

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ
YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU

Hüseynli Rəmzi Tofiq
İsgəndərova Fidan Həsən
Məmmədov Rəvan Mirəflan

**Elektromobillərin əsas texniki xarakteristikalarının seçilməsi və onların
yaxşılaşdırılması üsullarının tədqiqi**

MAGİSTRİK DİSSERTASIYASI

Avtomobil servisinin texnologiyası
(İxtisaslaşmanın şifri və adı)

Elmi rəhbər: t.e.n. dosent. Manafov Qasım Cabar

BAKİ – 2024

MAGİSTRANTIN ANDI

“Elektromobillərin əsas texniki xarakteristikalarının seçilməsi və onların yaxşılaşdırılması üsulları” mövzusunda təqdim etdiyim(iz) magistrlik dissertasiyasını elmi əxlaq normalarına və istinad qaydalarına tam riayət etməklə və istifadə etdiyim bütün mənbələri ədəbiyyat siyahısında əks etdirməklə yazdığımıza and içirəm(ik) və magistrlik dissertasiyasının AzTU Kitabxana İnformasiya Mərkəzində saxlanılması, həmin mərkəz tərəfindən AzTU Rəqəmsal Repozitoriyasına daxil edilərək repozitoriyanın veb saytında yerləşdirilməsinə icazə veririk.

İsgəndərova Fidan

(Adı, Soyadı)

(imza)

Hüseynli Rəmzi

(Adı, Soyadı)

(imza)

Məmmədov Rəvan

(Adı, Soyadı)

(imza)

Tarix:” _____ ” _____ ” _____ ”

MÜNDƏRİCAT

İXTİSARLARIN SİYAHISI.....	4
GİRİŞ.....	5
I.ELEKTROMOBİLLƏRİN TƏSNİFATI VƏ ONLARIN İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ (Hüseynli Rəmzi Tofiq)	7
1.1.Elektromobillərin təsnifatı və konstruktiv xüsusiyyətləri.....	7
1.2.Elektromobillərin güc-enerji qurğuları.....	13
1.3.Elektromobillərin inkişaf perspektivləri.....	18
II.ELEKTROMOBİLLƏRİN ƏSAS AQRƏQAT VƏ QOVŞAQLARIN İŞİNİN TƏHLİLİ (Məmmədov Rəvan Mirəflan)	23
2.1.Elektromobillərin elektrik mühərriki və seçilməsi.....	23
2.2.İnvertor və kontrollerlərin işinin təhlili.....	27
2.3.Akkumulyatorlar və onların xüsusiyyətləri.....	36
2.4.Elektromobillərin mexaniki intiqalları.....	38
III. ELEKTROMOBİLLƏRİN TEXNİKİ XARAKTERİSTİKALARININ YAXŞILAŞDIRILMASI METODİKASININ TƏDQIQI (İsgəndərova Fidan Həsən).....	42
3.1.Elektromobillərin əsas parametrləri və xarakteristikalarının təyin edilməsi metodikası.....	42
3.2.Elektromobillərin dizaynının işlənilməsi metodikasını.....	49
3.3.Elektromobillərin səmərəli konstruktiv parametrlərinin axtarışı metodikasını.....	52
NƏTİCƏ.....	54
ƏDƏBİYYAT.....	55

İXTİSARLARIN SİYAHISI

1. BEV - Battery Electric Vehicle;
2. HEV - Hybrid Electric Vehicle;
3. PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle;
4. FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle;
5. DC – Direct Current;
6. AC – Alternative Current;
7. İM – İnduksiya Mühərriki;
8. PMSM – Permanent Magnet Synchronous Motor;
9. SRM – Switched Relutance Motor;
- 10.IGBT – Insulated-Gate Bipolar Transistor;
- 11.GaN - Gallium Nitride;
- 12.SiC – Silicon Carbide ;
- 13.EV – Electric Vehicle;
- 14.BLDC – Brushless Direct Current Electric Motor;
- 15.REEV - Range-Extended Electric Vehicle;
- 16.E-REV - Extended-Range Electric Vehicle;
- 17.DYM – Daxili Yanma Mühərriki.

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı: Qlobal istiləşmənin getdikcə artan fəsadlarını, atmosfərə buraxılan zərərli qazların səviyyəsini azaltmaq üçün təxirəsalınmaz tədbirlər görmək zəruridir. Karbon emissiyalarının azaldılması üçün əsas prioritet istiqamət daxili yanma mühərrikli avtomobillərin elektromobillər ilə əvəz olunması və qurğularında elektrik enerjisindən istifadəni aktuallaşdırmaq lazımdır.

Hazırda avtomobil sənayesi üzrə qabaqcıl ölkələrdə alternativ enerji mənbələrindən istifadə etməklə elektromobil sənayesinin gələcək inkişafı üçün bir sıra araşdırmalar həyata keçirilir. Avtomobillərin ətraf mühitə zərərli təsirlərini azaltmaq üçün bu üsulla əldə edilmiş enerji ilə işləyən elektromobillər perspektivli hesab edilir.

Benzin ilə işləyən avtomobillər və dizel mühərrikli avtomobillər güc mənbəyi kimi yanacaqdan istifadə etdiyi üçün ətraf mühitə bir çox ziyanlar vurur. Zərərli qazlarla atmosfer qazlarının çirklənməsi ilə bərabər, istixana qazlarının emissiyalarının artması və yanacaq təminatı xərclərində də artım müşahidə olunur. Mütəxəssislərin tədqiqatları nəticəsində yaxın gələcəkdə bu avtomobillərin ekologiyaya təsirinin 50%-ə qədər çatacağı güman olunur.

Gələcəkdə daha təmiz ekologiyaya sahib olmaq üçün bu problemlərin az xərclər ödəmək ilə azaldılması təmin olunmalıdır. Bunun yollarından biri ekologiya dostu avtomobillərin istehsalı və istifadəsini artırmaqdır.

Bütün bu parametrlərin analizinin nəticəsi olaraq gələcəkdə daha təmiz ekoloji mühitə sahib olmaq, maliyyə böhranın baş verməməsi üçün xərclərin azaldılması, tükənən və bərpa olunmayan enerji mənbələrindən istifadənin azaldılması, eyni ilə dayanıqlı nəqliyyat vasitələri ilə təminata ehtiyac olduğu məlumdur. Sadalanan göstəricilər plug-in, hibrid və litium-ion batareyalı elektromobillər kimi təmiz enerji mənbəyinə sahib avtomobillərin istehsalını və geniş şəkildə istifadəsini labüd etdi.

Elektromobillər yenidən yüklənə bilən akkumulyator və elektrik mühərriki ilə işləyir. Bu avtomobillər ekoloji cəhətdən təmiz olduğu üçün irəliləyən dövrlərdə təhlükəsiz enerjinin inkişafına yön verəcək. Sürücülərin bir hissəsi ənənəvi nəqliyyat

növləri əvəzinə elektromobillərdən istifadəyə üstünlük verərsə, qlobal istiləşmənin, CO₂ qazının azaldılması və şəhər ekosisteminin çirklənmə səviyyəsinin enməsinə töhvə verəcəkdir.

Dissertasiya tədqiqatının məqsədi və vəzifəsi: Elektromobillərin əsas texniki xarakteristikalarını seçilməsi, əsas hissələrin yaxşılaşdırılması üsullarının təyin edilməsi, yaxşılaşdırma metodlarının müəyyən edilməsi və əsas hissələrin işinin təhlil edilməsidir.

Dissertasiya işinin obyektı: Elektromobil və onun elementləridir.

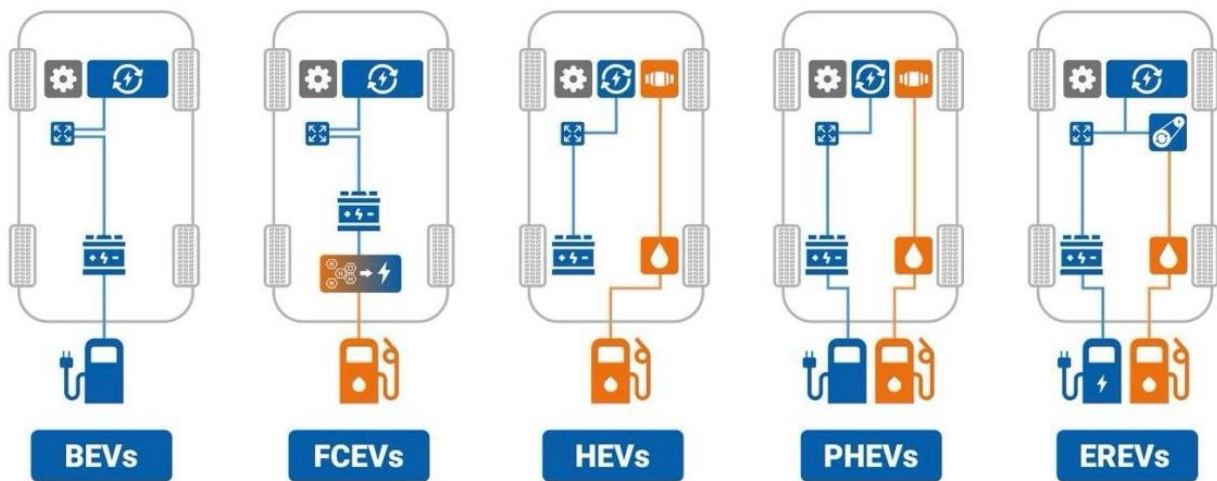
Dissertasiya işinin predmeti: Elektromobillərin konstruksiyası, istismarı, infrastruktur elementləridir.

Elmi yeniliyi: Elektromobilin əsas texniki xarakteristikalarının seçilməsi və onların yaxşılaşdırılması üsullarının təyin edilməsidir.

I FƏSİL. ELEKTROMOBİLLƏRİN TƏSNİFATI VƏ ONLARIN İNKİŞAF PERSPEKTİVLƏRİ

1.1. Elektromobillərin təsnifatı və konstruktiv xüsusiyyətləri

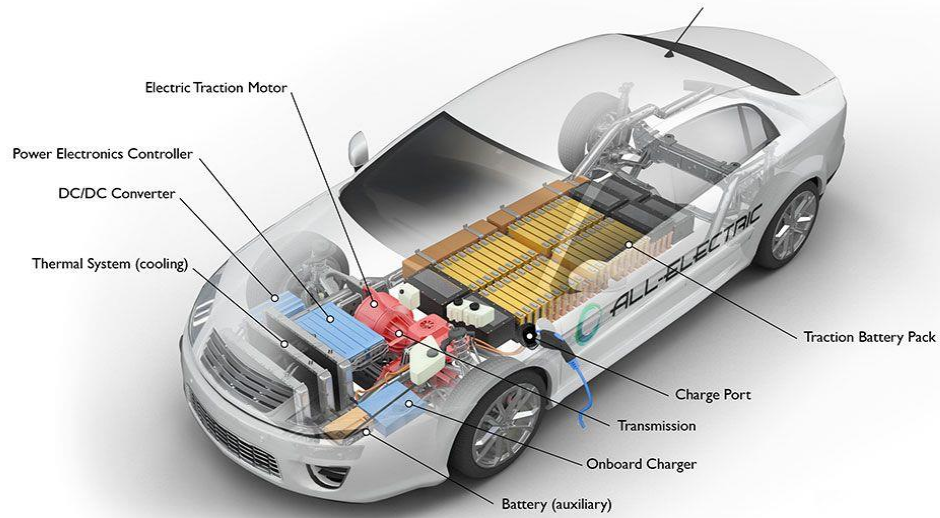
Elektromobil - tamamilə, yaxud qismən batareyada saxlanılan enerjidən qidalanan, güc mənbəyi olaraq elektrik mühərrikindən istifadə edən avtomobildir. İlk elektromobil prototipləri XIX əsrin əvvəllərində yaradılmışdır. Müasir elektromobillərin tarixi XX əsrin əvvəllərindən başlayır. Elektromobillərin geniş miqyasda istifadəsinə isə XXI əsrin əvvəllərindən başlanmışdır (Электромобиль — Википедия, n.d.)(Wakefield, 1994). Elektromobillər müxtəlif xüsusiyyətlərinə görə siniflərə bölünür (Строганов, 2014b). Elektromobillərin təsnifatı belədir (Finken et al., 2008):



Şək. 1.1 – Elektromobillərin növləri

1. Batareya elektromobilləri (BEV - Battery electric vehicle): Müasir təsnifatda "əsl" elektromobillər BEV olaraq adlandırılır və onlar yalnız batareyadan başqa enerji mənbəyi olmayan avtomobillər kimi sinifləndirilir.

All-Electric Vehicle



afdc.energy.gov

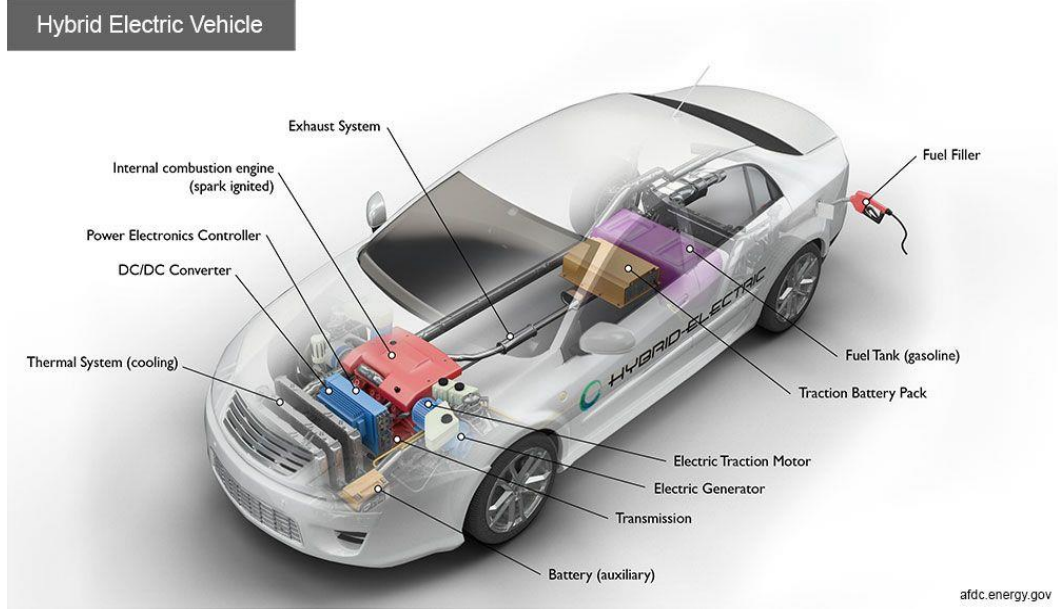
Şək. 1.2 – Batareya elektromobil

Ən sadə güc aqreqatının arxitekturası yüksək gərginlikli akkumulyatordan, güc elektronikasısı kontrolleri olan elektrik mühərrikindən və tək pilləli sürətlər qutusunda ibarətdir.



Şək. 1.3 – Tesla model S elektromobili

2. Hibrid elektromobilləri (HEV - Hybrid electric vehicle): Hibrid avtomobillərin konstruksiyasına nəzər saldıqda həm daxili yanma mühərriki, həm də elektrik mühərrikindən istifadə olunduğunu müşahidə edirik.



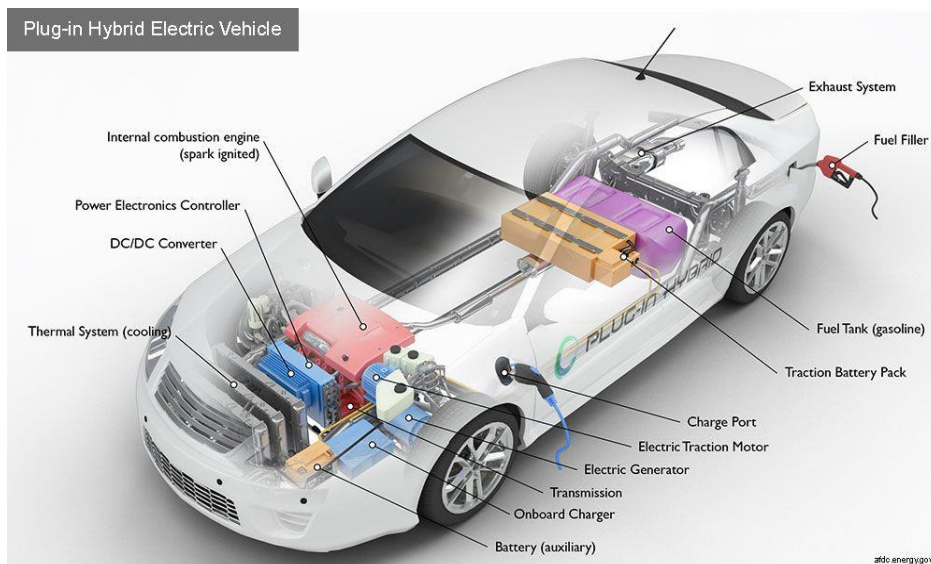
Şək. 1.4 – Hibrid elektromobillər

Bu avtomobillərin əsas üstünlüklərindən biri tormozlama zamanı enerjini bərpa edərək batareyanı doldurma xüsusiyyətidir ki, bu da yanacaq sərfiyyatının azalmasına səbəb olur. Məsələn, “Toyota Prius” və “Honda Insight” kimi məşhur modelləri göstərmək olar (Карунин А.Л. & Бахмутов С.В., 2019).



Şək. 1.5 - Toyota Prius

3. Plug-in hibrid elektromobilləri (PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle): Bu avtomobilləri digər hibrid avtomobillərdən fərqləndirən əsas xüsusiyyət yenidən doldurulan akkumulyator ilə təchiz edilmiş olmalarıdır.



Şək. 1.6 - Plug-in hibrid avtomobilləri

Bu avtomobillərdə əsasən daxili yanma mühərriklərindən istifadə olunsa da, qısa məsafə üçün elektrik enerjisindən də istifadə edilir.



Şək. 1.7 – Bentley Bentayga

4. Yanacaq hüceyrəli elektromobilləri (FCEV - Fuel cell electric vehicle): Elektromobillərin bir digər kateqoriyası da FCEV-dir. Onlar, yanacaq hüceyrələrindən istifadə edirlər. Burada elektrik enerjisi hidrogeni oksigenlə birləşdirən kimyəvi reaksiyadan istifadə etməklə birbaşa istehsal olunur. Bu reaksiya xüsusi katalitik hüceyrələrdə yanma olmadan baş verir. FCEV avtomobilləri hidrogenlə doludur və onların səsbəğucusu təmiz sudan ibarətdir.



Şək. 1.8 – Toyota Mirai

Yaranan elektrik cərəyanı akkumulyatoru şarj edir və akkumulyator da öz növbəsində elektrik mühərrikini gücləndirir. FCEV-lər avtomobilin çənində saxlanılan təmiz hidrogen qazı ilə qidalanır. Ənənəvi daxili yanma mühərrikli avtomobillər kimi, onlar da 4 dəqiqədən az müddətdə yanacaq doldura və 400 kilometrədən çox məsafə qət edə bilirlər. Səmərəliliyi artırmaq üçün əyləc zamanı itirilmiş enerjini tutan və batareyada saxlayan regenerativ əyləc sistemləri kimi digər qabaqcıl texnologiyalarla təchiz edilmişdir.



Şək.1.9 – Lotus Evija

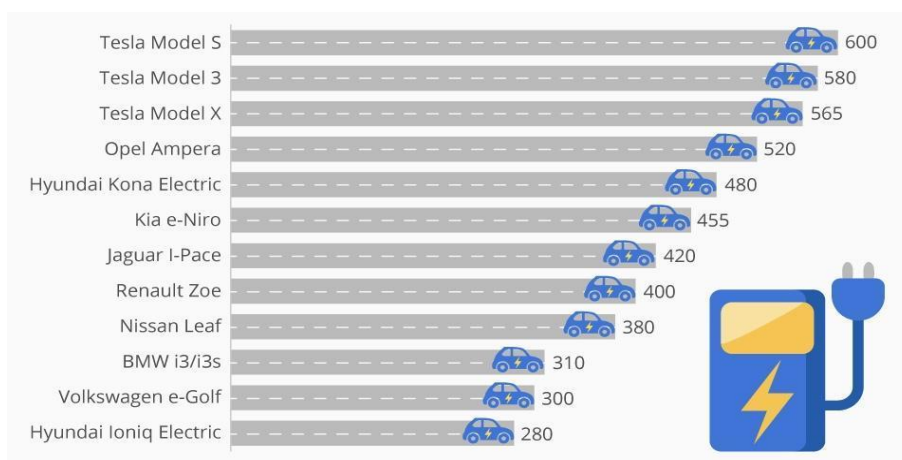
5. Geniş diapazonlu elektromobilləri (REEV - range-extended electric vehicle, E-REV - extended-range electric vehicle) – elektrikle işləyən, lakin "diapazonu genişləndirən" kimi bilinən köməkçi güc qurğusunu ehtiva edən

akkumulyatorlu elektromobildir. Diapazon genişləndirici (adətən kiçik benzin mühərriki) təkərləri idarə etməkdənsə, avtomobilin elektrik generatorunu gücləndirir. Geniş diapazonlu elektromobillərdə köməkçi güc bloku batareyanı doldurmaq üçün tez-tez istifadə olunur (Строганов, 2014a).

Elektromobillərin təsnifatı bu parametrlərə əsasən aparılır:

Güc - sürtünmə səbəbindən elektrik mühərrikində enerji itkisi daha azdır, mürəkkəb yağlama sistemi tələb etmir və demək olar ki, heç bir aşınmaya məruz qalmır. Buna görə də, bugün bir çox elektromobillər yüksək at gücünə malik elektrik mühərriki ilə fərqlənir və daxiliyanma mühərrikli avtomobillərdən daha sürətli olurlar. Məsələn, elektrikli Lotus Evija-nın mühərrikləri 2011 at gücünə malikdir.

Məsafə - əksər elektromobillərin üstün dinamikaya ehtiyacı yoxdur. Hər gün idarə edilməli olan avtomobil üçün akkumulyatorun tutumu ilə müəyyən edilən maksimum gedişə sahib olmaq daha vacibdir. Əgər ilk istehsal olunan elektromobillər tam şarjda çətinliklə 100 km məsafə qət edirdisə, amma indi müasir elektromobillərin bir şarjla orta məsafəsi 300-400 km-dir. Bu, gündəlik 50-70 km məsafə qət edən elektromobillərin işini həqiqətən rahat edir. Artıq 600–800 kilometr sürməyə qadir modellər var və texnologiyanın inkişafı ilə mühəndislər ənənəvi DYM avtomobillərlə müqayisə oluna bilən adi elektromobil üçün 800–1000 km məsafə qət etməyi vəd edirlər.



Şək. 1.10 - Müxtəlif markalı avtomobillərin tam şarj ilə qət etdiyi məsafə

Batareyanın doldurulma sürəti – bu parametr həm də batareyanın tutumundan asılıdır. Sürətə həmçinin batareyaların yüksək cərəyanla güclü yükü qəbul etmək qabiliyyəti və ən əsası tələb olunan cərəyanı çatdırma bilən doldurma infrastrukturu da təsir edir. İndiki vaxtda elektromobillərin məişət şəbəkəsindən tam doldurulması üçün bir gecə tələb olunur, lakin güclü doldurma terminalının köməyi ilə müasir akkumulyatorlu elektromobil cəmi 40-45 dəqiqə ərzində 80 faiz doldurula biləcək.



Şək. 1.11 - Elektromobilin şarj anı

1.2. Elektromobillərin güc-enerji qurğuları

Dizayn və səmərəlilik fərqlərinə baxmayaraq, elektromobillərin bütün nəsillərinin dizaynında çoxlu ümumi cəhətlər var: əsas komponentləri qismən eynidir.

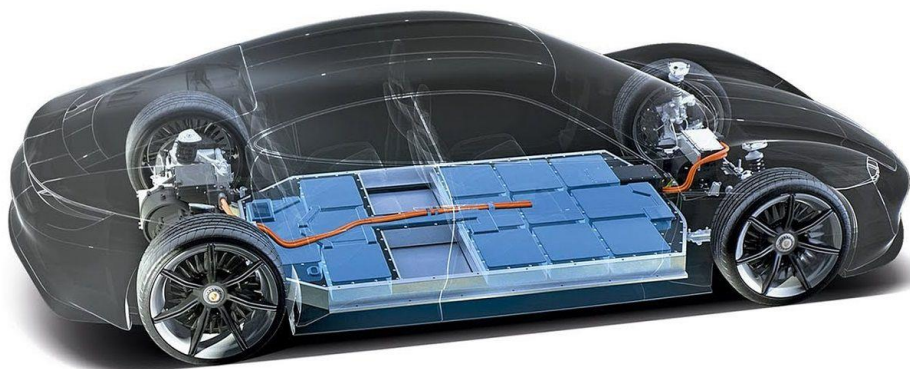
DYM avtomobildən fərqli olaraq, elektromobil daha sadə dizayna malikdir. Minimum sayda hərəkət edən hissələrlə təchiz olunmuşdur və bu onun etibarlılığına müsbət təsir göstərir.

Elektromobilin əsas hissələri bunlardır:

1. Akkumulyator batareyası;
2. Elektrik mühərriki;
3. Transmissiya;
4. Bort şarj cihazı;

5. İnvortor;
6. Elektron idarəetmə sistemi (ИВШИН, 2006).

Akkumulyator batareyası. Elektrik mühərrikini enerji ilə təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Ən çox istifadə olunan litium-ion batareyadır ki, bu da ardıcıl olaraq bağlanmış bir sıra modullardır. Batareyadan elektrik mühərrikinə ötürülən gərginlik təxminən 300V DC olur. Batareyanın tutumu elektrik mühərrikinin gücünə uyğun olmalıdır.



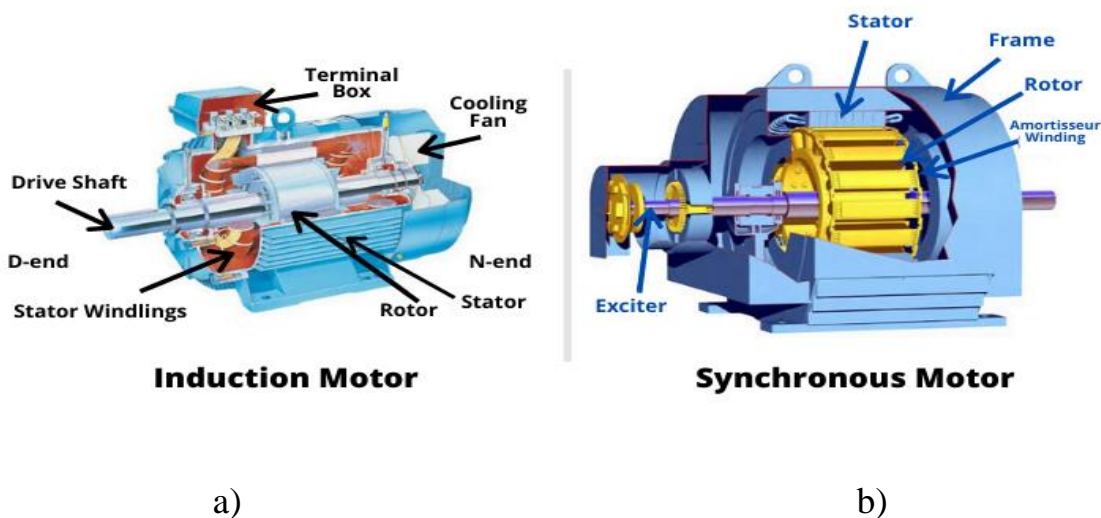
Şək. 1.12 – Akkumulyator batareyasının təsviri

Elektromobillərin və hibrid avtomobillərin dizaynında və istehsalında erkən həll tələb edən ən vacib texnoloji məsələlərdən biri dartma batareyasının enerji sıxlığının artırılmasıdır (Bakshi & Jape, 2014). Enerji sıxlığı onun vahid kütlə və ya saxlama qurğusunun həcminə yığılan miqdarı ilə müəyyən edilir. Bununla belə, uzunmüddətli perspektivdə bu texnologiya hazırda tədqiqat və inkişaf mərhələsində olan digərləri ilə əvəz oluna bilər.

Elektromobillər üçün müəyyən edilmiş parametrlər çərçivəsində nəqliyyat funksiyalarını təmin etmək üçün əhəmiyyətli miqdarda enerji saxlanılmalıdır. Hibrid avtomobillər üçün daxili yanma mühərrikindən əlavə enerji dəstəyi var. Dartma batareyasının texniki xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırmaq mümkündür, lakin iqtisadi risklər var (Masrur & Garg, 2012). Buna görə də, elektromobillər üçün akkumulyatorların hazırlanmasında əsas məqsəd sistemin dəyərini əhəmiyyətli

dərəcədə artırmadan vahid həcmdə saxlanılan enerji sıxlığını maksimuma çatdırmaqdır.

Elektrik mühərriki. Elektromobillərdə istifadə olunan iki tip mühərrik mövcuddur: sinxron və asinxron mühərrik.



Şək. 1.13 - a) asinxron mühərriki, b) sinxron mühərrik

Asinxron mühərrik fırlanan zaman maqnit sahəsi yaradır. Buna görə də o, elektrik enerjisini götürən statora etibar edir. Bu halda rotor həmişə fırlanır. Asinxron mühərrik ilə təchiz olunmuş avtomobillər, adətən, yüksək sürət və uzun məsafə qət etmək spesifikasiyasına malik olur.

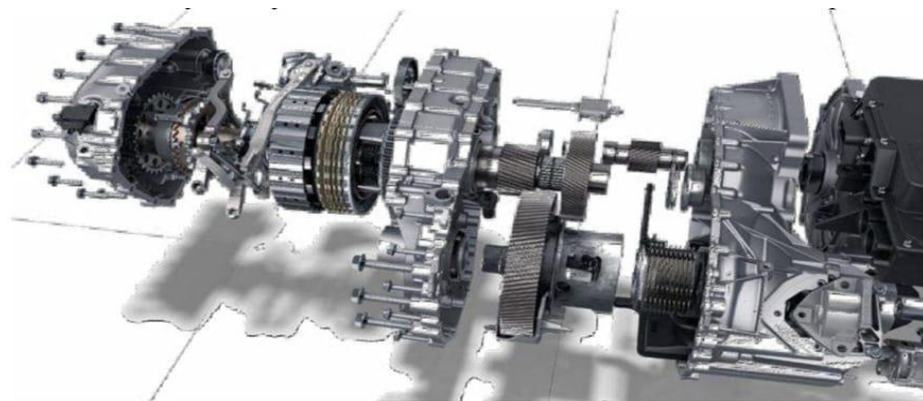
Asinxron mühərrikdə elektromaqnitin rolu rotorun özü tərəfindən qəbul edilir. Bu səbəbdən ötrü fəal olaraq maqnit sahəsi yaranır. Mühərrikə daxil olan cərəyanın tezliyi nə qədər böyük olarsa, rotorun fırlanma sürəti də bir o qədər yüksək olar. Asinxron mühərrik növü şəhər daxilində avtomobil idarə etmək, tıxaclı gedişlər və asta startlar üçün idealdır.

Elektromobilin prioritet hissələrindən biri də elektrik mühərrikdir. Avtomobili hərəkətə gətirmək üçün lazım olan fırlanma anını ərsəyə gətirir. Ənənəvi mühərriklərdən fərqli olaraq elektrik mühərrikləri yüksək mənəfətə və daha az enerji itkisinə sahibdir. Məsələn, elektrik mühərrikində itki 10%, ənənəvi mühərriklərdə isə cəmi 75% təşkil edir. Elektrik mühərriki bu üstünlüklərə sahibdir:

- a) bütün sürət diapazonunda maksimum fırlanma anının əldə edilməsi;
- b) əlavə qurğular olmadan iki istiqamətdə işləmə bacarığı;
- c) dizaynın sadəliyi;
- d) generator rejimində işləmə bacarığı;
- e) tormozlanma zamanı enerjinin bərpası.

Elektromobil və hibrid avtomobillərin elektrik mühərrikləri batareyadan enerji almaq və avtomobilin hərəkətini təmin etmək funksiyalarını yerinə yetirir.

Transmissiya. Asinxron və sinxiron mühərriklər başlanğıc sürətdən çox böyük fırlanma anı yaradır, daha böyük sürətlə fırlana bilir və fırlanma trayektoriyasını dəyişə bilir. Buna görə də, elektromobil ənənəvi mühərrikləri olan avtomobillər kimi qəliz, çox sürətli sürətlər qutusu və böyük çəkisi olan ötürücü tələb etmir. Mühərrikə birbaşa qoşulmuş sadə və etibarlı reduksiya mexanizmi (adətən planetar dişli şəklində) kifayətdir. Güclü və sürətli avtomobillərdə o, iki pilləli sürət qutusu ilə tamamlana bilər ki, bu da “aşağıdakı” güclü dartma qabiliyyətini yüksək maksimum sürətlə birləşdirməyə imkan verir.



Şək. 1.14 – Transmissiya

Bortda olan şarj cihazı. Elektromobilin şarj prosesi əslində kənardan müşahidə edildiyindən qat-qat qəlizdir, bu səbəbə görə də avtomobillərdə onu idarə etmək üçün ayrıca elektron bloku yaradılmışdır. Axı, elektromobil fərqli mənbələrdən - məişət elektrik yuvasından tutmuş xüsusi ağır yük terminallarına qədər yükü qəbul edə bilməlidir. Bu da öz növbəsində Avropa, Amerika, Yaponiya və Çin kimi bir neçə

ölkə formatında gəlir. Bəziləri batareyaları alternativ cərəyanla doldurur, digərləri isə əslində çeviricidən yan keçərək daha güclü birbaşa cərəyandan istifadə edirlər. Elektromobili şarj etmə müddəti istifadə olunan üsula görə dəyişiklik göstərir.

Cədvəl 1.1 – Dartma batareyalarının ortalama enerji çıxışı

Batareya tipi	$E_{sr}, \text{kWt} \cdot \text{saat}$
Qurğuşun turşusu	1,17
Nikel-kadmium	0,89
Nikel metal hidrid	0,93
Litium-ion	2,74

Müxtəlif dartma batareyalarının kütlə və ölçü parametrlərinin təxmini qaydasını təsəvvür etmək üçün gəlin 15 kWt/saat hesablanmış enerji ilə (şəhər daxilində təxminən 150 km səyahətə uyğundur) hansı kütlə və həcmli dartma batareyalarının tutduğunu nəzərdən keçirək.

Cədvəl 1.2 – Batareyaların çəkisi və həcmi

Batareya tipi	m, kq	v, l
Qurğuşun turşusu	375	150
Nikel-kadmium	250	100
Nikel metal hidrid	188	78,9
Litium-ion	84	37,5

Elektron idarəetmə sistemi. Elektron idarəetmə sistemi, təhlükəsizliyi, enerjiyə qənaət və sənişinlərin rahatlığını təmin etməyə yönəlmiş bir neçə funksiyayı yerinə yetirməyə xidmət edir:

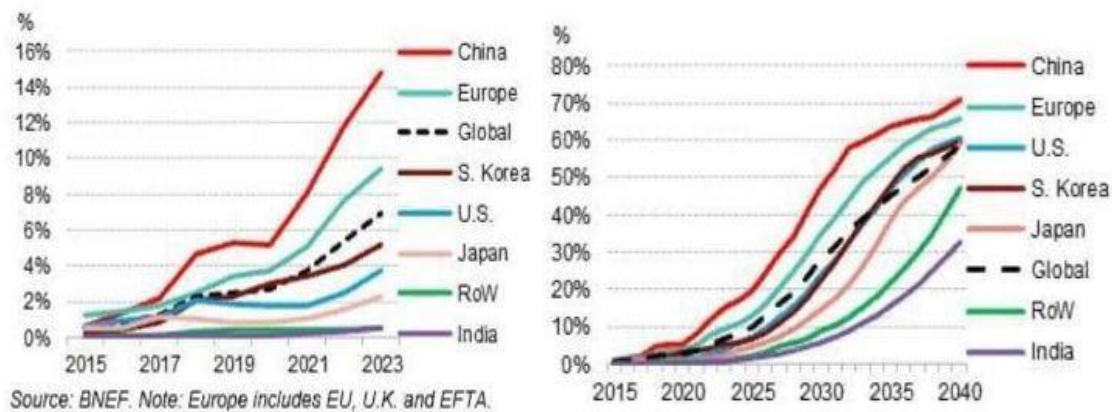
- yüksək gərginliyə nəzarət;
- dartma tənzimlənməsi;

- optimal sürmə rejiminin həyata keçirilməsi;
- hamar sürətlənməyə nəzarət;
- batareyanın doldurulmasının qiymətləndirilməsi;
- əyləc zamanı rekuperasiya sistemə nəzarət;
- elektrik enerjisindən istifadəyə nəzarət.

Struktur olaraq sistem bir sıra giriş sensorlarını, bloku, müxtəlif elektromobil sistemlərinin idarəediciləri və aktuatorları birləşdirir. Giriş sensorları qaz və əyləc pedallarının vəziyyətini, dişli seçicisini, əyləc təzyiqini və batareyanın doldurulma vəziyyətini qiymətləndirmək üçün istifadə olunur. Giriş sensorlarından alınan məlumatlara əsaslanaraq, idarəetmə bloku xüsusi şərtlər üçün elektromobilin optimal hərəkətini təmin edir. Elektrik enerjisi istehlakı və bərpası, həmçinin batareyanın doldurulması kimi elektromobilin işləməsi haqqında məlumatlar alətlər panelində göstərilir.

1.3. Elektromobillərin inkişaf perspektivləri

Qlobal elektromobil bazarının inkişafı ilə bağlı uzunmüddətli proqnoz, hətta COVID-19-un nəticələrini nəzərə alaraq, müsbətdir (McKerracher et al., 2023). Bu, ilk növbədə, müəssisənin layihələndirməyə, yeni perspektivli texnologiyaların işlənilməsinə, eləcə də texnoloji təminat və istehsalın işə salınmasına çəkilən əsas xərcləri artıq öz üzərinə götürməsi ilə izah olunur. Mütəxəssislərin fikrincə, 2025-ci ilə qədər elektromobillərin satışı qlobal minik avtomobillərinin satışının 10%-ni, 2030-cu ilə qədər 28%-ni, 2040-cı ilə qədər isə 58%-ni təşkil edə bilər (Wolschendorf et al., 2010). Qrafik 1.1-də elektromobillərin istehsalı üzrə 2023-cü ilə qədər qısamüddətli və 2040-cı ilə qədər uzunmüddətli proqnozlar göstərilir. Rəqəmdən aydındır ki, 2017-ci ildən başlayaraq Çin elektromobillərin istehsalında liderdir. Avropa İttifaqı və ABŞ müvafiq olaraq ikinci və üçüncü yerlərdədir.

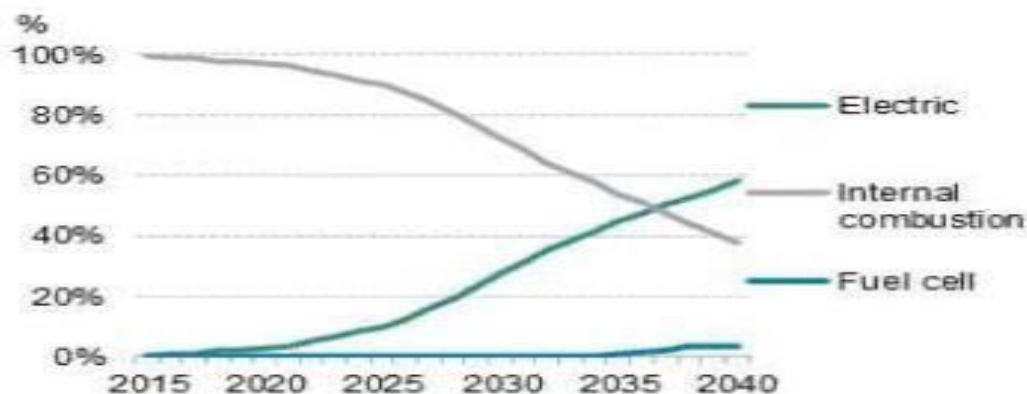


a)

b)

Qrafik 1.1 – Dünyada elektromobillərin istehsalına dair proqnoz (McKerracher et al., 2023)

DYM-li minik avtomobillərinin satışı 2017-ci ildə pik həddə çatıb. İndi belə avtomobillərin satışı azalır (McKerracher et al., 2023). 2040-cı ilə qədər dünya yollarında 30%-dən çox elektromobillər olacaq, elektromobillərin 50%-dən çoxu Çin və Avropanın payına düşür (Jones, 2018).



Qrafik 1.2 – Dünyada istehsal olunan daxili yanma mühərrikli avtomobillərin, yanacaq elementli avtomobillərin və elektromobillərin nisbətindəki dəyişikliklər (McKerracher et al., 2023)

Elektromobillərin qlobal bazarı ildən-ilə artır və yaxın 10 ildə bazarın həcmi ənənəvi avtomobillər bazarı ilə müqayisə oluna bilər (Electro-Offensive and Number One in Premium Segment: BMW Group Posts Strong Sales for 2021, 2022). Lakin,

Rusiyanın elektromobil bazarı zəif inkişaf edib. Rusiyada satışı məhdudlaşdıran amil, ilk növbədə, elektromobillərin yüksək qiyməti və həcmi böyük hissəsini Yaponiya, ABŞ və Avropa İttifaqına tədarük edən istehsalçıların istehsal imkanlarının məhdudlaşdırılmasıdır. Rusiya Federasiyasının elektromobil bazarı hazırda ümumi nəqliyyatın 0,01%-ni təşkil edir (Какие Города Отказываются От Машин и Зачем Это Нужно — Будущее На vc.Ru, n.d.; Рынок Электромобилей в России За 9 Месяцев 2019 Года | АВТОСТАТ, n.d.). Bununla belə, bazar böyüyür və eyni zamanda yükləmə infrastrukturunu və tənzimləyici amillərin mövcudluğundakı məhdudiyyətlərlə əlaqələndirilir (Winton, 2021).

Mütəxəssislərin fikrincə, eyni zamanda maya dəyərinin azalması və bir akkumulyatorla işləyən elektromobil çeşidinin artması ilə elektromobillərin satışının da artması gözlənilir. Ekspertlər bir doldurulma ilə 500 km-dən çox məsafəni qət edən elektromobillərin satışının bazarın 10%-nə qədər əhəmiyyətli dərəcədə artacağını proqnozlaşdırırlar ki, bu da AI-də elektromobil bazarı segmentində mövcud tendensiyaya uyğundur.

Elektromobillərin gələcəyi

Elektromobillərin gələcəyi avtomobil sənayesini dəyişdirməyi, nəqliyyat və davamlılığa əhəmiyyətli təsir göstərməyi vəd edir. Elektromobillərin gələcəyi sürətlə inkişaf edən avtomobil dünyasında innovasiya və davamlılığın təminatçısıdır. Elektromobillərin çevrələr tərəfindən qəbul edilməsi akkumulyator texnologiyasındakı irəliləyişlər, doldurma infrastrukturunu və tənzimləmə dəstəyi sayəsində artır. Bu transformasiya daha təmiz nəqliyyat, daha az emissiya və davamlı mobillik həlləri vəd edir. Əsas enerji mənbəyi kimi elektrikdən istifadə edən elektromobilləri təkcə ekoloji göstəricilərə malik deyil, həm də benzinlə işləyən avtomobillərdə olmayan müxtəlif imkanlara malikdir. Əvvəlcə elektromobillərin gələcəkdə nə qədər geniş yayılacağına nəzər salaq. Hazırda Yaponiyada bu nisbət təxminən 1% təşkil edir, lakin gələcəkdə bunun təxminən 40%-ə qədər artacağı proqnozlaşdırılır. 2022-ci ilin iyul ayında qlobal konsaltinq firması Alix Partners

tərəfindən açıqlanan 2022 Qlobal Avtomobil Sənayesi Görüşündə Yaponiyanın bazar payı 2035-ci ilə qədər proqnozlaşdırılıb, bu zaman satılan yeni standart minik avtomobillərinin təxminən 40%-nin elektrikli olacağı gözlənilir (Emily Greenfield, 2023).

Gələcəkdə elektromobillər təkcə avtomobil roluna görə deyil, həm də akkumulyator batareyası kimi istifadəsinə görə standart olacağı gözlənilir. Elektromobillərin indi sürətlə inkişaf edir. 2030-cu ilə qədər müxtəlif növ elektromobillərin və yeni funksiyalara malik akkumulyatorların elan edilməsi planlaşdırılır.

Hal-hazırda elektromobillər üçün əsas məsələlər akkumulyatorun qiyməti və məsafəsidir. Bu məsələlər dəyişməyə başlayır, akkumulyatorun tutumu və performansı avtomobildən asılı olaraq fərqlənir və gündəlik qısa məsafədə istifadə və ya uzaq məsafədə istifadəyə uyğun elektromobillərin alınmasına imkan verir.

Bundan əlavə, digər sənayelərdən şirkətlərin daxil olması ilə, özü idarə olunan avtomobillər və əvvəllər heç vaxt görülməmiş yeni funksiyalar kimi unikal xüsusiyyətlər əlavə olunur və daha çox diversifikasiya gözlənilir. İstifadəçilərin müxtəlif nəqliyyat vasitələri arasından sərbəst seçim edə biləcəkləri dövr gələcək.

Digər sənaye şirkətləri indi avtomobil sənayesinə girməyə başlayır. Əvvəlki avtomobillərdə olmayan yeni funksiyalar quraşdırılacağı üçün avtomobilin həyatı kəskin şəkildə dəyişəcək. Təkcə kommunikasiya və şəbəkə texnologiyasını deyil, həm də əyləncə sahəsini birləşdirən yeni funksiyaların inkişafı kimi bazarda əlavə dəyərli rəqabət səbəbindən əvvəllər heç vaxt görülməmiş yeni elementləri gözləyə bilirik. Məsələn, avtomobillərin internet vasitəsilə davamlı olaraq əlaqə saxlaması, tıxaclar və fəlakətlər haqqında məlumat paylaşması, yüksək dəqiqlikli şəkillərin proyeksiyası, yüksək keyfiyyətli səs avadanlığı ilə akustik daxili məkanların yaradılması mümkün olacaq. Elektromobillərin sadə quruluşu sayəsində avtonom idarəetməni inkişaf etdirdiyi deyilir. Çünki daha təkmil avtonom idarəetməyə nail olmaq üçün çoxlu kamera və sensorlardan istifadə etmək lazımdır.



Şək. 1.15 – Elektromobillərin gələcəyi

Batareya texnologiyası: Batareya texnologiyasında davamlı innovasiyalar elektromobillərin inkişafı üçün çox vacibdir. Enerji sıxlığı, doldurma sürəti və batareyanın ömründə irəliləyişlər daha praktik və sərfəli elektromobillərə yol açır. Təkmilləşdirilmiş akkumulyatorlar daha uzun diapazon, daha qısa doldurma müddəti və təkmilləşdirilmiş səmərəlilik təklif edərək elektromobillərin qəbulu üçün əsas maneələri aradan qaldırır. Təkmilləşdirilmiş akkumulyator texnologiyası ilə elektromobillər bir çox cəhətdə ənənəvi avtomobillərlə rəqabət aparır, daha çox istehlakçı cəlb edir və dayanıqlı nəqliyyata keçidi gücləndirir.

II FƏSİL. ELEKTROMOBİLLƏRİN ƏSAS AQRƏQAT VƏ QOVŞAQLARININ İŞİNİN TƏHLİLİ

2.1. Elektromobillərin elektrik mühərriki və seçilməsi

Elektromobillər illərdir prioritet nəqliyyat növü olan daxili yanma mühərriklərinin əvəzedicisi kimi məşhurlaşmış və ekologiya dostu olması ilə seçilir. Elektromobillər akkumulyatorla işləyən elektrik mühərriki ilə hərəkətə gəlir. Elektrik mühərriki elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirərək elektromobilin hərəkətini təmin edir. Elektrik mühərriklərinin işləmə prinsipi mühərrikin valında oturdulmuş dolaqlarda maqnit sahəsinin meydana gətirdiyi güc ilə hərəkət yaranır və beləliklə valın fırlanması təmin edilir. Akkumulyatorlardan, mühərrikli nəqliyyat vasitələrindən və alternativ cərəyan mənbələrindən təsir şəbəkəsi kimi birbaşa istifadə edərək, elektrik mühərrikləri tez-tez gücləndirilir. Elektrik generatoru mexaniki olaraq elektrik mühərrikinə oxşayır, lakin mexaniki enerjini qəbul edən və həmin mexaniki enerjini elektrik enerjisinə çevirən əks yöndə işləyir (Eldho Aliasand & Josh, 2020a; Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore, n.d.).

Standart ölçü və xüsusiyyətlərə malik ümumi təyinatlı mühərriklər sənaye tətbiqləri üçün asan mexaniki güc təklif etmək üçün istifadə olunur. "Elektromobil" termini hərəkət üçün bir və ya bir neçə elektrik mühərrikindən istifadə edən nəqliyyat vasitəsinə aiddir. Bazarda fərqli elektromobillər var. Bu avtomobillərdə fərqli funksiyalar üçün fərqli mühərriklər istifadə olunur. Biz bu yazıda elektromobilləri nəzərdən keçirəcəyik və elektromobilin güc aqrəqatını idarə etmək üçün elektrik mühərriki funksiyaları istifadə olunacaq (Rahman et al., 2000).

Enerji sıxlığı, enerji əlverişliliyi, xərc amili, etibarlılıq da daxil olmaqla bir çox faktorlar nəzərə alınmalıdır. Avtomobilin təyinatından asılı olaraq bir neçə növ elektrik mühərriki istifadə olunur. Elektromobil üçün mühərrik seçimi diqqətlə

aparılmalıdır, çünki mühərrik xüsusiyyətləri avtomobilin ümumi performansına təsir göstərir.

Elektromobillərdə istifadə olunan mühərrik növləri

DC mühərrikləri elektromobillərin çoxusunda istifadə olunur (4 kWt və daha az güc) (Hashemnia & Asaei, 2008). Asinxron mühərrik böyük miqdarda yüksək güclü elektromobillərdə (5 kWt-dan yuxarı) istifadə olunan məşhur alternativ cərəyan mühərrikidir. Elektromobildə batareya prioritet enerji saxlama cihazıdır. Fərqli növ mühərriklər müxtəlif səciyyəvi cəhətlərə malikdir, bu səbəbə görə də elektromobil üçün birini seçməzdən əvvəl müəyyən başlıca meyarlardan istifadə edərək mühərrikləri qarşılaşdırmaq lazımlıdır (Eldho Aliasand & Josh, 2020b). Elektromobildə istifadə olunan elektrik mühərrikləri sadə dizayn, yüksək enerji çıxışı, minimal texniki xidmət xərcləri və mükəmməl idarəetmə kimi vacib keyfiyyətlərə sahib olmalıdır. Elektromobillər üçün fərqli çeşid mühərriklər istifadə olunur. Bu yazıda geniş yayılmış mühərrik növləri nəzərdən keçirilir (About Motor Control in Electric Vehicle | Best EV Training Platform, n.d.).

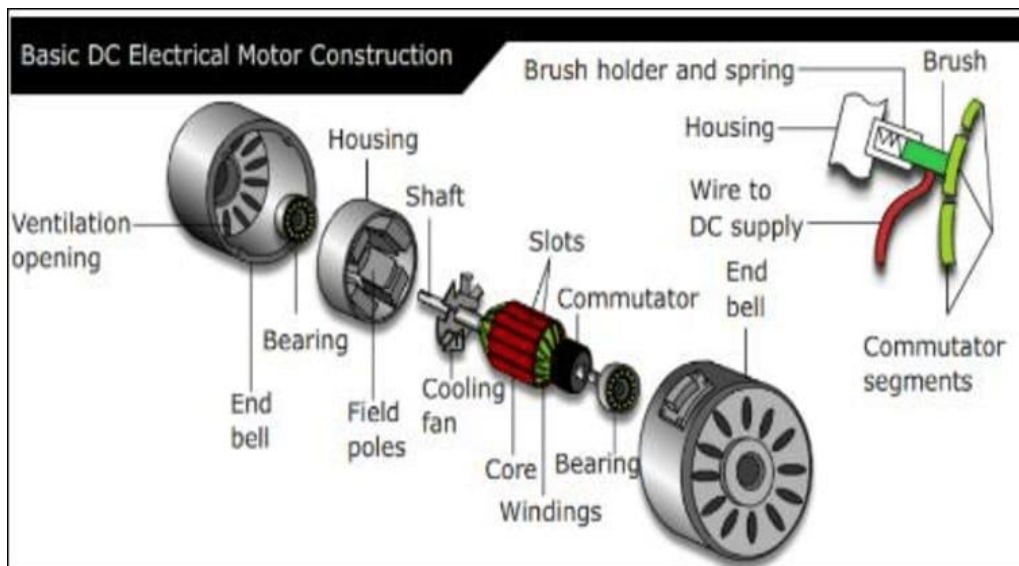
DC mühərrikləri

Elektromobil tətbiqlərində istifadə olunan mühərrik növlərindən biri də DC mühərrikidir. Onlar güc elektronikasında irəliləyişlərdən əvvəl dəyişən sürət tətbiqlərində geniş şəkildə istifadə olunurdu. İstifadə asanlıığı və dözümlülüyü səbəbindən elektromobillərdə üstünlük verilir. İki növ DC mühərriki mövcuddur: fırçalı və fırçasız. Fırçasız DC mühərrikləri aşağı güclü avtomobillər üçün üstünlük təşkil edir. Fırçalanmış mühərriklərin universal mühərriklərdir, sabit cərəyanla işləyir və yüngüldür.

Ayrılmış fırlanma momenti və axını idarə etmə əlamətlərinə görə, ayrıca DC mühərrikləri sahənin zəiflədilməsi əməliyyatı üçün mahiyyət etibarilə uyğundur. Ayrı-ayrı sahənin zəifləməsi isə sabitin daha geniş spektridə güc fəaliyyətlərinə imkan verir. Bobinlərə enerji vermək üçün kommutator telin ucları vasitəsilə

birdəşdirilir və rulonları xarici enerji təchizatı ilə birdəşdirmək üçün fırçalar təmin edilir.

Bununla belə, onların müəyyən çatışmazlıqları var, o cümlədən böyük tikinti, aşağı səmərəlilik, məhdud etibarlılıq, fırça və kollektor konstruksiyasına görə yüksək texniki xidmət xərcləri aiddir. Bundan əlavə, maksimum mühərrik sürəti fırça və kollektor arasındakı sürtünmə ilə məhdudlaşır.



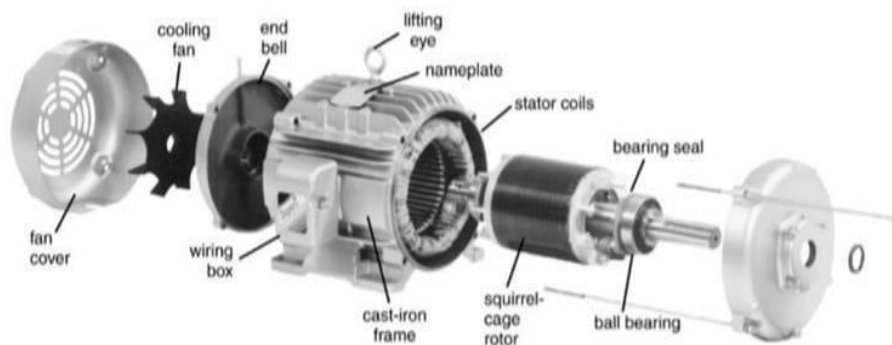
Şək. 2.1- DC mühərrik

İnduksiya Mühərrikləri (IM)

Üç fazlı AC asinxron mühərrikləri sadə quruluşu, etibarlılığı, davamlılığı, aşağı texniki xidmət tələbləri, aşağı qiymət və pis ekoloji şəraitdə işləmə qabiliyyətinə görə elektromobil tətbiqlərində geniş istifadə olunur. Fırça sürtünməsinin aradan qaldırılması mühərriklərə maksimum sürət həddini artırmağa imkan verir və daha yüksək sürət dərəcəsi bu mühərriklərə yüksək güc təmin edir. İnduksiya mühərriklərinin sürətini dəyişdirmək üçün gərginliyin tezliyi dəyişdirilir. Fırılama anı yaratmaq üçün lazım olan rotordakı elektrik cərəyanı stator bobininin maqnit sahəsindən elektromaqnit induksiya vasitəsilə əldə edilir.

Daimi maqnit mühərrikləri ilə müqayisədə IM aşağı faydalılıq, yüksək sürətlə artan itkilər və aşağı güc faktoru kimi çatışmazlıqlara malikdir. Sabit güc təmin

etmək üçün ikili çeviricilərdən istifadə olunur və bu problemlərin aradan qaldırılması üçün dizayn mərhələsində rotor itkiləri azaldılır.



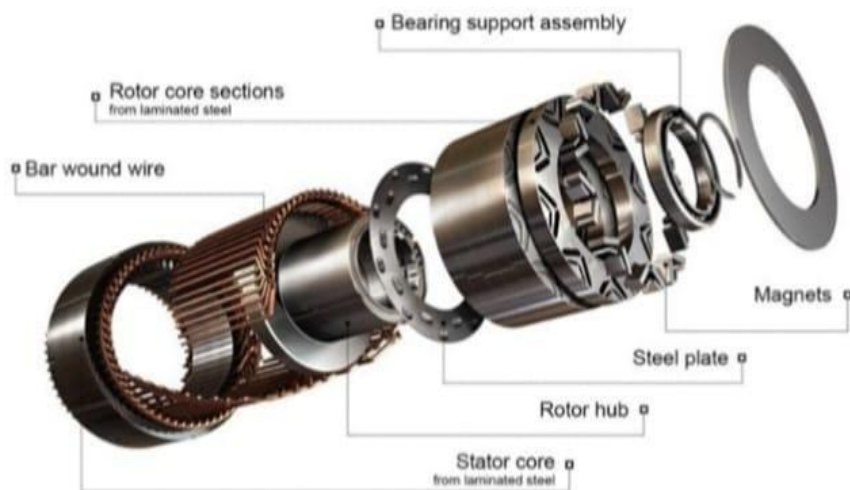
Şək. 2.2 – İnduksiyalı mühərrik

Daimi Maqnitli Sinxron Mühərrik (PMSM)

Rotor sinxron mühərrikdə sinxron sürətlə fırlanır. Rotor sabit cərəyan mənbəyindən, stator isə üç fazlı AC mənbəyindən qidalanır. Fırçasız AC mühərrikləri PMS mühərrikləri üçün başqa bir addır. Sadə konstruksiyaya, yüksək faydalılığa və yüksək güc sıxlığına (hibrid avtomobillərdə, EV-lərdə və avtobuslarda ümumi) görə onlar dartma mühərrikləri kimi istifadə üçün müvafiqdir. IM mühərrikləri ilə müqayisədə PMSM mühərrikləri daha əlverişlidir. Bir neçə avtomobil istehsalçıları (Nissan, Honda və Toyota daxil olmaqla) bu mühərriklərdən uğurla istifadə etdilər.

Daimi maqnitlərdə samarium-kobalt və neodimiyum-dəmir-bor kimi yüksək keçiriciliyə malik materiallardan istifadə olunur. Rotorun nüvəsində həmin maqnitləri müşahidə etmək olar. Bu mühərriklərin daimi güc zonası təbii olaraq dardır. PMS mühərriklərinin sürət diapazonunu və səmərəliliyini artırmaq üçün güc çeviricisinin keçiricilik bucağı əsas sürətdən daha yüksək sürətlə dəyişdirilə bilər. Sürət diapazonunu əsas sürətdən üç və ya dörd dəfə artırmaq mümkündür. Səthdə quraşdırılmış daimi maqnit (SPM) və daxili daimi maqnit (IPM) sinxron mühərrik

sürücüsü olan iki növ PMSM mühərriki var. IPM mühərrikləri SPM mühərriklərindən daha əlverişlidir, baxmayaraq ki, onlar daha qəliz dizayna malikdirlər.



Şək. 2.3 – Daimi maqnitli sinxron mühərrik

2.2. İnvortor və kontrollerlərin işinin təhlili

İnvortorun işinin təhlili

İnvortor – DC (birbaşa cərəyan / sabit cərəyan) cərəyanının elektromobil mühərrikində istifadə olunan AC (alternativ cərəyan / dəyişən cərəyan) cərəyanına çevirən bir cihazdır. İnvortor, dəyişən cərəyanın tezliyini tənzimləməklə mühərrikin fırlanma sürətini dəyişə bilər. O, həmçinin signalın amplitüdünü nizamlamaqla mühərrikin qüvvəsini və ya fırlanma momentini artırır və yaxud azalda bilər.

Elektromobillər ənənəvi benzin və dizel avtomobillərinə alternativ olmaqla yanaşı, həm də nəqliyyat sənayesində yeni dövrün tələbatına çevrilir. Bu kontekstdə invortorlar - akkumulyatorlarda saxlanılan sabit cərəyanı (DC) elektrik mühərriklərini gücləndirən alternativ cərəyanı (AC) çevirən elektron qurğular mühüm rol oynayır. Bu komponentlərin faydası və davamlılığı elektromobillərin performansına, diapazonuna və ümumi iqtisadiyyatına bilavasitə təsir göstərir.

Elektromobillər üçün çağdaş invertorlar yalnız güc yarımkeçiriciləri və idarəetmə sistemlərini deyil, həmçinin elektrik mühərrikinin işini əlverişli etmək üçün qabaqcıl alqoritmləri ehtiva edən qarışıq elektron sistemlərdir. Silisium karbid (SiC) və qallium nitridi (GaN) kimi müasir materiallardan faydalanmaq invertorların ölçüsünü, çəkisini və istilik yayılmasını azaltmaqla onların faydalılığını vacib dərəcədə artırma bilər.

İnvertor texnologiyasının cari vəziyyətini dərk etmək, dəyişiklikləri və bu cihazların tərəqqisi üçün istiqbal səmtini analiz etmək elektrik mobilliyi sahəsində gələcək tendensiyaları dəyərləndirmək üçün gərəkdir.

Elektromobil İnvertorlarının Mövcud Vəziyyəti

Çağdaş elektromobillər müxtəlif növ invertorlardan istifadə edirlər, onların seçimi elektrik ötürücü sisteminin səmərəliliyi, gücü və etimatlılıq tələbləri ilə aydınlaşdırılır. Ən çox yayılmışlar:

1. **IGBT (izolyasiya edilmiş qapı bipolyar tranzistorlar) əsasında invertorlar.** Onlar yüksək etimatlılıq ilə xarakterizə olunur və yüksək gərginlik və cərəyan tətbiqlərində özlərini təsdiq edibər.
2. **Silikon karbid (SiC) əsasında invertorlar.** IGBT-lərlə müqayisədə yüksək temperatur müqaviməti və aşağı keçid itkiləri hesabına sistemin faydalılığını vacib dərəcədə artırmağa əlverişlidir. Bu, soyutma sistemlərinin ölçülərinin kiçilməsini və tək yüklənmədə sürmə məsafəsinin artırılmasını təmin edir.
3. **Qallium nitridi (GaN) əsasında invertorlar.** Bu cihazlar, xüsusilə yüksək keçid tezliyi tətbiqlərində SiC-dən daha səmərəlidir. GaN çeviriciləri SiC ilə müqayisədə kommersiyalaşdırmanın daha erkən mərhələsindədir, habelə elektromobillik sahəsində inqilab edəcəyini öhdəliyinə götürür.

Çağdaş invertorların texniki xüsusiyyətləri. Elektromobillər üçün yeni invertorlar aşağıdakı əsas xüsusiyyətlərə malikdir:

- a) **Səmərəlilik.** Çağdaş invertorlar 98-99% -ə qədər faydaya nail olurlar ki, bu da elektromobillərin növünü artırmaq üçün mühimdir.

- b) **Güc.** İnvortorun qüvvəsi daha güclü və sürətli elektromobillərə olan tələbləri ödəmək üçün artmağa davam edir. Yeni sistemlər bir neçə kilovatdan bir neçə yüz kilovata qədər işləyir.
- c) **Etibarlılıq.** Yüksək inam öncül materialların və texnologiyaların istifadəsi, həmçinin dizayn və idarəetmə sisteminin optimallaşdırılması yolu ilə təmin edilir.



Şək. 2.4 - İnvortor

Cədvəl 2.1 - Elektrikli nəqliyyat vasitələri üçün invortor texnologiyalarının müqayisə cədvəli

Xarakterik	IGBT	SiC	GaN
Səmərəlilik	Yüksək	Çox hündür	Çox hündür
Güc	Yüksək	Çox hündür	Çox hündür
Etibarlılıq	Çox hündür	Yüksək	Yüksək
Qiymət	Aşağı	Yüksək	Çox hündür
Ölçülər və soyutma	Böyük / Güclü	Kiçik/Daha Səmərəli	Kiçik/Daha Səmərəli
İnkişaf mərhələsi	Yetkin	İnkişaf edir	ilkin mərhələ
Üstünlüklər	Yaxşı qiymət/performans nisbəti ilə etibarlı və yetkin texnologiya.	Yüksək səmərəlilik və daha az enerji itkisi, təkmilləşdirilmiş istilik yayılması.	Son dərəcə yüksək səmərəlilik və keçid tezliyi, azaldılmış ölçü və çəki.
Qüsurlar	Nisbətən aşağı səmərəlilik, böyük ölçü və güclü soyutma sistemə ehtiyac.	IGBT ilə müqayisədə daha yüksək xərc, yeni istehsal xətlərinə investisiya tələb olunur.	Çox yüksək qiymət və hazırkı inkişaf mərhələsində kütləvi həyata keçirilməsi ilə bağlı çətinliklər.

Elektromobillər üçün invertorların istehsalında yeniliklər:

- a) **SiC və GaN texnologiyalarının uyğunlaşdırılması və təkmilləşdirilməsi.** Silisium karbid (SiC) və qallium nitridi (GaN) artıq elektromobilləri üçün çağdaş invertorların istehsalında geniş istifadə olunsa da, onların potensialı fəal tədqiqat və təkmilləşdirmə mərhələsindədir. Bu sahədə var olan inkişafların əsas yönü bu texnologiyaların faydasını, etibarlılığını və tutumluluğunu daha da artırmaqdır. Mühəndislər və alimlər daha yaxşı performans əldə etmək və elektromobillərin ümumi xərclərini azaltmaq üçün bu materialları invertorlara inteqrasiya etməyin yeni yolları üzərində işləyirlər.
- b) **Enerji itkilərini azaltmaq üçün müasir texnikalar.** İnvertorlarda enerji itkilərini azaltmaq üçün metodların inkişafı vacib olaraq qalır. Sahələrdən biri invertor topologiyalarının inkişaf etdirilməsi və enerji çevrilməsinin faydalılığını artırmaq üçün adaptiv strategiyaların və süni intellektin istifadəsini əhatə edən idarəetmə alqoritmlərinin optimallaşdırılmasıdır. Başqa vacib sahə, enerji itkilərinin azaldılmasına və komponentlərin dözümlülüyünün artmasına bilavasitə təsir edən innovativ materiallar və soyuducu dizaynları vasitəsilə istilik idarəetməsini inkişaf etdirməkdir.
- c) **Proqressiv layihələr və tədqiqatlar.** Dünyanın fərqli yerlərində tədqiqat qrupları və texnologiya şirkətləri elektromobillər üçün invertor texnologiyalarının daha da təkmilləşdirilməsinə istiqamətlənmiş bir çox layihələrə start veriblər. Əsas sahələr bunlardır:
 - a. Müxtəlif cür elektrik nəqliyyat vasitələrinə və iş şəraitinə asanlıqla müvafiq şəraitə cavab verə bilən modul və çevik çevirici sistemlərin təkmilləşdirilməsi.
 - b. İnvertorların enerji idarəetmə sistemləri ilə inteqrasiyası, avtomobilin bütün elektrik sisteminin işini optimallaşdırmağa imkan verir.
 - c. İnvertorların işini əlverişli etmək üçün maşın öyrənməsindən istifadə, o cümlədən risklərin proqnozlaşdırılması və real vaxt rejimində əməliyyat parametrlərinin avtomatik korreksiyası.

Bu tədqiqat və inkişaf etdirmə elektromobillərin faydalılığını, etibarlılığını və əlverişliliyini artırmaq, onları son istehlakçılar üçün daha çox maraqlı etmək və daha təmiz nəqliyyat növlərinə keçidi asanlaşdırmaq üçün yeni perspektivlər açır.

Elektromobillər üçün invertorların inkişaf perspektivləri

Elektromobil bazarı çevik artım gösdərir ki, bu da istehsalçılar üçün, eləcə də invertorların təkmilləşdirilməsi və optimallaşdırılması kontekstində yeni problemlər meydana gətirir. Burada əsas tendensiyalar tək akkumulyatorun doldurulması üzrə diapazonun artırılması, doldurma vaxtının azaldılması, elektromobillərin ümumi faydalılığının yüksəldilməsi və onların dəyərinin endirilməsidir. Bütün bu aspektlər bilavasitə istifadə olunan çeviricilərin keyfiyyətindən və xüsusiyyətlərindən asılıdır və bu, onları bu sahədə innovasiya üçün prioritet sahələrdən birinə çevirir.

Elektromobillərin sərmayə qiymətinin endirilməsinə və məhsuldarlığının yaxşılaşdırılmasına müasir texnologiyaların mümkün təsiri var. Silisium karbid (SiC) və qallium nitridin (GaN) istifadəsinin daha da təkmilləşdirilməsi və əlverişliliyi kimi materialşünaslıq və elektronikada yeniliklər çeviricinin faydalılığında gözə çarpacaq dərəcədə irəliləyişlər vəd edir. Bu materiallar yüksək temperatur və gərginliklərin öhdəsindən daha yaxşı gələn cihazların ixtira edilməsinə imkan verir, həmçinin enerji itkisini azaldır və ümumi enerjiyə çevirmə faydalılığını yüksəldir. Yekun olaraq biz enerji xərclərinin azalacağını və elektromobillərinin növünün artacağını təxmin edə bilərik. Bundan savayı, istehsal texnologiyasındakı inkişaf və istehsalın ölçüsü komponentlərin xərclərini endirə bilər, bu da elektromobilləri daha geniş auditoriya üçün daha səmərəli edə bilər.

Elektromobillər üçün invertorların prespektivinə güman edilir, çünki texnoloji yeniliklər sektoru dəyişməyə davam edir. Gələcək illərdə bu kritik hissələrin faydalılığı, etimatlılığı və dəyərində gözə çarpacaq dərəcədə təkmilləşmələr olacağı təxmin edilir. Ümid etmək olar ki, yeni invertor arxitekturaları mövcud və yeni elektromobillərin müvafiq ehtiyaclarına cavab verəcək, elektromobillərin idarəetmə

sistemləri ilə təkmilləşdirilmiş inteqrasiya və enerji axınlarının daha səmərəli idarə edilməsi fikrini irəli sürəcək.

Bundan başqa, eko faydalılığa artan diqqət və karbon izinin azaldılması ekoloji tərəfdən təmiz texnologiyalar və materiallardan istifadə edən invertorları təkmilləşdirə bilər. Buraya yalnız təkrar emal edilə bilən və yaxud davamlı mənbəli materiallardan istifadə deyil, həmçinin məhsulun həyat periodu ərzində enerji istehlakını minimuma endirən texnologiyaların təkmilləşdirilməsi daxildir. İnvortorların inkişaf etdirilməsi nəqliyyatda möhkəm təkmilləşdirmə məqsədlərinə nail olmaqda əsas rol oynayacaq, elektromobilləri nəinki daha münasib və faydalı etmək, həm də daha təmiz enerji mənbələrinə keçidi asanlaşdıracaqdır (Un-Noor et al., 2017).

Kontrollerlərin işinin təhlili

Kontroller – elektromobilin bütün parametrlərini idarə edir. Batareyadan gələn məlumatlar əsasında şarj miqdarını müəyyən edir. O, eləcə də invertorda sürəti tənzimləmək üçün qaz pedalına təzyiqi çevrir. Elektromobilin kontrollerləri batareyalarda saxlanılan enerjini effektiv şəkildə hərəkətə çevirən güc elektronikasısı və quraşdırılmış mikrokompyuterləri birləşdirir.

Kontrollerlər qaz, əyləc və irəli-geri idarəetmə açarları kimi interfeyslərdən əmrlər alır. Kontrollerlər bu əmrləri emal edir və avtomobildəki mühərrikin sürətini, fırlanma anını, trayektoriyasını və nəticədə at gücünü çox dəqiq şəkildə idarə edir. Kontrollerlər avtomobilin akkumulyatora qayıtmasını sürətləndirmək üçün mühərrikdən gələn enerjini tərsinə çevirə və batareyadan mühərrikə ötürə bilər ki, bu da elektromobillərə standart mexaniki əyləc sistemindən daha effektiv variantı təqdim edir. Tez-tez "regenerativ əyləc" kimi tanınan bu xüsusiyyət, eyni zamanda, elektromobil hər dəfə əyləc etdikdə batareyaları doldurmaqla avtomobilin əhatə dairəsini genişləndirir.



Şək. 2.5 – Kontroller

Sistemin beyni kontrollerin bütün əməliyyatlarını həyata keçirməyə imkan verən daxili proqram təminatı olan mikroprosessorudur.

- Güc elektronikasısı bölməsi və ya güc elementləri bloku iki yönlü güc çeviricisidir. O, enerjini batareyadan mühərrikə və əksinə hərəkət etdirə bilər.
- Giriş interfeysi bloku mühərrik gözətçisinə və avtomobilin digər hissələrinə qoşulur.
- Nəqliyyatın prespektivi ortaq və avtonom avtomobillərə tərəfdir. Mühərrikin idarəetmə blokunun mühüm hissələrindən biri kontrollerə məlumatları xarici sistemlərlə paylaşmağa şərait yaradan rabitə blokudur. Kontroller rabitə bloku vasitəsilə məlumatları ötürə və təlimatlar qəbul edə bilər.
- Mühərrik kontrollerləri və elektrik qatarları real vaxt rejimində məlumatları paylaşa və xarici sistemlərlə sinxronizasiya edə bildikləri üçün ortaq və avtonom mobillik üçün daha yaxşı namizədlərdir.

Akkumulyatorun gərginliyi, cərəyan, mühərrik sürəti daxil olmaqla bütün sistem xüsusiyyətləri sensor-mühafizə bloku ilə ölçülür. Kontroller bu dəyişənlərin hər birini diqqətlə nəzarət edir və nizamlayır. Sistem nasazlıq aşkar edərsə, avtomobilin və onun sərnişinlərinin təhlükəsizliyini qoruyaraq özünü mühafizə etməyə başlayır (Axeon Receives Order for 50 Zebra Packs for Modec Electric Vehicle; Li-Ion Under Testing - Green Car Congress, n.d.).

Kontrollerin aşağıdakı növləri mövcuddur:

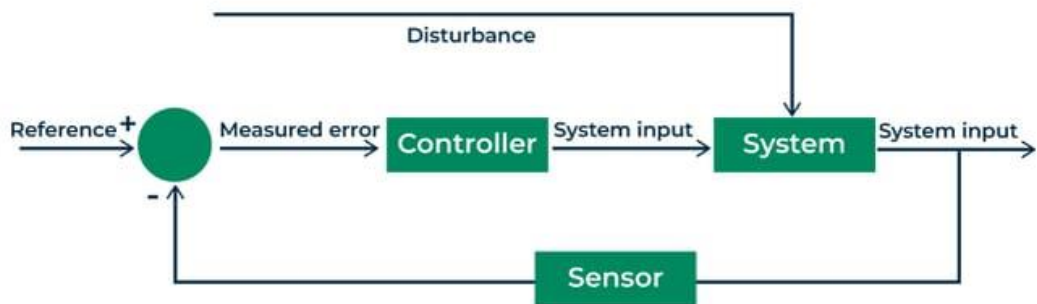
a) Proporsional Kontroller (P-Controller) - Proporsional kontroller nəzarət çıxışını səhv siqnalına bilavasitə mütənasib olaraq tənzimləyir, burada istənilən təyinat nöqtəsi ilə mövcud proses dəyişəni arasında fərq var. Üstünlüklər:

- Sadə və həyata keçirilməsi asan.
- Səhvlərə sürətli cavab verir.
- Stabil vəziyyət səhvini azaldır.

Mənfi cəhətləri:

- Stabil vəziyyət xətasını tamamilə aradan qaldırmaq mümkün deyil.
- Düzgün tənzimlənmədikdə sistemdə salınımlara və ya qeyri-sabitliyə səbəb ola bilər.

P-kontrollerin blok diaqramı girişdən nəzarətçiyə bilavasitə əlaqəni təqdim edir, burada çıxışa birbaşa təsir göstərir. P-kontrolleri səhv siqnalını sabit mütənasib qazanc (K_p) ilə istənilən təyinat nöqtəsi ilə mövcud proses dəyişəni arasındakı müxtəlifliyi artırır. Yekunda nəzarət siqnalı xətanı düzəltmək üçün sistem girişinə əlavə edilir.



Şək. 2.6 - Proporsional Kontroller

b) Törəmə Kontroller (D-Controller) - Törəmə kontroller xəta siqnalının dəyişmə sürətinə reaksiya verir. Gələcək xəta meyllərini güman edir və onlara qarşı mübarizə aparmaq üçün nəzarət tədbirləri təqdim edir.

Mənfi cəhətləri:

- Səs-küy və ölçmə xətalarını gücləndirir.
- Parametr dəyişikliklərinə həssas ola bilər.

D-kontrollerin blok diaqramında giriş və nəzarətçi arasında fərqləndirmə bloku var. D-kontroller xəta siqnalının dəyişmə sürətini (törəmə) hesablayır və onu sabit törəmə qazancına (K_d) vurur. Bu törəmə termin siqnalı idarə etmək üçün əlavə edilir və həddindən artıq dalğalanmaları azaltmağa və zəiflətməyə kömək edir.

c) İntegral Kontroller (I-Controller) - İntegral kontroller keçmiş səhvlərin məcmu cəminə cavab verir. Hər hansı sabit vəziyyət səhvini aradan qaldırmaq üçün nəzarət çıxışını davamlı olaraq tənzimləyir.

Üstünlüklər:

- Stabil vəziyyət səhvini tamamilə aradan qaldırır.
- Sistemin dəqiqliyini artırır.

Mənfi cəhətləri:

- Təyinat nöqtəsində qəfil dəyişikliklərə daha yavaş reaksiya.
- həddindən artıq kökləndikdə qeyri-sabitliyə səbəb olur.

İ-kontrollerinin blok diaqramında giriş və nəzarətçi arasında inteqrasiya bloku var. İ-kontroller səhv siqnalını zamanla sabit inteqral mənfiyyətə (K_i) vuraraq inteqrasiya edir. Bu yığılmış səhv düzəlişi nəzarət siqnalına əlavə edilir və sabit vəziyyət səhvlərini tədricən aradan qaldırır.

Bütün DC mühərrikləri yükləndikcə sürəti azalır və boşaldıqda sürəti sürət-fırlanma anı gradientinə uyğun olaraq xətti şəkildə artır. Müəyyən sürətin tələb olunduğu, naməlum yükü (beləliklə, son sürəti hesablamaq mümkün deyil) və yaxud dəyişən yükü (konveyer kəməri, nasos, daşlama aləti, çarx-konvertor) olan tətbiqlər

üçün kontroller vacibdir. Bu, mühərrikin nəzarət altında və sabit sürətlə qalmasını təmin etmək üçün dinamik qırılma nəzarətini təmin edir. Sadə təchizat və ya sadə kontroller ilə buna nail olmaq mümkün deyil. Kontroller həm də dəyişən yükün öhdəsindən gəlməli, habelə, kompensasiya etmək üçün yük dəyişdikcə mühərrikə olan gərginliyi dəyişdirərək mühərriki sabit sürətdə saxlamalıdır. Mühərrik tam sürətlə işləyərkən nasosdan və ya fandan gələn axını müəyyən həddə saxlamaq əvəzinə sistemin tələblərinə cavab vermək üçün mühərrikin sürətini azaltmaq və sürət tənzimləyicisindən istifadə etmək enerji sərfiyyatını azaldacaq. Kontrollerdə adətən 1-5% itkilər olur, lakin mühərrik və ya onun əlaqəli olduğu mexanika ilə müqayisə etdikdə bunlar minimal həddədir (Elmarakbi et al., 2013).

2.3. Akkumulyatorlar və onların xüsusiyyətləri

Elektromobil akkumulyatoru - BEV və HEV mühərriklərini gücləndirmək üçün istifadə edilən təkrar doldurulan batareyadır (Electric Powertrain Testing | Drivetrain Efficiency | HBM | HBM, n.d.).

Elektromobil akkumulyatorları başlanğıc, işıqlandırma və alovlanma (SLI) batareyalarından fərqlənir, ondan ötrü ki, onlar, adətən, yüksək güc-çəki nisbəti və enerji sıxlığı üçün müəyyən edilmiş litium-ion batareyalarıdır. Daha kiçik, yüngül akkumulyatorlar məqsədə uyğundur, çünki onlar avtomobilin çəkisini azaldır və buna görə də onun işini yaxşılaşdırır. Maye yanacaqlarla müqayisədə, əksər çağdaş akkumulyator texnologiyaları daha aşağı xüsusi enerjiyə sahibdir və bu, çox vaxt bütün elektromobillərin maksimum diapazonuna təsir göstərir. Əvvəlki, akkumulyator kimyalarından fərqli olaraq, xüsusən nikel-kadmium, litium-ion batareyaları gündəlik və istənilən doldurma vəziyyətində boşaldıla və doldurula bilər. Elektromobillərdə istifadə olunan təkrar doldurulan batareyaların digər növlərinə qurğuşun-turşusu, nikel-kadmium, nikel-metal hidrid və başqaları daxildir (Axeon Receives Order for 50 Zebra Packs for Modec Electric Vehicle; Li-Ion Under Testing - Green Car Congress, n.d.).

Litium-ion batareyaları

Litium-ion batareyaları digər elektrik enerjisi saxlama sistemləri ilə müqayisə etdikdə vahid kütlə və həcmə düşən yüksək enerjiyə görə hazırda cib telefonları və noutbuklar kimi əksər portativ istehlakçı elektronikasında istifadə olunur. Onlar eləcə də yüksək güc-çəki nisbəti, yüksək enerji faydalılığı, yüksək temperatur performans, uzun ömür və aşağı öz-özünə boşalma qabiliyyətinə malikdirlər. Litium-ion batareyalarının çox hissəsi təkrar emal edilə bilər, lakin materialın restavrasiya üçün xərcləri sənayedə problem olaraq qalır. Yeni tam elektromobillərin və PHEV-lərin əksəriyyəti litium-ion batareyalardan istifadə edir. Onların nisbətən yüksək qiymətini azaltmaq, səmərəli ömrünü artırmaq, daha az kobaltdan istifadə etmək və müxtəlif nasazlıq şərtləri ilə bağlı təhlükəsizlik problemlərini həll etmək üçün tədqiqat və təkmilləşdirmələr davam edir.

Nikel-metal hidrid batareyaları

Kompüter və tibbi avadanlıqlarda müntəzəm olaraq istifadə olunan nikel-metal hidrid batareyaları əqlabatan xüsusi enerji və xüsusi güc imkanlarına malikdir. Nikel-metal hidrid akkumulyatorlar qurğuşun-turşu akkumulyatorlardan daha uzun ömür dövrünə sahibdir həmçinin təhlükəsiz və sui-istifadəyə dözümlüdür. Bu batareyalar HEV- lərdə geniş istifadə edilmişdir. Nikel-metal hidrid batareyaları ilə bağlı əsas problemlər onların yüksək qiyməti, özünü boşaltma sürəti, yüksək temperaturda istilik əmələ gəlməsi və hidrogen itkisinə nəzarət ehtiyacıdır.

Qurğuşun-turşu batareyaları

Qurğuşun-turşu akkumulyatorları yüksək qüvvəyə sahib olmaq üçün dizayn edilə bilər, ucuz, təhlükəsiz, təkrar emal edilə bilən və etibarlıdır. Bununla belə, aşağı xüsusi enerji, zəif soyuq temperatur performans, qısa təqvim və həyat dövrü onların istifadəsinə əngəl olur. Qabaqcıl yüksək güclü qurğuşun-turşu akkumulyatorları istehsal olunur, lakin bu akkumulyatorlar təkə köməkçi yüklər üçün kommersiyada var olan elektromobillərdə istifadə olunur. Onlar habelə dayanma zamanı boş

işləməyi aradan qaldırmaq və yanacaq sərfiyyatını azaltmaq üçün daxili yanma mühərrikli avtomobillərdə dayanma-başlatma funksiyası üçün istifadə olunur.

2.4. Elektromobillərin mexaniki intiqalları

21-ci əsr texnoloji cəhətdən inkişaf etmişdir. Texnologiya və mühəndislik sahəsində bir çox inkişaf gözə çarpır. Nəqliyyat vasitələrinin transmissiyaları da günbəgün dəyişir. Başlıca ötürmə növləri mexaniki və avtomatik transmissiya ola bilər. Lakin elektromobildə sürət dəyişiklikləri az olduğundan, təkə avtomatik transmissiya istifadə olunur və avtomobilin sürmə komfortunu təmin edir. Tək sürətli transmissiya və çox sürətli transmissiya əsasən elektromobildə istifadə olunan iki növ ötürmədir. Transmissiyaya təsir edən başlıca səbəbi yanacaq mənfəətliliyi, mühərrik əlverişliliyi, sürət-fırlanma anının dəyişməsi, güc, xərc, çəki və s. Qeyd olunan səbəblərə əsasən hər iki ötürmə sistemi müqayisə oluna bilər. Transmissiyanın vəzifəsi qısaca mənbədən yaranan gücü avtomobilin təkərlərinə ötürmək kimi müəyyən edilə bilər. Daha əvvəl qeyd etdiyimiz kimi, elektromobillərdə iki növ ötürmə var (Elmarakbi et al., 2013).

1. **Tək Sürətli Transmissiya.** Bu tip sürətli ötürmə üçün təkə bir dişli cütü istifadə olunur və avtomobilin sürəti sabitdir. Bir qayda olaraq, tək reduktor, geri çevrilmiş dişli və ya mürəkkəb dişlidən ibarətdir. Azaldıcı dişli rpm-nin azaldılması və yüksək sürətli mühərrikin və ya mühərrikin fırlanma momentinin artırılması prinsipi əsasında işləyir. Geri çevrilmiş dişlinin tək sürətli ötürülməsində, mürəkkəb dişlilər tərs qaydada düzölmüşdür. Aşağıda verilmiş Şəkil-2.7 elektromobillərdə istifadə edilən tək sürətli ötürməni göstərir. Tək sürətli ötürücülər çox populyar modellər olan Chevrolet Bolt, Tesla Model S və s. kimi bir neçə avtomobildə istifadə olunur (Morris, 2021).

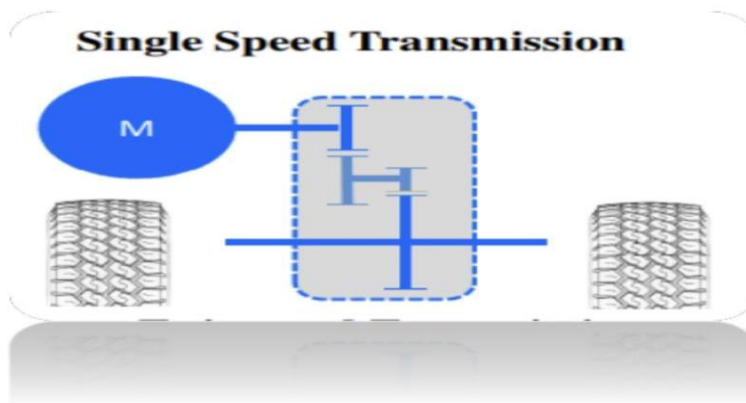
Üstünlüklər:

- a. Birbaşa ötürücü var.
- b. Onun işləməsi çox rəvandır və həmçinin mühərriklə birləşdirildikdə ani fırlanma momenti yaradır.

- c. Heç bir mürəkkəb dişli sistemi tələb olunmur.
- d. Daha az yer tutur.

Məhdudiyyətlər:

- a) Sabit dişli nisbətinə malikdir.



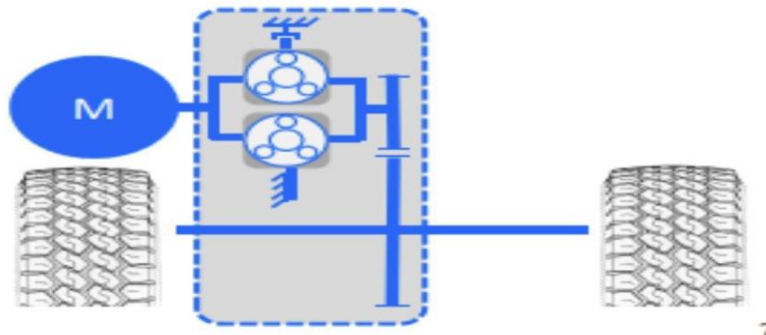
Şək. 2.7 - Tək sürətli transmissiya

2. **İki Sürətli Transmissiya.** Bu, elektromobillərdə istifadə olunan çox sürətli ötürmə sistemidir. Əsasən yalnız iki sürətli ötürücü istifadə olunur. Mürəkkəb planetar dişli sisteminin iki sərbəstlik dərəcəsi sayəsində iki müxtəlif dişli nisbəti əldə oluna bilər. Transmissiya iki dişli planetar dişli dəsti və tək dişli planetar dişli dəsti olan mürəkkəb planetar dişli sistemindən ibarətdir. Aşağıda verilmiş Şəkil-2.8 elektromobillərində istifadə olunan iki pilləli transmissiyanı əks etdirir. Üstünlüklər:

- a. Dayanma momenti artırıla bilər.
- b. Səmərəlilik optimallaşdırıla bilər.
- c. Avtomobilin maksimal sürətinə nail olmaq olar.

Məhdudiyyətlər:

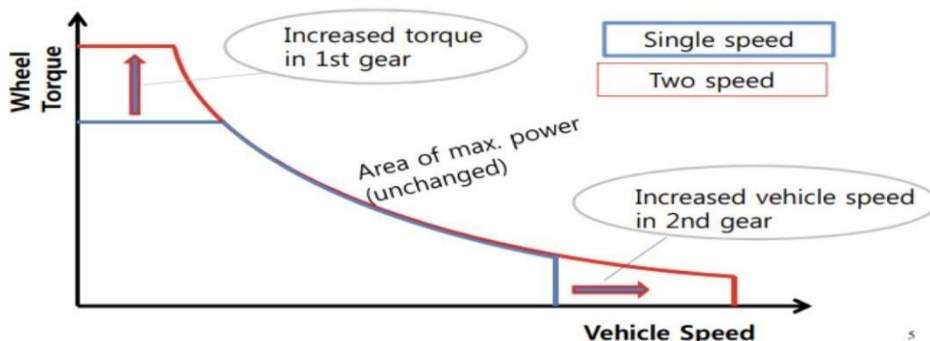
- a. Bu ötürücülər çox ağır və böyükdür.



Şək. 2.8 - Çox sürətli tranmissiya

Elektromobillərdə başlıca iki növ ötürmə sistemi istifadə olunur. Lakin fırlanma momenti, sürət, əlverişlilik və başqa prioritet səbəblər əsasında bu ötürücü sistemləri müqayisə etmək olar.

3. **Tork və Sürət.** Hər iki ötürmə sistemində təcrübəyə əsaslanan aşağıdakı qrafikləri əldə edirik. Yuxarıdakı şəkil 2.7 –dən biz elektromobili üçün tək sürətli tranmissiyanın xüsusiyyətlərini müşahidə edə bilərik.



Qrafik 2.1 - Tək sürətli tranmissiya və çox sürətli tranmissiya arasında müqayisə

Yuxarıdakı Şəkil - 2.7 və Şəkil - 2.8 –dən biz tək və iki pilləli sürət qutuları üçün fırlanma momenti ilə sürət xüsusiyyətlərini alırıq. Yuxarıdakı qrafiklərdən aşağıdakı nəticəyə gələ bilərik: Maksimum gücün sahəsi hər iki halda dəyişməz qalır. Bununla belə, iki pilləli sürət qutusunun birinci sürət qutusunun fırlanma momenti tək pilləli

sürət qutusundan çoxdur. Eynilə, iki pilləli sürət qutusunun sürəti tək pilləli sürət qutusundan qat-qat çoxdur.

4. **Səmərəlilik.** Elektromobillərin qəbul olunan faydalılığı adətən yüksək və ya orta sürətlə və yüksək yüklə olur. Habelə, real həyatda sürücülükdə ən çox istifadə olunan fərqli sürətlərdə və aşağı yüklə olur. Transmissiyanın iki sürəti yüksək əlverişliliyinin təsir dərəcəsini artırır. İki sürətli ötürmə sisteminin səmərəliliyi sürət və sürmə məsafəsi artırılaraq biləcəyi üçün optimallaşdırıla bilər.

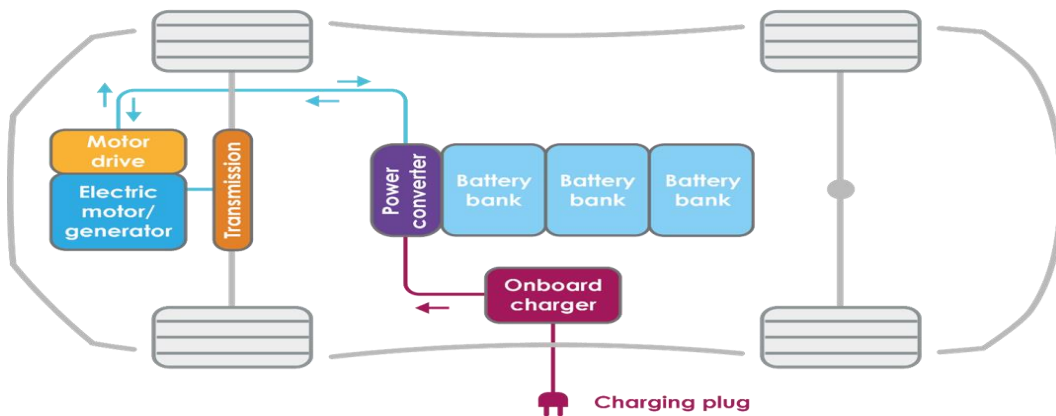
III FƏSİL. ELEKTROMOBİLLƏRİN TEXNİKİ

XARAKTERİSTİKALARININ YAXŞILAŞDIRILMASI METODİKASININ TƏDQIQI

3.1 Elektromobillərin əsas parametrləri və xarakteristikalarının təyin edilməsi metodikası

- 1) **Doldurma Gücü:** Elektromobillər şarj olan zaman, kWt doldurma stansiyasının gücünə görə təyin edilir. Bu hadisə, elektromobilin akkumulyatoruna ötürülən enerjinin sürətidir. Bu faktorlar nəzərə alındıqda demək olar ki, daha yüksək kWt-lıq bir şarj cihazı elektromobili daha sürətli doldura bilər. Lakin hər elektromobili istənilən şarj cihazı ilə doldurmaq mümkün deyil. Çünki hər akkumulyatorun tam doldurulma potensialı müxtəlifdir və sürücülər buna ehtiyat etməlidir. Elektromobillər standart 120V və ya 240V gərginlikli doldurma stansiyalarına qoşulmaqla doldurulur. Tormozlama zamanı yaranan kinetik enerji regenerativ əyləc vasitəsi ilə elektrik enerjisinə çevrilir. Bəzi sürücülər səhər avtomobilin tam doldurulmuş vəziyyətdə olması üçün elektromobili bütün gecə evdə enerji mənbəyinə qoşulu qoyur. Doldurma məntəqələrinin sayı hər gün artır. Beləki, onlara artıq parklarda, dayanacaqlarda, iş yerlərində, ictimai yerlərdə və alış-veriş yerlərində rast gəlmək mümkündür. Şarj cihazı tutumundan və doldurma sürətindən asılı olaraq üç səviyyədə təsnif olunur (Argueta, 2010).
- 1-ci səviyyədə şarj cihazı 120V elektrik enerjisi verir və 8 saatlıq doldurma müddətinə sahibdir. Belə şarj cihazlarında təxminən 40 mil elektrikle hərəkət edən kabel dəstindən istifadə olunur.
 - 2-ci səviyyədə doldurma üçün 208V (kommersiya) və 240V (yaşayış) xidmətindən istifadə olunur və xüsusi 40 amperlik dövrə tələb edir. Bir saatlıq şarj ilə təqribən, 14-35 mil məsafəni qət etmək mümkündür.

- 3-cü səviyyə əsasən, DC mühərrikləri doldurmağın ən sürətli yoludur. Təqribən, yarım saat müddətdə 100 mil məsafə qət edə bilir. DC Sürətli Doldurma stansiyalarının sayı və bu şarj cihazlarının doldurma sürəti getdikcə artır.
- 2) **Batareya Tutumu:** Elektromobillərdə akkumulyatorun tutumu – onların enerji saxlamaq qabiliyyəti – kWt/saatla ölçülür. Bu ölçü ənənəvi nəqliyyat vasitələrinin yanacaq çəninin ölçüsünə bənzəyir. Elektromobilin daha çox məsafə qət etməsi və batareyanın enerjini daha uzun müddət saxlaya bilməsi kWt-saat göstəricisinin yüksək olmasından asılıdır. Məsələn, 50 kWt-saatlıq akkumulyatora sahib olan elektromobil 50 kWt-lıq elektrik mühərrikini 1 saat ərzində işlətmək üçün kifayət qədər enerji saxlaya bilər. Bununla yanaşı, elektromobilin diapazonu bir sıra digər amillərdən asılıdır. Məsələn, idarəetmə tərzini, avtomobilin səmərəliliyi, sürücülük şəraiti və s. Elektromobilin texniki xarakteristikalarına nəzər yetirərkən akkumulyatorun kWt-saat dərəcəsini anlamaq əhəmiyyətlidir. Uzun səyahətlər və gec-gec doldurulma üçün böyük akkumulyator daha əlverişlidir.
- 3) **Gediş məsafəsi:** Günümüzdə elektromobillər tam şarj ilə 150-300 mil məsafə qət etmə qabiliyyətinə malikdir. Bu məsafə iş üçün hər gün uzun məsafələr qət edən sürücülər üçün kifayətdir. Elektromobillərdə diapazon avtomobilin ölçüsündən və aerodinamikasından, akkumulyatorun ölçüsündən, xarici temperatur və batareyanın qızdırılmasının səmərəliliyindən asılıdır. Bu səbəbdən, isti havalarda elektromobillər daha çox məsafə qət edir nəinki, soyuq hava şəraitində.
- 4) **Transmissiya:** Elektromobillərdə təkərləri hərəkətə gətirmək üçün mexaniki gücü elektrik mühərrikindən təkərlərə ötürür. Adətən, differensiallı tək dişli ötürücüdən istifadə edilir.
- 5) **Batareya (köməkçi):** Bu köməkçi batareya elektromobillərdə əsas batareya işə düşməmişdən əvvəl elektromobili işə salmaq üçün elektrik enerjisi verir. Eyni ilə, elektromobillərdə müxtəlif aksesuarları gücləndirmək üçün istifadə edilir.



Şək. 3.1 - Akkumulyatorlu elektromobilinin sxemi

Elektromobillərin parametrləri: Tutum, fırlanma momenti, diapazon, yüklənmə vəziyyəti, güc və enerji istehlakı.

Yuxarıda elektromobillərin əsas hissələrini və onların iş prinsiplərini tətqiq etdik. İndi isə, elektromobilləri daha yaxşı başa düşmək üçün onların bir neçə əsas parametrləri haqqında məlumatlara baxaq. Buraya diapazon, akkumulyatorun tutumu, doldurma vəziyyəti, mühərrik gücü və MPGe daxildir.

- 1) **Nominal batareya tutumu (E_{nom} , Wh və ya kWh)** : Batareyada saxlanıla bilən ümumi elektrik enerjisidir. Bu, tam doldurulmuş batareya vəziyyətindən boş vəziyyətə çıxarıla bilən maksimum elektrik enerjisidir. Elektromobillərin növündən aslı olaraq akkumulyatorlar müxtəlif tutuma malik olur. Bunlar 5 kWh-dan 100 kWh-a qədər ola bilər.
- 2) **Doldurma vəziyyəti, SOC (B_{soc} , %)**: Bu parametr hazırda akkumulyatorda saxlanılan enerji miqdarı (E_{batt}) və ümumi batareya tutumu (E_{nom}) arasındakı nisbəti ifadə edir. Bu nisbəti hesablamaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə olunur.

$$B_{SOC} = (E_{batt}/E_{nom}) \cdot 100 \quad (3.1)$$

- 3) **Aralıq məsafəsi (R_{max} , km)**: Akkumulyatorun tam dolu vəziyyəti ilə elektromobilin maksimum qət edə biləcəyi məsafəni xarakteriz edir.
- 4) **Mövcud diapazon (R , km)**: Akkumulyatorun cari doldurulma vəziyyətinə əsasən, elektromobilin maksimum qət edə biləcəyi məsafəni xarakteriz edir.

- 5) Kilometrə görə enerji istehlakı (D, kWt/km):** Bu parametr elektromobilin standart sürmə dövründə, elektromobilin səmərəliliyini hər 1 km məsafədə hərəkətini təyin etmək üçün batareyadan sərf olunan elektrik enerjisinin miqdarını təyin edir. Bəzən batareyanı doldurmaq üçün şəbəkədən alınan enerjide nəzərə alınır.
- 6) MPGe və ya mil/qallon ekvivalenti:** MPGe elektromobilin istehlak etdiyi elektrik enerjisi vahidi üçün qət olunan mil ilə məsafədir. 33.7 kWt/saat elektrik enerjisi 1 qallon benzinə bərabərdir.
- 7) Mühərrikin gücü (P_m, W):** Təkərlərin hərəkətə gəlməsi üçün mühərrikdən təkərlərə verilən gücdür. Mühərrikin gücü müsbət və ya mənfi ola bilər. Bu isə, elektromobilin idarə edilməsindən və ya regrenativ əyləc altında olmasından aslıdır. Mühərrikin gücü mühərrikin fırlanma momentinin (T_m) və mühərrikin fırlanma sürətinin (W_m) məhsulu kimi ifadə edilir və vat (W), kilovat (kWt) və ya at gücü (hp) vahidlərindən biri ilə ölçülür. Fırlanma sürəti normal olaraq radyan (rad/san) və ya dəqiqədə fırlanma (rpm) ilə ifadə olunur. Dönmə momenti adətən, Nyuton-metr (Nm) ilə ifadə olunur. Hesablama üçün isə aşağıdakı düsturdan istifadə olunur.

$$P_m = T_m \cdot W_m \quad (3.2)$$

Burada:

P_m – mühərrikin gücü (W);

T_m – burucu moment (Nm);

W_m – fırlanma sürəti (rad/san).

Müvafiq olaraq, elektromobillər az enerji sərfiyyatına, yüksək diapazona və yüksək MPGe-yə malik olmalıdır. Verilən parametrləri ümumiləşdirmək üçün aşağıdakı düsturdan istifadə edə bilərik:

$$R = E_{batt}/D = (B_{SOC}/100) \cdot E_{nom}/D \quad (3.3)$$

Burada:

R – mövcud EV diapazonudur (km);

E_{batt} – cari batareyaya tutumudur (kWh);

D – kilometrə görə enerji istehlakıdır (kWh/km);

B_{SOC} – batareyanın doldurulma vəziyyətidir, SOC (%);

E_{nom} – nominal batareya tutumu (kWh/saat) (Lecture Notes: Parts of an EV: Recap - TU Delft OCW, n.d.).

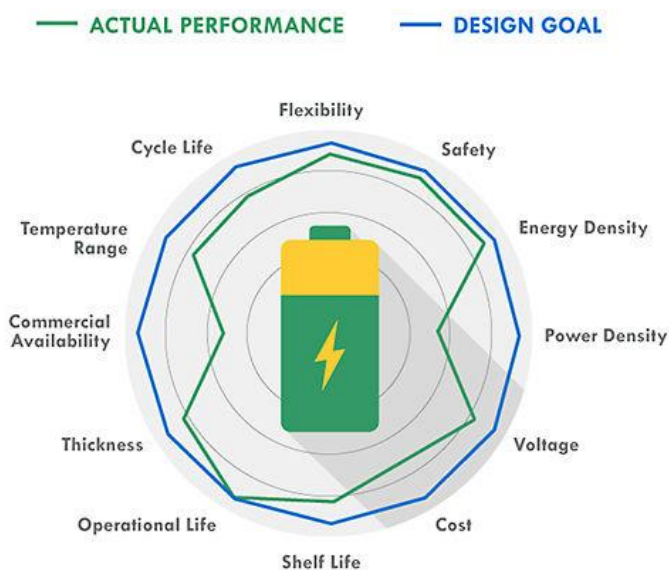
Batareya parametrinin seçiminin əsaslandırılması: Batareyanın gərginliyinin təyin edilməsi, əsasən, elektrik mühərrikinin gücündən aslıdır. Əgər, mühərrik yüksək gücə sahib olarsa, ona verilən gərginlikdə yüksək olur. Yəni, mühərrikin gücü ilə batareyanın gərginliyi düz mütənasibdir. Elektromobillərdə tələb edilən diapazona əsasən akkumulyator paketi parametrlərinin seçimi həyata keçirilir.

$$Ah \text{ və ya kWh} = \text{yürüş tələbi} \cdot \text{enerji istehlakı} \quad (3.4)$$

Burada:

Ah və ya kWh – batareya tutumudur.

Batareyanın seçilməsi zamanı bir neçə parametrlər əsas götürülür. Məsələn, işləmə tempi, doldurma müddəti, enerji sıxlığı və həyat dövrü diapazonu.

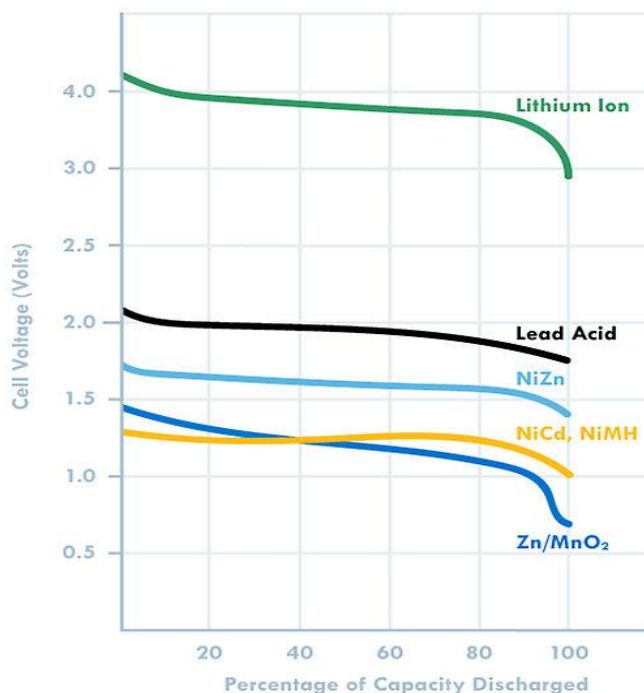


Şək. 3.2 – Batareyanın dizaynı və performansını

Saatda milliampere (mAh) və ya ampere saat (Ah) batareyanın işləmə sürətini təsvir edir və batareya tutumu ilə göstərilir. Müxtəlif növ batareyaların fərqləndirici

xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirərkən enerji tərkibinə baxmaq lazımdır. Batareyanın tutumu təyin olunan zaman istehsalçılar əsas diqqəti temperatur, akkumulyatorun boşalma sürəti və gərginliyə doğru yönəldir. Yüksək gücə sahib akkumulyatorlar, bir sıra hissələrdə sürətli boşalma qabiliyyətini təmin edir. Bu hissələr yüksək boşalma sürətinə malik elektrik alətləri və ya avtomobil starter akkumulyatorlarıdır. Enerji sıxlığı batareyanın konstruksiyasından aslıdır.

Batareyanın mühim xüsusiyyətindən biri də iş zamanı yaranan gərginlikdir. Üzvi elektrolitlərdən təşkil olunmuş litium batareyaların nominal gərginliyi 3.2V ilə 4V arasında dəyişir. Bu batareyalar -40C dərəcədə işləyə bilər, amma bu hava şəraiti onların faydalı iş əmsalını ciddi şəkildə aşağı salır.



Qrafik 3.1 – Batareyanın kimyəvi tərkibinə əsaslanan gərginlik qrafiki

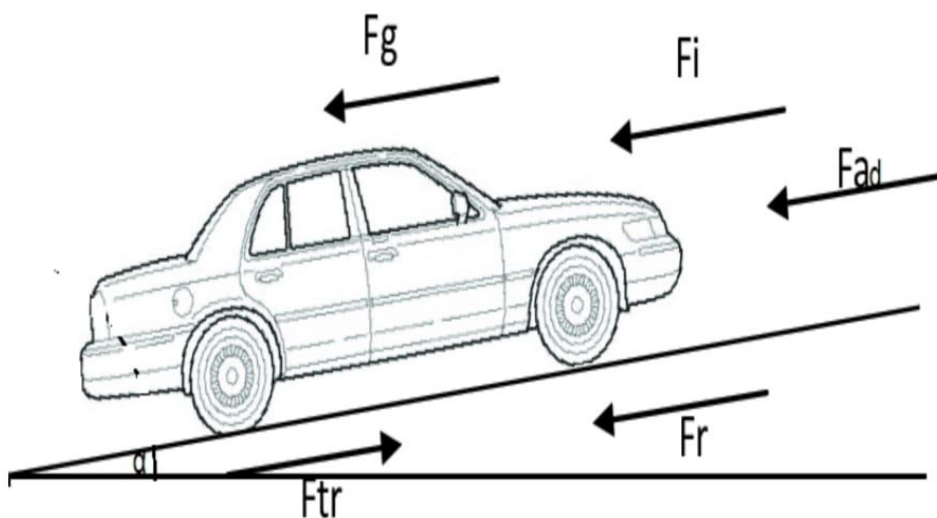
Mühərrik parametrlərinin seçiminin əsaslandırılması: Elektromobillərdə əsas parametr seçimi elektrik mühərrikidir. Elektromobili hərəkətə gətirmək məqsədi ilə elektrik mühərriki kifayət qədər gücə malik olmalı və bu gücü lazımi hissələrə ötürməlidir. İlk öncə biz elektromobili hərəkətə gətirmək üçün lazım olan qüvvə

miqdarını təyin etməliyik. Bu qüvvə dartma qüvvəsi adlanır və aşağıdakı düstur ilə hesablanır:

$$F_{tr}=F_r+F_{ad}+F_g+F_i \quad (3.5)$$

Burada:

- F_{tr} – dartma gücü;
- F_{ad} – havanın sürüklənməsinə görə qüvvə;
- F_r – yuvarlanan qüvvə;
- F_g – cazibə qüvvəsi;
- F_i – ətalət qüvvəsidir.



Şək. 3.3 - Avtomobilə təsir edən qüvvələr

Elektrik mühərriki seçən zaman avtomobilin bir sıra xüsusiyyətlərinə diqqət yetirmək lazımdır. Hansı ki, bu xüsusiyyətlər elektrik mühərrikinin gücünü, sürətini və fırlanma momentini təyin etmək üçün əsasdır. Bu xüsusiyyətlərə avtomobilin ölçüsü, çəkisi və aerodinamikası daxildir. Maximum gücü hesablamaq üçün avtomobilin yoxuşda hərəkətini təmin etmək məqsədi ilə lazım olan qüvvələrə əlavə olaraq avtomobilin sürtünmə əmsallarını nəzərə alan simulyatora sahib olmaq lazımdır.

3.2. Elektromobillərin dizaynının işlənməsi metodikası

Daxili yanma mühərrikli avtomobillər ilə elektromobillər arasında bir sıra fərqlər mövcuddur. İstehsalçılar uzun illər istifadə olunan ənənəvi istehsal üsullarından istifadə edərək yeni növ elektromobillərin layihələrinin işlənməsi və onların yaradılmasında bir sıra uğursuz cəhdlər ediblər. Əvvəllər daxili yanma mühərrikli avtomobillər istehsal edilərkən əsas diqqəti mühərrikə yönəldirdilər. Amma bu gün elektromobillərin istahlakında əsas diqqət akkumulyatorun qorunmasına yönəlib. Mühəndislər və dizaynerlər elektromobil yaradarkən dizaynı yenidən nəzərdən keçirirlər və yeni montaj və istehsal üsulları yaradırlar. İndi onlar əsasən, enerji səmərəliliyini, elektromobilin çəkisini və aerodinamikanı nəzərə alaraq sıfırdan elektromobil dizayn edirlər. Hər hansı bir elektromobilin dizaynında iştirak edən əsas parametrlər bunlardır:

- Avtomobilin gediş məsafəsi;
- Nəqliyyat vasitəsinin sürəti;
- Nəqliyyat vasitəsinin çəkisi.

Elektromobilin dizaynına avtomobilin dinamikası, avtomobilin tutumu və çəkisi, istifadə olunan mühərrikin fırlanma momenti və növü, tələb olunan sürət (yuxarı, eniş və normal yol zamanı), nəqliyyat vasitəsinin diapazonu, akkumulyatorun növü daxildir.

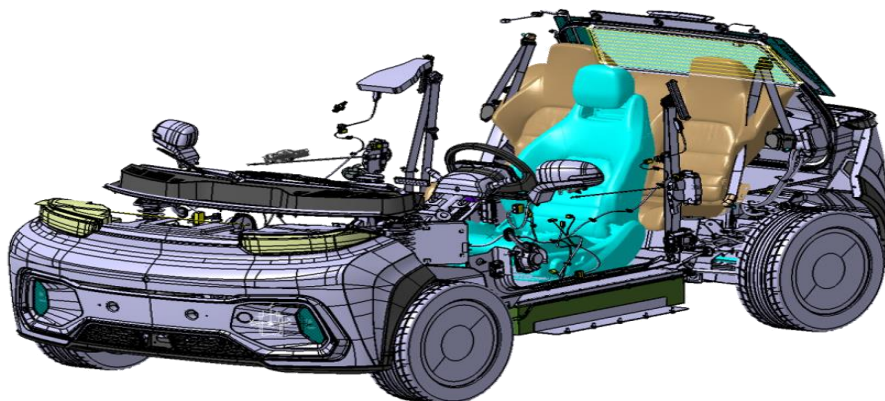
Avtomobilin dinamikası: Hər hansı bir EV-nin dizaynı zamanı avtomobilin dinamikasını bilmək vacibdir ki, bu da onun avtomobilin performansına və idarə olunan məsafəyə görə enerji sərfiyyatına təsirini başa düşməyə kömək edir. Nyutonun ikinci mexanika qanununa görə, qüvvə (F) nəqliyyat vasitəsinin hər hansı bir istiqamətdə hərəkətinə görə, tənliklə verilən eyni istiqamətdə ona təsir edən bütün qüvvələrin cəmi ilə müəyyən edilə bilər.

$$F(t) = ma = m \frac{dv(t)}{dt} = F_t(t) - F_r(t) \quad (3.6)$$

Burada:

- $F(t)$ - N-də sürətləndirici qüvvə olduğu yerdə m kq-da sürətləndiriləcək kütlədir;

- A - m/s^2 -də cazibə qüvvəsinin sürətlənməsidir;
- $\frac{dv(t)}{dt}$ - avtomobilin sürətinin m/s^2 -də dəyişmə sürətidir;
- $F_t(t)$ – burucu moment ilə avtomobilin sürətini artırmaq üçün təsir edən dartma qüvvələrinin cəmidir;
- $F_r(t)$ – burucu moment ilə avtomobilin sürətini azaltmağa təsir edən müqavimət qüvvələrinin cəmidir.



Şək. 3.4 - Elektromobil dizaynı

- 1) Avtomobillərdə yeganə ən böyük modifikasiya kuzovun alt hissəsidir. Bu hissə daxili yanma mühərrikli avtomobillərin kuzov dizaynı ilə oxşar olsa da, elektromobillərdə heç bir mühərrik mövcud deyil. Elektromobillərin alt hissəsində tamamilə batareya paketi yerləşdirilir. Hər bir fərqli model üçün müxtəlif batareya paketi variantları mövcuddur.



Şək. 3.5 - Batareyanın dizaynı

2. Elektromobillərin daxili strukturu “kosmik çərçivə” adlanır. Çəkinin az olması üçün çərçivə və təkərlər yüngül və möhkəm alimiumdan hazırlanmalıdır. Sükan çarxı və oturacaq çərçivələri möhkəm və yüngül metal olan maqneziumdan hazırlanmalıdır. Eyni ilə korpus panelləri də alimiumdan və zərbəyə davamlı kompozit plastıkdən hazırlanmalıdır. Bu materiallar təkrar emal edilə bilən və uzunömürlü istifadə xarakteriktikasına malikdir. Minimum kütlə, az çəki və təhlükəsizlik şərtləri nəzərə alınmaq ilə yüni texnologiya materiallarının istifadəsi ilə həmçinin sənişinlərin qorunmasını təmin edən yeni konfiqurasiyalar hazırlanmalıdır.
3. Avtomobillərin ön şüşəsini yayda həddindən artıq istiləşmədən, qışda isə donmadan qorunmaq üçün günəş şüşəsindən istifadə edilir. İstilik qənaətini təmin edən materiallar istilik və kondisionerlərin batareyalara tətbiq etdiyi enerji sərfiyatını azaldır.
4. Sürücülərin arzu etdiyi bütün rahatlıqları təmin etmək məqsədi ilə bir sıra funksiyalar aradan qaldırılıb. Məsələn, məkan məhdudıyyəti yarandığı üçün ehtıyyat təkər funksiyası ləğv edilib. Bunun əvəzində isə təkərlər rezindir və daha yüksək təzyıqlə şişirmək mümkündür. Həmçinin təkərlərdə sızma olan zaman avtomatik təmir etmək üçün möhürləyici maddə mövcuddur. Beləliklə, avtomobil enerjiyə qənaət etmək üçün daha az müqavimət ilə fırlanmasını təmin etmək lazımdır.
5. Elektromobillərdə bir sıra təhlükəsizlik məsələləri ilə yanaşı piyadalar üçün xəbardarlıq sistemidə mövcuddur. Elektromobillər səssiz işləyir və onlar yaxınlaşan zaman piyadalar eşitməyə bilər. Bunun üçün yanıb-sönən işıqlar və xəbardarlıq üçün siqnallar mövcuddur. Bu sistem avtomatik olaraq geriye hərəkət zamanıda işləyir. (Understanding the Design & Manufacture of Electric Vehicles - C3controls, n.d.)

3.3. Elektromobillərin səmərəli konstruktiv parametrlərinin axtarışı metodikası

Elektromobillərin əsas struktur elementləri aşağıdakılardır:

1. akkumulyator (saxlama elektrik);
2. dartma elektrik mühərriki TED;
3. mexaniki ötürmə MT;
4. bort şarj cihazı BZU;
5. çevirici İ;
6. DC/DC çevirici PPT;
7. elektron sistem ESU nəzarəti;
8. LED sensor sistemi.

Elektromobillərdə bir çox müxtəlif konstruksiyalı mühərriklər mövcuddur. Buna baxmayaraq əsasən, 300V DC gərginliyə malik olan litium-ion batareyalarından istifadə edilir. Invertor elektrik mühərrikinə gücləndirmək məqsədi ilə batareyanın DC yüksək gərginliyini lazım olan AC cərəyan gərginliyinə çevirir. Elektrik mühərrikinin bir sıra üstünlükləri:

- a. Əlavə qurğulara ehtiyac olmadan irəli və geriye doğru işləmə;
- b. Sürətinin bütün diapazonu ərzində fırlanma momentinin hiperbolik dəyişməsi;
- c. Sadə dizayn ilə təşkil olunması;
- d. Havanın soyudulması texnologiyasına malik olması;
- e. Generator rejimində işləmək bacarığına sahib olması.

Elektrik mühərrikinin səmərəliliyi ən azı 90%-dir. Bu göstərici daxili yanma mühərrikli avtomobillərdə 30% təşkil edir. MT elektromobilinin ötürülməsi D çarpaz oxlu diferensiallı blokda dişli reduktorların müxtəlif kombinasiyalarından ibarətdir. PPT DC çeviricisi 12V gərginlikli əlavə DAB batareyasını doldurmaq və müxtəlif POT istehlakçıları (elektrik sükanı, daxili qızdırıcı, kondisioner, işıqlandırma sistemi, şüşə silənlər, audio sistem) gücləndirmək üçün nəzərdə tutulmuşdur.

ESU-nun elektron idarəetmə sistemi sənişinlərin təhlükəsizliyini, enerjiyə qənaətini və rahatlığını təmin etməyə yönəlmiş funksiyaları yerinə yetirir (yüksək

gərginliyə nəzarət, dartma xüsusiyyətlərinin tənzimlənməsi, optimal sürüş rejiminin təmin edilməsi, hamar sürətlənməyə və regenerativ əyləclərə nəzarət, elektrik enerjisindən istifadəyə nəzarət, qiymətləndirmə batareyanın doldurulması). Sistem qaz pedalının və əyləc pedalının mövqeləri, istiqamət seçicisi (irəli, geri), əyləc sistemindəki təzyiq və batareyanın doldurulması vəziyyəti haqqında məlumat verən LED sensorlar kompleksinə malikdir. Sensor siqnallarına əsaslanaraq, idarəetmə bloku elektrik avtomobilinin idarəetmə xüsusiyyətlərinin xüsusi şərtlər üçün optimal olmasını təmin edir. Rekuperasiya dartma rejimində sərf olunan enerjinin 30%-ə qədərini qaytarır. Batareyanın iki doldurulma rejimi var - normal və sürətləndirilmiş.

Avtomobilin diapazonuna təsir göstərən elementlər onun çəkisi və batareya paketinin ölçüsüdür. Akkumulyator tutumu avtomobilin çəkisinin artmasına səbəb olur. Yüksək tutumlu akkumulyator paketi ilə təchiz edilmiş elektromobillər uzun məsafələr qət etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Əgər onlar qısa məsafə üçün istifadə edilərsə, avtomobilin səmərəlilik göstəricisi aşağı olur. Bu nöqtəyi nəzərdən, kiçik akkumulyator ilə təchiz olunmuş elektromobillər daha səmərəli hesab edilir. Mühərrikin yüksək məhsuldarlıqlı işi sürətlənmə zamanı əsas göstəricidir. Elektromobilin yüksək səmərəli işinə təsir göstərən əsas komponent isə düzgün şəkildə dizayn olunmuş elektrik mühərrikinin ölçüsüdür.

NƏTİCƏ

Elektromobillərin gələcəyi nəqliyyatda paradiqma dəyişikliyinə təmsil edir. Akkumulyator texnologiyasının gələcək inkişafı, enerji doldurma stansiyalarının sayı artması avtomobil sənayesində elektromobillərin sayının artması ilə tam transformasiyaya məruz qala bilər. Zərərli qazların emissiyalarını azaltmaq, elektrik enerjisindən istifadə və innovativ mobillik həllərini təmin etmək potensialı ilə elektromobillər sadəcə bir tendensiya deyil, gələcəkdə daha təmiz, ekonom, yaşıl və məsuliyyətli nəqliyyata doğru əsaslı və davamlı addımdır.

- 1) Dissertasiya işində əsasən elektrik mühərriklərinin növləri və ötürücüləri təyin edilmiş və elektrik mühərriklərinin enerji səmərəliliyi, möhkəmlik və güc sıxlığı kimi xarakteristikaları nəzərdən keçirilmişdir.
- 2) İnvertorlar elektromobil sənayesində sürətlə inkişaf edən aspektlərdən biridir. Müasir dövrdə əsasən, silisium karbid (SiC) və qallium nitridi (GaN) kimi üst səviyyəli texnologiyalar öz potensialını göstərir, bu isə elektromobillərin performansına, diapazonuna və qiymətinə birbaşa təsir göstərir.
- 3) Tək pilləli ötürmə və iki pilləli ötürmənin müqayisəsini nəzərdən keçirilmişdir. Müqayisələrdən belə nəticə əldə edilir ki, iki pilləli ötürmə tək pilləli ötürmədən səmərəlidir. İki pilləli ötürmə sistemi optimallaşdırmağa imkan yaradır ki, bu da elektrik mühərrikinin və elektromobil invertorunun ölçüsünü azaldır.
- 4) Elektromobillərin bir sıra parametrləri nəzərdən keçirilmiş və onların enerji göstəriciləri, elektromobilin dartma və sürət xüsusiyyətlərinin göstəricilərinin qiymətləndirilməsi metodologiyası işlənib hazırlanmışdır. Lazım olan göstəriciləri təyin etmək üçün düsturlardan istifadə edilmiş, elektrik mühərrikinin gücü, elektromobilinin dartma xarakteristikaları və sürətləndirmə xarakteristikaları işlənmişdir.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT

- About Motor Control in Electric Vehicle | Best EV Training Platform. (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from <https://isieindia.com/understanding-electric-vehicle-motor-controllers-a-beginners-guide/>*
- Argueta, R. (2010). A Technical Research Report: The Electric Vehicle. https://www.academia.edu/72005648/A_Technical_Research_Report_The_Electric_Vehicle*
- Axeon Receives Order for 50 Zebra Packs for Modec Electric Vehicle; Li-Ion Under Testing - Green Car Congress. (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from https://www.greencarcongress.com/2006/11/axeon_receives_.html*
- Bakshi, M. V. V. S., & Jape, P. E. S. (2014). Drive Selection and Performance Evaluation of Electric and Hybrid Electric Vehicles. www.ijert.org*
- Eldho Aliasand, A., & Josh, F. T. (2020a). Selection of Motor foran Electric Vehicle: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1804–1815. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.03.605>*
- Eldho Aliasand, A., & Josh, F. T. (2020b). Selection of Motor foran Electric Vehicle: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1804–1815. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.03.605>*
- Electric Powertrain Testing | Drivetrain Efficiency | HBM | HBM. (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from https://www.hbm.com/en/10050/electric-powertrain-testing-drivetrain-efficiency/?product_type_no=Electric%20Powertrain%20Testing*
- Electro-offensive and number one in premium segment: BMW Group posts strong sales for 2021. (2022). BMW Group Press Club Global. <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0364013EN/electro-offensive-and-number-one-in-premium-segment:-bmw-group-posts-strong-sales-for-2021?language=en>*
- Elmarakbi, A., Morris, A., Ren, Q., & Elkady, M. (2013). Modelling and Analyzing Electric Vehicles with Geared Transmission Systems: Enhancement of Energy Consumption and Performance. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(11). <https://doi.org/10.17577/IJERTV2IS110249>*
- Emily Greenfield. (2023). The Future Of Electric Vehicles - Sigma Earth. <https://sigmaearth.com/the-future-of-electric-vehicles/>*

- Finken, T., Felden, M., & Hameyer, K. (2008). *Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles. Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines, ICEM'08.* <https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2008.4800044>
- Hashemnia, N., & Asaei, B. (2008). *Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines, ICEM'08.* <https://doi.org/10.1109/ICELMACH.2008.4800157>
- Jones, H. (2018). *What's put the spark in Norway's electric car revolution? The Observer.* <https://www.theguardian.com/money/2018/jul/02/norway-electric-cars-subsidies-fossil-fuel>
- Lecture Notes: *Parts of an EV: Recap - TU Delft OCW.* (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/2-1-2-lecture-notes-parts-of-an-ev-recap/>
- Masrur, M. A., & Garg, V. K. (2012). *Hybrid Electric and Hydraulic Technology Applications in Off-Road Vehicles. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, 5083–5103.* https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_821
- McKerracher, C., O'Donovan, A., Soulopoulos, N., & Grant, A. (2023). *EVO Report 2023 | BloombergNEF | Bloomberg Finance LP.* <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- Morris, J. (2021). *Tesla Model 3 Is Now 16th Bestselling Car In The World. Forbes.* <https://www.forbes.com/sites/jamesmorris/2021/05/29/tesla-model-3-is-now-16th-bestselling-car-in-the-world/?sh=5b9c811d45d1>
- Rahman, Z., Ehsani, M., & Butler, K. L. (2000). *An investigation of electric motor drive characteristics for EV and HEV propulsion systems. SAE Technical Papers.* <https://doi.org/10.4271/2000-01-3062>
- Selection of electric motor drives for electric vehicles | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore.* (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4813059>
- Understanding the Design & Manufacture of Electric Vehicles - c3controls.* (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from <https://www.c3controls.com/white-paper/understanding-the-design-and-manufacture-of-electric-vehicles/>
- Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. N., & Hossain, E. (2017). *A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies,*

challenges, impacts, and future direction of development. Energies, 10(8).
<https://doi.org/10.3390/EN10081217>

Wakefield, E. H. (1994). *History of the Electric Automobile, Society of Automotive Engineers.* 2–3. <https://www.techno-science.net/definition/962.html>

Winton, N. (2021). *Europe's Electric Car Sales Will Beat 1 Million In 2021, But Growth Will Slow Later; Report. Forbes.*
<https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2021/03/04/europes-electric-car-sales-will-beat-1-million-in-2021-but-growth-will-slow-later-report/?sh=50645bf613bf>

Wolschendorf, J., Rzemien, K., & Gian, D. J. (2010). *Development of electric and range-extended electric vehicles through collaboration partnerships. SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems, 3(2), 215–219.*
<https://doi.org/10.4271/2010-01-2344>

Ившин, К. С. (2006). *Выбор параметров и дизайнерское проектирование легковых автомобилей особо малого класса (квадрициклов) с комбинированной энергосиловой установкой.* <https://dissercat.com/content/vybor-parametrov-i-dizainerskoe-proektirovanie-legkovykh-avtomobilei-osobo-malogo-klassa-kva>

Какие города отказываются от машин и зачем это нужно — Будущее на vc.ru. (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from <https://vc.ru/future/46544-kakie-goroda-otkazyvayutsya-ot-mashin-i-zachem-eto-nuzhno>

Карунин А.Л., & Бахмутов С.В., С. В. В. , К. А. В. , Б. Е. Е. , К. К. Е. , А. Е. В. (2019). *Экспериментальный многоцелевой гибридный автомобиль.*
<http://www.avtomash.ru/guravto/2006/20060705.htm>

Рынок электромобилей в России за 9 месяцев 2019 года | АВТОСТАТ. (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from <https://www.autostat.ru/infographics/41715/>

Строганов, В. И. (2014a). *МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И АВТОМОБИЛЕЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ В ПРОЦЕССАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА | Z-Library.* <https://z-lib.io/book/13914921>

Строганов, В. И. (2014b). *Повышение эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой.*
<https://dissercat.com/content/povyshenie-ekspluatatsionnykh-kharakteristik-elektromobilei-i-avtomobilei-s-kombinirovannoi->

Электромобиль — Википедия. (n.d.). Retrieved May 20, 2024, from

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C>