EH2TA

Education in Hydrogen Technologies Area

VÄTGASFORDON MED BRÄNSLECELLER

Co-funded by the European Union

Project is supported within the Erasmus+ programme 2021-1-CZ01-KA220-VET-000028073

Obsah

1 Introduktion - Skäl för att använda vätgas som fordonsbränsle 4
1. Väte som energikälla 6
1.1 Produktion av vätgas från fossila bränslen 7
1.1.1 Ångreformering av naturgas 7
1.1.2 Partiell oxidation av kolväten 7
1.1.3 Förgasning av kol 8
1.2 Framställning av väte genom elektrolys av vatten 8
1.3 Produktion av vätgas från biomassa 8
1.4 Produktion av vätgas från alternativa energikällor 9
1.5 Referenser 9
1.6 Instuderingsfrågor: 9
2 Bränsleceller 10
2.1 Introduktion 10
2.2 Historisk utveckling 10
2.3 Princip 11
2.4 Typer av bränsleceller 13
2.4.1 Bränsleceller med alkalisk elektrolyt (AFC) 13
2.4.2 Bränsleceller med polymermembran (PEMFC) 14
2.4.3 Bränsleceller för fosforsyra (PAFC) 14
2.4.4 Bränsleceller för smält karbonat (MCFC) 14
2.4.5 Fastoxidbränsleceller (SOFC) 15
2.5 Instuderingsfrågor: 15
3 Elektriska motorer i fordon 15
3.1 DC-motorer (likström) 15
3.1.1 Separat exciterad likströmsmotor 16
3.1.2 Series DC motor 17
3.1.3 Parallell DC-motor 18
3.1.4 Sammansatt DC-motor 19
3.1.5 Borstlös DC-motor 19

3.1.6 Sammanfattning 20
3.2 AC-motorer (växelströmsmotorer) 21
3.2.1 Asynkron motor 22
3.2.2 Transversal flödesmotor 23
3.2.3 Synkronmotor 23
3.2.4 Styrd reluktansmotor 24
3.2.5 Sammanfattning 26
3.3 Instuderingsfrågor: 26
4 Vätgasdrivna fordon 27
4.1 Japanska Toyota Mirai är massproducerad vätgasdriven bil 28
4.1.1 Körprestanda (Toyota data november 2014) 28
4.2 En annan serietillverkad vätgasdriven bil är Hyundai Nexo 29
4.3 Vätgasbuss Solaris Urbino 12 30
4.4 Vätgasbuss ŠKODA H'CITY 12 31
4.5 Hyundai HFC BUS 31
4.6 Deutsche Bahns vätgaståg 32
4.7 Instuderingsfrågor: 32

Finansieras av Europeiska unionen. De synpunkter och åsikter som uttrycks är endast upphovsmannens [upphovsmännens] och utgör inte Europeiska unionens eller Europeiska genomförandeorganet för utbildning och kulturs (EACEA) officiella ståndpunkt. Varken Europeiska unionen eller EACEA tar något ansvar för dessa.

1 INTRODUKTION - SKÄL FÖR ATT ANVÄNDA VÄTGAS SOM FORDONSBRÄNSLE

Ett skäl till att använda vätgas som fordonsbränsle är att minska förbrukningen av fossila bränslen och produktionen av skadliga utsläpp.

I framtiden förväntas produktionen av fossila bränslen, främst olja och naturgas, minska och priserna på dem fortsätta att stiga. Ett alternativt bränsle för att ersätta dem skulle kunna vara väte eftersom dess reserver i vatten är nästan outtömliga.

Naturvetare och tekniker har sedan länge uppmärksammat vätgasens förbränningsvärme, men det var först i början av 1900-talet som den började användas industriellt. Då användes den främst för svetsning eller som hydrerings- och reduktionsmedel. De första experimenten med att använda vätgas som bränsle för raketmotorer inleddes i början av 1950-talet och nådde inte implementeringsfasen förrän i mitten av 1960-talet.

Den främsta fördelen med vätgas som bränsle är dess rena förbränning. När vätgas används i förbränningsmotorer eller bränsleceller produceras termisk, mekanisk eller elektrisk energi samt en ofarlig biprodukt: vatten. Vätgasen ger inte upphov till någon koldioxid eller andra biprodukter som uppstår vid förbränning av fasta, flytande eller gasformiga kolvätebränslen. CO2 är den mest kritiska komponenten i växthusgaser, och vätgasekonomin syftar främst till att begränsa bildandet av dessa.

Vätgasreserverna i vatten är nästan outtömliga. Det har en hög energidensitet per viktenhet och kan transporteras och lagras. Ur miljösynpunkt är förbränning av vätgas renare än förbränning av fossila bränslen, och producerat vatten åtföljs inte av giftiga föreningar eller växthusgaser.

I industriell skala produceras vätgas dels genom petrokemiska processer, inklusive kolförgasning, dels genom elektrolys av vatten. Kolförgasning står för 90 % av produktionen. Vatten är också en viktig biprodukt eller komponent i gaser som genereras av raffinaderier, koksverk och elektrokemisk produktion baserad på vattenlösningar av oorganiska syror eller salter.

Väte är en färglös, smaklös och luktfri gas och är den lättaste av alla gaser.

Kemisk formel: H2

CAS-nummer: 1333-74-0

EG-nummer: 215-605-7

FN-nummer: 1049

Väte är det enklaste och vanligaste grundämnet i universum och utgör ca 75%. Även om molekylärt väte (H2) är sällsynt på jorden, kan det finnas bundet i vatten och kolväten.

Dess låga densitet innebär dock utmaningar för lagring och distribution. Eftersom vätgas endast kan avdunsta efter kylning under den kritiska temperaturen på 33,15 K vilket motsvarar -239,9 °C

Huvudmålet med att införa en vätgasekonomi är att uppnå klimatneutralitet senast 2050.

Betydelsen av vätgas har upprepade gånger betonats i strategidokument för den gröna given, inklusive "The Hydrogen Strategy for a Climate Neutral Europe".

Fysikaliska egenskaper

Molekylvikt: 2,02 g

Kokpunkt: -252,9 °C

Trippelpunkt: -259,2 °C

Kritisk temperatur: -239,9 °C

Kritiskt tryck: 12,8 atm

Gasdensitet vid 0 °C och 1 atm (luft = 1): 0,089 g/l

Gasdensitet vid 25 °C och 1 atm (luft = 1): 0,069 g/l

Självantändningstemperatur i luft vid 1 atm: 570 °C

Även om väte är relativt inaktivt vid omgivningstemperatur, reagerar det med de flesta andra grundämnen vid förhöjda temperaturer. Till exempel kan väte reducera metalloxider vid förhöjda temperaturer. Denna reaktivitet vid förhöjda temperaturer används i stor utsträckning i de flesta industriella vätgasinstallationer utanför energisektorn.

Väte kan därför anses vara oförenligt med oxidanter som luft, syre och halogener. Exempelvis reagerar fluor och väte vid en temperatur på 250 °C i närvaro av föroreningar. Blandningar av klor och väte är explosionsbenägna när de utsätts för ljus och litium brinner i en väteatmosfär.

Väte är en extremt brandfarlig gas och brinner i luft med en ljusblå låga som är praktiskt taget osynlig i koncentrationer från 4 till 75 volymprocent under standardförhållanden. Dessutom bearbetas vätgas vid förhöjda tryck. Om det uppstår en läcka orsakar vätgasen en omvänd Joule-Thompson-effekt, vilket leder till att den utströmmande gasen blir tillräckligt varm för att antändas omedelbart. Detta ökar den låga minimala antändningsenergin för den brandfarliga blandningen av vätgas och luft, vilket gör den mer känslig för sannolikheten för antändning jämfört med andra brandfarliga gaser.

Sannolikheten för antändning är också högre jämfört med andra brandfarliga gaser eftersom vätgasmolekylens lilla storlek gör att den lättare läcker ut genom små hål. Denna egenskap är anledningen till att utrustning som är avsedd att innehålla väte ibland täthetsprövas med helium, en inert gas, eftersom dess molekylstorlek är jämförbar med vätets.

Eftersom väte är lättare än luft stiger gasen lätt upp i atmosfären, till skillnad från propan som stannar kvar på marknivå och ökar risken för explosion. Praxis visar att väte inte antänds i öppen luft.

Den största risken vid användning av vätgas är därför att det bildas brandfarliga blandningar med luft. När de utsätts för en antändningskälla kan det leda till en brand eller eventuellt en deflagration. Det gap som en vätgasflamma kan sprida sig i är mycket smalare än för de flesta andra gaser. Det gör det mycket svårt att konstruera elmotorer som är tillräckligt "tuffa" för användning i atmosfärer där det kan förekomma en brandfarlig blandning av vätgas och luft.

Instuderingsfrågor:

1. Varför finns det en strävan att ersätta fossila bränslen med vätgas?
2. När och i vilket syfte började vätgas användas industriellt?
3. När började vätgas användas som bränsle för raketmotorer?
4. Vilken är den största fördelen med väte som bränsle?
5. Vilka är de andra fördelarna med väte som bränsle?

1. Väte som energikälla

Målsättningar:

I detta kapitel kommer vi kortfattat att titta på olika sätt att framställa vätgas från fossila bränslen eller genom elektrolys av vatten med hjälp av elektricitet från t.ex. förnybara energikällor.

Nyckelord: Alternativa källor, ångreformering, elektrolys, fossila bränslen, partiell oxidation, väteproduktion

Du kan lära dig mer om vätgasproduktion i en annan modul, men för att ge en allmän översikt i detta avsnitt nämner vi det också här.

Ett av alternativen för att ersätta kolvätebränslen är användningen av väte, som är ett ämne som knappast förekommer på egen hand i naturen och därför måste produceras.

Ett möjligt sätt att få fram det är från fossila bränslen som olja, naturgas och kol, men detta står i strid med minskningen av produktionen av dessa bränslen.

Det andra möjliga sättet är att använda elektrolys av vatten, vilket kräver en betydande mängd elektrisk energi som måste genereras på något sätt, till exempel i konventionella kraftverk, som dock förbrukar fossila bränslen.

Väteproduktion kan delas in i:

- produktion av vätgas från fossila bränslen

- produktion av vätgas genom elektrolys

- produktion av vätgas från biomassa

- produktion av vätgas från alternativa energikällor.

1.1 Produktion av vätgas från fossila bränslen

1.1.1 Ångreformering av naturgas

- för närvarande den mest utbredda metoden för vätgasproduktion

Process:

- Avsvavling av naturgas
- Metanreformering med ånga
- CO-omvandling
- Tvättning av CO2
- Metanisering

Fördel: lägsta produktionskostnader (36-38% lägre än vätgasproduktion genom partiell oxidation av kolväten och kolförgasning).

1.1.2 Partiell oxidation av kolväten

- Det näst vanligaste sättet att producera vätgas i världen. Som råmaterial kan man använda både gasformiga och flytande råmaterial från primär och sekundär oljeförädling.

- Råmaterialet förgasas med ånga och syre vid temperaturer på 1300-1430 °C.

- Den höga temperaturen och avsaknaden av katalysator gör det möjligt att använda tungoljefraktioner, eldningsoljor, vakuumrester och propanasfalter som råmaterial. Dessa kännetecknas av betydande sotbildning.

Nackdel: bildning av kolmonoxid tillsammans med koldioxid.

1.1.3 Förgasning av kol

- Produktionen av väte genom förgasning av kol liknar produktionen av väte genom partiell oxidation av petroleumrester.

Process:

- Framställning av syntesgas genom förgasning av kol med syre eller luft och ånga i en förgasningsgenerator.
- Kylning av den heta syntesgasen.
- Gasrening och avskiljning av väte från gasen.
- Nackdel: högre produktionskostnad

1.2 Framställning av väte genom elektrolys av vatten

- Klassisk, beprövad produktionsteknik

Process:

- En elektrisk likström som passerar genom två metallelektroder nedsänkta i vatten används för att dissociera vatten till gasformigt väte och gasformigt syre.
- Produktion av vätgas genom elektrolys kan också ske med hjälp av elektrisk energi från förnybara källor som sol-, vind-, vatten- eller kärnenergi.

1.3 Produktion av vätgas från biomassa

Produktionen av vätgas från biomassa kan delas in i två processer:

- ångreformering av biomassa - pyrolys
- biotekniska processer - fermentering

En annan möjlig metod är att använda derivat av biomassa, t.ex. bioetanol och biogas, men här är det bättre att använda dessa direkt som bränsle.

Denna metod kan användas för att behandla olika typer av substrat, såsom fast kommunalt avfall, avfall från livsmedelsindustrin, olja, samt avfallsbiomassa från jordbruket, inklusive målmedvetet odlad biomassa.

1.4 Produktion av vätgas från alternativa energikällor

Som beskrivits ovan kan vattenelektrolys också utföras med hjälp av elektricitet som produceras från förnybara källor.

Den mest lovande energikällan på detta område är solenergi. För att öka effektiviteten i vätgasproduktionen utvecklas nya metoder för vattenelektrolys, t.ex:

- elektrolys vid hög temperatur (termolys)
- en del av energin tillförs som elektrisk energi, medan resten tillförs som värme
- fördelen är en ökad processeffektivitet på grund av minskad elförbrukning
- termokemiska cykler

Vatten delas upp i syre och väte genom en serie kemiska reaktioner. De kemiska reaktionerna utlöses av värme eller en kombination av värme och elektricitet i hybridcykler. Den mest kända är Westinghouse-företagets hybridcykel för termokemisk cykel och svavelsyra.

1.5 Referenser

HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

1.6 Instuderingsfrågor:

1. Varför är det nödvändigt att producera väte för att kunna använda det som energikälla?
2. Varför behövs vätgas för energiproduktion?
3. Vad är fördelen med ångreformering av naturgas?
4. Vad är råmaterialet vid partiell oxidation av kolväten?
5. Vad är nackdelen med partiell oxidation av kolväten?
6. Vad är nackdelen med att producera vätgas genom kolförgasning?
7. Vad är processen för vätgasproduktion genom elektrolys av vatten?

8. Vad är fermentering?
9. Vilka substrat används för att producera vätgas från biomassa?
10. Elektrolys av vatten kan också göras med el som genereras från förnybara källor. Lista några. Vilken av dessa källor är mest lovande?
11. Vilka är de nya varianterna av vattennedbrytning?

2 BRÄNSLECELLER

MÅLSÄTTNINGAR:

- Syftet med detta kapitel är att förstå principen för kraftgenerering med hjälp av en bränslecell och att lära sig mer om dess olika typer.

NYCKELORD: BRÄNSLECELL, FASTA OXIDER, MEMBRAN, OXIDATIONSMEDEL, VÄTE

2.1 INTRODUKTION

Alla fordon med förbränningsmotor som tillverkas idag förbränner fossila bränslen och påverkar därmed miljön negativt. I jämförelse erbjuder elektriska batterifordon många fördelar. De är tysta, släpper inte ut några skadliga ämnen i miljön, kräver ingen växellåda för att fungera och deras elmotorer är mycket effektiva. En stor nackdel med batteridrivna fordon är dock deras höga vikt och begränsade batterilivslängd. Bränsleceller presenteras som ett alternativ till dessa tunga batterier. Fordon som drivs med bränsleceller har också en minskad miljöpåverkan, är inte beroende av fossila bränslen och är mycket effektiva. Bränsleceller kan ge obegränsad energi under specifika förhållanden och deras effekt kan enkelt justeras inom ett brett intervall.

2.2 HISTORISK UTVECKLING

Nedbrytning av vatten till syre och väte med hjälp av elektrisk ström demonstrerades för första gången 1802 av Sir Davy Humphrey. Slutsatsen av hans experiment var att en liten elektrisk laddning fortfarande fanns kvar på elektroderna även efter att den elektriska strömkällan redan hade kopplats bort. Han kunde dock inte förklara detta fenomen på ett tillfredsställande sätt.

Den grundläggande principen för bränslecellen upptäcktes 1838 av den schweiziske vetenskapsmannen Christian Friedrich Schönbein, som beskrev den i en av sina publikationer ett år

senare. I artikeln diskuterades upptäckten av ozon och reaktionen mellan syre och väte som gav upphov till en elektrisk potential vid elektroderna. Sir William Grove, som anses vara bränslecellernas "fader", byggde den första fungerande prototypen baserad på detta teoretiska arbete. År 1843 skrev han ytterligare om detta ämne i en artikel som fokuserade på lagring av elektrisk energi med hjälp av gaser.

Termen "bränslecell" användes troligen först av Charles Langer och Ludwig Mond 1889 när de försökte utveckla en cell som drevs av lampgas. Trots förbättringar av William Jacques, som använde fosforsyra som elektrolyt, förblev kostnaden för att tillverka denna cell för hög. Efter att Werner von Siemens uppfunnit dynamon hamnade bränslecellen i skymundan. Det var först 1952 som den första användbara prototypen med en effekt på 5 kW presenterades av dess uppfinnare, Francis Thomas Bacon. Denna prototyp använde kaliumhydroxid som elektrolyt.

På 1960-talet blev vätgasbränslecellen ett viktigt och mycket uppmärksammat ämne inom rymdforskningen, eftersom den har ett mer fördelaktigt förhållande mellan energi och vikt jämfört med andra energikällor. Bränsleceller installerades t.ex. på Apollo-rymdskeppen och de drev även rymdfärjorna, där varje orbiter hade tre bränsleceller med en kontinuerlig uteffekt på 7 kW och en toppeffekt på 12 kW. En av de största fördelarna var att avfallsprodukten från väte-syre-cellen var rent vatten som kunde användas i rymdfärjans vattensystem.

Sedan slutet av andra världskriget har den tyska flottan varit förbjuden att använda atomubåtar. Som en följd av detta letade flottan efter en alternativ källa till elektrisk energi. En lösning var att använda bränsleceller, där celler med en effekt på 30 kW används i äldre generationer av fartyg, och celler med en effekt på 120 kW används i nyare generationer. Mellan 2005 och 2008 togs den första vätgasmotorvägen, kallad HyNor, med en längd på 560 km i drift i Norge.

Under 2008 togs ett nätverk av vätgastankstationer och uthyrning av bränslecellsbilar i drift i städerna Los Angeles, San Francisco och Las Vegas i USA. Dessa är Honda FCX Clarity-fordon med en 100 kW PEM-bränslecell. I juni 2009 togs TriHyBus i drift i Tjeckien, vilket är den första bussen med bränslecell i det forna östblocket. I oktober 2009 togs den första vätgastankstationen i länderna i det forna östblocket i drift i Neratovice.

2.3 Princip

Bränsleceller definieras generellt som elektrokemiska enheter och deras funktion är att omvandla väte (bränsle) och syre (oxidationsmedel) till elektrisk energi. Dessa galvaniska celler innehåller två

elektroder som separeras av ett membran eller en elektrolyt. Bränslet (väte) tillförs den positiva elektroden, medan oxidationsmedlet (syre) tillförs den negativa elektroden. Elektroner skapas vid den positiva elektroden (anoden) och flödar genom en extern elektrisk krets till den negativa elektroden (katoden), vilket genererar en elektrisk ström. I teorin kan en bränslecell fungera kontinuerligt så länge tillförseln av bränsle eller oxidationsmedel till elektroderna inte avbryts.

Det finns många kombinationer av bränsle och oxidationsmedel. En oxy-vätecell använder t.ex. väte som bränsle och syre som oxidationsmedel, och producerar rent vatten som avfallsprodukt. Andra celler använder kolväten och alkoholer som bränsle. Istället för rent syre kan luft, klor eller klordioxid användas som oxidationsmedel.

Elektroder kan tillverkas av kol (nanorör) eller olika metaller, och deras effektivitet kan ökas genom att belägga dem med katalysatorer, t.ex. palladium eller platina.

Olika syror, oftast fosforsyra (H3PO4), eller baser, oftast kaliumhydroxid (KOH), keramer eller membran kan fungera som elektrolyt. I vissa bränsleceller används gas under högt tryck som elektrolyt. Den mest använda elektrolyten idag är KOH, som redan användes i celler i Apollo-projektet. Nackdelen med denna elektrolyt är dock att oxidationsmedlet måste rengöras från CO2 för att förhindra att koldioxid reagerar med det, eftersom det resulterande kaliumkarbonatet inte längre skulle uppfylla elektrolytens funktion.

Den resulterande elektriska spänningen är teoretiskt cirka 1,23 volt, och dess värde beror på vilken typ av bränsle som används och cellens kvalitet. För närvarande producerar de vanligaste cellerna en spänning på 0,5 - 0,95 V. För att uppnå en högre spänning kan flera bränsleceller seriekopplas.

Strömmens storlek beror på cellens ytarea, och kommersiellt tillgängliga celler kan idag ge cirka 0,5 W/cm².

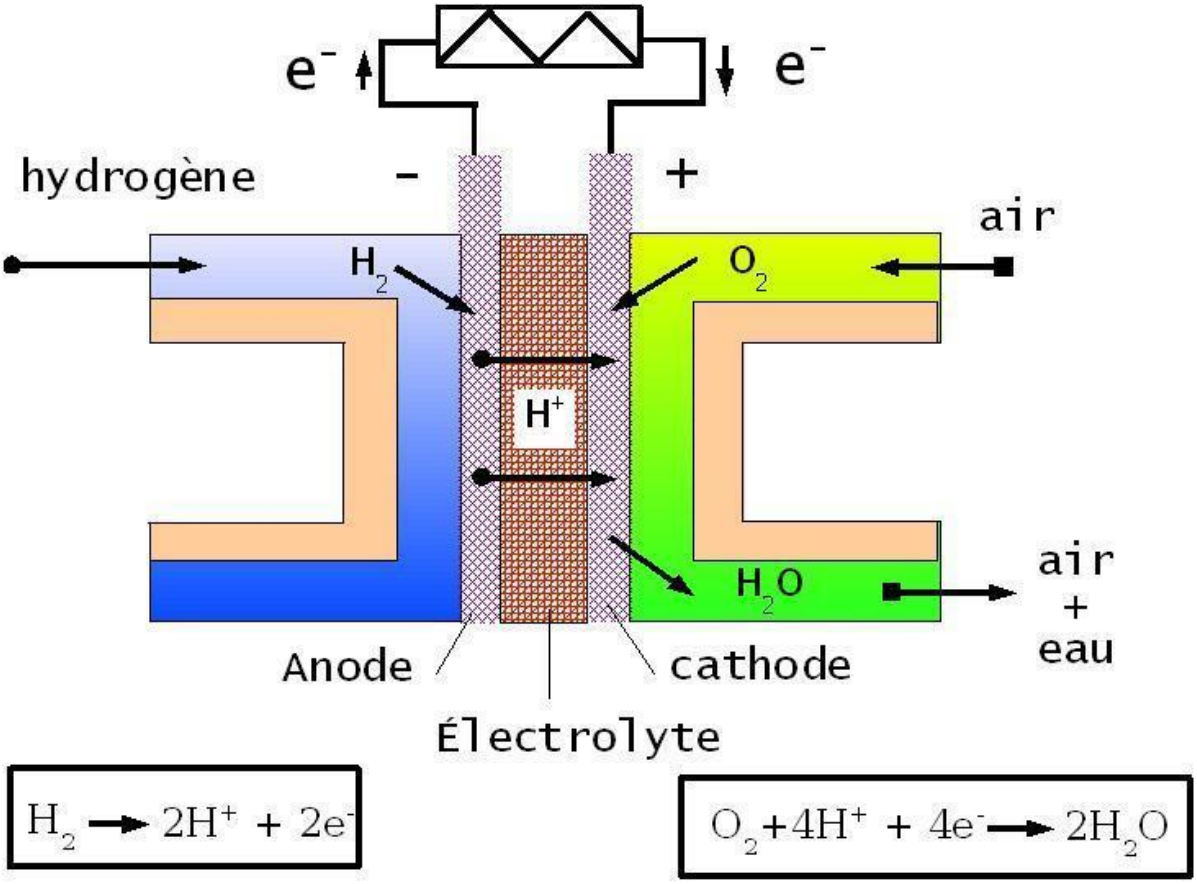


Bild 1 - schematisk bild av reaktionerna i en bränslecell (source: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fuel cell

Bränslet oxideras katalytiskt vid anoden för att producera katjoner (t.ex. väte till H+). Dessa katjoner passerar genom membranet eller in i elektrolyten. De frigjorda elektronerna samlas upp vid anoden och rör sig mot den elektriska enheten. Eftersom elektronerna har en negativ laddning går den elektriska strömmen i motsatt riktning, från katoden (+), genom den elektriska enheten till anoden (-). Vid katoden reduceras oxidationsmedlet till anjoner (t.ex. syre till O2-), som sedan kombineras med katjoner (t.ex. väte och syre för att bilda vatten).

2.4 Typer av bränsleceller

Bränsleceller kan klassificeras efter driftstemperatur i lågtemperatur- och högtemperaturceller, eller efter den elektrolyt som de använder.

2.4.1 Bränsleceller med alkalisk elektrolyt (AFC)

Dessa celler är bland de äldsta och de använder en vattenlösning av alkalisk hydroxid (NaOH, KOH) som är fixerad i en asbestmatris som elektrolyt. Deras driftstemperatur kan uppgå till 230 °C. Som bränsle används rent väte och som oxidationsmedel rent syre eller koldioxidfri luft.

I dessa celler kan olika typer av katalysatorer användas, inte bara de som är baserade på platina. Nickel, silver, deras oxider eller ädelmetaller kan användas. Dessa celler har främst använts i rymden eller i militära tillämpningar.

2.4.2 Bränsleceller med polymermembran (PEMFC)

I denna typ av bränslecell används ett polymermembran som elektrolyt. Membranet måste vara ledande för vätejoner (protoner) och måste fuktas för att fungera korrekt. Sulfonerade fluorpolymerer (Nafioner) används oftast. Platina används ofta som katalysator, applicerad i form av ett gasdiffusionsskikt, för att skapa en gasdiffusionselektrod med en fast katalysator. Väte eller metanol används som bränsle och syre eller luft som oxidationsmedel. Arbetstemperaturen för denna typ av cell är upp till 90 °C, vilket gör den till det bästa alternativet för fordonsdrift.

2.4.3 Bränsleceller för fosforsyra (PAFC)

Den elektrolyt som används i denna bränslecell är 100% fosforsyra, som är fixerad i en matris, t.ex. asbest, polybenzylimidazol. Driftstemperaturen för dessa celler är 150-220 °C, och temperaturer över 180 °C har den fördelen att jämviktskonstanten förskjuts till förmån för koldioxid, vilket eliminerar problemet med kolmonoxidförgiftning. I det här fallet kan vi använda gas direkt från ångreformering.

Återigen används platina som katalysator och väte, som genereras från fossila bränslen genom ångreformering, används som bränsle. Luft används som oxidationsmedel. Dessa bränsleceller har använts i kraftvärmeverk.

2.4.4 Bränsleceller för smält karbonat (MCFC)

En smälta av en blandning av alkaliska karbonater används som elektrolyt i dessa bränsleceller och deras driftstemperatur ligger mellan 600-700 °C. De nämnda karbonaterna bildar en smälta av mycket ledande salter.

Dyra katalysatorer behövs inte i dessa bränsleceller eftersom intern reformering ökar deras effektivitet, så bränslet behöver inte vara extremt rent. Som bränsle används gas från ångreformering av fossila bränslen eller biogas, och som oxidationsmedel används luft. Dessa bränsleceller används i kraftverk och kraftvärmeverk.

2.4.5 Fastoxidbränsleceller (SOFC)

I denna typ av bränslecell används ett keramiskt membran som elektrolyt och det finns inget behov av dyra katalysatorer. Dessa celler arbetar vid höga temperaturer (ca 800-1000°C) och deras verkningsgrad kan ökas genom att använda reaktionsprodukterna i en expansionsturbin. Gas från ångreformering av fossila bränslen och biogas, naturgas eller biogas kan användas som bränsle, och luft används som oxidationsmedel. Denna typ av bränslecell används i kraftvärmeverk och kraftverk.

2.5 Instuderingsfrågor:

1. Vilka är fördelarna med batteridrivna fordon jämfört med fordon med förbränningsmotor?
2. Vem byggde den första fungerande bränslecellsprototypen?
3. Vad är avfallsprodukten från en vätgas-syre-bränslecell?
4. Vad är en av de största nackdelarna med eldrivna fordon?
5. Vad är en bränslecell?
6. Vad består en bränslecell av?

3 Elektriska motorer i fordon

Målsättningar:

I det här avsnittet kommer vi att lära oss om de olika typerna av elmotorer för vätgasfordon, deras konstruktion, egenskaper, fördelar och nackdelar.

Nyckelord: Asynkron, excitationslindning, kommutator, permanentmagnet, reluktansmotor, rotor, stator, synkron, vridmomentsegenskaper.

3.1 DC-motorer (likström)

DC-motorn är en av de äldsta motorerna. Som alla motorer består DC-motorer av en stator och en rotor. Statorn kan vara tillverkad av permanentmagneter eller poler som är bultade till ramen och förlängda i änden med polförlängningar. En fältlindning lindas sedan runt polerna och det kan också

finnas hjälppoler och hjälplindningar. Rotorn består av plåtar med spår i vilka arbetslindningen är placerad. Plåtarna har också ventilationshål. Elektrisk ström till rotorn tillförs genom borstar som vilar på kommutatorn, som är monterad på rotorn.

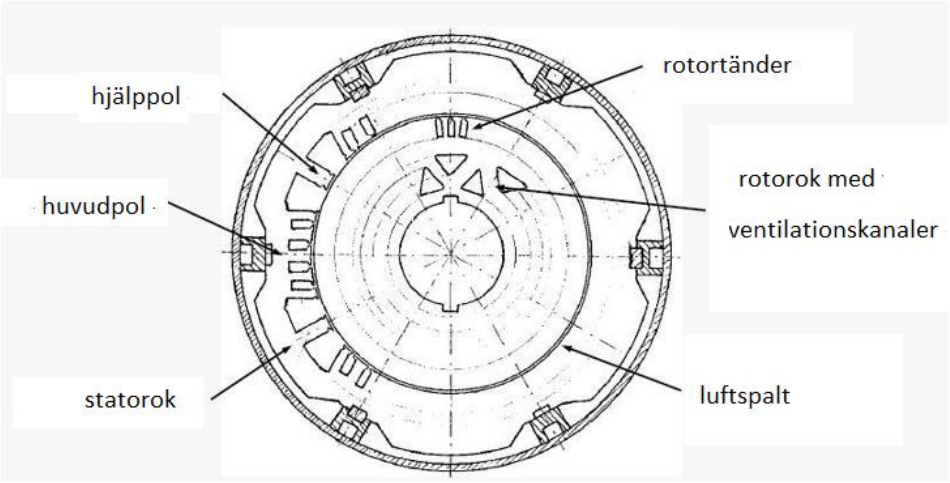


Bild 2 - Magnetkrets för en likströmsmotor

Det magnetfält som exciteras av fältlindningen i statorn verkar på det magnetfält som genereras i rotorn på grund av den ström som matas till fältlindningen genom borstarna och kommutatorn, vilket resulterar i en periodisk förändring av den ström som flödar till spolen, även känd som ankaret. Detta ger i sin tur upphov till en rotationskraft, eller ett vridmoment, som hela tiden verkar i rotationsriktningen.

Beroende på hur fältlindningen och ankaret är anslutna kan likströmsmotorer delas in i motorer med extern excitation eller självexcitation. Motorer med självexcitering delas in i seriemotorer, parallellmotorer (derivat) och serieparallellmotorer (sammansatta).

3.1.1 SEPARAT EXCITERAD LIKSTRÖMSMOTOR

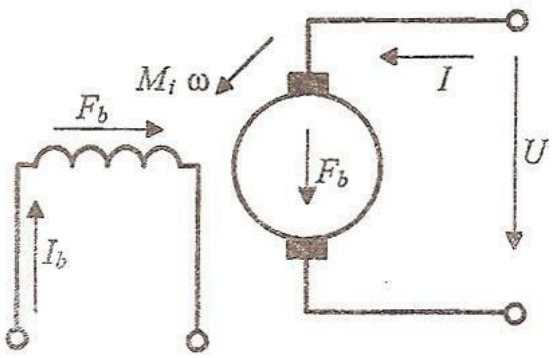
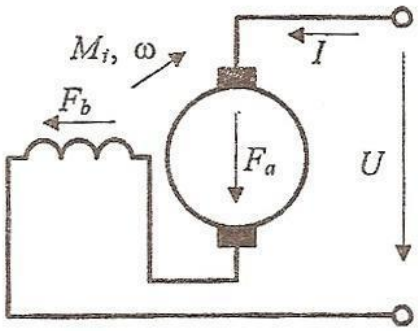


Bild 3 - Schematisk bild av en separat exciterad likströmsmotor

3.1.2 SERIES DC MOTOR

Fältlindningen drivs av en separat extern källa, t.ex. en ackumulator. Regleringen sker genom att spänningen på rotorn och excitationsströmmen justeras. DC-motor med extern excitation har en hård vridmomentskarakteristik som är särskilt fördelaktig för traktionsändamål. Fördelen är dess enkla och mjuka hastighetsreglering över ett brett område och dess förmåga att smidigt övergå från körning till bromsning. Den har dock ett lägre stallmoment.

Med en ökad spänning i hela motorsystemet uppnås dessutom högre verkningsgrad på grund av minskade spänningsfall på borstarna. Detta resulterar också i mindre strömflöde i motorn och anslutningsledningarna, vilket leder till fördelar som minskad vikt, mindre storlek och lägre produktionskostnader. Motorerna har hög överbelastningskapacitet och kan hantera 20% mer effekt än den nominella kontinuerliga effekten under en timme. Under uppstart kan de till och med hantera 100% mer effekt under en kort tid. Dessa motorer har använts i stor utsträckning i elfordon, eftersom de kan drivas direkt av batteriet.



Picture 4 - Schematic of a series DC motor

Fältlindningen är seriekopplad med ankaret, så strömmen i ankaret är också fältströmmen. Detta gör regleringen av motorn enkel, eftersom dess spänning är proportionell mot det önskade strömvärdet, vilket gör att effektregulatorn kan styra batterispänningen genom att koppla om eller justera frekvensen. Serieelmotorn har bra startmoment, men vridmomentkarakteristiken är mycket mjuk, med en snabb minskning av vridmomentet när varvtalet ökar. Om belastningen minskas kan varvtalet öka till en punkt där det kan orsaka skador på motorn. Därför rekommenderas inte drift utan belastning på axeln. Dessa motorer används i elbilar och elektriska dragfordon som tåg, tunnelbanor

och spårvagnar på grund av det höga vridmomentet vid låga varvtal och förmågan att själv justera varvtalet baserat på belastningen.

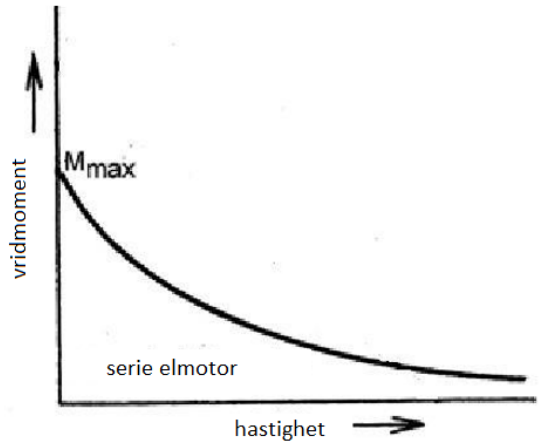


Bild 5 - Vridmomentskarakteristik för en serie DC-motor

3.1.3 PARALLELL DC-MOTOR

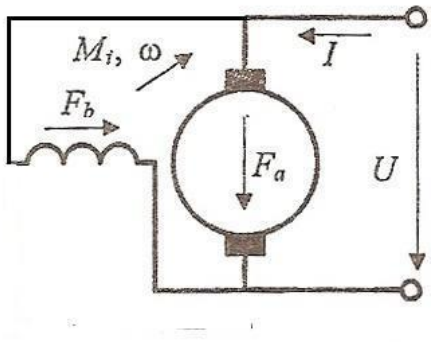


Bild 6 - Schematiskt diagram över parallell DC-motor

Fältlindningen och armaturkretsen är anslutna till källan parallellt via separata kontrollelement. Denna typ av elmotor kan regleras enkelt och smidigt, men i mindre utsträckning jämfört med en likströmsmotor med extern excitation. De har en hårdare vridmomentskarakteristik. Vridmomentet minskar långsammare, om än linjärt, med ökande varvtal. Dessutom bromsar motorn lätt. Av dessskäl användes denna typ av elmotor i de flesta elfordon.

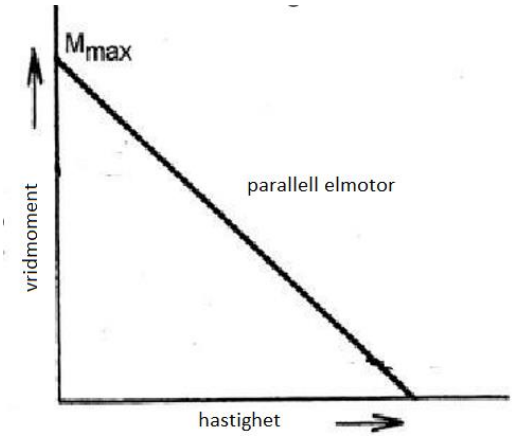


Bild 7 - Vridmomentsegenskaper för en parallell DC-motor

3.1.4 SAMMANSATT DC-MOTOR

En compound-elmotor kombinerar fördelarna med de båda tidigare elmotorerna. Den har en fältlindning som är kopplad i serie , och en som är kopplad parallellt med ankaret. Serielindningen är magnetiskt kopplad på motsvarande sätt som shuntlindningen och orsakar en minskning av hastigheten och en ökning av vridmomentet när motorn är belastad. Shuntlindningen begränsar däremot varvtalet vid tomgång.

3.1.5 BORSTLÖS DC-MOTOR

I en borstlös DC-motor har rotor- och statorpositionerna bytts ut jämfört med i en konventionell, permanent exciterad DC-motor. Lindningen är placerad i den yttre statorn där permanentmagneter normalt finns. Permanentmagneterna finns i rotorn. Denna konstruktion liknar den hos en permanent exciterad synkronmotor. Kommutatorn förser statorlindningen med en pulsmodulerad likström, vilket minskar kostnaden för elektronisk kommutering eftersom statorlindningen vanligtvis bara består av tre eller fyra lindningsbuntar. Dessa buntar justeras på ett sådant sätt att flödestätheten för stator och rotor är ungefär fasförskjuten med 90°. Detta fixerar rotorns position på ett säkert sätt. För att uppnå detta används vanligtvis Hall-sonder, ett optoelektroniskt system eller ett magneto-resistivt system.

Borstlösa likströmsmotorer har inte bara extra kraftelektroniska lindningar, utan använder också nya permanentmagnetiska material, som neodym-järn-bor och samarium-kobolt, även om de senare fortfarande är relativt dyra.

Den senaste avancerade lösningen kommer från Magnet Motor Company, som har en enkel konstruktion, utmärkta elektriska parametrar och en kompakt vikt och storlek. Denna motor tillhör

gruppen synkronmotorer med permanent excitation och elektronisk kommutering. För alla elmotorer gäller att det uppnådda vridmomentet är proportionellt mot den magnetiska induktionen i luftgapet, rotorns axiella längd och kvadraten på luftgapets radie. Konstruktionen med ytterrotor är fördelaktig eftersom momentet beror på luftgapsradien i kvadrat. Den består av pressade laminat med separata, tangentiellt magnetiserade magneter med alternerande polaritet (neodym-järn-bor). Det innebär att det inte finns några roterande elektriska delar. Inuti finns en stator, som består av pressade elektriska plåtar, och som bildar högpoliga spolhållare. Spolarna är anslutna till kraftelektronikens utgång, som kommuterar strömmarna i statorlindningen. Då beter sig motorn som en likströmsmotor med extern excitation. Det är den så kallade elektroniska kommuteringen. Regleringen är enkel och felfri över hela varvtalsområdet upp till n = 0. För att hantera den tiofaldigt ökade effekten jämfört med konventionella elmotorer kyls statorlindningen med vätska. Dessutom är motorn upp till fyra gånger lättare än konventionella konstruktioner, och mindre.

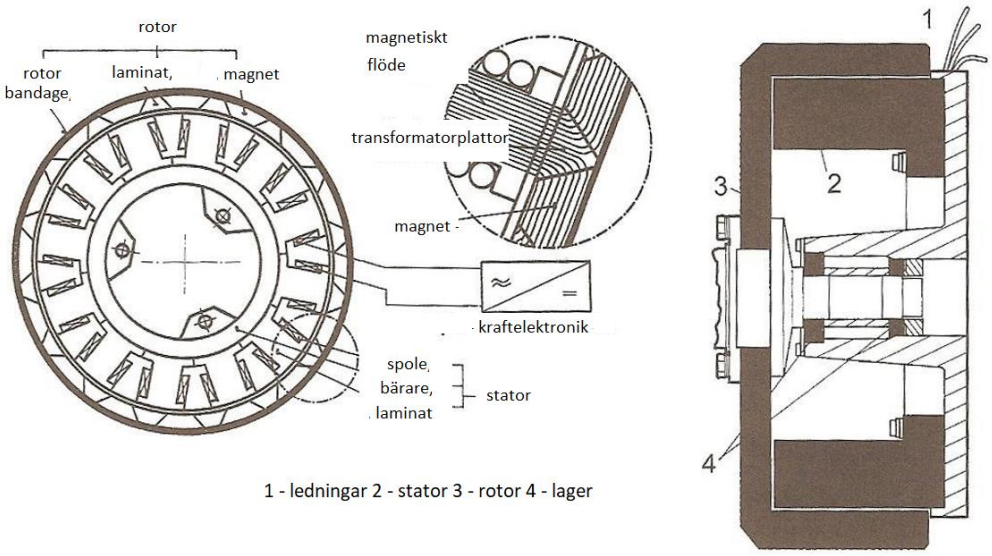


Bild 8 - Schematisk bild och tvärsnitt av motorn från företaget Magnet-Motor

3.1.6 Sammanfattning

DC-motorer används på grund av enkel varvtalsreglering och lämpliga dynamiska egenskaper, men de har lägre prestanda och energieffektivitet, kräver mer underhåll och är dyrare.

Fördelar med DC-motorer:

- tekniskt mogna
- enkel styrning
- kostnadseffektiva

Nackdelar med likströmsmotorer:

- kommutator och borstar är känsliga för fel och måste underhållas
- den maximala periferihastigheten begränsas av rotationsfrekvensen till ca. 7000 min-1

lägre effektivitet och effekttäthet jämfört med AC-motorer För att reglera alla tidigare typer av elmotorer används elektronisk reglering av strömförsörjningen till motorlindningen med hjälp av kiselthyristorer med en rektangulär spänningskurva. Det önskade medelströmvärdet ställs in genom att ändra frekvens och amplitud. En ökning av fältexciteringen är tillräcklig för bromsning inom fältregleringsområdet. Som ett resultat stiger motorspänningen över batterispänningen, vilket gör att energi kan matas tillbaka till batteriet via dioder.

3.2 AC-MOTORER (VÄXELSTRÖMSMOTORER)

AC-motorer ersätter i allt högre grad DC-motorer i elfordon. Den stora fördelen med AC-motorer jämfört med DC-motorer är att den roterande rotorn inte behöver strömförsörjas. Rotorn exciteras istället av det roterande magnetfältet. Magnetfältets krafter verkar på ankaret och driver det att rotera tack vare effekten av den inducerade strömmen. AC-motorer kategoriseras som asynkronmotorer och synkronmotorer, beroende på om rotorn roterar med en annan hastighet eller i synkronisering med statorens roterande fält.

3.2.1 ASYNKRON MOTOR

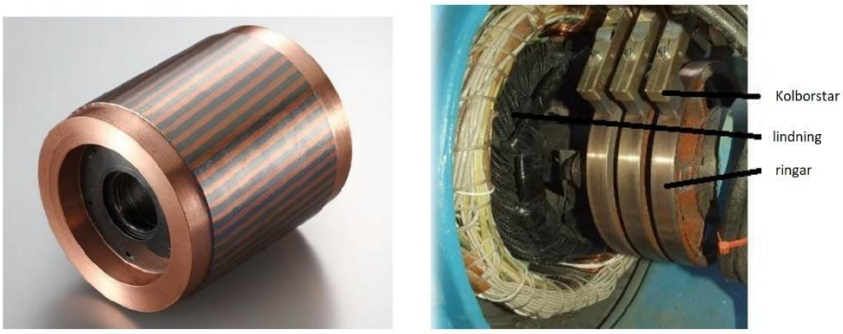


Bild 9 - Kägel och ringrotor i en asynkronmotor

Den väsentliga fördelen med trefas asynkronmotorn är att kommutatorn kan elimineras. Statorn består av laminat, eftersom ett tidsvarierande magnetiskt flöde passerar genom dem. En trefas statorlindning är placerad på polerna eller spåren. Rotorn kan tillverkas som en bur eller ring. Burrotorn består av tjocka aluminium-, brons- eller kopparstavar som är sammankopplade på ett kort sätt, med laminat som fyller ut insidan. Ringrotorn är utrustad med en lindning genom vilken strömmen som tillförs av borstar och ringar från utsidan flödar. Denna konstruktion har motstånden placerade bakom rotorlindningarna, vilket ger möjlighet att ändra driftsförhållandena. I asynkronmotorer matas det magnetiska flödet till statorn av fältlindningen, men med en roterande spänning med variabel amplitud och frekvens, som måste härledas från traktionsbatteriets likspänning. Likströmmen från ackumulatorn måste därför omvandlas till växelström genom att tyristorer kopplas in cykliskt, vilket gör att den rektangulära vågformen ändras ungefär till en sinusformad.

Statorlindningen består av minst tre buntar, roterade 120° från varandra. De drivs av trefas växelström. Ett annat alternativ kan också vara 3n buntar (n är ett heltal), förskjutna från varandra med en vinkel på 120°/n. Denna lindning ger upphov till ett roterande magnetfält med en cirkulär växelströmsfrekvens ω, eller för n buntar med en cirkulär frekvens ω/n, vilket innebär att den roterar rumsligt i förhållande till motorhuset.

Jämfört med en likströmsmotor är en asynkronmotor betydligt mindre och lättare vid samma uteffekt, så man kan förvänta sig ett effekt/vikt-förhållande på ca 1 kg/kW. Dessutom har motorn en enklare konstruktion, är robust, underhållsfri, kan överbelastas kraftigt och kan nå upp till 20.000 varv/min.

Både frekvens och spänning måste kunna varieras för att reglera dragkraften och motorvarvtalet. För att uppfylla dessa regleringskrav krävs höga kostnader för strömkretsar. Återvinning av energi under bromsning kan göras med hög effektivitet.

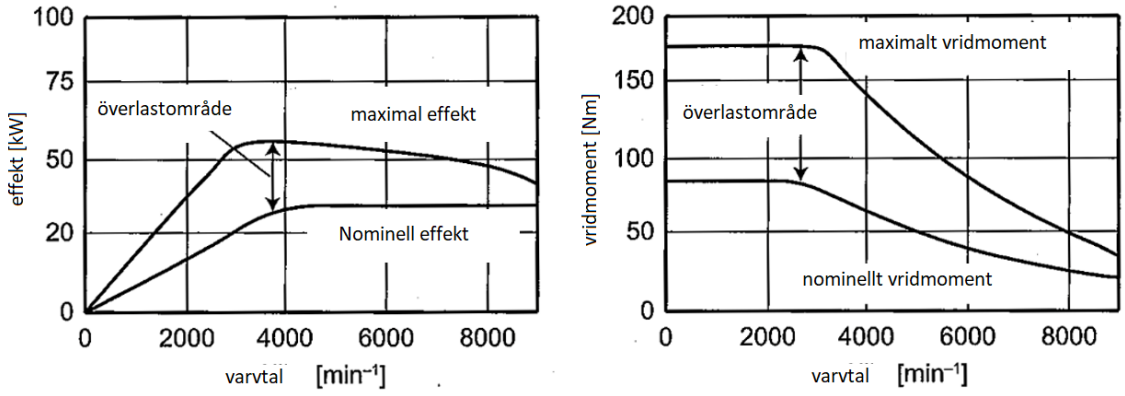


Bild 10 - Effekt- och momentkarakteristik för en asynkronmotor

3.2.2 Transversal flödesmotor

Detta är en speciell typ av asynkron växelströmsmotor. Strömmen tillförs rotorn i omkretsriktningen och statorns magnetiska flöde inte är vinkelrätt mot rotorns axel utan parallellt med den.

3.2.3 Synkronmotor

I synkronmotorer sammanfaller den cirkulära frekvensen med det cirkulerande magnetfältet. Det finns två typer av synkronmotorer som baseras på metoden för rotorexcitering, de med en exciteringslindning och de som exciteras av permanentmagneter. I den första typen är rotorn utrustad med en lindning som matas med likström. Rotorn kan vara slät eller ha framträdande poler.

Fördelen med denna konstruktion är att ett brett område av konstant maximal effekt uppnås på grund av likströmmens variation.

I permanent exciterade synkronmotorer exciteras magnetfältet i rotorn av permanentmagneter, vilket eliminerar behovet av ytterligare elektrisk energi. Fördelen med denna konstruktion är att den är liten och har hög verkningsgrad.

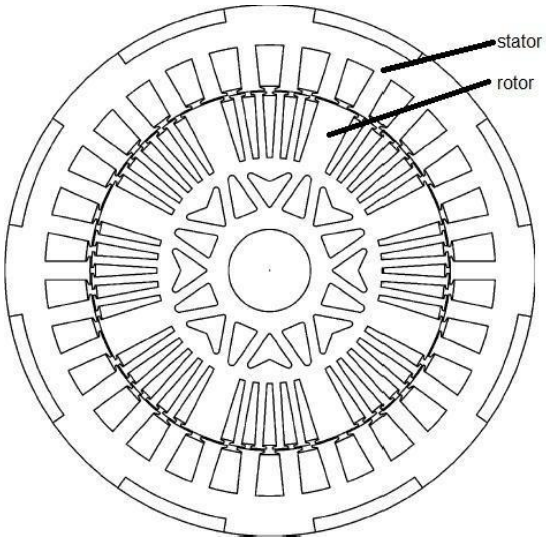


Bild 10 - Slät rotor

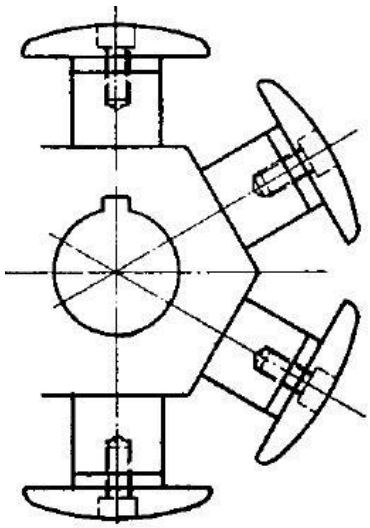


Bild 11 - Utestående poler (aktier)

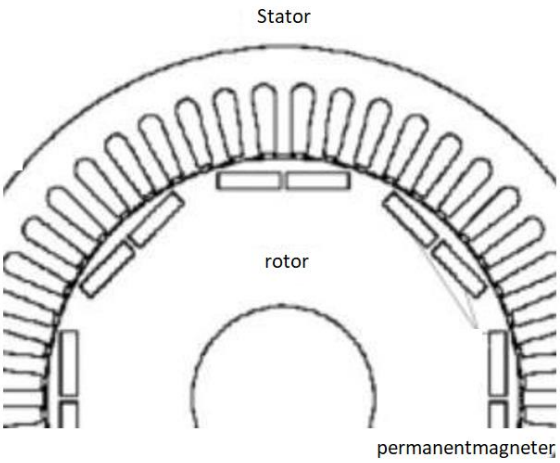


Bild 12 - Synkronmaskin med permanentmagneter

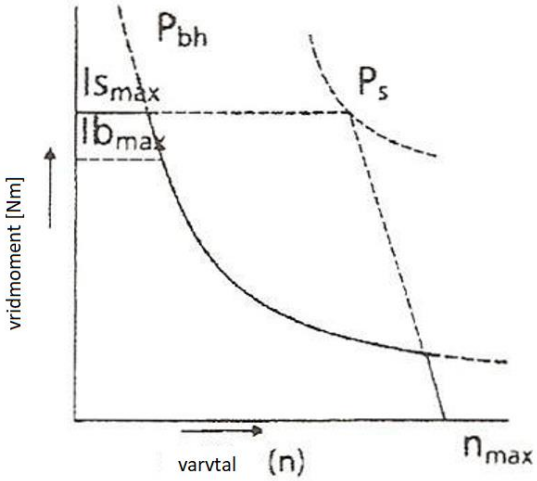


Bild 13 - Vridmomentskarakteristik för en synkronmotor

3.2.4 Styrd reluktansmotor

Reluktansmotorer bygger på den sedan länge kända tekniken med reluktansstegmotorer, där man utnyttjar förändringar i den magnetiska ledningsförmågan beroende på rotorns position. Även om reluktansstegmotorer kan tillverkas enkelt och billigt, har de haft begränsad användning under många decennier på grund av sin ojämnhet, vilket innebär att vridmomentet beror på rotorns position. Denna begränsning kan övervinnas genom lämplig styrning.

Det finns två huvudtyper av reluktansmotorer. Den första bygger på principen om en synkronmaskin med framträdande poler. Den andra kallas switchad reluktansmotor och bygger på en elektromekanisk omvandlare. Den första typen är en synkronmaskin utan fältlindning och en rotor som har modifierats för att variera den magnetiska ledningsförmågan så mycket som möjligt. Reluktansmotorer är unika på så sätt att de inte kan fungera utan hjälp av elektroniska kretsar, till skillnad från andra elektriska maskiner. Beroende på vilken styrmetod som används kan de arbeta i stegläge eller kontinuerligt rotationsläge.

En reluktansmotor är en speciell typ av växelströmsmotor. Det finns enkla spolar på statorn som drivs av spänning med en polaritet. Det finns ingen fältlindning eller glidkontakter i rotorn. Den mjuka järnrotorn har kugghjulsformade polförlängningar.

Principen är att rotorn justeras så att magnetkretsen har minsta möjliga magnetiska motstånd efter att ström har matats in i de motsvarande spolarna. Reluktansmotorns varvtal och vridmoment kan mycket väl påverkas av kraftelektronik. En reluktansmotor startar asynkront och körs sedan synkront.

Begreppet reluktans avser det magnetiska motstånd som rotorn utgör i magnetfältet. På grund av de masslösa tandmellanrummen i rotorn har reluktansmotorns rotor ett mycket litet tröghetsmoment och därmed mycket höga accelerationsmöjligheter.

Fördelar med reluktansmotorer:

- högt vridmoment vid låga varvtal
- hög verkningsgrad
- robust konstruktion
- låga underhållskostnader
- stabil drift av motorn när en eller flera faser slutar fungera
- hög överbelastningskapacitet och låg värmeutveckling
- hög verkningsgrad och förmånligt pris

Nackdelar med reluktansmotorer:

- vridmomentet är inte enhetligt (pulserande vridmoment)
- högre bulleremissioner
- höga krav på styr- och kraftdelar vid höga hastigheter

3.2.5 SAMMANFATTNING

Fördelar med AC-motorer:

- tekniskt perfekt
- kompakt och robust konstruktion, och därför underhållsfri
- möjliggör höga varvtal
- har lika hög verkningsgrad som DC-motorer

Nackdelar med AC-motorer:

- krävande för styrningen
- högre pris

I följande tabell jämförs de vanligaste elektriska traktionsmotorerna. Alla listade typer är lämpliga för att driva fordon, särskilt synkronmotorer. Den bästa uppfyllelsen av den givna egenskapen utvärderas med siffran 10.

Motor	Pris	Effektivitet	Vikt	Prestandaintervall med angivande av	Kapacitet för överbelastning	Tillförlitlighet	Utvecklingsstatus
Asynkron	10	7	6	10	10	7	10
Synkron	8	8	6	9	10	9	9
Tvärgående	8	10	7	10	10	9	8
Styrd reluktans	7	10	7	10	10	9	7
DC utan borstar	9	6	7	4	10	9	5
Motor utan borstar	8	10	10	8	9	10	8

Tab.: Comparison of different traction electric motor concepts

3.3 INSTUDERINGSFRÅGOR:

1. Vilka delar består en likströmsmotor av?

2. Hur klassificerar vi DC-motorer efter anslutning av excitationslindning?

3. Vilka är fördelarna med DC-motorer?

4. Vilka är nackdelarna med DC-motorer?

5. Vad betyder begreppet asynkron?

6. Vad betyder begreppet synkron?

7. Hur kan rotorn i en asynkronmotor tillverkas?

8. Vilka fördelar har en asynkronmotor jämfört med likströmsmotorer?

9. Hur kan rotorn i synkronmotorer tillverkas?

10. Vad är en reluktansmotor?

11. Vilka är fördelarna med reluktansmotorer?

12. Vilka är fördelarna med borstlösa motorer?

4 VÄTGASDRIVNA FORDON

MÅLSÄTTNINGAR:

Detta kapitel är endast avsett som information för att jämföra de tekniska parametrarna för olika typer av vätgasdrivna fordon.

NYCKELORD: PRESTANDA, RÄCKVIDD, TANKNING

Varför använda vätgasdrivna fordon istället för att bara använda eldrivna fordon?

Den stora fördelen med vätgas jämfört med ren eldrift är den betydligt kortare tankningstiden.

Bild 15 - Tankning av vätgas (source: https://media.daimlertruck.com/)

4.1 Japanska Toyota Mirai är massproducerad vätgasdriven bil

Vätgas för fordonsdrift kan produceras från flera olika primära källor, vilket gör det till ett lovande alternativ till dagens energikällor. Toyota med sitt bränslecellssystem (TFCS) kombinerar patenterad bränslecellsteknik med Toyota FC Stack och högtrycks vätgastankar med hybridteknik. Detta system har mycket högre energieffektivitet jämfört med förbränningsmotorer.

Tankningstiden jämfört med elbilar är mycket kortare och cirka 3 minuter. En annan skillnad mellan vätgas och förbränningsmotorer är noll CO2-utsläpp. Körkvaliteten är jämförbar med andra bilar.

4.1.1 Körprestanda (Toyota data november 2014)

Vehicle	Cruising range	Approx. 550 km Estimated, according to NEDC Cycle
	Maximum speed	178 km/h
Fuel cell stack	Volume power density	3.1 kW/L (world top level)
	Maximum output	114 kW (155 DIN hp)

High-pressure hydrogen tank	Number of tanks	2
	Nominal working pressure	70 MPa (700 bar)
	Tank storage density	5.7 wt% (world top level)
Motor	Maximum output	113 kW (154 DIN hp)
	Maximum torque	e 335 Nm

Mått / antal sittplatser

Length		4890 mm
Width		1815 mm
Height		1535 mm
Curb weight		1850 mm
Wheelbase		2780 mm
Track (front / rear)		1535 mm / 1545 mm
Minimum ground clearance		130 mm
Interior dimensions	Length	2040 mm
	Width	1465 mm
	Height	1185 mm
Seating capacity		4

4.2 En annan serietillverkad vätgasdriven bil är Hyundai Nexo

Hyundai är en av de första massproducenterna av vätgasdrivna bilar. Deras bil heter NEXO och är den första vätgasdrivna bränslecellsdrivna SUV:en. Hyundai lyckades utveckla en bil med en fantastisk maximal räckvidd på 666 km, tankning av förvaringstankar tar bara 5 minuter och har en effekt på 120

KW. Systemet med tre anslutna vätgastankar möjliggör tack vare sina kompakta dimensioner bättre användning av det inre utrymmet. Hyundai Nexo har utvecklats för att klara kalla temperaturer ner till -30°C och har testats under tuffa förhållanden för att garantera att den kan prestera även i vinterväder.

Weight of vehicle	1.8 tons
Fuel cell	135 kW
Speed	180 km/h
Maximum range	600 km
Braking	hydraulic system
Tank (hydrogen capacity)	700 bar (6.33kg)

4.3 VÄTGASBUSS SOLARIS URBINO 12

Denna buss introducerades i Stockholm den 9-12 juni 2019 under UITP Global Public Transport Summit.

Solaris Urbino 12 Hydrogen är en nollutsläppsbuss som drivs av vätgasbränsleceller. Den har en räckvidd på 350 km och behåller ändå alla fördelar med eldrift. Bussen kännetecknas av mycket låg ljudnivå och avsaknad av vibrationer under körning. Den enda produkt som skapas av den kemiska reaktionen i vätgasbränslecellen är vatten. Tankningstiden är bara några minuter, vilket säkerställer flexibiliteten i fordonets drift.

Motor	electric portal axle ZF AVE130 2x125 kW
Hydrogen fuel cell	70 kW
Traction batteries	lion

Hydrogen tanks	composite tanks 5x312 l
Charging system	plug-in

4.4 VÄTGASBUSS ŠKODA H'CITY 12

Vätgasbussen från Škoda Group har en maximal räckvidd på 350 km. Den kännetecknas av extremt låg ljudnivå och låga vibrationer, bekväm interiör och kort tankningstid. Allt detta bidrar till oöverträffad komfort för passagerare och förare.

Length	12 020 mm
Width	2 550 mm
Height	3 430 mm
Seating Capacity	26—30
Number of passengers	up to 85
Range	up to 350 km
Hydrogen storage capacity	39 g

4.5 HYUNDAI HFC BUS

Utvecklades 2018 för transport av besökare och personal vid de olympiska och paralympiska spelen i Tokyo 2020.

Weight of vehicle	15 tons
Type of fuel cell	200 kW
Speed	103 km/h

Refueling and drive	400 km
Braking	hydraulic system
Tank (hydrogen amount)	350 bar (40kg)

4.6 Deutsche Bahns vätgaståg

Siemens Mobility utvecklar en ny generation vätgaståg Mireo Plus H enligt Deutsche Bahns önskemål och det kommer att byggas i fabriken i Krefeld. Det är ett av de mest miljömedvetna stegen i övergången till utsläppsfria tågtransporter. Mireo Plus H uppnår räckvidder på upp till 800 km. Kraften i detta lok är på samma nivå som i de eldrivna loken. Dess främsta styrkor är hög dragkraft på 1,7 MW, maximal acceleration på 1,1 m/s^2 och maximal hastighet på 160 km/h. Den tredelade tågkonfigurationen har en maximal räckvidd på upp till 1000 km.

4.7 Instuderingsfrågor:

1. Vad är räckvidden för tankningstider för bilar?
2. Vilken räckvidd kan bilar ha?
3. Vilket tryck används vid tankning av vätgasdrivna bilar och lastbilar?