

# KRAVSTÄLLNING AV KRAFTELEKTRONIK FÖR ANVÄNDNING AV BRÄNSLECELLER I ELEKTRISKA FORDON

RAPPORT 2015:211



TEKNIKEBEVAKNING  
BRÄNSLECELLER



# **Kravställning av kraftelektronik**

## för användning av bränsleceller i elektriska fordon

ANDREAS BODÉN  
ANDERS HEDEBJÖRN

ISBN 978-91-7673-211-3 | © 2015 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

## Förord

I syfte att koordinera teknikbevakning, samt sammanställa, analysera och sprida information om utvecklingen inom bränslecellsområdet till svenska intressenter, främst fordonsindustrin, finansierar Energimyndigheten ett projekt "Teknikbevakning av bränslecellsområdet". Projektet genomförs under 2014-2016 inom ramen för Svensk Hybridfordonscentrum (SHC) med Energiforsk som koordinator och projektledare.

Denna rapport är en förstudie som har tagits fram inom teknikbevakningsprojektet. Samtliga rapporter kommer att finnas publicerade och fritt nedladdningsbara på Energiforsks webbplats för bränslecellsbevakningen [www.branslecell.se](http://www.branslecell.se) och på SHC:s webbplats [www.hybridfordonscentrum.se](http://www.hybridfordonscentrum.se).

Styrgruppen för projektet har bestått av följande ledamöter: Anders Hedebjörn Volvo Cars, Annika Ahlberg-Tidblad Scania, Azra Selimovic AB Volvo, Bengt Ridell Grontmij AB, Göran Lindbergh SHC/KTH, Elna Holmberg SHC och Bertil Wahlund Energiforsk AB. Energiforsk framför ett stort tack till styrgruppen för värdefulla insatser.

Stockholm oktober 2015

Bertil Wahlund  
Energiforsk AB

## Sammanfattning

Denna rapport avser en förstudie på uppdrag inom Teknikbevakning av bränslecellsområdet P-38300-1.

Förstudien gick ut på att från ett bränslecells- och komplettfordons perspektiv ta fram en teknisk specifikation för en högspänningsomvandlare, (DC/DC) för att använda med ett bränslecellssystem i elektriska fordon. Förstudien har inte tittat på andra aspekter av bränslecellssystemet och dess integration i fordon.

Baserat på bränslecellens egenskaper och batteriers egenskaper i fordon har en teknisk specifikation tagits fram och presenteras i sin helhet i denna rapport. Även några möjliga leverantörer har kontaktats för att undersöka tillgängligheten av en DC/DC baserat på specifikationen och kostnad idag, även en kostnad för en DC/DC i volymtillverkning har estimerats.

Resultatet är att specifikationen för DC/DC inte är har några egenskaper som gör den speciellt unik eller krånglig i principen, dock skiljer sig ingående och utgående spänningsnivåer från de existerande enheter som finns som standard på marknaden eller hårdvara utvecklade för rena batteribilare eller laddhybrider. Det finns ingen befintlig prototyp DC/DC på marknaden för den specifikation som tagits fram, men en till två leverantörer kan inom rimlig tid ta fram en fungerande prototyp. För att använda ett bränslecellssystem i en tyngre applikation så som buss eller lastbil är bedömningen att den enda parameter som direkt påverkar den elektriska designen av DC/DC är att utgående spänning behöver vara justerbar så att den passar den högre spänningsnivån som tyngre fordon använder.

## Summary

This report basis is a pre-study assignment from "Teknikbevakning av bränslecellsområdet" P-38300-1.

The pre-study aim was from a fuel cell perspective and complete vehicle perspective produce a technical specification for a power electronic (DC/DC) to be able to be used for a fuel cell system in an electric vehicle. The pre-study have not looked at other aspects such as the fuel cell system or any other integration into the vehicle.

Based on the properties of the fuel cell and the batteries in a vehicle a technical specification have been made and is presented in this report. Also some possible suppliers have been contacted to investigate the availability of a DC/DC based on the technical specification and today's cost, also the cost for a DC/DC based on the technical specification in volume production have been estimated.

The result is that the technical specification for the DC/DC does not contain any special unique properties or will be odd in principle. The property that differs is the differences between inlet voltage and outlet voltage compared to existing units for pure battery vehicles and plug-in hybrids. Today it does not exist a DC/DC on the open market for this technical specification, thus one or two suppliers can within a reasonable time produce a working prototype. To be able to use a fuel cell system in a heavy duty application such as a bus or truck, the only parameter that need to be changed that directly effects the electric design of the DC/DC is the outlet voltage that need to be adjustable to fit the voltage level demanded by a heavy duty application.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Problemställning</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Syfte</b>	<b>4</b>
	Avgränsningar .....	4
	Förtydligande .....	4
<b>4</b>	<b>Teknisk specifikation</b>	<b>5</b>
	Fuel cell system schematics .....	5
	DC/DC converter requirements .....	6
	1. General .....	6
	2. Electrical requirements .....	6
	3. Control system .....	8
	4. Cooling .....	8
	5. Mechanical enclosure .....	9
	6. Environmental .....	9
	7. Communication .....	9
	8. Standards .....	10
	9. Documentation .....	13
	Eventuella anpassningar till tyngre fordon .....	13
<b>5</b>	<b>Leverantörsstats idag</b>	<b>14</b>
	Nuläge leverantörer .....	14
	Leverantör A (Europa) .....	14
	Leverantör B (Europa) .....	14
	Bedömning om seriepris .....	14
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>16</b>
	Uppskattning .....	16
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>17</b>

# 1 Bakgrund

Inom både segmentet transport och personbilar drivs utsläppsminskningen idag starkt av tuffare mål och lagkrav på minskade utsläpp från exempelvis EU [1-8], Kina [11] och Kalifornien [12]. De ökade kraven på minskade utsläpp har drivit utvecklingen av effektivare förbränningsmotorer, användning av olika hybridlösningar (även bränsleceller) samt rena batterifordon. Dessa olika typer av konfigurationer har olika egenskaper, ekonomi och ibland även nischer [13].

Bränsleceller är idag i en tidig start på kommersialiseringsfasen inom fordonsindustrin [14, 15]. Inom elbilar finns på ena sidan hybridbilar, rena batteribilar [16, 17] och i andra änden bränslecells-bilar med stackar på ca 100kW (FCEV) [14, 15]. I mellan dessa två sistnämnda finns ett spektra av möjliga balanseringar mellan bränslecellen och storleken på batteripaketet där bränslecellen agerar som en räckviddsförlängare (Range Extender) [18, 19]. Idag för personbilar finns behov av range extender på upp till 30 kW [18]. Även för rena elektriska lastbilar [20] eller bussar [21] finns möjliga tillämpningar för användning av range extenders.

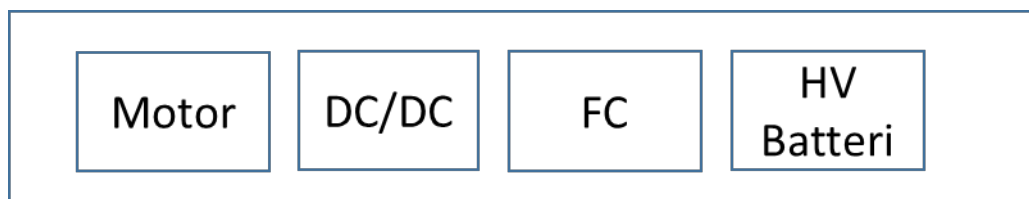
Viktigt att veta är att mycket av utvecklingen som driver FCEV är att det är denna tekniska lösning för en elbilsarkitektur där köregenskaper och tankningsegenskaper påminner om en modern vanlig bil, det vill säga körsträckan är minst 45-50 mil och tankningen tar under 5 minuter. En annan drivkraft kan vara att kostnaderna för batterier i en el-bil/fullhybrid är höga och bränsleceller har potentialen att sänka dessa kostnader [13].

För att kunna använda ett bränslecellsystem i en elbil behövs en spänningsomvandlare som omvandlar spänningen ut från bränslecellsstacken (125-400 V) till den som krävs för att antingen ladda batterierna i bilen eller driva elmotorn. I personbilar är standarden 400 V och i tyngre fordon 600 V. Idag finns det inga kommersiella produkter idag för en sådan DC/DC.

## 2 Problemställning

Batteri- och hybridbilar använder idag 400 V som systemspänning för att få effektiv kraftöverföring mellan laddning, batterier och elmotorn. Medan bränslecellen har en utspänning på ca 100-300 V för en stack i upp till 30 kW klassen och 200-450 V för en i 100 kW klassen. En annan utmaning är att det momentana effektbehovet skall balanseras mellan batteriet och bränslecellsystemet. Det finns idag ingen hyllösning på kraftelektronik för integrering av bränslecells range extenders i elbilar. För att få en bra teknisk lösning för denna typ användningsområden för bränsleceller är det viktigt att förstå kravställningen på kraftelektroniken från elsystemet, bränslecellen och fordonet.

Kravställningen är nödvändig för att fastställa tekniska föreskrifter mellan kund och leverantör. DC/DC omvandlaren skall problemfritt kunna integreras i ett befintligt system bestående av fordon–eldrivlina–bränslecell. Den skall beskriva samtliga områden där gränssnitt och gemensam funktionalitet förekommer. Kravsättningen är basen för dialogen mellan leverantören och integratören och ingår i underlaget för upphandling.



### Generella krav 1.1 - 3

Livslängden på komponenten skall motsvara den konstruktivlivslängden för fordonet som helhet och övriga komponenter och system som ingår i drivlinan.

### Elektriska krav 2.1 – 2.27

Spänningsnivåerna till och från DC/DC skall stämma överens med HV (High Voltage) batteriets, motors och bränslecellen inom ett angivet intervall. Det skall finnas ett internt styrsystem som reglerar in och utgående ström och spänning. Verkningsgraden måste vara hög för att undvika överskottsvärme och åstadkomma hög energieffektivitet på fordonsnivå. Spänningsnivåerna som skall hanteras innebär personfara och isolering, anslutningar och kablage skall vara konstruerade enligt gällande standarder och lagkrav.

### Kontrollsystem 3.1 – 3.9

Det interna kontrollsystemet styr vad DC/DC tar emot och levererar. Detta måste ske med viss hastighet och det måste också kunna hantera felfall och värden som skiljer sig från angivna intervall, t.ex. spänningsnivå och strömstyrka.



## Kylning 4.1 – 4.2

Kylsystemet skall kunna integreras med övriga befintliga kylkretsar i fordonet och därför skall medium, flöden och tryckfall anpassas.

## Mekanisk inkapsling 5.1 – 5.3

Form, volym och vikt begränsas av förutsättningarna i fordonet och behöver därför kravsättas för att undvika modifieringar av övriga system. I detta ingår också typ och placering av elektriska kontaktdon och anslutningar för kylvatten.

## Miljö 6.1 – 6.5

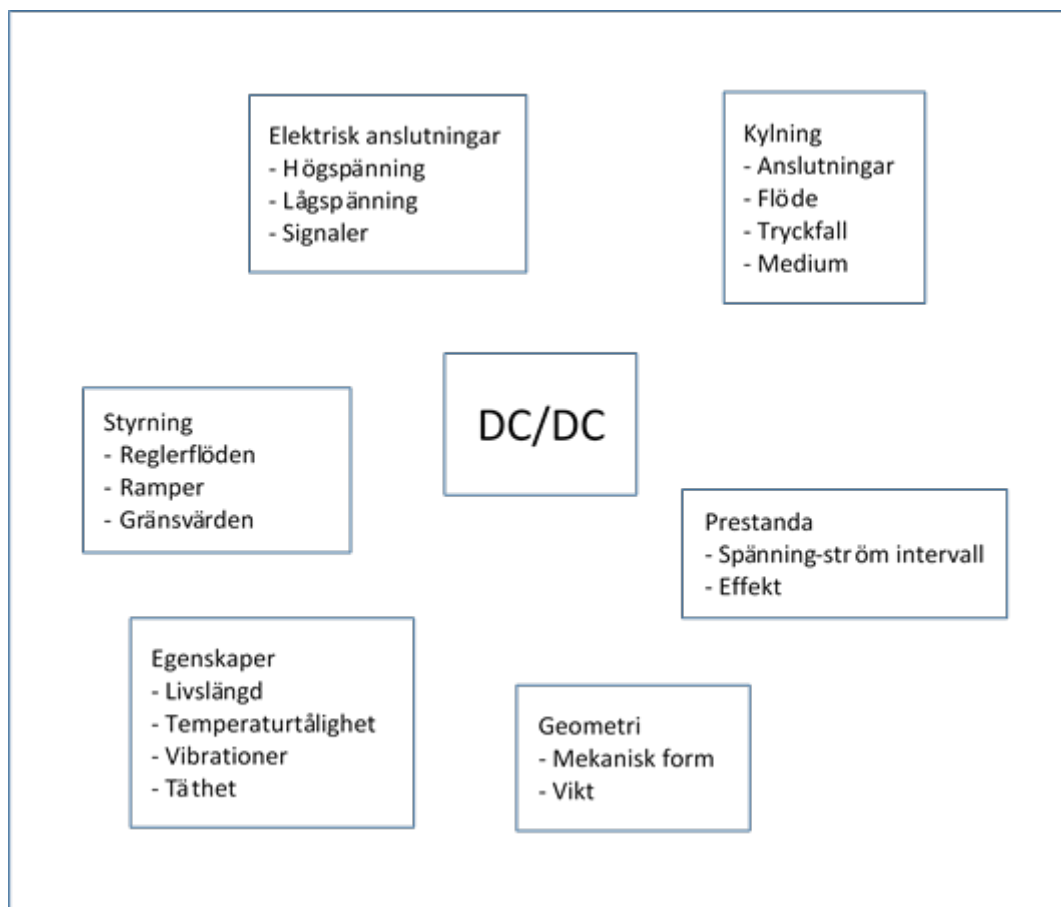
Ett FCEV fordon skall kunna säljas på alla marknader och utsätts för varierande temperaturer, vibrationer, nedsmutsning fukt mm. Kraven på DC/DC måste därför motsvara de krav som ställs på liknande komponenter i fordonet.

## Kommunikation 7.1 – 7.4

Kontrollsystemet skall kommunicera med ett flertal andra i fordonet. Typ av kommunikation och hastighet är då väsentliga. Det måste också finnas funktioner för att hantera avbrott och återstart i kommunikationen.

## Standard 8.1 – 8.61

För att säkerställa att relevanta standarder följs skall dessa anges.



## 3 Syfte

Förstudien skall, baserat på de egenskaper och krav från bränslecellsystemet och det elektriskt fordon ställer på en DC/DC, länka samman systemen och ta fram en teknisk specifikation för en DC/DC för användning av ett bränslecellsystem i ett elfordon.

Även eventuella ändringar på DC/DC för att passa en tyngre applikation med 600 V skulle undersökas.

### Avgränsningar

Förstudien tar inte fram komplett specifikation för kommersiell upphandling och produktion. Förstudien går heller inte ut på att praktiskt ta fram en DC/DC och integrera med ett bränslecellsystem i ett fordon.

### Förtydligande

Den tekniska specifikationen är skriven på engelska för att kunna användas i kommunikation med leverantörer nu och i framtiden.

## 4 Teknisk specifikation

Denna tekniska specifikation är en modifierad kopia av PowerCell dokument PCS-Tech-131 rev. 02.

### Fuel cell system schematics

The fuel cell systems major components are the fuel cell with its auxiliary support components, the battery for energy storage, DC/DC converter between the fuel cell and the battery and the fuel cell control system. The DC/DC makes it possible to accurately control the electrical energy flow from the fuel cell to the battery and protects the fuel cell from unwanted states as reverse currents from the battery to the fuel cell. Below is a basic system schematics for the fuel cell system shown with high voltage current flows and communication indicated. To be able de-energize the system is a relay located between the battery and the rest of the system.

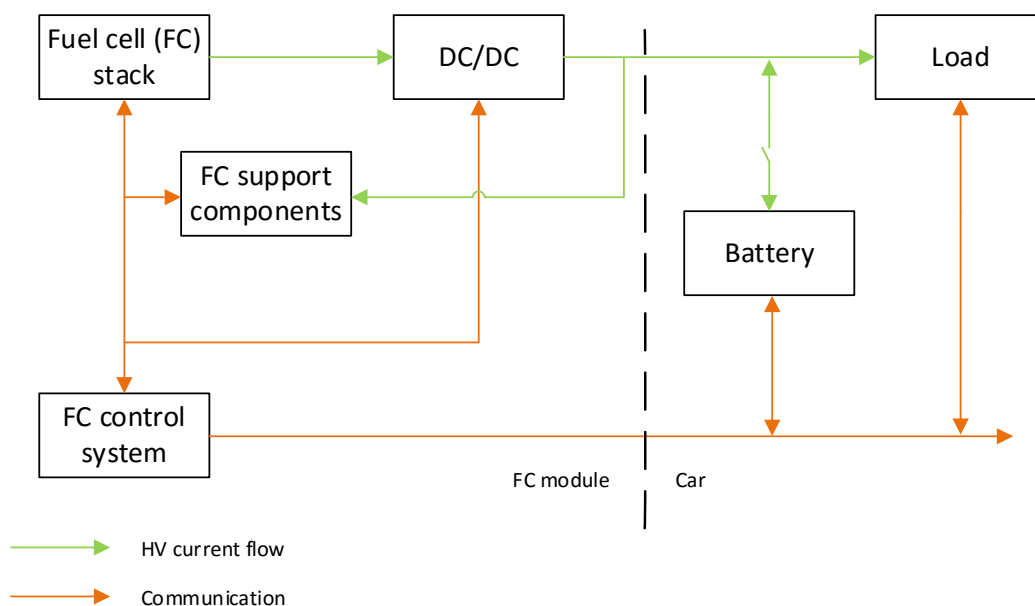


Figure 1: Basic fuel cell system layout with major components and high voltage current flow and communication indicated in the layout.

## DC/DC converter requirements

### 1. General

- 1.1. Service life should be at least 10 000h of operation or 20 years total life time, with a total of 20 000 power cycles. The service life calculations should be done with an ambient temperature of 50 °C.
- 1.2. The requirements below should be fulfilled until the end of the service life.
- 1.3. All produced units must be functional tested.

### 2. Electrical requirements

#### Input

- 2.1. Operational input voltage for the DC/DC converter should be between 100 and 350VDC.
- 2.2. The converter must withstand an input voltage up to 400VDC without being damaged.
- 2.3. Maximum input current for the converter should be at least 300 Amperes.
- 2.4. Maximum input ripple current on the converter input side should be 1A peak.
- 2.5. At a voltage above the maximum operational input voltage it is allowed that the power conversion stops and an alarm "High input voltage" should be given.
- 2.6. The DC/DC converter must be able to handle that the input current flow is cut off at full current load (e.g. relay on input cable) without components in the DC/DC converter are damaged.

#### Output

- 2.7. The output voltage from the converter should be between 250 and 500VDC. The output will be connected to a battery with 400VDC nominal voltage.
- 2.8. The converter must withstand a continuous voltage on the output terminals up to at least 550VDC.
- 2.9. The converter must withstand transient voltages on the output terminals up to at least 600VDC.
- 2.10. Maximum output current should be at least 100A.
- 2.11. Maximum output power should be at least 25kW.
- 2.12. At a voltage above the maximum operational output voltage it is allowed that the power conversion stops and an alarm "High output voltage" should be given.
- 2.13. The DC/DC converter must be able to handle that batteries on the DC/DC output side are disconnected and the load is reduced to 100Ω without the voltage on the output terminals rises higher than to configured maximum voltage (see 7.2 below). An example of this sudden battery disconnection can be when the vehicle detects a potential or actual collision and safety systems are activated.

#### Control

- 2.14. The converter should be controlled by setting an input current reference from an external control system, the input current reference signal will be sent every 10ms from the external control system.
- 2.15. To be able to handle situations with maximum output voltage or maximum output current three control modes must be implemented in the controller, control of input current (normal case), control of output voltage (if maximum output voltage is reached), control of output current (if maximum output current is reached).
- 2.16. Transitions between the control modes must be bumpless.
- 2.17. A protection system for too high input current reference compared to the maximum converter power must be implemented. If the current reference is set to high an error status should be given. The power conversion should continue on maximum allowed current if a too high current reference is set.

#### General

- 2.18. Efficiency above 96%. The efficiency will be measured at a cooling circuit temperature of +65°C as an average at steady state during 10 seconds.
- 2.19. During fuel cell startup it is critical that no current ( $I_{fc} < 100\mu\text{A}$ ) is drawn from the fuel cell until the main controller demands it (at which point the fuel cell will be close to its maximum voltage). Not even current for charging input capacitors in the DC/DC converter or input voltage measurement are allowed.
- 2.20. Reverse currents are not allowed into the fuel cell at any time ( $< 50\mu\text{A}$ ).
- 2.21. Maximum deviation between reference value and actual value at steady state should be  $\pm 1\%$  of full scale (Considering no measurement error). This should be valid for all control modes.
- 2.22. Maximum input current overshoot at a current reference step or a load step should be less than 2% of full scale (Considering no measurement error). Maximum load step to be considered is a 50 VDC step on the battery voltage.
- 2.23. The step response time for a current reference step or a load step should be maximum 100ms (to  $\pm 1\%$  of full scale).
- 2.24. To be able to handle pre charge of the high voltage system in the outer system the capacitance measured on the output terminals on the DC/DC converter can't be higher than 400 $\mu\text{H}$ .

#### Safety

- 2.25. Outer parts of the DC/DC must be electrical isolated from the input and output potential. The isolation resistance should withstand 1,5kVDC for 60 seconds with an isolation resistance of at least 10Mohm.
- 2.26. No galvanic isolation between power input and output is needed.
- 2.27. The converter input and output capacitors must be passively discharged in below 60 seconds if the input and output voltage sources are disconnected (e.g. disconnected power cables, open output relay or discharged fuel cell).

### 3. Control system

- 3.1. The control system in the DC/DC should be separately supplied with 12VDC (8-17VDC).
- 3.2. The control system must be able to handle a 20ms input power loss without rebooting. The power conversion can stop during this period. Both short circuit and open circuit are to be considered.
- 3.3. Startup time for the control system must be lower than two seconds. The startup time is defined as the time from not powered until the converter is ready to start operation and is communicating.
- 3.4. Converter input and output voltages and currents must be measured. Converter currents should be measured with an accuracy of  $\pm 2\%$  of full scale. Full scale is defined as maximum input current for input currents and maximum output current for output currents. Converter voltages should be measured with an accuracy of  $\pm 2\%$  of full scale. Voltage full scale is defined as maximum nominal input voltage and nominal output voltage.
- 3.5. The converter should have polarity reversal protection on the control power supply.
- 3.6. There should be galvanic isolation between the control power supply and the high voltage part of the converter (connected to the fuel cell) and between the signal interface (CAN bus) and the high voltage part of the converter.
  - The control power supply and the CAN bus should reference the same ground.
  - The isolation between control power supply ground and fuel cell ground should withstand 1,5kVDC for 60 seconds with an isolation resistance of at least 10Mohm.
  - The isolation of CAN\_HI and CAN\_LO towards fuel cell ground must be at least 2,5kVDC. Isolation will be tested with 2,5kVDC for 60s and the isolation resistance should be at least 10Mohm.
- 3.7. The temperature of the DC/DC converter should be measured and monitored by the control system. The DC/DC should protect itself from overheating by first derate the maximum power and thereafter fully turn off. Available maximum input current should be communicated to external control system.
- 3.8. Inrush current when connecting the control power supply must be limited.
- 3.9. Preferably Autosar 4 compatible.

### 4. Cooling

- 4.1. The DC/DC should be water/glycol cooled. A mixture of 50% water and 50% glycol can be assumed.
- 4.2. If the temperature of the incoming cooling liquid is 60°C the cooling flow needed should be less than 10 liters/minute with a pressure drop over the cooling circuit in the DC/DC that is maximum 300mBar.

## 5. Mechanical enclosure

- 5.1. The converter outer main shape should be a rectangular parallelepiped (a box).
- 5.2. The converter should have at least four mounting points. Mounting should be done with standard fasteners, for example MX (e.g. M6) screws of appropriate dimension.
- 5.3. The DC/DC volume should be less than 15 dm<sup>3</sup>.

### Connectors

- 5.4. Connectors should be agreed on.

### Sealing

- 5.5. The converter should be sealed according to at least IP64.

## 6. Environmental

- 6.1. Operating temperature with full power between -40°C and +85°C.
- 6.2. Storage temperature between -50°C and +85°C.
- 6.3. Operating elevation 0 – 4000 meters.
- 6.4. Humidity 10-90 % condensing.
- 6.5. The converter should withstand vibrations of 6g in all axis (10-2000Hz).

## 7. Communication

- 7.1. The DC/DC converter should communicate with external controller over CAN, 500kbit and 11bit ID length.
- 7.2. It should be possible with software to set a maximum allowed output voltage if it is lower than the maximum output voltage of the converter.
- 7.3. A CAN communication timeout check must be implemented. If no messages are received during a configurable time a warning signal should be given and the power conversion should stop. Timeout times will be specified.
- 7.4. At least the signals below should be sent/read on the CAN bus with the cycle times indicated.

**Tx messages**

<b>Signal name [unit]</b>	<b>Cycle time</b>
Input voltage [V]	10 ms
Output voltage [V]	10 ms
Input current [A]	10 ms
Output current [A]	10 ms
Available maximum input current [A]	10 ms
Temperature DC/DC [°C]	500 ms
Operational state	50 ms
Timeout (no Rx messages recieved)	50 ms

**Rx messages**

<b>Signal name [unit]</b>	<b>Cycle time</b>
Input current reference [A]	10 ms

**Figure 2: Initial list of signals in the CAN interface to and from the DC/DC converter.**

## 8. Standards

The converter should fulfill the standards stated below. All standards listed might not thou be fully applicable.

### Legal

- 8.1. EU Directive 2006/95/EC, on the harmonisation of the laws of Member States relating to electrical equipment designed for use within certain voltage limits.
- 8.2. EU Directive 2009/19EC, amending, for the purposes of its adaptation to technical progress, Council Directive 72/245/EEC relating to the radio interference (electromagnetic compatibility) of vehicles
- 8.3. EU Directive 2006/96EC, adapting certain Directives in the field of free movement of goods, by reason of the accession of Bulgaria and Romania
- 8.4. EU Directive 2000/53/EC, Technical Standard for Protection of Occupants against High Voltage After Collision in Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles.
- 8.5. ELV - End of Life Vehicle Directive
- 8.6. Japan Tech Std Article 17-2. Attachment 110, Technical Standard for Protection of Occupants Against High Voltage in Electrical Vehicles and Hybrid Electric Vehicles.
- 8.7. Japan Tech Std Article 17-2. Attachment 111
- 8.8. IPC J-STD-001E, Requirements for Soldered Electrical and Electronic Assemblies



- 8.9. IPC-A-610E, Acceptability of Electronic Assemblies
  - 8.10. ES-3M5T-14B192-AA
  - 8.11. UN ECE85, Uniform provisions concerning the approval of internal combustion engines or electric drive trains intended for the propulsion of motor vehicles of categories M and N with regard to the measurement of net power and the maximum 30 minutes power of electric drive trains
  - 8.12. ECE R13-09, R13-H Brakes, Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking,  
Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to braking
  - 8.13. ECE R100, Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train
  - 8.14. FMVSS 208 Occupant crash protection
  - 8.15. FMVSS 214 Side impact
  - 8.16. FMVSS 301 Fuel system integrity
  - 8.17. FMVSS 114 Theft, Theft Protection
  - 8.18. FMVSS Part 541, Theft Prevention Standard
  - 8.19. FMVSS 305, Electric Powered Vehicles, Electrolyte Spillage and Electrical Shock Protection
  - 8.20. FMVSS 126 Electronic Stability Control, Electronic Stability Control System
  - 8.21. USA FMVSS102, Transmiss Shift Lever Sequence Starter Interlock And Transmission Braking Effect.
- ISO-standards (ISO Requirements that are valid for the design)
- 8.22. ISO 6469-1:2009, Electric road vehicles - On-board electrical energy storage
  - 8.23. ISO 6469-3:2001, Electric road vehicles - Protection of persons against electric hazard
  - 8.24. ISO 6722:2006, Road vehicles - 60V and 600V single-core cables - Dimensions, test methods and requirements
  - 8.25. ISO 14572:2006, Road vehicles - 60V and 600V single-core cables - Dimensions, test methods and requirements
  - 8.26. ISO 3864: 1984, Safety colors and safety signs
  - 8.27. ISO 8713, Electric road vehicles - Vocabulary
  - 8.28. ISO 20653:2006, Road vehicles - Degrees of protection (IP-Code) - Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access

- 8.29. ISO 26262, Road vehicles - Functional Safety
- 8.30. Diagnos, ISO 14229 – 1:2013.
- 8.31. ISO 16750-1:2006, General
- 8.32. ISO 16750-2:2010, Electrical
- 8.33. ISO 16750-3:2007, Mechanical
- 8.34. ISO 16750-4:2010, Climatic
- 8.35. ISO 16750-5:2010, Chemical

IEC Standards, rev:2

- 8.36. IEC 60417-1:2000, Graphical symbols for use on equipment - Part 1: Overview and application
- 8.37. IEC 60417-2:1998, Graphical symbols for use on equipment - Part 2: Symbol originals
- 8.38. IEC 60664-1:1992, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Principles, requirements and tests
- 8.39. IEC TR 62380, Reliability data handbook - Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment

SAE

- 8.40. SAE/USCAR-12 revision 3, Wiring Component Design Guidelines
- 8.41. SAE/USCAR-2 revision 5, Performance Specification for Automotive Electrical Connector Systems
- 8.42. SAE/USCAR-21 revision 2, Performance Specification for Cable-to-Terminal Electrical Crimps
- 8.43. SAE/USCAR-37:2008-08, High voltage connector performance
- 8.44. SAE Paper 870050, SAE Automotive Electronic Reliability Prediction
- 8.45. SAE J1742, Connections for High Voltage On-Board Vehicle Electrical Wiring Harnesses - Test Methods and General Performance Requirements
- 8.46. SAE J2344, Guidelines for electric vehicle safety
- 8.47. SAE J2044, Quick Connect Coupling Specification for Liquid Fuel and Vapor/Emissions Systems

UL Standards, rev:0

- 8.48. UL840, Insulation Coordination Including Clearances and Creepage Distances for Electrical Equipment
- 8.49. UL2202, Electrical Vehicle (EV) Charging System Equipment
- 8.50. UL458a, Outline Of Investigation For Power Converters/Inverters For Electric Land Vehicles

Chinese Standards, rev:0

- 8.51. GB/T 19751:2005, Hybrid electric vehicles Safety specification

- 8.52. GB/T 18387, Limits and test methods of magnetic field strength from electric vehicles, broadband, 9 kHz to 30 MHz
- 8.53. GB 14023, Vehicles, boats and internal combustion engine - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers
- 8.54. GB 18655, Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers
- 8.55. GB/T 17619, Limits and methods of testing for immunity of electrical/electronic sub - assemblies in vehicles to electromagnetic radiation

#### Safety

- 8.56. ECE R100, Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train
- 8.57. ISO 6469-1, Electrically propelled road vehicles - Safety specifications - Part 1: On-board rechargeable energy storage system (RESS)
- 8.58. ISO 6469-2, Electrically propelled road vehicles - Safety specifications - Part 2: Vehicle operational safety means and protection against failures
- 8.59. ISO 6469-3, Electrically propelled road vehicles -- Safety specifications -- Part 3: Protection of persons against electric shock
- 8.60. IEC 60664-1, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests

#### RoHS

- 8.61. 2011/65/EU - Restriction of Hazardous Substances Directive

## 9. Documentation

The documentation described below should be delivered together with the converter.

- 9.1. Manual of how to operate the converter.
- 9.2. Eventual necessary software and tools to change settings in the converter.
- 9.3. Test report of the converter.

## Eventuella anpassningar till tyngre fordon

Även eventuella modifieringar av DC/DC specifikationen för att passa till tyngre fordon så som buss eller lastbils skulle undersökas i projektet.

Det är projektets bedömning att det är endast utspänningen som måste justera till att passa 600V systemet som används där istället för 400V som i personbilsfallet Om det finns andra standarder som påverkar konstruktionen etc. är i detta projekt inte rimligt att bedöma.

## 5 Leverantörsstats idag

På grund utav, Non disclosure agreements, (NDA) och sekretesskäl kan vi i denna rapport inte ange vilka leverantörerna är samt inte delge all information.

### Nuläge leverantörer

Bedömningen är att utvecklingen av dessa tekniker till fordonsindustrin idag sker främst i Europa och Asien, vilket är naturligt då den ledande bränslecellsutvecklingen idag sker i Tyskland, Korea och Japan.

- Europa, 5 st (Tyskland, England, Sverige, Italien, Holland)
- Asien, 2 st (Japan, Korea)
- Övriga världen valdes bort i denna förstudie.

För Europa har inom förstudien 5 st leverantörer kontakts 4 st svarade och den 5:e kunde inte svara. Två av leverantörerna har ingen erfarenhet av att jobba med fordonsindustrin eller hade inte vätskekyld DC/DC. Då de behöver lång utvecklingstid valdes djupare diskussioner bort eftersom de inte klarade av att leverera en funktionsprototyp inom rimlig tid. De övriga två har djup fordonselektronikkompetens och en djupare teknisk diskussion har förts med båda.

I Asien har två leverantörer diskuterats med, men projektet har inte kommit vidare med djupare diskussioner.

Då båda de två leverantörerna i Europa verkade mera lovande i dagsläget att kunna leverera en funktionsprototyp inom rimlig tid med rimlig modifieringskostnaderna för att anpassa till specifikation fortsatte arbetet med dessa.

### Leverantör A (Europa)

Möter den tekniska specifikationen på befintlig teknik med vissa mindre justeringar och kan leverera inom 3-6 månader. Priset för enstaka prototyper hamnar 200 000-400 000SEK.

### Leverantör B (Europa)

De hade en teknisk lösningar som skulle fungera men tiden som krävdes för att få fram en funktionsprototyp var för lång.

### Bedömning om seriepris

Den samlade bedömningen av tidigare erfarenhet och diskussioner med leverantören är att vid serietillverkning av denna DC/DC som en "stand-alone" enhet kommer priset per enhet ligga på ca 3 500 SEK.

Bedömningen är att om FCEV blir en standard modell kan mycket av funktionalitet integreras med andra inverterar osv. och priset reduceras för denna funktion till ca 1 500-2 500 SEK.

## 6 Slutsats

Resultatet är att specifikationen för DC/DC inte är har några egenskaper som gör den speciellt unik eller krånglig i principen, dock skiljer sig ingående och utgående spänningsnivåer från de existerande enheter som finns som standard på marknaden eller hårdvara utvecklad för rena batteribilare eller laddhybrider. Det finns ingen befintlig prototyp DC/DC på marknaden för den specifikation som tagits fram, men en till två leverantörer kan inom rimlig tid ta fram en fungerande prototyp. För att använda ett bränslecellsystem i en tyngre applikation så som buss eller lastbil är bedömningen att den enda parameter som direkt påverkar den elektriska designen av DC/DC är att utgående spänning behöver vara justerbar så att den passar den högre spänningsnivån som tyngre fordon använder.

### Uppskattning

Författaren tackar dom som jobbat aktivt i projektet; Rickard Nilsson, Erik Osvaldsson, Felix Haberl, Anders Hedebjörn, Robert Eriksson och Lennart Håman för bra diskussioner och informationsutbyte. Sedan skall alla inom respektive bolag som hjälpt till ha ett stort tack. PowerCell Sweden AB och Volvo Cars Corporation tackar SHC, Energiforsk och Energimyndigheten för ekonomiska stödet för förstudien.

## 7 Referenser

- [1] Car makers gear up for next round of CO2 emission cuts. Euractive. 29 maj. <http://www.euractiv.com/sections/transport/car%20makers-gear-next-round-co2-emission-cuts-314952>
- [2] Reducing CO2 emissions from passenger cars. EC. [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm)
- [3] REGULATION (EU) No 333/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 March 2014 amending Regulation (EC) No 443/2009 to define the modalities for reaching the 2020 target to reduce CO2 emissions from new passenger cars. [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2014.103.01.0015.01.ENG](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2014.103.01.0015.01.ENG)
- [4] New cars' CO2 emissions well below Europe's 2015 target. 2015. EEA. <http://www.eea.europa.eu/highlights/new-cars2019-co2-emissions-well>
- [5] Roadmap for moving to a low-carbon economy in 2050. 2011. EU. [http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/faq\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/faq_en.htm)
- [6] EU leaders agree 2030 climate and energy goals. 24 oct 2014. [http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news\\_2014102401\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/news/articles/news_2014102401_en.htm)
- [7] WHITE PAPER Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system . EU. [http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/2011\\_white\\_paper\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/2011_white_paper_en.htm)
- [8] ACEA boss: Even a zero-emission target will fail to address car CO2. Euractive. 29 maj 2015. <http://www.euractiv.com/sections/transport/acea-boss-even-zero-emission-target-will-fail-address-car-co2-314886>
- [9] EU allmänna policy avseende minskade utsläpp, [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm)
- [10] [10] EU allmänna krav dokument, [http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/documentatio\\_n\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/documentatio_n_en.htm)
- [11] Kina inför subventioner för fordon med noll emission, <http://zbs.miit.gov.cn/n11293472/n11295142/n11299183/15628903.htm>
- [12] CALIFORNIA EXHAUST EMISSION STANDARDS AND TEST PROCEDURES FOR 2009 AND SUBSEQUENT MODEL ZERO-EMISSION VEHICLES AND HYBRID ELECTRIC VEHICLES, IN THE PASSENGER CAR, LIGHT-DUTY TRUCK AND MEDIUM-DUTY VEHICLE CLASSES [http://www.arb.ca.gov/msprog/levprog/cleandoc/clean\\_2009\\_my\\_hev\\_t ps\\_12-09.pdf](http://www.arb.ca.gov/msprog/levprog/cleandoc/clean_2009_my_hev_t ps_12-09.pdf)

- [13] A portfolio of power-trains for Europe:a fact-based analysis by McKinsey & Company, [http://ec.europa.eu/research/fch/pdf/a\\_portfolio\\_of\\_power\\_trains\\_for\\_europe\\_a\\_fact\\_based\\_analysis.pdf](http://ec.europa.eu/research/fch/pdf/a_portfolio_of_power_trains_for_europe_a_fact_based_analysis.pdf)
- [14] Hyundai, <http://www.hyundai.se/showroom/show/ix35fuelcell>
- [15] Toyota Mirai, <http://www.toyota.se/om-toyota/nyheter/2014/toyota-mirai.json>
- [16] Tesla, [http://www.teslamotors.com/sv\\_SE/models](http://www.teslamotors.com/sv_SE/models)
- [17] Nissan Leaf, <http://www.nissan.se/SE/sv/vehicle/electric-vehicles/leaf.html>
- [18] Studie om Fuel cell range extender, <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-1995-14.pdf>
- [19] [19] Renault Kangoo med fuel cell range extender, [http://www.symbiofcell.com/symbiov3/wp-content/uploads/2015/05/kangooZEH2\\_en2015-05.pdf](http://www.symbiofcell.com/symbiov3/wp-content/uploads/2015/05/kangooZEH2_en2015-05.pdf)
- [20] E-truck Europe, <http://e-truckseurope.com/en>
- [21] Vanhool hybrid fuel cell bus, <http://www.vanhool.be/FRA/transport-public/hybride-pile-a-combustible/Resources/folderFuelCell.pdf>





# KRAVSTÄLLNING AV KRAFT- ELEKTRONIK FÖR ANVÄNDNING AV BRÄNSLECELLER I ELEKTRISKA FORDON

Vilken typ av högspänningsomvandlare behövs i framtidens bränslecellssystem hos elektriska fordon? Den här förstudien har tagit fram en teknisk specifikation för en högspänningsomvandlare, så kallad DC/DC, för att använda tillsammans med ett bränslecellssystem i elfordon.

Resultatet visar att specifikationen inte har egenskaper som gör den speciellt unik eller krånglig, ingående och utgående spänningsnivåer skiljer sig från de enheter som finns på marknaden och den hårdvara som är utvecklad för elbilar och laddhybrider. Denna kunskap är viktig för de som utvecklar bränslecellssystem för elektriska fordon, fordonsutvecklare och företag som utvecklar och tillverkar kraftelektronik.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)