilebilir. Şekil 33'de böyle bir sistem, prensip veması olarak verilmiştir.



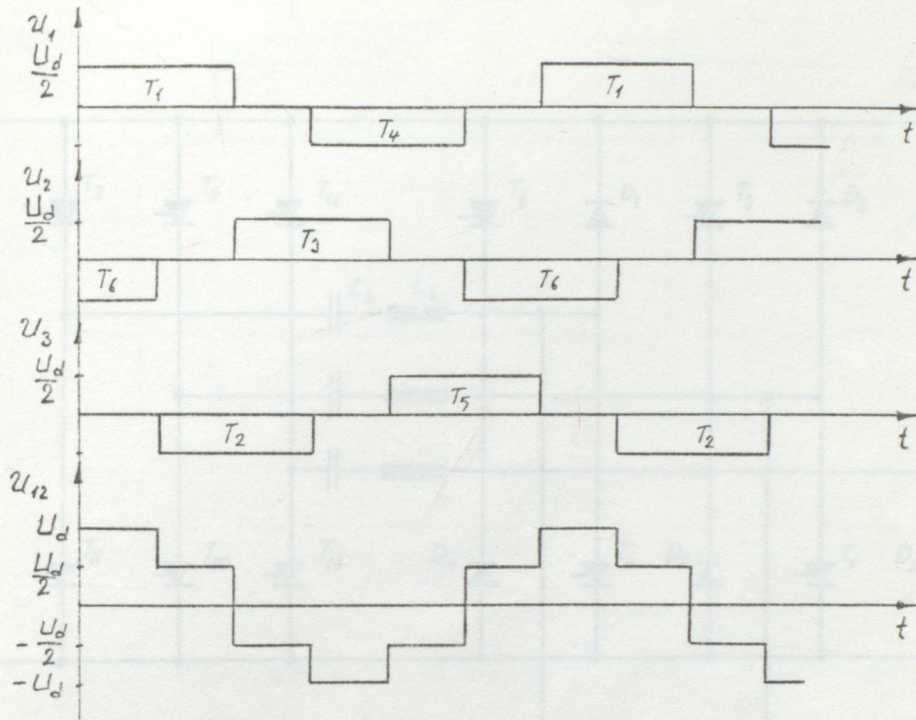
Şekil 33. Doğru akım kıyıcısı ara devreli eviricinin prensip şeması.

Taşıtın fren işletmesi için temel bağlantıda bir değişiklik yapılmaz. K anahtarı açılarak, ana d.a. kıyıcısının çıkışına, bir frenleme direnci ve frenleme kıyıcısı bağlanır. Bu durumda evirici, bir doğrultucu olarak çalışır. Burada, makina generatör olarak çalışmakta ve dönüştürücüye, enerji verilmektedir. Frenleme kıyıcısının çalışması, B-C uçlarının ardışık olarak kısa devre ve açık devre edilmesi şeklinde olur. Kısa devre anında akım yükselir ve açık devre süresince, diyotlar üzerinden, azalarak kaynağa geri gerilir.

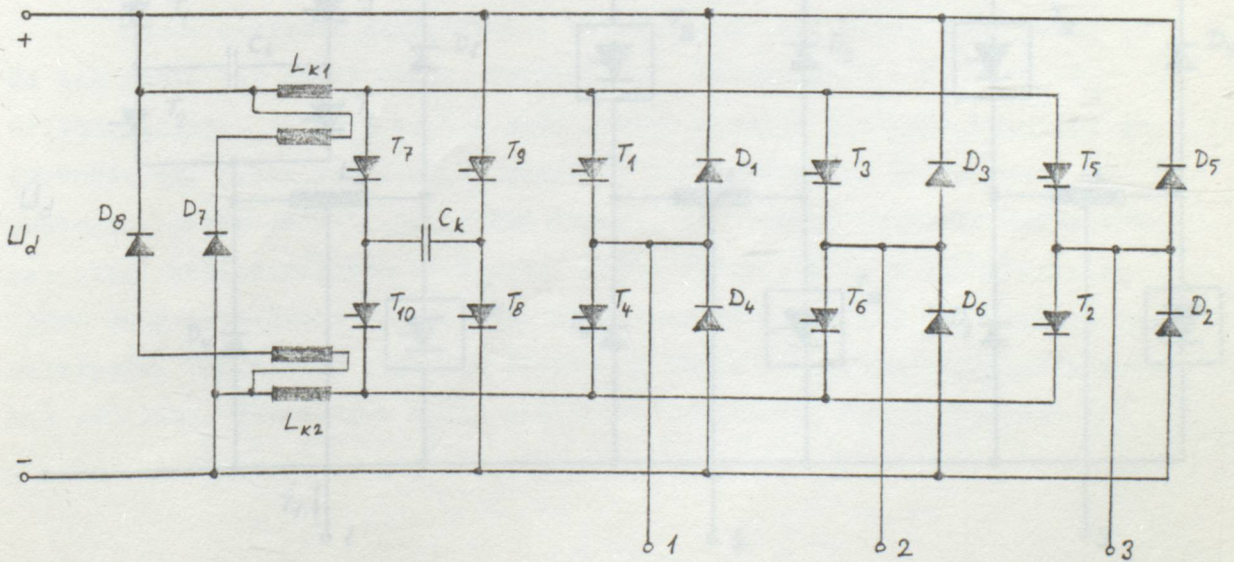
Evirici olarak çeşitli montajlar kullanılır. Montajlarda değişen daha çok söndürme şekilleridir. Bunları dört şekil altında görebiliriz. Söndürme montajlarına göre isimlendirilmiş eviricilerin montaj şemaları ve bazı noktalardaki gerilimlerinin değişimleri şekil 34, 35, 36 ve 37'de verilmiştir.



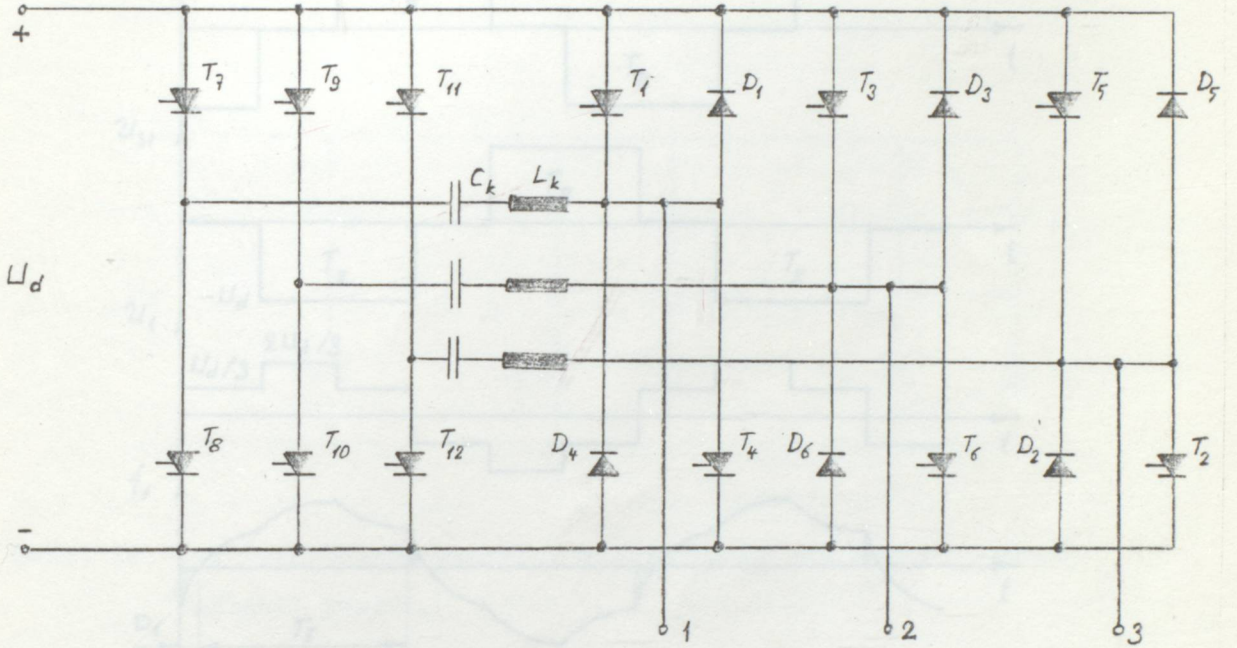
Şekil 34. Faz sırası ile söndürme montajına sahip evirici.



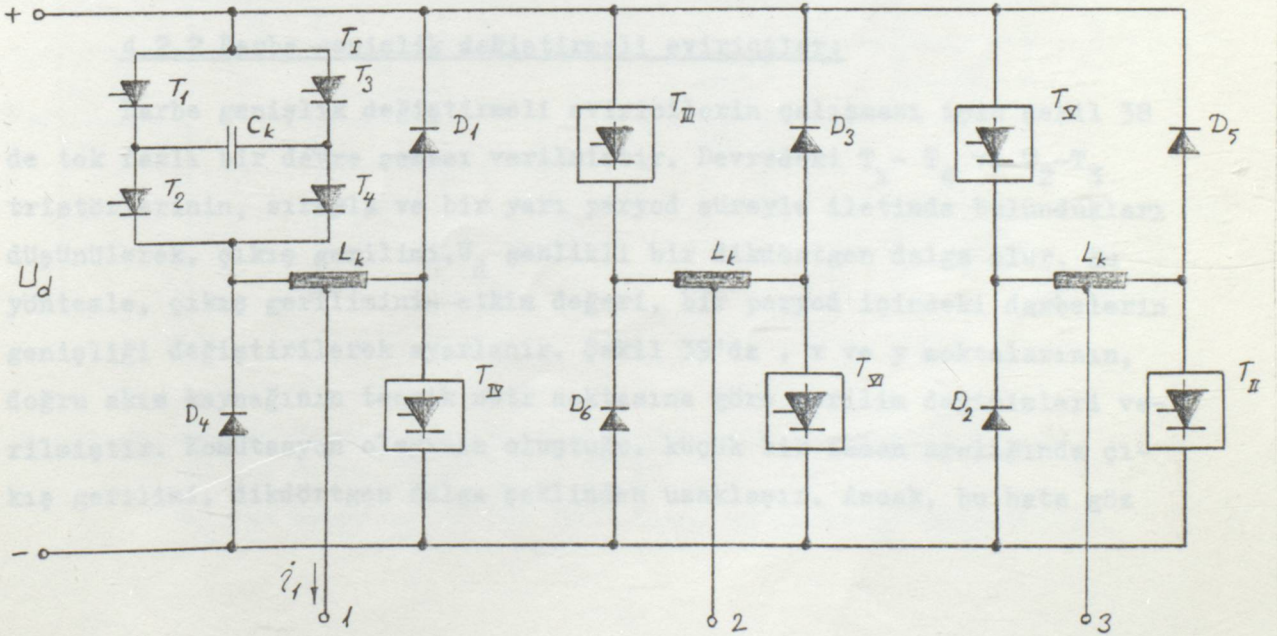
Şekil 34.a. Faz sırası ile söndürme montajlı eviricinin çıkış faz-nötr ve faz-faz gerilimlerinin değişimleri.



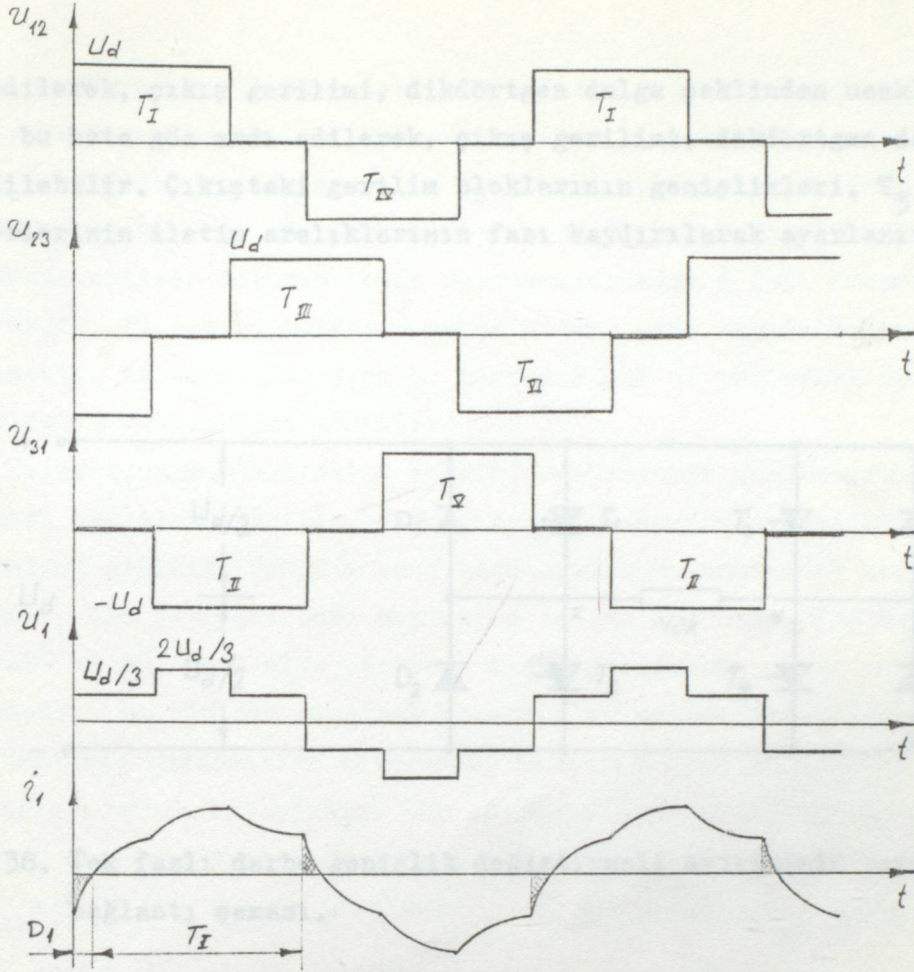
Şekil 35. Müşterek söndürme montajlı evirici.



Şekil 36. Faz söndürme montajlı evirici.



Şekil 37. Münferit söndürme montajlı evirici.

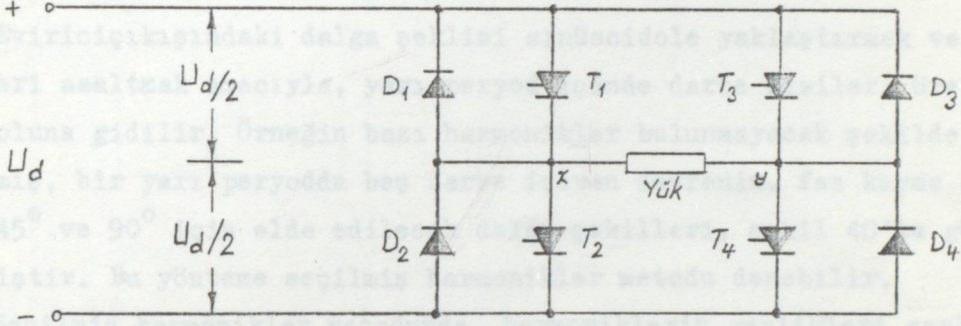


Şekil 37. a. Münferit söndürme montajlı eviricinin çıkış faz-faz ve faz-nötr gerilimi ile faz akımının değişimleri.

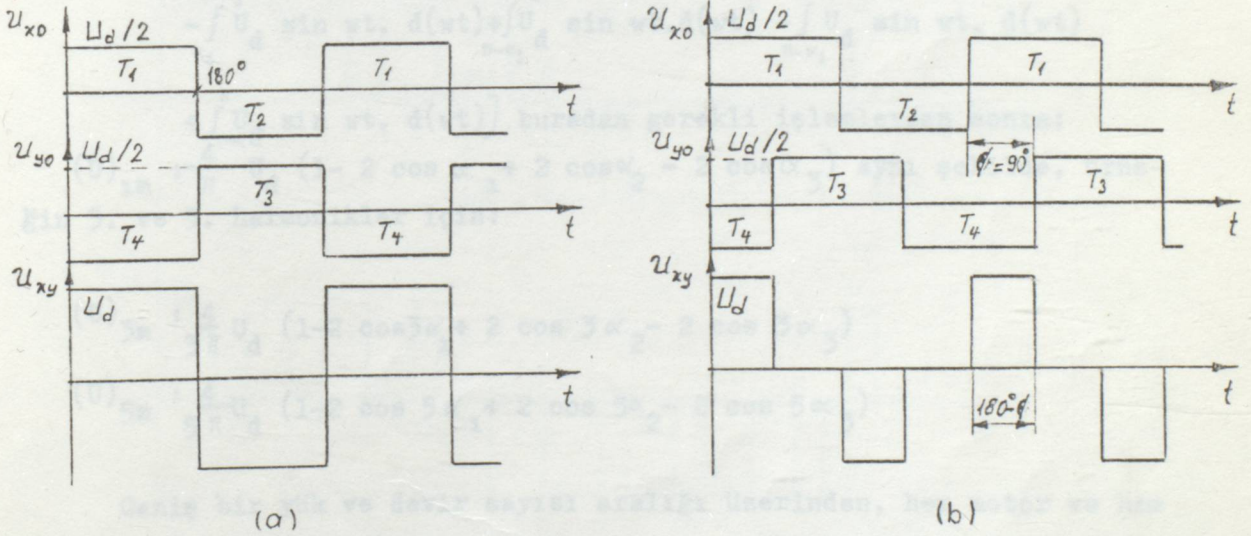
4.2.2 Darbe genişlik değiştirmeli eviriciler:

Darbe genişlik değiştirmeli eviricilerin çalışması için şekil 38 de tek fazlı bir devre şeması verilmiştir. Devredeki $T_1 - T_4$ ve $T_2 - T_3$ tristörlerinin, sırayla ve bir yarı periyod süreyle iletimde buldukları düşünülerek, çıkış gerilimi, U_d genlikli bir dikdörtgen dalga olur. Bu yöntemle, çıkış geriliminin etkin değeri, bir periyod içindeki darbelerin genişliği değiştirilerek ayarlanır. Şekil 39'da, x ve y noktalarının, doğru akım kaynağının teorik nötr noktasına göre gerilim değişimleri verilmiştir. Komütasyon olayının olduğu, küçük bir zaman aralığında çıkış gerilimi, dikdörtgen dalga şeklinden uzaklaşır. Ancak, bu hata göz

ardı edilerek, çıkış gerilimi, dikdörtgen dalga şeklinden uzaklaşır. Ancak, bu hata göz ardı edilerek, çıkış gerilimi, dikdörtgen dalga kabul edilebilir. Çıkıştaki gerilim bloklarının genişlikleri, T_3 ve T_4 tristörlerinin iletim aralıklarının fazı kaydırılarak ayarlanır.



Şekil 38. Tek fazlı darbe genişlik değiştirmeli eviricinin prensip bağlantı şeması.



Şekil 39. Tek fazlı darbe genişlik değiştirmeli eviricinin, a) Faz kayma açısı (ϕ) : 0° ve b) Faz kayma açısı (ϕ) : 90° için, uç gerilimi değişimleri.

Motora uygulanan gerilimin, dikdörtgen dalga şekline sahip oluşu, harmoniklerinin çok ve ana dalgaya oranlarının yüksek olmasına neden olmaktadır. Özellikle, ana dalgaya (1. harmonik) yakın olan 3. ve 5 harmonikler, motorun çalışmasında darbelere sebep olurken, yüksek frekanslı harmoniklerin etkisi, motorun kaçak reaktanslarından d layı önemsenmeyecek kadar azdır. Şeklin, dikdörtgen dalga oluşu, çift sayılı harmonikleri yok etmekte, zararlı olan 3.ve 5. harmonikleri de yok etmek için çeşitli yöntemler kullanılabilir.

Evriciçıkışındaki dalga şeklini sinüsoide yaklaştırmak ve harmonikleri azaltmak amacıyla, yarı periyod içinde darbe dizileri üretilmesi yoluna gidilir. Örneğin bazı harmonikler bulunmayacak şekilde ayarlanmış, bir yarı periyotta beş darbe içeren devrenin, faz kayma açısı $0^\circ, 45^\circ$ ve 90° için elde edilecek dalga şekilleri, şekil 40'ta gösterilmiştir. Bu yöntem seçilmiş harmonikler metodu denebilir.

Seçilmiş harmonikler metodunda, harmoniklerin genlikleri aşağıdaki bağıntılardan hesaplanır. Yok edilmesi istenen harmonikler için de gerekli açıları aynı bağıntılardan bulunabilir. 1. harmonik için:

$$(U)_{1m} = \frac{2}{\pi} \left[\int_0^{\alpha_1} U_d \sin wt \cdot d(wt) - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} U_d \sin wt \cdot d(wt) + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} U_d \sin wt \cdot d(wt) - \int_{\alpha_3}^{\pi-\alpha_3} U_d \sin wt \cdot d(wt) + \int_{\pi-\alpha_3}^{\pi-\alpha_2} U_d \sin wt \cdot d(wt) - \int_{\pi-\alpha_2}^{\pi-\alpha_1} U_d \sin wt \cdot d(wt) + \int_{\pi-\alpha_1}^{\pi} U_d \sin wt \cdot d(wt) \right]$$

$(U)_{1m} : \frac{4}{\pi} U_d (1 - 2 \cos \alpha_1 + 2 \cos \alpha_2 - 2 \cos \alpha_3)$ aynı şekilde, örneğin 3. ve 5. harmonikler için:

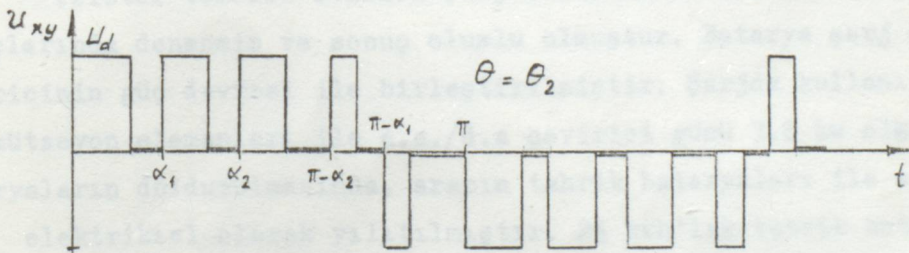
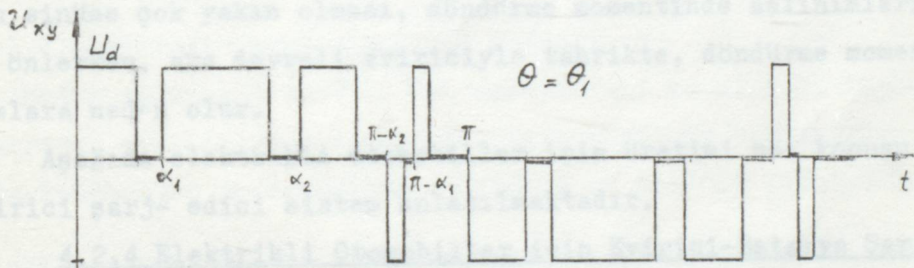
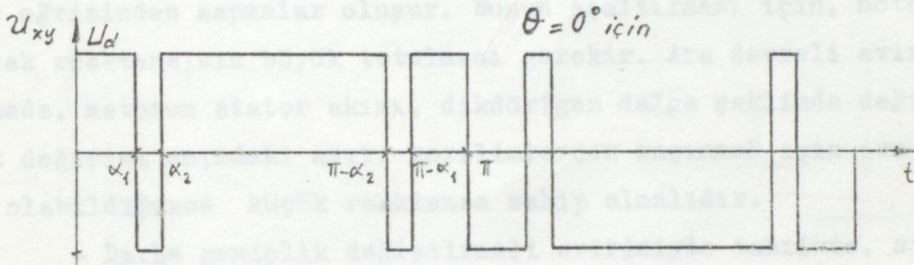
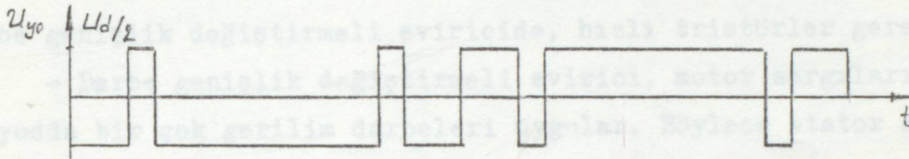
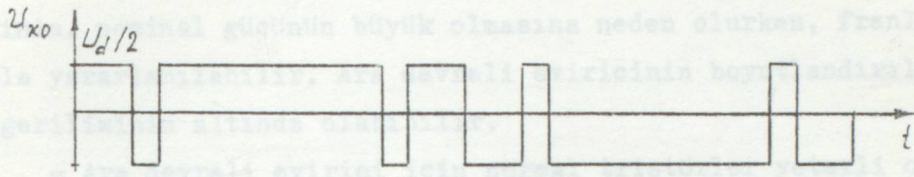
$$(U)_{3m} : \frac{4}{3\pi} U_d (1 - 2 \cos 3\alpha_1 + 2 \cos 3\alpha_2 - 2 \cos 3\alpha_3)$$

$$(U)_{5m} : \frac{4}{5\pi} U_d (1 - 2 \cos 5\alpha_1 + 2 \cos 5\alpha_2 - 2 \cos 5\alpha_3)$$

Geniş bir yük ve devir sayısı aralığı üzerinden, hem motor ve hem de generatör olarak çalışan asenkron motor, değişebilir gerilim ve değişebilir frekanslı beslemeyi gerektirir. Bu tür besleme, darbe genişlik değiştirmeli evrici ile doğrudan gerçekleştirilebilir.

4.2)X. Doğru Akım Kuvveti Ara devreli Evirici İle Darbe Geniçlik Değiştirmeli Eviricilerin Karşılaştırılması

- Darbe genişlik değiştirmeli evirici, kaynaktan direkt aldığı için besleme gerilmesine göre boyutlandırılması gerekir. Bu da evirici için gerekli güçün büyük olmasına neden olurken, frekansda taşıdığı enerji miktarı da büyük olur. Bu nedenle, frekansın yüksekliğiyle birlikte, darbe genişlik değiştirmeli eviricinin boyutlandırılması, besleme gerilmesine göre boyutlandırılması gerekir.



Sekil 40. Seçilmiş harmonikler.

4.2.3. Doğru Akım Kıyıcısı Ara Devreli Evirici İle Darbe Genişlik Değiştirmeli Eviricilerin Karşılaştırılması:

- Darbe genişlik değiştirmeli evirici, kaynaktan direkt beslendiği için besleme gerilimine göre boyutlandırılması gerekir. Bu da eviricinin, nominal gücünün büyük olmasına neden olurken, frenlemede tamıyla yararlanılabilir. Ara devreli eviricinin boyutlandırılması, besleme geriliminin altında olababilir.

- Ara devreli evirici için normal tristörler yeterli olduğu halde, darbe genişlik değiştirmeli eviricide, hızlı tristörler gereklidir.

- Darbe genişlik değiştirmeli evirici, motor sargılarına, her yarı peryotta bir çok gerilim darbeleri uygular. Böylece stator akımında, sinüs eğrisinden sapmalar oluşur. Bunun azaltılması için, motorun stator kaçak reaktansının büyük tutulması gerekir. Ara devreli evirici ile beslemede, motorun stator akımı, dikdörtgen dalga şeklinde değişir. Akımın, faz değişimi anındaki aşırı gerilimlerden kaçınmak için ise stator sargısı olabildiğince küçük reaktansa sahip olmalıdır.

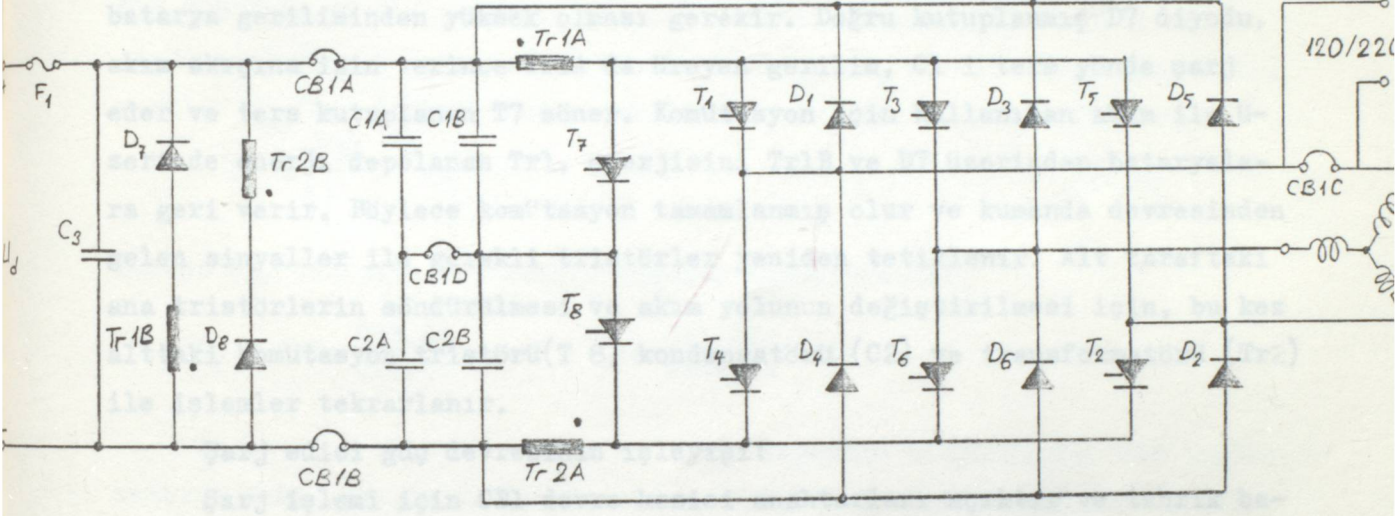
- Darbe genişlik değiştirmeli eviriciyle tahrikte, stator akımının sinüse çok yakın olması, döndürme momentinde salınımların oluşmasını önlerken, ara devreli eviriciyle tahrikte, döndürme momentinde salınımlara neden olur.

Aşağıda elektrikli otomobiller için üretimi söz konusu olan, bir evirici şarj- edici sistem anlatılmaktadır.

4.2.4 Elektrikli Otomobiller için Evirici-Batarya Şarj Edicisi

Tristör temelli evirici-şarj edici devreler, elektrikli taşıt araçlarında denenmiş ve sonuç olumlu olmuştur. Batarya şarj edicisi, eviricinin güç devresi ile birleştirilmiştir. Şarjda kullanılan evirici komütasyon elemanları ile a.a./d.a çevirici gücü 3,6 kw olmaktadır. Bataryaların doldurulmasında, aracın tahrik bataryaları ile a.a. şebekesi elektrikselsel olarak yalıtılmıştır. 25 kwh'lık tahrik bataryaları, 220 V a.a. şebekesi ile 8 saat içinde % 86 ve % 95 olmaktadır. 132 volt güç bataryası ile üç fazlı kısa devre rotorlu asenkron motor çalıştırılırken evirici motor milinden 34 kw(45 HP) alınabilecek güç aktarımına ve gene-

ratör çalışmada ise 45 kw(60 HP) lık güç aktarımı yeteneğine sahiptir. Girişteki iki adet komütasyon tristörü, altı adet evirici ana tristörü- nün söndürülmesini sağlar. Şekil 41'de montaj şeması gösterilmiştir.



Şekil 41. Evirici- şarj edici güç devresi.

Motor çalışma durumunda CBl anahtarları kapalıdır. Böylece tahrik bataryası, evirici ve a.a. motoru, birbirleriyle bağlantılıdır. Aynı zamanda komütasyon kondansatörleriC1A/C1B ve C2A/C2B paralel bağlanırlar.

Böylece , girişten(müşterek) komütasyonlu evirici devresi elde edilmektedir. Farklı pekçok evirici devrelerinde kullanılan komütasyon tristörü sayısı daha fazladır. Girişten komütasyonlu bu devre için söndürme tristörünün iki adet olması, büyük bir avantajdır. Üstteki komütasyon tristörü, eviricinin üst tarafındaki üç ana tristörün, alttaki de, alt taraf-taki üç ana tristörün söndürülmesini sağlar.

Şekildeki motorun üç uc,ndan herbiri, bataryanın pozitif ve negatif uçlarına ayrı ayrı bağlanır. Bağlantı yolu(T 1-6) ana tristörler ve(D1-6) deşarj diyotları ile tamamlanır. Diğer yarı iletkenler(T 7-8,D7-8), transformatörler (Tr1,Tr2) ve kondansatörler (C1,C2) ana tristörlerin komütasyonu için kullanılmaktadır. Komütasyon tristörü T7 nin kapısına gerilim geldiği anda, C1 kondansatörü üzerindeki gerilim,Tr1A transformatör sargı-

larından dolaşan bir akım geçirir. Tr1A üzerindeki gerilim, batarya geriliminden büyükse, ana tristörlerden T1 ve T3, ikisi birden kesime geçerler. Bunlar söndüğü zaman toplam akımları, motor ani hat akımına eşit olur.

Komütasyon tristörü T7 tetiklenince, C1 deşarj olurken C2 şarj olur. Akım T7 üzerinden D7 ye iletilir. Bunun için Tr1B deki gerilimin, batarya geriliminden yüksek olması gerekir. Doğru kutuplanmış D7 diyodu, akım akışına izin verince Tr1A da üreyen gerilim, C1 i ters yönde şarj eder ve ters kutuplanan T7 söner. Komütasyon için kullanılan akım ile üzerinde enerji depolanan Tr1, enerjisini Tr1B ve D7 üzerinden bataryalara geri verir. Böylece komütasyon tamamlanmış olur ve kumanda devresinden gelen sinyaller ile gerekli tristörler yeniden tetiklenir. Alt taraftaki ana tristörlerin söndürülmesi ve akım yolunun değiştirilmesi için, bu kez alttaki komütasyon tristörü(T 8) kondansatörü (C2) ve transformatörü (Tr2) ile işlemler tekrarlanır.

Şarj edici güç devresinin işleyişi:

Şarj işlemi için C1 devre kesici anahtarları açıktır ve tahrik bataryası a.a. şebekesinden ayrılmıştır. Devre kesici anahtar, komütasyon kondansatörlerini de ayırır. C1A ve C2A nın seri bağlanmasından oluşan kapasite, a.a. şebekesi filtre kondansatörü şekline dönüşür. Tristörlerin titreşim devresini ise, C1B ve C2B kondansatörleri oluşturmaktadır. Devre kesici anahtar, şarj işleminde otomatik olarak açılmakta, motor çalışmada ise elle kapatılmaktadır. Mevcut evirici yarı iletkenleri, a.a. şebeke gerilimini, tahrik bataryalarını şarja uygun d.a. şebeke gerilimine dönüştürür. Motor çalışma sırasında, ana tristörlerin komütasyonu için kullanılan transformatörler, tahrik bataryasını, a.a. şebekesinden yalıtım için devre kesici ile birlikte kullanılır.

Tek fazlı a.a. şebekesinden gelen akım, akım sınırlayıcı olarak çalışan motor sargılarından geçerek çeviriciyi besler. Şebeke filtre kondansatörü C4 den geçen tam dalga doğrultulmuş a.a., eviricideki serbest geçiş diyotlarından oluşmuş, köprü montajlı doğrultucuda d.a.'ya dönüştürülür. T7, T8, C1B, Tr1 ve Tr2 elemanlarından oluşan titreşim devresi, d.a.'ı Tr1, Tr2 transformatörleri ile tahrik bataryasına iletir. Transformatörlerin sekonder sargılarına bağlı doğrultucular, D7 ve D8 ile doğrul-

tulan gerilim bataryaya uygulanır.

A.a şebekesinden, tahrik bataryasına aktarılan güç, C1B,C2B,C1A ve C2A kondansatörlerine T7,T8 tristörlerinin tetiklenme frekanslarına ve LC titreşim devresinin etkisine bağlıdır. Herhangibir zamanda, T7 tetiklendiğinde, üzerinde enerji depolanan C1B ve C2B kondansatörleri, enerjilerini Tr1A transformator sargılarınının magnetik endüktansı L'ye aktarır. C1B,C2B,Tr1A,T7 bir titreşim devresi gibidir. Tr1Asargılarındaki akım, sinüsoidal olarak değişir. En büyük akım I_m, L, C_t ve C1B üzerindeki anlık gerilim V_{oc} 'nin fonksiyonudur. Bağıntılar şu şekilde gösterilebilir.

$$I_m = \sqrt{\frac{C_T}{L}} \cdot V_{oc} \quad (IV.9)$$

Burada C_T , titreşim devresinin eşdeğer kapasitesidir.

$$C_T = C1B \cdot \frac{C2B \cdot C4}{C2B + C4} \quad C4 = \frac{C1A \cdot C2A}{C1A + C2A} \text{ dir.} \quad (IV.10)$$

Tr 1A sargılarındaki akım en büyük değerine ulaştığında, C1B kondansatörün deki gerilim sıfır olacaktır. C1B,C2B kondansatörlerindeki akım, maksimum değerinden azalır ve ters yönde şarj olur. C1B kondansatöründeki gerilim, A ve B sargılarınının oranına bağlı olarak, belirli ir değere ulaştığı zaman, doğrultucu D7 diyodu, iletim yönünde kutuplanacak ve akım Tr1B sargısı, D7 ve tahrik bataryasına iletilecektir. Bunlar gerçekleştiğinde, C1B kondansatörü uçlarındaki gerilim, Tr1A sargılarında endüklenere, yansıyan gerilimden daha yüksek olacak ve T7 ters yönde kutuplanarak, kesime gidecektir.

İleri yönde kutuplanmış D7 doğrultucusunda şekil 42'de görülenQT noktasını veren bağıntı:

$$\theta_T = 90^\circ + \arcsin (1 - V_{c4} / V_{oc}) \quad (IV.11)$$

V_{c4} gerilimi C1A ve C2A kondansatörleri üzerindeki, doğrultulmuş a.a. şebeke gerilimidir. D7 diyodu ileri kutuplanmışken, Tr1A sargılarının L magnetik endüktansındaki akım ise;

$$I_T = I_m \cdot \sin \theta_T \text{ 'dir.} \quad (IV.12)$$

Tahrik bataryası şarjı için elde edilebilecek güç, T7 ve T8 deki toplam frekansa bağlı olarak,

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot L I_T^2 \cdot f_g \quad \text{dir.} \quad (IV.13)$$

Yukarıdaki eşitliklerden hareketle, tahrik bataryasında elde edilebilecek toplam güç aşağıdaki şekli alır:

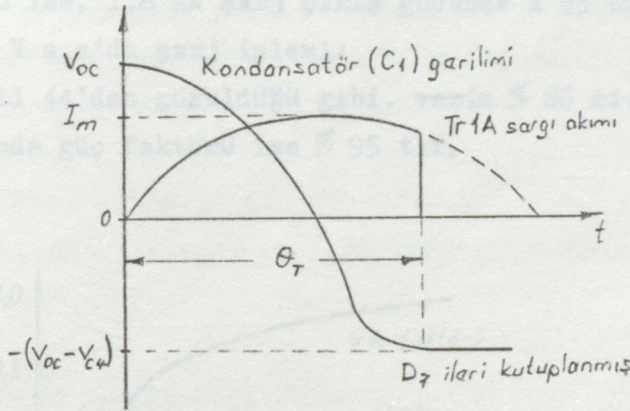
$$P_T = \frac{1}{2} \cdot C_T \cdot f_g \cdot V_{oc}^2 \cdot \sin^2 \epsilon_T \quad (IV.14)$$

Kayıp güç ise;

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot C_T \cdot f_g \cdot V_{oc}^2 \cdot 2 \cdot K_c \quad \text{dir.} \quad (IV.15)$$

K_c , devrenin eş değer kapasitesi olan C_T 'nin depoladığı anlık enerjinin, yüzde olarak sabitidir. Şarj çıkış gücü ise:

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot C_T \cdot f_g \cdot V_{oc}^2 \cdot (\sin^2 \epsilon_T - K_c) \quad \text{olur.} \quad (IV.16)$$



Şekil 42. Şarj devresindeki bazı akım ve gerilimlerin değişimi.

Şarj verimi hesaplanacak olursa;

$$\eta = \left(1 - \frac{K_c}{\sin^2 \epsilon_T}\right) \quad \text{elde edilir.} \quad (IV.17)$$

Bu denklemden anlaşıldığı gibi, şarj devresinin verimi, titreşim devresinin kayıp faktörü olan K_c ve D7 doğrultucusunun ileri kutuplamaya geçme açısı olan ϵ_T de transformatör sarğı oranına bağlıdır.

Şarj devresi parametreleri:

Şarj devresi parametrelerinin çoğunluğu, motor çalışmada, evirici koşulları tarafından belirlenmiştir. Bu parametreler, transformatör sar-

gıllarının magnetik endüktansı, eviricinin toplam komütasyon kapasitesi, batarya filtre kondansatörü, transformatör çevirme oranı ve T7,T8 tristörleri ile D7, D8 doğrultucularının akım kapasiteleridir.

Devre kesicinin CBLD kutbu kullanılarak, şarj devresinin performansı esnekleştirilebilir. Şarj titreşim devresi kapasitesi, T7,T8 tristörlerinin anahtarlanabileceği maksimum frekansa bağlı olarak seçilir. En büyük çıkış gücü 120 V a.a'da 20-A a.a devre kesici kullanılarak elde edilebilir.

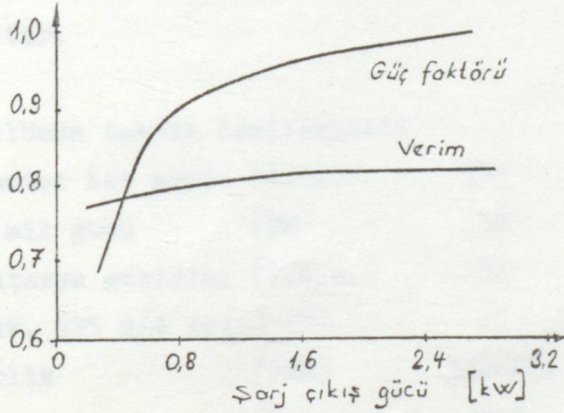
T7 ve T8 tristörlerinin, kullanılmakta olan devredeki en büyük anahtarlanma frekansları 13 kHz'dir. Bu frekans Tr1A sargı endüktansına, şarj devresinin kapasitesine akımın T7 tristöründen D7 diyoduna aktarılması için gereken zamana ve tristörün eski durumuna dönmesi için geçen zamana bağlıdır.

120 V a.a da şarj işlemi:

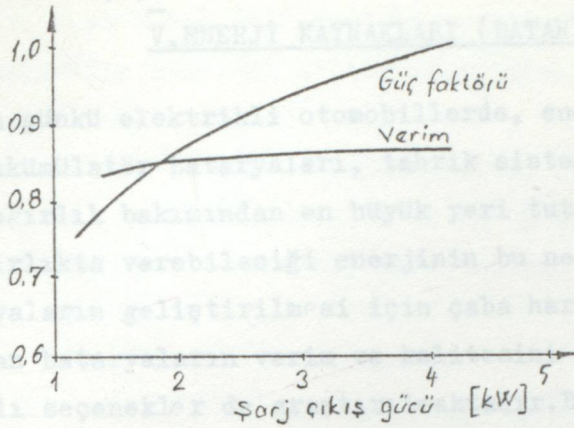
120 V a.a'da çalışma için ölçülen şarj devresi verimi ve güç faktörü, çıkış gücüne bağlı olarak, şekil 43'de gösterildiği gibi değişir. Görüldüğü gibi, her şarj çıkış gücü için verim % 80 dolaylarında sabittir. Güç faktörü ise, 1,8 kw şarj çıkış gücünde % 95 olmaktadır.

220 V a.a'da şarj işlemi:

Şekil 44'den görüldüğü gibi, verim % 86 civarında sabit, 3,6 kw şarj çıkış gücünde güç faktörü ise % 95 tir.



Şekil 43. 120 V a.a da şarj için verim ve güç



Şekil 44. 220 V a.a da şarj için verim ve güç.

Şarj kontrol devresi ise, farklı tiplerdeki tahrik bataryalarına uygunlaştırmak amacıyla, çift sabit akım seviyesi için seçilmiştir. Bu esneklikten dolayı şarj şekli, belirli bir batarya için optimize edilmemiştir. Şarj şekli üç işlem modunda gerçekleştirilebilmektedir;

- 1-Sabit anlık şarj akımı,
- 2-Sabit gerilim,
- 3-Şarj bitiminde sabit akım.

Yukarıda açıklanan evirici ve şarj edicinin teknik özellikleri Tablo 6'da özetlenmiştir.

TABLO 6

Evirici bölümün teknik özellikleri:

Maksimum motor hat akımı (A,RMS)	375
Motor pik mil gücü (kW)	34
Nominal batarya gerilimi (V,d.a.)	132
Verim (15kW, 575 d/d için) (%)	93
Isıl yeterlik (PWM)	Sürekli
Ağırlık (kg)	46,5
Hacim (m ³)	0,047

Şarj Bölümünün Teknik Özellikleri:

Giriş gerilimi (V.a.a.)	84-264
Çıkış gerilimi (V.d.a)	80-180
Çıkış gücü (220V a.a'da) (kW)	3,6
(120V a.a'da) (kW)	1,8
Verim (her güç değeri için) (%)	80-86

V. ENERJİ KAYNAKLARI (BATARYALAR)

Bu günkü elektrikli otomobillerde, enerji depolamak amacıyla kullanılan akümülatör bataryaları, tahrik sistemi içinde, yaklaşık % 70'lik oranla, ağırlık bakımından en büyük yeri tutar.

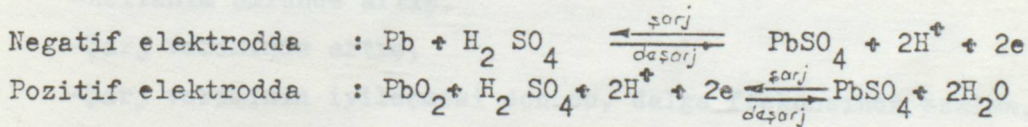
Birim ağırlıkta verebileceği enerjinin bu nedenle düşük olması, özellikle bataryaların geliştirilmesi için çaba harcanmasına itmiştir.

Kullanılan bataryaların verim ve kalitesini yükseltme çalışmaları yanında farklı seçenekler de araştırılmaktadır. Bu seçeneklerin içinde en umut verici görüneni ise, yakın gelecek için, yakıt pilleri olarak görülmektedir. Doğal olarak bataryaların verimli bir şekilde kullanılabilmesi için, şarj ve deşarjlarının da kontrol altında ve en uygun biçimde olması gerekmektedir.

1-KURŞUN-ASİT BATARYALAR:

Kurşun-asit bataryaların temelleri 1850'lerde atılmış olmasına karşın, geçen uzun zaman zarfında, yeterince gelişmeler elde edilememiştir. Bu gün, kurşun-asit bataryaların enerji depolama yeteneği % 67, güç ise % 54 dolaylarındadır.

Çalışma prensibi kısaca şöyle açıklanabilir: Aktif maddelerden pozitif elektrod kurşun dioksit (PbO_2), negatif elektrod ise saf kurşun (Pb)'dur. Üretimde, her iki elektrod da gözeneklidir, bu şekilde etkin yüzey genişletilmiş olmaktadır. Elektrolit, su içinde çözülmüş, sülfirik asit (H_2SO_4) çözeltisidir. Diğer pekçok batarya sistemlerinde de olduğu gibi, elektrolit, boşalma tepkimesinde etkin eleman değildir. Basit olarak pilin tepkime bağıntısı şöyledir:



Negatif elektrodteki kurşun ile sülfirik asit, tepkimeye girdiği zaman, valans değeri değişir ve elektronlar boşa kalır. Bu serbest elektronlar, dış devrede bir elektrik akımı gibi pozitif elektrodta akarlar.

Pozitif elektrodta da benzer olaylar olarak, sülfirik asitin kurşun dioksit ile tepkimesi sonucu, kurşun sülfat oluşur. Şarj olayında işlemler aynı, fakat terstir. Açık devre pil gerilimi, yaklaşık 2 V dolaylarındadır. Gerilim değeri, kullanılan sülfirik asitin derişimine bağlıdır. Asitin derişimi düşükçe pil gerilimi de düşer.

Geliştirilmiş kurşun-asit bataryalar, 200-250 dolup- boşalma ömürlü (% 80 boşalmada) ve özgül enerjisi 29 wh/kg olan bataryalardır. Gelişmiş bataryalara ilişkin performans değerler tabloda verilmiştir.

Tablo 7.

Özgül enerji	(% 100 boşalmada wh/kg)	40
Özgül güç	(% 50 boşalmada w/kg)	100
Dolup-boşalma sayısı	(% 80 boşalmada)	800
Enerji verimi	(%)	60

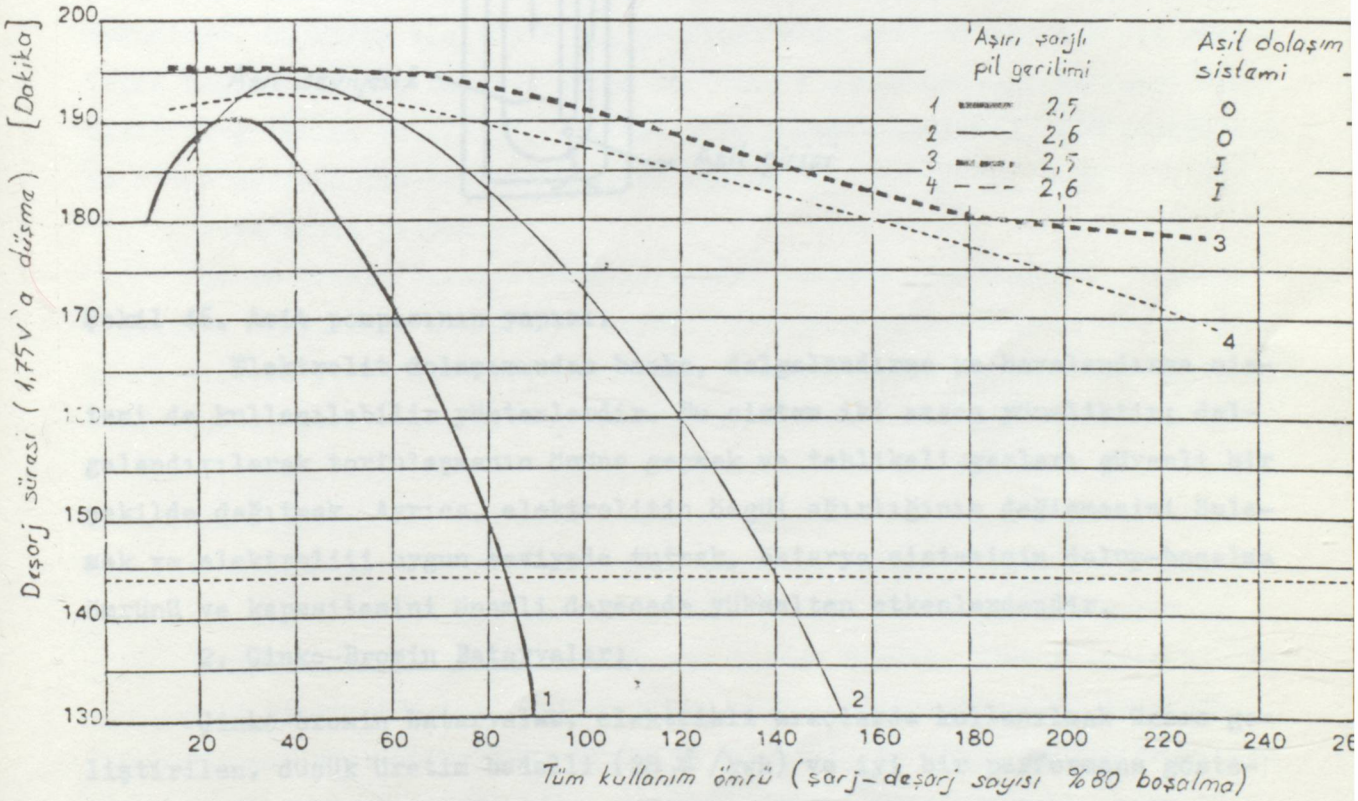
Bataryaların önemli noktalarından biri de elektrolit dolaşımıdır. Elektrokimyasal tepkimenin daha erken elde edilmesi için dolaşım, ilk gerekli olan etkenlerdendir. Çok derin, aşırı bir boşalmada, elektrolitteki sülfirik asitin çok büyük bir bölümü tüketilir. Şarjda, elektrodların yüzeyindeki sülfirik asitin derişimi yoğunlaşır ve kabin dibine toplanır. Bunun sonucunda, elektrolitte, tortulaşma oluşur. Tortulaşma ise, kullanım ömrü ve elektriksel performans açısından batarya için zararlıdır.

Elektrolitteki tortulaşma, bataryanın şiddetli bir şekilde, aşırı şarj edilmesiyle giderilebilir. Fakat, maalesef aşırı şarj, kullanım ömrü için zararlıdır, pozitif etkin maddenin erimesi ve ızgaranın aşınmasını hızlandırır. Bu ve benzeri nedenlerle, elektrolit dolaşım sistemi içeren batarya tasarımı, aşağıdaki yararları sağlar:

- Kullanım ömründe artış,
- Şarj veriminde artış,
- Şarj veriminin iyileşmesi sonucu, dalga frekansında azalma,
- Özgül güçte iyileşme,
- Özgül enerjide iyileşme.

Elektrolit dolaşımı için, batarya biriminin her bir pili, küçük poli-propilen bir pompa içerir. Pompada, hareketli parça yoktur ve düşük hava ba-

sincinin kısa darbeleri ile etkili olur. Pompalama sistemi, yalnızca dolma ve boşalmada çalışır. Boşalma süresince enerjisini, batarya grubundan alır ve enerji gereksinimi çok azdır. Elektrolit dolaşımı sayesinde kullanım ömrü artma faktörü 4, Coulomb türünden verim % 96, enerji verimi % 82 olmakta, özgül enerjideki iyileşme % 5'i bulmaktadır. Şekil 45'te elektrolit dolaşım ve dolaşımsız deneysel pillerin kullanım ömürleri ile kapasiteleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, 3 ve 4 nolu eğriler için kullanım ömründe iyileşme söz konusudur. Bu eğriler, elektrolit dolaşım bataryalara ilişkindir. Şekil 46'da ise pompanın şekli ve çalışma yöntemi gösterilmiştir. Pil kabının, pompanın çalışma verimi açısından, pompa ile beraber bir bütün şeklinde tasarımı gereklidir.



Şekil 45. Asit dolaşımının kullanım ömrüne etkisi.

ve benzeri, yeşilli alanlarda sınırlı hizmet verabilmektedir.

Çinko-bromin bataryalar, bugünkü kurşun-asit bataryaya teknolojilerden daha büyük avantajlar sunmaktadır. Bu sistemde, yakın gelecekte, sınırlı illerle kullandığı ve sınırlı, ileri bir bataryaya sistemi olarak daha

güç gerektirmektedir. Çinko-bromin sistemi için üretim maliyeti, kurşun-asit bataryaya göre daha düşüktür. Bu düşük maliyet, daha

çok elemanların kullanılmasıyla sağlanabilmektedir. Elektrolit dolaşımı, düşük maliyetten sağlanabilmektedir. Bataryaların yapısı, her

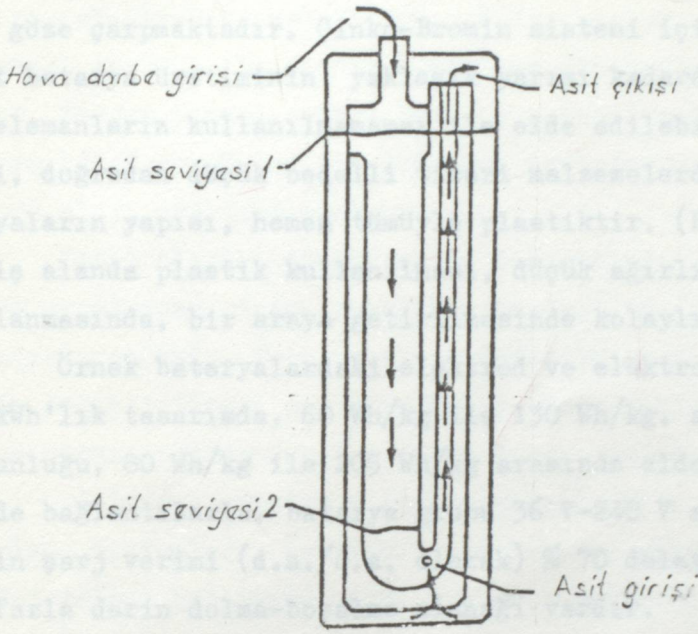
Geniş alanda plastik malzeme kullanılmaktadır. (Elektrodlar plastik üzerindedir.)

Geniş alanda plastik malzeme kullanılması, düşük ağırlık maliyeti ve elemanların toplamasında, bir arada çalışmada kolaylık sağlar.

Ürün bataryaları, düşük maliyet ve elektrolitlerin performansı, tipik 20 kWh'lik tasarımda, 100 kWh/kg. kapasitedir. Enerji ve güç

yoğunluğu, 80 kWh/kg. kapasitedir. Enerji ve güç yoğunluğu, 80 kWh/kg. kapasitedir. Enerji ve güç yoğunluğu, 80 kWh/kg. kapasitedir.

Asit girişi, Asit çıkışı, Asit seviyesi 1, Asit seviyesi 2, Hava darbe girişi



Şekil 46. Asit pompasının yapısı.

Elektrolit dolaşımından başka, dalgalandırma ve havalandırma sistemi de kullanılabilir yöntemlerdir. Bu sistem iki amaca yöneliktir; dalgalandırılarak tortulaşmanın önüne geçmek ve tehlikeli gazları güvenli bir şekilde dağıtmak. Ayrıca, elektrolitin özgül ağırlığının değişmesini önlemek ve elektroliti uygun seviyede tutmak, batarya sisteminin dolup-boşalma ömrünü ve kapasitesini önemli derecede yükselten etkenlerdendir.

2. Çinko-Bromin Bataryalar:

Çinko-bromin bataryalar, elektrikli araçlarda kullanılmak üzere geliştirilen, düşük üretim bedelli (28 \$ /kwh) ve iyi bir performans gösteren karakteristiklere sahip bataryalardır. Elektrikli araçların bazı yerlerde gereksinim olmasından ve geliştirilmelerinden sonra, bataryalarda da iyileştirme gereksinimleri doğmuştur. Şu anda, elektrikli araçlarda, kurşun-asit bataryalar hakimdir. Bununla beraber, kurşun-asit bataryalar, üretim maliyeti, ağırlık yavaş şarj olma gerekliliği, bakım-onarım

ve benzeri, çeşitli alanlarda sınırlı hizmet verebilmektedir.

Çinko-bromin bataryalar, bugünkü kurşun-asit batarya teknolojisinden daha büyük avantajlar sunmaktadır. Bu sistemde, yakın geçmişte, sürekli ilerlemeler kaydedilmiş ve sistem, ileri bir batarya sistemi adayı olarak göze çarpmaktadır. Çinko-Bromin sistemi için üretim maliyeti, kurşun-asit batarya üretiminin yaklaşık yarısı kadardır. Bu düşük maliyet pahalı elemanların kullanılmaması ile elde edilebilmiştir. Elektrolit malzemesi, doğrudan düşük bedelli ticari malzemelerden sağlanabilmektedir. Bataryaların yapısı, hemen tümüyle plastiktir. (Elektrodlar plastik içerir) Geniş alanda plastik kullanılması, düşük ağırlık maliyet ve elemanların toplanmasında, bir araya getirilmesinde kolaylık sağlar.

Örnek bataryalardaki elektrod ve elektrolitlerin performansı, tipik 20 kWh'lık tasarımda, 60 Wh/kg ile 130 Wh/kg. arasındadır. Enerji ve güç yoğunluğu, 80 Wh/kg ile 205 Wh/kg arasında elde edilebilir. Değişik şekillerde bağlantılarla, batarya grubu 36 V-240 V arasında tasarımlanır. Sistemin şarj verimi (d.a./d.a. olarak) % 70 dolaylarındayken, 400 kezden daha fazla derin dolma-boşalma olanağı vardır.

Bataryanın çalışması:

Çinko-bromin bataryaların çalışması tümüyle elektrolit dolaşımına bağlıdır. Elektrolit dolaşımına dayalı, gelişmiş batarya tasarımları, çeşitli çiftler için önerilir. Bunlardan birkaçı, kurşun-asit, çinko-nikel, demir-nikel, çinko-klorin ve çinko-bromin olarak sayılabilir. Elektrolit dolaşımı genellikle, etkili maddeyi beslemek, üretimi harekete geçirmek, sıcaklığın yayılmasına yardımcı olmak ve elektrolitte eş dağılımı sağlamak için kullanılır. Dolaşım sistemi, tasarımı karmaşıklaştırır, fakat buna karşılık daha iyi performans ve daha yüksek enerjiye izin verir.

Çinko-bromin bataryalarda üç ana eleman vardır. Elemanlardan birincisi, asıl elektrokimyasal maddenin yer aldığı elektrokimyasal bölümdür. İkincisi ise, elektrokimyasal bölümden dolaştırılan çinko bromin ve bromin karışımının sulu çözeltisi olan, elektrolittir. Üçüncü bölümü, pompa ve dolaştırılan elektrolitin depo edildiği bölümler oluşturur. Şarj sırasında, negatif elektrod çinko ile kaplanırken, pozitif elektroddan bromin açığa çıkar. Bromin, karışım ile tepkimeye girerek, ikinci bir şekle dönüşür. Bromin yönünden zengin bu madde, elektrokimyasal bölümün dışına

pompalanır ve yer çekimi ile depodaki katod birikintisi ayrılarak, çökeltilir. Bu batarya sistemi ile şarjı uzun süre korumak mükemmel şekilde olasıdır. Buna neden olan, brominin çinkodan ayrı olarak, uzakta saklanmasıdır. Deşarj sırasında, katod birikintisi kapakçığı açılır ve bromin karışımı, elektrokimyasal bölümü yeniden besler. Çinko ve bromin, elektrokimyasal tepkime ile orijinal şekline döner ve çinko bromin çözeltisi oluşur. Şarjda alınan enerji böylece serbest kalır. Ayrırıcı(seperatör), anot ve katod çevrimlerinin doğrudan karışmasını önleyerek, kendi kendine deşarj olayı azaltılmış olunur.

Sabit olarak, düşünülen bu bataryaların, hareketli bir elektrikli araca uygulanması için, öncelikle kontrol ve yardımcı devrelerin uygunlaştırılması gerekir. Depo hacminin değiştirilmesi gerekmez fakat, depo şeklinin değiştirilmesi gerekmez fakat, depo şeklinin ve düşey düzenlemenin, araca uygun şekilde yeniden tasarlanması gereklidir.

Gelişmiş araçlarla ilgili teknolojinin, üzerinde durduğu enerji depolama sistemleri, hareketli sıvıllılar ; akışkanlılar, yüksek sıcaklık ve metal-hava bataryalarıdır. Bunların özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 8.

	Özgül Enerji (Wh/kg)	Enerji Yoğ. (Wh/l)	Özgül Güç (W/kg)	Güç Yoğ. (W/l)	Tüketim Bedeli (\$/kwh)	Dolma-boşalma Ömrü
Hareketli sıvıllılar						
Kurşun-asit	45	100	180	400	80	800
Nikel -demir	50	85	120	205	150-300	1200
Nikel -çinko	60	100	200	330	200	600
Akışkanlılar						
Çinko-bromin	60	60	200	200	60	500-1000
Çinko-klorür	60	70	65	75	120-130	1000
Yüksek sıcaklık						
Li(A)-FeS	90	190	150	315	150-230	500-800
Li(A)-FeS ₂	110	240	180	400	145-230	650
Na-S	90	110	150	180	175	500
Metal-hava						
Alüminyum-hava	300	165	200	110	50-80	Uygun değil
Demir-hava	120	145	120	145	100	800

Tablo 8'de, hareketli sıvılılar için verilen, özgül enerji ve enerji yoğunluğu değerleri, 3 saatlik sabit boşalma akımında, diğer tip bataryaların ise 4 saatlik boşalma akımında elde edilmiştir. Özgül güç ve güç yoğunluğu değerleri, derin deşarjin % 50'si ve açık devre geriliminin 2/3 de, 30'ar saniyelik darbelerle alınmıştır.

Enerji depolama birimlerinden başka, enerji kaynağı veya yardımcı kaynak olarak kullanılmak üzere yakıt pilleri araştırılmaktadır. Çeşitli araştırma gruplarının çalışmaları sonucu, bazı seçenekler elde edilmiştir Fosforik asit yakıt pili (PAFC: Phosphoric acid fuel cell) United Technologies Corporation (UTC) ve Energy Research Corporation (ERC) tarafından hazırlanmıştır. ERC tarafından sunulan diğer bir tasarımda, triflorometan sülfanik asit (TFMSA) kullanılmaktadır. General Electric Company (GE) tarafından tasarlanan bir sistem de, katı polimer elektrolit (SPE :Solid polimer electrolyte) teknolojisi temeline dayanır. Bunların bazı özellikleri tablo 9.da verilmiştir. Bu değerler 90 V d.a. ve 20 kw sürekli yüklü sistem için elde edilmiştir. Maliyet belirlenirken 100.000 üretim/yıllık kapasite düşünülmüştür. Sistemin tamamı, hidrojen ve oksijenle tepkimeye giren, hava ve metanolün kullanımına dayalıdır.

Tablo 9.

	GE SPE	UTC PAFC	ERC PAFC	ERC TFMSA
Özgül güç sürekli	131	80	88	93
darbe (W/kg)	431	240	269	329
Güç yoğunluğu sürekli	59	59	59	46
darbe (W/l)	194	176	179	162
Enerji verimi (%)	51	56	60	40-45
Soğuk kalkış zamanı (dak.)	1-3	5-7	10-12	3
Maliyet (\$/Kw)	330	300-500	200	380

Gelişmekte olan bu sistemler, yakın gelecek için umut verir görünümündedir.

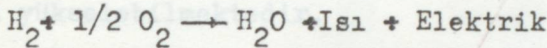
3. Yakıt pilleri :

Yakıtın ve yakıcının kimyasal enerjisini, doğrudan elektrik enerjisine çeviren elektrokimyasal araçlara yakıt pilleri denmektedir. Yapısı, pillerde olduğu gibi elektrolit ve elektrodlardan oluşur. Pillerden farkı

enerji depolamamaları, çift yönlü(şarj-deşarj)tepkimelerin söz konusu olmayışıdır. Yakıt depolanarak, yakıt pili içine sürekli verilir ve elektrokimyasal yükseltgenmeler oluşturulur. Tepkimeye giren maddeler dışarıdan sağlandığı için pilin bitme sorunu yoktur(dışarıdan gelen yakıtın sürekliliği durumunda).

Çalışma sırasında, yakıt ile yakıcının, aralarındaki tepkime sonucu, elektriğe, suya ve ısıya dönüştüğü yer, yine elektrodlardır. Yakıt, anotta elektronlarını bırakarak yükseltgenir. Yükseltgenme çevriminin sağlanma için, anot ile katot arasında, bir dış devre(alıcı) bağlıdır. İyonlar, elektrolit yoluyla geçerek çevrimi tamamlarlar.

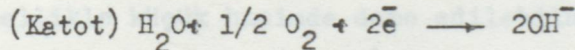
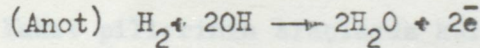
Yakıt pilinin tepkime bağıntısı şöyledir:



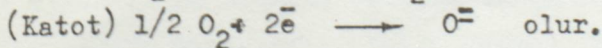
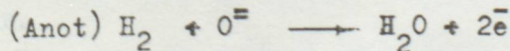
Tek bir pilin verdiği gerilim, bir volttan daha azdır. Ancak bu, pillerin seri bağlanmasıyla yükseltilebileceğinden, sorun olarak görülmemelidir.

Dört çeşit şakıt pilinden söz edilebilir:

1- Alkalimli yakıt pilleri: Bu pillerde, elektrolit olarak potasyum hidroksit, yakıt olarak saf hidrojen ve yakıcı olarak ta oksijen kullanılır. Pilde karşılaşılan ana sorun, elektrolitin karbondioksit ile tepkimeye girip, potasyum karbonat oluşturarak çökmesi ve pilin çalışmasını zamanla engellemesidir. Anot ve katot tepkime bağıntıları aşağıdadır:

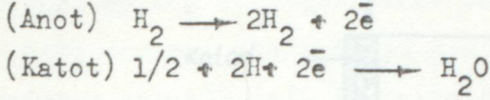


2. Katı oksit yakıcı pilleri : Bunlarda, asal olmayan metal elektrodlar ve yüksek sıcaklıklarda oksijen iyonlarını iletebilen katı elektrolitler kullanılır. Bu pillerde karşılaşılan ana sorun, elektrolit ile elektrot arasındaki, iki katının ara yüzeyini etkili biçimde tutmak ve her iki elektrod çevresi ile pil içinde , uygun temas sağlamaktır. Anot ve katot tepkimeleri :



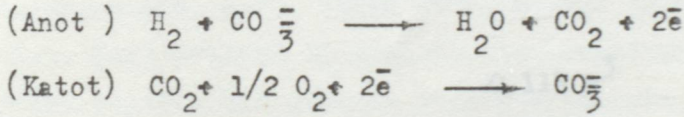
3. Asitli yakıt pilleri: Alkalimli pillerde olduğu gibi, bunlarda da hidrojen, oksijen kullanılır. Elektrolit olarak kullanılan asit, kar-

bondioksitten etkilenmediği için havadaki oksijenin kullanımı kolaylığı vardır. Çalışma sırasında, hidrojen yakıtı anota doğru yayılır ve yükseltgenir. Oksijen ise, katotta hidrojen iyonları ile tepkimeye girer.

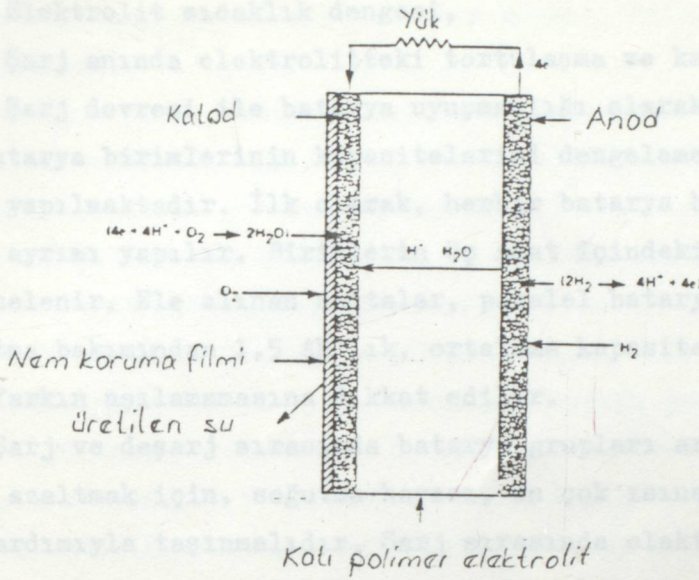


Oluşan su, gaz halinde havaya karışır. Bu pillerde elektrolit olarak fosforik asit kullanılması en iyi seçim olarak görülmektedir. Yakıt pilleri ticari olarak en gelişmiş olanı, yine fosforik asitli pillerdir. Verimleri % 35 dolaylarında olmakla beraber, rejenerasyon ile % 60'a yükselbilmektedir.

4. Erimiş tuzlu yakıt pilleri: Bu pillerde, saf hidrojen, hava asal olmayan metal elektrod ve bir gözenekli seramik kap içinde, erimiş halde bulunan elektrolit kullanılır. Elektrolit olarak alkali karbonat eriyiği tercih edilmektedir. Erimiş karbonatlı pillerde, gözenekli nikel, elektrod olarak, lityum ve potasyum karbonat karışımı ise, elektrolit olarak kullanılır.



Yakıt pillerinin araçlarda kullanılmak üzere düşünülenleri, yakıtın özellikle küçük hacimde depo edilebilmesi için, sıvı yakıt kullanan çeşitleridir. Hidrojen (yakıt) kaynağı olarak genellikle metanol kullanılmaktadır. Araçlarda kullanılması öngörülen elektrolit, teflona benzer perflorokarbondan üretilmiş bir plakadır. Elektrodun yapısı, elektrolit yüzeyine baskı yapan ince bir tabakadır. Pilin yapısı ve elektrokimyasal tepkimeler şekil 47'de şematik olarak gösterilmiştir. Tablo 10. da, elektrikli araçlar için düşünülmüş bir yakıt pilinin bazı özellikleri verilmiştir.



Şekil 47. Yakıt pilinin şematik gösterimi.

Tablo 10.

Hacim	0,115 m ³
Ağırlık	150 kg
Darbe gücü	66 kw
Sürekli güç	20 kw
Sistemin nom. gerilimi	96 V.d.a.
Sürekli güçte verim	% 50

4. Tahrik Bataryalarının şarjı

Bataryaların şarjı enerji ekonomisi ve kullanım ömrü bakımından oldukça önemlidir. Elektrikli otomobillerin en büyük kısmını oluşturan bataryaların ömrü ve verimi, otomobillerin ömrüne ve verimine oldukça fazla etkiler. Bu nedenle batarya kontrolunda kullanılan sistemlerin güvenilir olması gereklidir. Aşırı deşarj, batarya grubunun doldurulmasında sorunlara neden olurken, bataryaların tümü de aynı derecede şarj edilemez

Şarj sorunlarının etkenleri:

- Batarya kapasitesi uygunluğu,
- Elektrolit sıcaklık dengesi,
- Şarj anında elektrolitteki tortulaşma ve katmanlaşma,
- Şarj devresi ile batarya uyumsuzluğu olarak sıralanabilir.

Batarya birimlerinin kapasitelerini dengelemek için, çeşitli incelemeler yapılmaktadır. İlk olarak, herbir batarya birimi arasında %100 ağırlık ayrımı yapılır. Birimlerin üç saat içindeki dolup-boşalma durumları incelenir. Ele alınan noktalar, paralel batarya kolları arasında, şarj tutma bakımından 1,5 Ah'lık, ortalama kapasitelerin arasında ise 3 Ah'lık farkın aşılmasına dikkat edilir.

Şarj vedeşarj sırasında batarya grupları arasındaki sıcaklık farkını azaltmak için, soğutma havası, en çok ısınan bataryalara, borular yardımıyla taşınmalıdır. Şarj sırasında elektrodlerden kaparak elektrolite karışan ve tortulaşmaya neden olan parçacıklar, elektrolitin de özgül ağırlığının artmasına sebep olur. Yapılan deneyler sonucu, tortulaşma ve su kaybını en aza indiren bir şarj akımı şekli elde edilmiştir. Şarj başlangıcında şarj akımı 100A (paralel kollara 50A düşmek üzere) olmaktadır. Şarj devresi 24 saatlik bir zamanlayıcıya sahiptir. Böylece gün içinde, belirli bir zamanda şarj etmesi için ayarlanabilir. Şarj sonunda akım 35A (paralel kol başına 17,5A) e düşer.

Şarj işlemindeki gelişmeler bir mikroişleyici ile kontrol edilmiştir. Gerilim, şarjlı batarya geriliminin % 95'ine ulaştığı zaman, basit olarak bataryaların da kapasitelerinin % 95'i kadar bir enerji ile yüklendiği söylenebilir.

Mikroişleyici kontrol biriminden, yapması beklenen işlemler şöyle sıralanabilir:

- Deşarj fonksiyonunun ortalamasına bağlı olarak şarj zamanını tespit etme.
- Şarj aralarını, erken şarj bitişi verilerini saklama ve ilerideki şarj etme zamanlarını hesaplamada, bunlardan yararlanma.
- Şarj bitiş akımını izlemek ve ayarlanan değeri aşarsa, şarjı durdurup uyarı sinyali verme.

- Şarj şeklini seçme (rampa fonksiyonu, darbeli, yükseltmeli gibi)
- Kullanılan bellek bloğunu, a.a. güç kaynağında oluşabilecek kesintilere karşı, programlanan bilgilerin kaybını önlemek için d.a. güç kaynağından besleme.

Batarya şarjı, bataryalar bakımından önemli olduğu kadar, elektrik şebekesi açısından da önemlidir. Özellikle ileri dönük düşünüldüğünde, tedbirlerin alınması gerekeceği açıkça görülebilir.

2000 yıllarında milyonlarca elektrikli aracın kullanılacağı olasılığı, elektrik şebekesine bunların şarj anında ne denli büyük yükler yükleyeceği sorununu da ortaya çıkarmaktadır.

Bir elektrikli aracın gereksinim duyduğu enerji miktarı, onun dolaşımına, yüküne, bataryaların enerji depolama yoğunluğuna, şarj verimi ile tahrik sisteminin verimine bağlıdır. Enerji yoğunluğu 0,05 kwh/kg olan, iyileştirilmiş kurşun-asit bataryalı, 65 kmlik dolaşım olanağına sahip, dört kişilik bir otomobil hareketli olduğu sürece, km başına 0,25 kwh'lık elektrik enerjisine gereksinim gösterir. Bu bataryanın kullanımındaki ve doldurulmasındaki kayıpları da içermektedir.

Bataryaların şarjı için başlangıçta, güç göreceli olarak yüksektir ve tam şarja yaklaştıkça, güç istemi azalmaktadır. Tablo 11de kurşun asit bataryanın şarjına ilişkin değerler gösterilmiştir.

Tablo 11.

Zaman (saat)

		0	1	2	3	4	5	6
Gerilim	(V)	12,8	13,1	13,4	13,9	15,8	15,8	15,8
Akım	(A)	46	46	46	46	46	7	4
Güç	(W)	589	603	616	639	727	111	63
Yük miktarı	(Ah)	0	46	92	138	184	203	208
Yük verimi	(%)	100	100	100	99	90	50	20
Şarj durumu	(%)	0	23,1	46,3	69,4	91,3	99,1	100

Şarjın büyük bir kısmında 4 saat süreyle akım, 46A de sabittir ve bu süre içinde gerilim 12,8 volttan 15,8 volta yükselmektedir. Şarjın bitiminde, gerilim sabit tutularak, geri kalan 2 saat içinde şarj akımı hızla düşürülür.

5. Batarya şarjının Zamanlaması ve Elektrik Şebekesine Etkisi :

Yeniden şarjın çoğu, araçlar park edildiği zamanlar yapılacaktır. Genellikle araç, park edildikten hemen sonra şarja bırakılır. Aksi halde, aracın şarja bağlanması için bir süre sonra yeniden yanına gelmek ve işlemi başlatmak gerekecektir ki, bunu da hiç bir araç sahibi yapmayacaktır. Veya, zamanlama işlemi otomatik yapılmalıdır. Gün boyunca, elektrik ücreti sabit olan yerler için şarj zamanlaması, maliyeti etkilemeyeceğinden, o denli önemli olmayabilir. Diğer bir durum da, günün farklı saatlerinde, farklı elektrik ücreti uygulaması durumudur. Bu halde, şarj işlemi olabildiğince ücretin en düşük olduğu saatlarda yapılmalıdır ki buda gecenin geç saatleridir.

Tablo 12. de 2000 yılında, A.B.D'de söz konusu olması beklenen durumlar belirtilmiştir.

Tablo 12.

Binek otomobil sayısı	150 milyon
Elektrikli araçların binek otomobilleri içindeki oranı	% 5
Elektrikli araç sayısı	7,5 milyon
Elektrikli araçların ortalama yıllık dolaşımı	16.000 km.
Elektrikli araçların k.m başına kullandıkları ortalama enerji	0,66 kwh
Her elektrikli araç başına günlük ortalama şarj yükü	18 kwh
Elektrikli araçların bir günlük şarj yükü	135 Gwh
Enerji taşıma ve dağıtım hatlarının verimi	% 90
Elektrikli araçların şarjı için gerekli günlük elk. üretimi	150 Gwh

Görüldüğü gibi, şarj için gerekli enerji miktarı, oldukça büyük boyutlara ulaşmaktadır. Elektrikli araçların batarya şarjında, enerji üretim maliyetinin düşük olduğu ve santrallerin yüklerinin azaldığı saatler seçilmiştir. Şarjın, araç park edilir edilmez yapılması, akşamın erken saatlarında zaten aşırı yüklü olan şebekenin daha da yüklenmesine sebep olacaktır. Bu aşırı yük ve darbeleri karşılamak için, fosil yakıtları bağımlı, santrallerden yararlanıldığı ve gecenin geç saatlarında devrede yalnızca hidroelektrik santrallerin kaldığı düşünülürse, enerji maliyetinin ne denli büyük farklılık göstereceği anlaşılabilir.

IV. ELEKTRİKLİ ARAÇLARLA İLGİLİ DENEMELER VE SONUÇLARI

Otomobillerin, ilk yaşlarından bu yana, elektrikle tahrik ve enerjinin elektrik olarak depolanması, olası bir seçenek olarak görülmektedir. 1975 te servise alınan 58 adet, Mercedes-Benz'in ürettiği elektrikli dağıtım minibüsü, yaklaşık 2,2 milyon km mesafelik kullanım süresine sahiptir. İkinci bir deney ise, 30 adet 307E model, elektrikli dağıtım minibüsü ile 1981'de başlatılmıştır. Bu araçlar Bonn'da, Alman Federal Posta Ofisinde ve Berlin'de, değişik işlerde kullanılmaktadır. Berlin'de çalıştırılan araçlar, Federal Teknoloji ve Geliştirme Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir. Bu araçlar da yaklaşık olarak 400.000 km'lik toplam kullanıma sahiptir. Bu araçların denenmesinde teknik performans ile sürücünün görüşüne önem verilmektedir.

1200 kg'lık yükü elektrikli minibüsün, bugünkü bataryaların izin verdiği menzile ile dağıtım yapması olasıdır. Araçların, çoğunlukla günlük kullanımı 12-30 km arasındadır. Diesel minibüslerdeki sürücü bölümü ve yük alanını koruyabilmek için, eğerdiği bataryalar ve elektrikle tahrik elemanları, uygun şekilde düzenlemiştir.

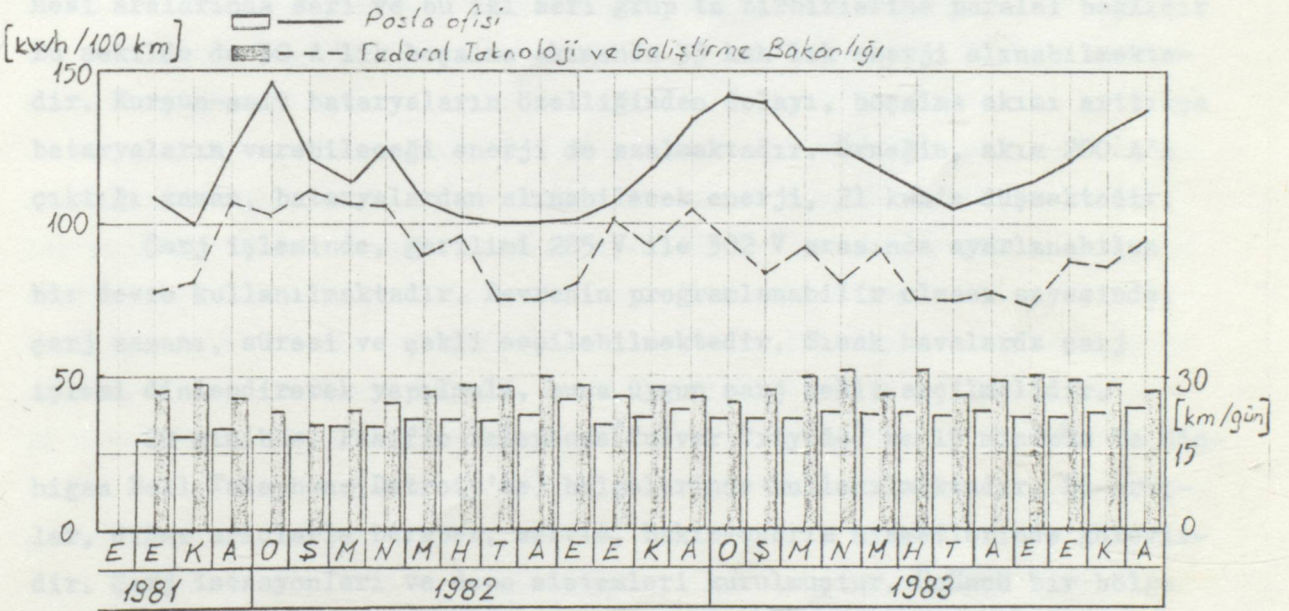
Elektrikli dağıtım minibüsünün yüksüz ağırlığı 3200 kg. dir ve diesel motorlu bir araçtan, yaklaşık 1400 kg. daha ağırdır. Anlaşılacağı gibi ağırlıkların optimize edilmesi gerekmektedir. Kurşun-asitli bataryaların kullanılması halinde, enerji kapasitesi aynı kalırken, aracın boş ağırlığı 200 kg'dan daha fazla artış gösterir. Cihazların, bakım-onarım açısından, kolay erişilebilecek şekilde yerleştirilmesi gereklidir. Bataryaların yerleştirilmesinde ise sıcaklık dağılımları dikkate alınır.

Kurşun-asitli batarya ve şarj devresinin uygun kullanımı ile araca elverişliliği sağlanır. Batarya içindeki bağımsız gözlerin hatalı olması, batarya performansını düşürür. Doğal olarak, böyle bir durumda gözün değiştirilmesiyle, bataryalar, eski performansını yeniden kazanır. Fakat, bataryaların gücünü korumak için modüllerin % 24'nü gerekli tarihte değiştirmek zorunludur.

Bataryalar, araçların kış kullanılarında ısıtır. Birimlerinde, kurşunların ek olarak bölgesel ısıtması da söz konusudur. Kullanılan bataryaların, günlük kullanımla, su miktarı 2,5 ayda % 90'a düşer. Elektrolit seviyesinin düşmesi, bataryaların performansını düşüren ve onların za-

rargörmesine de yol açabilecek olan etkilerdendir. Bu nedenle, bataryaların bakımı önem kazanır. Yarıların bakımı önem kazanır ve azaltılabilir. Olanacağı yoktur.

Alman Federal Posta Ofisinde, günlük ortalama katedilen yol, batarya kapasitesinin % 30 ile % 60'nı tüketmektedir. Durma ve şarj işlemi ile, kışın ısıtma işlemi, günde 16 saat süreyle olmaktadır. Bazı araçların, bazı hallerde, uzun süreli dolaşımında kalmaları ve yüksek performans harcamaları, bataryaların kapasitesinden tam olarak yararlanma zorunluluğunu ortaya çıkarmakta, hatta aralıklarla şarja bağlanması, uygun görülmektedir. Şekil 48'de, iki yıllık ana güç tüketimi ve günlük dolaşım değerleri verilmiştir. Her araç için, posta dağıtım araçlarında ısıtma dahil güç tüketimi 1200 Wh/km iken, Federal Teknoloji ve Geliştirme Bakanlığı programında, 890 Wh/km gibi, oldukça düşük bir değerdir. Batarya ısıtılmasından dolayı, kış aylarında, güç tüketimi büyük ölçüde artmaktadır.



Şekil 48. Elektrikli minibüs(307 E)'ün ana güç tüketimi ve günlük dolaşımı

Ele alabileceğimiz diğer bir örnek ise, A.B.D.'de üretilip denenmiş elektrikli minibüslerdir. Bunlarda motor kontrolü, iki tristörlü bir d.a kıyıcısı ile yapılmakta, yön değiştirme veya faydalı frenleme için bir alan yönü değiştirici kullanılmaktadır. Kontrol birimi 220V ve 600 A için üretilmiştir, genliği ve frekansı (0-300 Hz) ayarlanabilmektedir. Kullanılan motor, General Motors'un ürettiği 3250 d/d'da 50 HP güç verebilen, seri uyarmalı d.a. motorudur. Motor ağırlığı yaklaşık 150 kg'dır.

Batarya grubu, bir hava filtresi sistemini, sudan etkilenmeyen bir gövdeyi ve aralarındaki iç bağlantıyı kapsar. Atesten etkilenmemeli için de, yaklaşık 40 kg.'lık ek bir ağırlığa rağmen, korumaya alınmışlardır. Bunların dışında, kalan elemanlar ile bataryanın ağırlığı 1125 kg'dır. Araç için güç sağlayan bataryalar, 36 ade, 12 voltluk, az bakımlı kurşun-asit akümülatörlerdir. Herbir bataryanın ağırlığı yaklaşık 30 kg. ve kapasitesi 76 Ah'tır (25 A lık boşalma akımında). Buna göre de 30 Wh/kg lık bir enerji sağlanmaktadır.

Batarya grubunun nominal gerilimi 216 V'tur. 36 bataryanın 18 tanesi aralarında seri ve bu iki seri grup ta birbirlerine paralel bağlıdır. Bu şekilde de 50 A lık boşalma akımında 33 kwh'lık enerji alınabilmektedir. Kurşun-asit bataryaların özelliğinden dolayı, boşalma akımı arttıkça bataryaların verebileceği enerji de azalmaktadır. Örneğin, akım 200 A'e çıktığı zaman, bataryalardan alınabilecek enerji, 21 kwh'a düşmektedir.

Şarj işleminde, gerilimi 285 V ile 302 V arasında ayarlanabilen bir devre kullanılmaktadır. Devrenin programlanabilir olması sayesinde, şarj zamanı, süresi ve şekli seçilebilmektedir. Sıcak havalarda şarj işlemi dinlendirerek yapılmalı, buna uygun şarj şekli seçilmelidir.

20 minibüs, Pasific Telephone(Culver City'de) ve 15 minibüs te Michigan Bell Telephone(Detroit'te) bölgelerinde kullanılmaktadır. Bu araçlar, diğer araçlarla beraber, servis, bakım-onarım hizmetlerinde görevlidir. Şarj istasyonları ve depo sistemleri kurulmuştur. Üçüncü bir bölge de % 12 lik yokuşlarla, inişli-çıkışlı bir arazi yapısına sahip Baldwin Hills bölgesidir.

Culver City'de kullanılan minibüslerin günlük, ortalama dolaşımı 23 km, Detroit'te ise 35 km dolaylarındadır. Deneme programının sonunda

480.000 minibüs.km'lik dolaşım birikimi sağlanmıştır. Detroit'te kullanılan ara şarj, gün içindeki 30-60 dakikalık şarjlardır ve bu şekildeki şarjlar, tüm şarj işleminin % 40'nı oluşturur. Ara şarj genellikle öğle aralarında yapılır. Bu ara şarjlar, minibüslere 50-60 km/günlük çalışmaya izin verir.

Programda enerji tüketimi izlenmiş ve şu sonuçlar alınmıştır. Culver City'de, başlangıçta, 4,8 kwh/km olan enerji tüketimi, 3 kwh/km'ye, Detroit'te ise 3,5 kwh/km'den 2,4 kwh/km'ye düşmüştür. Görüldüğü gibi Culver City'de şarj verimi % 50-60 dan % 70-80 lere, Detroit'te % 70-75'ten % 75-80 lere çıkmıştır. Enerji kullanımındaki bu değişimin nedeni, batarya gruplarının şarj yöntemlerindeki olumlu değişimlerdir.

Detroit'te enerji kullanımı daha azdır. Bunun nedeni şöyle göze çarpmaktadır. 135-150 kg. dan az bir yükte çalışan minibüsler, Detroit'te 300 A'lik bir motor akımı üst sınırı ile çalışabilirken, Culver City'de bölgenin iniş-çıkışlarından dolayı 400 A'lik motor akımına kadar çıkılması gerekmektedir. Buna karşılık faydalı frenleme ile geri alınan enerji bakımından, Culver City'de % 15'lik değişim, Detroit'te ise %5 lik değişim söz konusudur. Faydalı frenleme, mekanik fren düzeneğinin ömrünün artmasını da sağlamaktadır.

Her sekiz ile on haftada bir , kullanılan tüm bataryaların çalışması kontrol edilir. Bu bakım-onarım sırasında aşağıda açıklanan işlemler yapılır: Önce bataryalar araç üzerindeki ve şarj yerinde, şarj edici açılır, batarya gerilimlerini kaydedici teyp çalıştırılır, 15 dakika sonra da akımların değişimleri elde edilir. Bataryalar araçtan dışarı alınır, elektrolitlerin belirli özellikleri ölçülür ve her bir pilin seri numarası ile durumu kaydedilir. Elektrolit seviyesi ile 200 V'luk özel bir yük üzerine boşaltılır, her bir bağımsız bataryanın gerilimi ve grubun kapasitesi kaydedilir.

Bu noktada, tüm batarya verileri incelenir ve gerekli bataryalar değiştirilir. Bataryanın değiştirilmesinde dikkate alınan bir nokta, şarjlı olarak okunan en yüksek gerilim ile boşaldıktan sonra okunan gerilim arasındaki farkın 3 volttan büyük olup olmadığının kontrolüdür. Diğer bataryalara da zarar verir. Paralel bağlı batarya grupları arasında da akım

dengesi olmadığı durumlarda, paralel gruplardan biri, diğerinden daha fazla boşalacaktır. Herhangi zayıf veya iş görmeyen bir batarya olursa, gruptan sökülür ve tek olarak kontrol edilir. Tüm seperatör ve plakaların durumları incelenerek kaydedilir. Bataryalar değiştirildikten sonra, sistem yeniden şarj edilir ve araç servise sunulur.

Deney sonuçlarını almak ve karşılaşılan sorunları çözmek için, üç adet bilgisayar veri bankası ayrılmıştır. Biri ön üretim bilgilerini içerir. Her batarya için, kendi seri numarası altında 17 özellik saklanmıştır. İkincisi, tüm aylık arazi servisi ve bakım-onarım verilerini içerir. Üçüncüsünde ise arızalı bataryalar ile ilgili veriler saklanır. Üç veri bankası, üretim etkisi ve servis parametrelerinin, batarya performans ve çalışma ömrüne etkilerini tesbit etmek için beraberce, birbirlerine bağlı olarak çalışırlar.

Genellikle toz ve kirden dolayı oluşacak kaçakları önlemek için, aracın hiçbir alıcı çalışmaz durumda iken, 3 mA'den büyük bir akım çekip çekmediği kontrol edilir. 3 mA'lik kaçak akım sınırı aşılsa, gerekli yerlerin yalıtım ve temizlikleri gözden geçirilir.

Arazi uygulamalarındaki sorunlar toplanarak, test mühendisleri tarafından değerlendirilir. Gerekli değişiklikler, yapılabilecek iyileştirme ve geliştirmeler yapılır, yeni devreler, yeni parçalar veya bölümler üretilir.

VII. SONUÇ

Bölüm VII.daki deneme sonuçları da göz önüne alındığında, elektrikli araçların dolaşımlarda kullanımının verimli olduğu görülmektedir. Şehir içi servis hizmetleri, dağıtım ve taşıma işlerinde kullanılabilir olduğu denenmiştir. Halen, posta dağıtımı, turistik alanlardaki gezintiler ve spor alanları için, sessiz ve doğaya zararı olmadan çalışabilme özelliği nedeniyle kullanılmaktadırlar. Bu araçların düşünüldüğünde, ilerisi için ne kadar ümit verici oldukları kolayca anlaşılabilir.

Güç elektroniği devrelerindeki gelişmeler, bu türlü araçlara kısa sürede uygulandığı halde, çok daha önemli bir yer tutan bataryalar ve motorlarla ilgili gelişmeler, henüz tam olarak çalışmalara yansıtılmamıştır. Örneğin, kullanılmakta olan elektrikli otomobillerde, tahrik motoru olarak hala d.a. seri motorunda ısrar edilmesi, verim, hacim ve ağırlık gibi üretim etkênleri yanında çok az bakıma gereksinim duyan a.a. motorlarına geçilmemiş olması ileri dönük çalışmalarda, büyük boyutlu gelişmeler olacağını gösterir. Bunun yanında, kullanılan batarya teknolojisinin de aynı durumda olduğu söylenebilir. Özgül enerjisi, diğer tip bataryalara oranla oldukça düşük olan kurşun-asit bataryaların yerini almaya hazır batarya tipleri, elektrikli otomobillerin ağırlık sorunlarına da bir ölçüde çözüm getirecektir.

Bataryaların yerlerini, yakıt pillerinin alması ise, enerji yenileme süresini kısalttığı gibi, aynı zamanda ağırlık yönünden de olumlu iyileşmelere neden olacaktır. Böylelikle, bataryaların şarjı sorunu da çözümlenmiş , elektrik şebekesine belirli saatlarda yükleneceği düşünülen batarya şarj yükününde önüne geçilmiş olunacaktır.

Bugünkü benzinli binek otomobillerde elde edilen tahrik konforunun, elektrikli otomobillerde de elde edilebilmesi oldukça zordur. Fakat bunun yanında, ekonomikliği ve yüksek verimi de göz ardı edilmemelidir. Fosil yakıtların tükenmesinden sonra, boşluğu doldurabilecek en uygun seçenek olarak elektrikli otomobillerin görülmesi gerekmektedir.

Elektrik motorlarındaki, kontrol elemanlarındaki ve enerji kaynaklarındaki gelişmeler yakından izlenerek, elektrikli otomobillerin de bunlara paralel bir gelişim çizgisi izlemesi ve petrol ürünü yakıtlarla çalışan otomobillerin arasında yavaş yavaş yerlerini almaları çok kısa bir gelecek için zorunlu görülmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Burhaniye'de doğdum. İlk okulu Ayvalık'ta bitirdikten sonra, ortaokula Ayvalık Lisesi'nde başlayıp, İstanbul Mecidiyeköy Lisesi'nde tamamladım. Ardından, Maçka Endüstri Meslek Lisesi, Elektrik Bölümü'nden mezun oldum. 1981 yılında girdiğim, Yıldız Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Bölümü'nü 1984 yılında iyi derece ile bitirdikten sonra, 1986 yılında Yüksek Lisans Öğrenimime başladım. Bu arada, özel bir şirkette de çalışmaya devam ediyordum. Halen, Yıldız Üniversitesi, Elektrik Bölümü, Elektrik Makinaları Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.

