



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2021 00762**

(22) Data de depozit: **09/12/2021**

(41) Data publicării cererii:
30/06/2022 BOPI nr. **6/2022**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
TEHNOLOGII CRIOGENICE ȘI IZOTOPICE
- ICSI RÂMNICU VÂLCEA, STR.UZINEI
NR.4, OP RĂURENI, CP.7,
RÂMNICU VÂLCEA, VL, RO**

(72) Inventatori:
• **RĂCEANU MIRCEA, STR.SUB COASTĂ,
NR.4, BĂILE OLĂNEȘTI, VL, RO;**
• **MARINOIU TEODORA ADRIANA,
STR.TUDOR VLADIMIRESCU NR.93, BL.K,
SC.A, ET.2, AP.5, BĂILE GOVORA, VL, RO;**
• **CARCADEA ELENA, CALEA LUI TRAIAN
NR.60, BL.S31, SC.A, ET.4, AP.13,
RÂMNICU VÂLCEA, VL, RO;**
• **VARLAM MIHAI,
STR. VASILE OLĂNESCU NR. 14, BL.C10,
SC.B, ET.1, AP.13, RÂMNICU VÂLCEA, VL,
RO**

(54) **METODĂ DE CONTROL ȘI SECVENȚĂ DE PORNIRE A UNUI VEHICUL ELECTRIC HIBRID CU DOUĂ PILE DE COMBUSTIBIL PENTRU CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de control a puterii unui sistem de pile de combustibil din componența unui vehicul electric hibrid și la o secvență de pornire a vehiculului în vederea creșterii eficienței energetice. Metoda de control, conform invenției, se aplică unui vehicul electric hibrid care cuprinde: două ansambluri de pile (101, 104) de combustibil, controlate independent, având subsisteme (102, 105) auxiliare de alimentare proprii și sisteme (103, 106) electronice de control local, un dispozitiv (300) programabil pentru cuplarea electrică a celor două pile (101, 104) de combustibil cu interfața unui convertor (107) unidirecțional de putere la o unitate (109) de distribuție a puterii, un sistem de baterii (116) conectat la un convertor (119) bidirecțional de putere, programabil, conectate la unitatea (109) de distribuție a puterii folosind circuite (118, 121) de preîncărcare, un sistem de baterii (124) de joasă tensiune, conectate la unitatea (109) de distribuție a puterii printr-un convertor (122) unidirecțional, un motor (113) electric alimentat de la un invertor (110) care transmite mișcarea la niște roți (115) printr-o unitate (114) de transmisie, unitățile electronice de control local fiind conectate printr-o comunicație CAN la un sistem central (200) și inițiază punerea în funcțiune a vehiculului prin trei metode de control: o primă metodă, având rolul de control al curentului de încărcare și descărcare a sistemului (116), care asigură necesarul de putere al motorului (113) menținând valoarea tensiunii pe magistrala de CC la aprox. ± 2% din

valoarea setată de 400 volți, o a doua metodă care controlează dispozitivul (300) programabil, crește eficiența pilelor de combustibil, alocă timpi de funcționare egali pentru cele două pile și crește durata de viață a ansamblurilor prin monitorizarea tensiunii și o a treia metodă care optimizează puterea generată de sistemul de pile de combustibil, evitând ciclurile de pornire/oprire a vehiculului.

Revendicări: 2
Figuri: 13

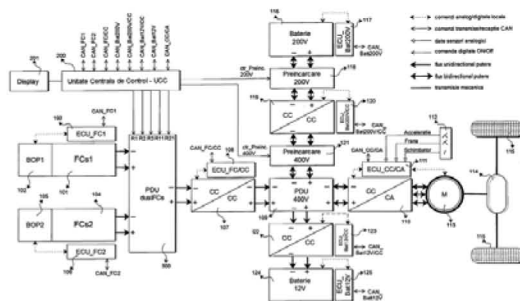


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



63

METODĂ DE CONTROL ȘI SECVENȚĂ DE PORNIRE A UNUI VEHICUL ELECTRIC HIBRID CU DOUĂ PILE DE COMBUSTIBIL PENTRU CREȘTEREA EFICIENȚEI ENERGETICE

Domeniul invenției

Invenția se referă la modalitatea de control a puterii unui sistem de pile de combustibil din componența unui vehicul hibrid electric.

Contextul actual

În ultimele trei decenii, producătorii din sectorul auto au fost influențați pozitiv de tehnologia hidrogenului și a pilelor de combustibil (FC - Fuel Cell). Scopul principal al producătorilor de automobile poate fi evidențiat ca reducerea la minimum a consumului de combustibil și a emisiilor de evacuare, îmbunătățind în același timp limitele de autonomie, eficiența energetică și adaptarea la cea mai recentă tehnologie. Prin urmare, sisteme de propulsie asistate electric sunt adăugate vehiculelor și sunt numite vehicule electrice (EV – Electric Vehicle). De altfel, vehiculele electrice cu baterie (BEV – Battery Electric Vehicle) și vehiculele electrice cu pile de combustibil cu hidrogen (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle) au devenit în centrul atenției cercetătorilor și producătorilor. Meritele FCEV sunt enumerate ca: zero emisii (doar apă), alimentare mai rapidă, conducere silențioasă, economie și eficiență mai bună a combustibilului, întreținere ușoară. Cu toate acestea, FCEV au unele dezavantaje ca; gamă limitată, stații de alimentare cu hidrogen insuficiente, provocări de stocare și siguranță, prețuri scumpe și încă mai puțină recunoaștere și popularitate.

Energia generată de o pilă de combustibil poate alimenta direct motorul de tracțiune al vehiculului sau poate fi stocată într-o sistem auxiliar (baterie sau/și ultra-condensator). Dacă nu există un sistem de stocare în sistem, frânarea regenerativă nu poate exista. În special, necesitatea unei viteze mai mari a vehiculului conduce la o creștere bruscă a puterii care în general este oferită de sistemul auxiliar de energie. Dacă această putere ar fi generată direct de FC ar avea un impact negativ asupra duratei de viață normală a componentelor FC. Această problemă se poate rezolva prin integrarea unui modul hibrid de stocare energie. Dacă un FCEV este hibridizat cu o baterie litiu-ion, ultra condensator, etc., acest tip se numește Vehicul Electric Hibrid cu Pile de Combustibil (FCHEV – Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle). În urma studiilor experimentale ale unui FCHEV care operează într-un ciclu de conducere NEDC (NEDC - New European Driving Cycle), sunt evidențiate patru paliere de funcționare a vehiculului în domeniu de timp: susținerea sarcinii (56.5%), start-stop (33%), putere mare (5.8%) și funcționare în gol (4.7%). Din acest motiv durata de operare a unui FC într-o aplicație de transport este mult mai scurtă decât cea într-o aplicație staționară, în special din cauza condițiilor operarea la ralanti (tensiune ridicată) și a condiții start/stop care scad dramatic performanțele FC.

Contextul aplicării FC în domeniul transporturilor este specific modului de integrare. Astfel, puterea necesară a unui vehicul este în intervalul 100 kW - 1 MW (de exemplu, 200 kW pentru autobuze și troleibuze, 600 kW pentru tramvaie, 1 MW pentru locomotive). Presupunând o hibridizare de 50%, puterea generatorului FC la bord ar trebui să fie de aproximativ 100 – 400 kW. Însă, construcția unui singur Ansamblu de Pile de Combustibil (Fuel Cell stack – FCs) la o asemenea putere întâmpină dificultăți tehnice de implementare. Pentru a depăși acest impediment o soluție rezonabilă constă în asocierea mai multor ansambluri de pile de combustibil (module) conectate în diferite configurații, astfel încât să aibă capacitate dorită. Mai mult, în faza de proiectare a FCHEV trebuie luate în considerare următoarele criterii: eficiență ridicată, fiabilitate sporită, mentenanță, siguranță,



62

compactitatea sistemului de alimentare și funcționarea în diverse moduri de operare ale FC. Sunt necesare, de asemenea, sisteme suplimentare de stocare a energiei electrice, din cauza răspunsului tranzitoriu al puterii lent al FC, pentru a se conforma profilului de conducere (NEDC, EUDC, etc).

În literatura de specialitate sunt prezentate diferite concepte de segmentarea unui ansamblu de pile de combustibil (FCs). Astfel, în **Patentul US 5170124 1992, „METHOD AND APPARATUS FOR MONITORING FUEL CELL PERFORMANCE”** este prezentată o metodă și un dispozitiv pentru monitorizarea performanței pilelor de combustibil grupate în serie. Sunt prezentate patru variante care au la bază măsurarea tensiunii la nivel de grup și compararea acestora cu tensiuni de referință, care la anumite praguri sunt declanșate alarme pentru oprirea alimentării cu combustibil. În **Patentul 2013 US 8486570 B2, „Apparatus for high efficiency operation of fuel cell systems and method of manufacturing same”** este prezentat un dispozitiv care este compus din doua FCs în tandem cu un sistem de stocare auxiliar. Un controler este configurat să regleze fluxul de energie în funcție de cererea de putere a motorului. Primul FCs furnizează o primă ieșire de putere către magistrala de curent continuu, iar al doilea FCs este menținut pentru a furniza energia suplimentară a tranzițiilor motorului în faza de accelerare bruscă. **Patentul 2014 US 8828614 B2 „FUEL CELL HYBRID SYSTEM HAVING MULT-STACK STRUCTURE”** se referă la un sistem hibrid cu pile de combustibil având o structură cu mai multe ansambluri de pile de combustibil care menține valoarea tensiunii FC sub valoarea tensiunii sistemului de stocare auxiliar (ultra-condensator). Astfel încât, în timpul frânării vehiculului cantitatea de energie recuperată este înmagazinată total de ultra-condensator, astfel îmbunătățind eficiența combustibilului. S-a demonstrat că, consumul optim al unui ansamblu de pile de combustibil este obținut dacă acesta operează în domeniul de eficiență maximă (de regula 30-40% din puterea maximă). O altă regulă demonstrată arată că, putere medie consumată de motorul unui vehicul electric, care circulă după un profil de conducere NEDC, este de aproximativ 20-25% din puterea maximă, recuperare energie din frânare este de 8-10%, iar consum de hidrogen la 100 km parcurși este de aproximativ 1 kg (FCEV). La fel, se cunoaște că ciclurile tranzitorii rapide și ciclurile de pornire-oprire în operarea unui FCs pot provoca o alimentare necorespunzătoare cu combustibil, provocând scădere a tensiunii sub nivelul critic de 0.6 V , ceea ce poate accelera degradarea catalizatorului și a membranei. Scopul acestei invenții este de a evalua fezabilitatea tehnologică a unui FCHEV compus din doua ansambluri de pile de combustibil, ca și sursă principală de putere, și un sistem de stocare auxiliar de baterii litiu-ion, pentru aplicații în domeniul vehiculelor de teren, de 120-150 kW.

Domeniul tehnic

O pilă de combustibil (FC) este un dispozitiv electrochimic compus, în general, dintr-un electrod anodic care primește hidrogen (H_2), un electrod catodic care primește oxigen (O_2) și un electrolit interpus între anod și catod. O reacție electrochimică este inițiată pentru a oxida moleculele de hidrogen de la anod și a genera protoni (H^+), care sunt apoi trecuți prin electrolit pentru reducerea la catod cu un agent oxidant, cum ar fi oxigenul. În special, hidrogenul gazos este disociat catalitic pentru a genera protoni și electroni. Protoni de hidrogen trec prin electrolit la catod, unde protonii reacționează cu oxigenul și electronii pentru a forma apă. Iar, electronii de la anod sunt redirecționați printr-o sarcină electrică (cum ar fi motorul de tracțiune al unui vehicul) astfel generând curent electric. Pilele de combustibil cu membrană schimbătoare de protoni (PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell) sunt deosebit de potrivite pentru utilizarea în vehicule datorită temperaturii lor de funcționare relativ scăzute, care oferă timpi de pornire rapid și un răspuns optim la schimbările de sarcină în comparație cu alte tipuri de FC.



Pentru a crește capacitatea electrică a unui ansamblu de pile de combustibil (FCs), este cunoscută combinarea mai multor pile de combustibil individuale într-un așa numit „ansamblu (stack)” de pile de combustibil, în care acestea sunt conectate electric în serie. Alimentările și evacuările cu gaze reactante sunt proiectate prin canale paralele. Un FCs este un ansamblu care conține până la câteva sute de pile singulare (celule) de combustibil. FCs este componenta principală a unui sistem de pile de combustibil (FCS - Fuel Cell System). Un sistem FCS conține pe lângă ansamblul de pile de combustibil, și un subsistem auxiliar de alimentare cu gaze (BoP - Balance of Plant) care este controlat de o unitate locală de control. Sistemul FCS utilizat în această invenție conține două FCs individuale, de aceeași putere, conectate printr-un dispozitiv configurabil la un convertor unidirecțional de putere CC/CC. Un FCs este construit prin inserierea a 120 de celule individuale, care produce o tensiune în gol de aproximativ 110 volți și aproximativ 60 volți la sarcină maximă. Puterea totală a sistemului FCS este de maxim 60 kW.

Aplicațiile în domeniul transporturilor au nevoie de puteri foarte mari. Creșterea puterii unui ansamblu de pile de combustibil se realizează prin creșterea numărului de pile singulare (tensiunea mare), precum și, prin creșterea suprafeței active (curent mare). Cu toate acestea, ansamblurile lungi de pile de combustibil pot fi supuse unor neuniformități a fluxurilor de gaze reactante și a temperaturilor în interiorul ansamblului care pot fi cauza unor posibile defecțiuni. Un alt dezavantaj este ca puterea ansamblului întotdeauna va fi limitată de pila cea mai slabă. În plus, deoarece toate celulele sunt în serie, defecțiunea unei singure celule duce la indisponibilitatea întregului ansamblu.

Pentru a înlătura toate aceste impedimente, o soluție interesantă constă în asocierea mai multor ansambluri de pile de combustibil, astfel construind o arhitectura de putere cu mai multe ansambluri elementare. Prin asociere, puterea fiecărui ansamblu trebuie să poată fi gestionată individual și să țină cont de un posibil decalaj dintre performanțele acestora. Arhitectura trenului de propulsie ar trebui să țină cont de diferitele moduri de conectare ale componentelor de putere (în serie și/sau paralel), iar alegerea adecvată a convertoarelor electronice de putere este esențială.

Performanța sistemului FCS depinde de nivelul său de putere și de arhitectura întregului tren de propulsie. Sistemele FCS cu mai multe ansambluri de pile de combustibil ar putea oferi o îmbunătățire a performanței față de sistemele obișnuite cu pile de combustibil. Mai mult decât atât, soluția cu mai multe ansambluri de pile de combustibil permite o proiectare modulară a întregului sistem, un FCs putând fi înlocuit separat deoarece poate fi izolat. Puterea totală depinde doar de numărul de FCs. Dacă un FCs se defectează, sistemul FCS își pierde doar puterea parțială, îmbunătățind fiabilitatea globală a sistemului. Atunci când sistemul are mai mult de un ansamblu, există diferite posibilități de distribuție a energiei, permițând atingerea unor eficiențe mai bune pentru sarcini diferite (un sistem FCS cu mai multe ansambluri oferă mai multe puncte optime de putere). Mai mult, un sistem FCS cu mai multe ansambluri este mai ușor de integrat fizic în întreaga aplicație.

Cu toate acestea, problematica asocierii în mai multe ansambluri ale FC pentru alimentarea FCHEV duce la o serie de constrângeri: 1) modul de operare al întregului sistem de pile de combustibil; 2) alegerea modului de interconectare al ansamblurilor elementare și de cuplare la convertorul FC, astfel încât, în cazul unei defectări temporare ansamblul în cauză să poată fi izolat; 3) metoda de control a secvenței de pornire a FCHEV; 4) managementul energetic al trenului de propulsie FCHEV.

Astfel, proiectarea dispozitivului programabil de cuplare electrică la interfața convertorului de putere FC trebuie să fie tolerantă la defecte. Aceasta este o problemă cheie în ceea ce privește gestionarea globală a puterii întregului tren de propulsie. Prin toleranța la defecte se înțelege gestionarea unor posibile defecte ale unui ansamblu FCs, astfel încât FCHEV să rămână operațional, chiar dacă are o capacitate de putere mai mică.



Avantajele invenției sunt următoarele:

- proiectare modulară a întregului sistem de pile de combustibil FCS, ansamblurile de combustibil putând fi înlocuite separat, deoarece pot fi izolate;
- modul de operare al ansamblurilor de pile de combustibil, astfel încât să urmărească punctul de eficiență maximă (economie de combustibil);
- toleranță la erori în cazul funcționării defectuoase (uscare/inundare) ale unui ansamblu de pile de combustibil, monitorizate prin scăderea tensiunii (creșterea duratei de viață normată a pilei de combustibil).
- evitarea funcționării ansamblului de pile de combustibil în condiții improprii de operare: (sarcină maximă, cicluri start-stop, mers în gol).

Descrierea invenției

Scurtă descriere a desenelor

Figura 1. Schema bloc a unui vehicul electric în configurație hibridă cu două ansambluri de pile de combustibil – baterie (FCHEV);

Figura 2.1. Dispozitiv programabil pentru cuplarea electrică a două ansambluri de pile de combustibil cu interfața unui convertor unidirecțional de putere la magistrala de curent continuu a unui FCHEV;

Figura 2.2. Cuplarea electrică în serie a două ansambluri de pile de combustibil cu interfața unui convertor;

Figura 2.3. Cuplarea electrică a primului ansamblu de pile de combustibil (APC1) cu interfața unui convertor;

Figura 2.4. Cuplarea electrică a celui de al doilea ansamblu de pile de combustibil (APC2) cu interfața unui convertor;

Figura 3. Caracteristica Tensiune (Putere) vs. Curent a unui ansamblu de pile de combustibil;

Figura 4. Caracteristica Eficiența vs. Putere a unui ansamblu de pile de combustibil;

Figura 5. Schema logică a secvenței de pornire FCHEV;

Figura 6. Metoda de control a curentului de încărcare/descărcare a sistemului de baterii de 200V;

Figura 7. Metoda de control a dispozitivului de cuplare ansambluri de pile de combustibil;

Figura 8. Metoda de control a curentului furnizat de ansamblurile de pile de combustibil;

Figura 9.a. Imagine a celor două ansambluri de pile de combustibil și a subsistemului auxiliar BoP (vedere din față);

Figura 9.b. Imagine a celor două ansambluri de pile de combustibil și a subsistemului auxiliar BoP (vedere de sus);

Figura 10. Imagine a dispozitivului programabil pentru cuplarea electrică a celor două ansambluri de pile de combustibil;

Figura 11. Imagine a celor două convertoare de putere și a PDU 400V;

Figura 12. Imagine a unității centrale de control – UCC;

Figura 13. Interfața software pentru monitorizarea, comanda și controlul funcționării FCHEV;

Descriere detaliată

Caracteristicile vehiculului de teren studiat în această invenție sunt masa totală de 2100 kg, suprafața frontală de 2.5 m², diametrul roții de 0.6 m, coeficientul aerodinamic de 0.3 și coeficientul de frecare de 0.001. Viteza maximă constructivă a vehiculului a fost proiectată la 170 km/h, accelerația de la 0 la



100 km/h în 11 secunde și o autonomie de deplasare de 500 km. Cantitatea de hidrogen este de aproximativ de 5 kg, stocat la o presiune de 700 bari.

Arhitectura trenului de propulsie este construită dintr-un sistem de putere cu pile de combustibil de tip PEM (60 kW), un sistem de baterii litiu-ion (40 kWh), un sistem de baterii de 12 V pentru alimentarea dispozitivelor electronice (2 kWh) și un motor electric (150 kW) pentru deplasarea autovehiculului. Toate aceste componente sunt interconectate între ele prin intermediul unor convertoare CC/CC, invertoare CC/CA, diverse unități de distribuție a puterii și circuite de preîncărcare.

Schema bloc a vehiculului electric în configurație hibridă cu un sistem de pile de combustibil – baterie (FCHEV) este prezentată în Figura 1. Sistemul de pile de combustibil este compus din două ansambluri de pile de combustibil (FCs). Ambele ansambluri (FCs1 **101** și FCs2 **104**) au propriul lor subsistem auxiliar de comandă și control (BoP1 **102**, BoP2 **105**), rolul este de furniza cantitățile necesare de reactanți (aer și hidrogen) la parametri optimi. Acest subsistem are în componență mai multe pompe, valve, ventilatoare și trasee de alimentare. Aceste componente sunt monitorizate și controlate de o unitate locală de control (ECU_FC1 **103** și ECU_FC2 **106**). Fiecare ECU este interconectat cu Unitatea Centrală de Control (UCC **200**) printr-o comunicație de date CAN. Fiecare ECU primește de la UCC comanda de start/stop și valoare de referință a curentului pe care să-l genereze fiecare ansamblul FCs. ECU are rolul să asigure valorile optime ale parametrilor de temperatură, presiune și debite astfel încât să producă curentul electric cerut. Subsistemul auxiliar de comanda și control (BoP) și procedurile de optimizare și control sunt prezentate în brevetul nostru **RO 129407 B1**, „Stație energetică de mică putere și procedeu de optimizare și alimentare a consumului de energie și aer” la o scară de putere mai mică, de 5 kW.

Ambele ansambluri de pile de combustibil sunt identice, au o putere utilă de 30 de kW și sunt formate prin înserierea a 120 de pile singulare. Tensiunea pentru fiecare ansamblu este în domeniul de 60-110 V, iar curentul maxim fiind de 500 A. Ansamblurile FCs1 și FCs2 sunt conectate la un dispozitiv programabil PDU_dualFCs, din poziția **300**. În funcție de metoda de control a dispozitivului de cuplare ansambluri de pile de combustibil (prezentată în Figura 7) la ieșire PDU_dualFCs **300** avem o plajă de tensiune între 60 V și 220V. Dezavantajul pilelor de combustibil este că tensiunea de ieșire variază foarte mult, mai ales atunci când sarcina motorului se schimbă. Prin urmare, convertorul FC/CC **107** este conceput pentru a oferi o tensiune constantă pe magistrala de curent continuu de tensiune ridicată. În plus, convertorul FC/CC joacă un rol important în sistemul de management al energiei, detaliat în Figura 7. Acest convertor **107** este controlat local de un ECU_FC/CC **108**, informațiile de date sunt transmise extern acestuia pe o linie de comunicație cu UCC **200**. Convertorul FC/CC **107** are curentul/tensiunea de ondulație la valori de sub 0.2% din valoarea totală a curentului/tensiunii controlate, ceea ce este foarte important pentru funcționarea în siguranță a ansamblurilor de pile de combustibil, **101** și **104** și a altor componente, cum ar fi condensatoare de filtraj și invertoarele CC/CA **110**.

Bateria 200V **116** este un sistem auxiliar de stocare a energiei, construită din celule de tipul litiu-ion. Tensiunea bateriei **116** este în domeniul de 150 V și 200 V, curentul maxim de descărcare de 500 A, curentul maxim de încărcare de 250A și o capacitate de 40 kWh. Bateria **116** este utilizată pentru menținerea tensiunii constante pe magistrala de CC de 400 V, pentru a furniza maximul de putere în fazele de accelerare ale FCHEV, la fel și pentru recuperarea energiei din frână. Puterea de ieșire a sistemului de baterii **116** este controlată direct de un convertor Batt200/CC **119**. Pentru a proteja partea de tranzistoare de putere de la intrarea **119** de curenți rapizi, între **116** și **119** se găsește un circuit de preîncărcare **118** care are rolul de a limita curentul pe o perioadă scurtă, acest control este



făcut de UCC 200, care compară tensiunile înainte și după circuitul 118 și când acestea sunt aprox. egale se cuplează releele sistemului de baterii 116 la convertorul Batt200V/CC 119.

Pentru a nu crește dimensiunea și greutatea sistemului de baterii 116 s-a ales varianta cu o baterie cu o tensiune mai mică, pentru ridicarea tensiunii la 400 V s-a utilizat un convertor bidirecțional de CC/CC. Care asigură tensiunea pe magistrala CC. Această tensiune este importantă de a fi păstrată în acest domeniu pentru ca motorul 113 să aibă o eficiență ridicată. Convertorul Batt/CC 119 este controlat local de o unitate electronică de control ECU Batt/CC 118. Din aceleași motive de protecție a dispozitivelor de putere, convertorul Batt/CC 119 este interconectat la unitatea de distribuție a puterii PDU 400V 121 prin intermediul unui circuit de preîncărcare 121 controlat de UCC 200.

În acest moment la intrarea PDU400V 109 sunt interconectate ansamblurile de pile de combustibil 101 și 104 și sistemul de baterii 116, prin intermediul circuitelor de putere, 300, 118 și 121, și a convertoarelor 107 și 119. Însă toate aceste componente au nevoie la rândul lor să fie alimentate cu o tensiune de 12 volți. Pentru aceasta FCHEV are în componență și un sistem de baterii 124 cu o capacitate de 2 kWh, asigurând necesarul de putere la pornirea. Bateria 12V 124 este controlată de un sistem local 125 care transmite informații sistemului central UCC 200 prin linia CAN. Bateria 12V 124 este încărcată din Bateria 200V 116 prin intermediul unui convertor Bat12V/CC 122. Acest convertor este controlat de ECU Batt/12V care asigură funcționarea bateriei 12V 124 în bune condiții.

Alimentarea motorului electric 113 este asigurată de un invertor CC/CA 111, motorul 113 transmite mișcarea mecanică către transmisia 114, care reduce viteza și crește cuplul către roțile FCHEV 115. Invertorul CC/CA 110 este alimentat la 400 V prin PDU400V 109. Invertorul 110 este controlat de un sistem local de control ECU CC/CA 111 care în funcție de valorile primite de la blocul 112 pune în mișcare FCHEV.

Dispozitivul PDU_dualFCs 300, prezentat în Figura 2.1., este o interfață programabilă care are rolul de cuplare a FCs1 și FCs2 la un convertor unidirecțional de putere. Dispozitivul are în componență mai multe relee de putere programabile, astfel încât să dirijeze la ieșire fluxul de putere al ambelor ansambluri înseriate (FCs1 + FCs2), sau fluxul de putere al unui singur ansamblu (FCs1 sau FCs2). Comanda releelor este efectuată de unitatea de control centrală UCC 200 în urma unui algoritm de urmărire a maximumului de eficiență și putere. Pe traseul electric de putere mai sunt găsite diode de sens, tip Schottky, pentru evitarea descărcării accidentale a curenților inverși și mai multe siguranțe fuzibile de 500 A pentru evitarea curenților mari.

În Figura 2.2 este prezentată cuplarea electrică în serie a celor două ansambluri de pile de combustibil 101, 104 cu interfața unui convertor 107. Dirijarea fluxului de putere este evidențiată în figură, astfel încât relele: Releu11 304, Releu3 303 și Releu2 302 sunt în poziția ON (cuplate), iar relele: Releu1 301 și Releu21 305 sunt în poziția Off (decuplate). În acest mod la intrarea convertorului apare fluxul de putere al întregului sistem de pile de combustibil, tensiunea între 120-240 Volți și un curent de maxim 500 Amperi. Acest mod de cuplare are avantajul că utilizează un singur convertor și o singură intrare de control a curentului generat de FCS. Se cunoaște faptul că un astfel de convertor este foarte scump.

În Figura 2.3. este prezentată cuplarea electrică a primului ansamblu de pile de combustibil (FCs1 101) cu interfața unui convertor 107, traseul este evidențiat cu culoarea cărămiziu. La cuplarea 101 la 107, relele: Releu11 304 și Releu1 301 sunt în poziția ON (cuplate), iar relele: Releu21 305 și Releu2 302 sunt în poziția Off (decuplate). În această configurație la bornele convertorului 107 avem o plajă de tensiune de 60-120 volți la un curent maxim de 500 de amperi.



În Figura 2.4. este prezentată cuplarea electrică a celui de al doilea ansamblu de pile de combustibil (FCs2 **104**) cu interfața unui convertor **107**. Releele cuplate sunt: Releu21 **305** și Releu 2 **302**, iar releele decuplate sunt: Releu11 **304** și Releu1 **301**.

Proiectarea și configurarea acestui dispozitivului de cuplare **300** poate permite cuplarea a una sau doua ansambluri de pile de combustibil ținând cont de mai multe constrângeri datorate modului de operare defectuos al unui ansamblu. De exemplu: dacă apare o scădere semnificativă de 10% a tensiunii unui FCs sub caracteristica de funcționare Tensiune/Curent (Figura 3) atunci funcția a acelui ansamblu de pile de combustibil este preluată de celălalt ansamblu de combustibil prin cuplarea releelor de pe traseul respectiv. În același timp ansamblul defectuos este recondiționat prin efectuarea unor purjări ale compartimentului anodic și catodic, ajungând în parametrii optimi ai tensiunii. Principalele motive de scădere a tensiunii sunt în special: fenomenele de alimentare insuficientă cu gaze datorate inundării și uscării membranei și otrăvirea cu poluanți, în special cu monoxid de carbon (CO) a catalizatorului de platină.

În vederea stabilirii algoritmului de management energetic se pornește de la caracteristicile Tensiune – Curent și Eficiență – Putere pentru un singur ansamblu de pile de combustibil și pentru doua ansambluri de pile de combustibil înseriate. În Figura 3 se prezintă caracteristica Tensiune (Putere) – Curent pentru ambele cazuri, pe întreg domeniul de operare. Aceste caracteristici V/I sunt păstrate în memoria UCC **200** și sunt comparate cu valorile instantanee ale tensiunii raportate la spectrul de putere totală.

În Figura 4 se prezintă eficiența energetică pentru ambele cazuri pe întreg domeniul de putere. Eficiența energetică a unui ansamblu de pile de combustibil FCs se definește drept raportul dintre energia electrică produsă și cea care s-ar fi putut produce prin arderea hidrogenului consumat de ansamblul de pile de combustibil la o temperatură de 25 °C și o presiunea de 101.3 kPa, luând în considerare toate sarcinile parazite de la bord. În caracteristica de eficiență nu sunt incluse consumul de putere al ventilatoarelor radiatorului de răcire, consumul de putere al pompei de recirculare a lichidului de răcire și randamentul convertorului CC/CC. Rezultă pe baza definiției că operarea cu eficiență mai mare este echivalentă cu operarea cu consum de combustibil mai redus.

În Figura 4 se observă existența unei zone operaționale în care eficiența maximă pentru cele doua ansambluri înseriate este aproximativ 55% pentru o putere de 40% din puterea totală, adică 25 kW. Aceași eficiență este și la operarea unui singur ansamblu de pile de combustibil de 20% din puterea totală.

Timpul de pornire al fiecărui ansamblu de pile de combustibil FCs este în jur de 20 de secunde, de la starea "oprit" la starea „pregătit de operare”. Acest timp este datorită porniri subsistemului auxiliar de alimentare cu reactanți. Consumul maxim de hidrogen este de 500 litri pe minut, respectiv de 2000 litri de aer. Hidrogenul este uscat de o puritate mai mare de 99.98%, iar ca și oxidant este aer ambiental. Agentul de răcire este apă deionizată. ECU local al FCs permite o comunicație pe magistrală CAN cu standardul CAN 2.0 A (11 biți).

În figura 5 este prezentată secvența de pornire a FCHEV. La punerea în contact a cheii la bordul FCHEV **S1** sunt cuplate releele de 12 Volți **S2** care cuplează alimentarea consumatorii de joasă tensiune **S3**. În următoarea etapă UCC **200** inițiază protocolul de comunicație CAN cu toate sistemele electronice de control local **S4**, apoi se verifică disponibilitatea fiecărui echipament pe liniile CAN dacă sunt pregătite de funcționare. Dacă comunicația este în regula se trece în faza **S7**, dacă nu sunt remediate erorile de transmisie și se reia procesul din **S4**. În faza **S7** este cuplat la convertorul **119** ieșirea bateriei **116**, după ce a fost activat circuitul de protecție al preîncărcării bateriei de 200 de volți. După faza de preîncărcare la intrare convertorul Bat200V/CC avem fluxul de putere furnizat de sistemul de baterii



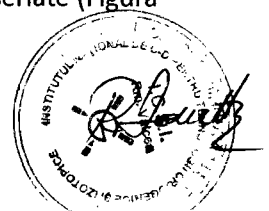
de 200 volți. Acest convertor este controlat de o metoda de control prezentată în figura 6. Secvența **S9** asigură încărcarea sistrului de baterii de joasă tensiune, controlând convertorul din poziția **122**. După ce pe magistrala de înaltă tensiune avem asigurată tensiunea de 400 volți și bateriile de joasă tensiune **124** sunt încărcate din bateria mare **116**, se configurează dispozitivul de cuplare al ansamblurilor de pile de combustibil. Algoritmul de control care configurează PDUdualFCs 300 este prezentat în figura 7. **S11** are rolul de controla eficient energia produsă de ansamblurile de pile de combustibil **101** și **104**. Metoda de control este prezentată în figura 7.

În figura 6 este prezentată metoda de control a curentului de încărcare și descărcare al sistemului de baterii de 200 volți **116**. Metoda de control utilizează un regulator de tip PI care are ca intrare valoarea stării de încărcare a bateriei (SoC) și valoarea prestată a tensiunii pe magistrala de curent continuu de 400 volți. Regulatorul compară diferența dintre tensiunea măsurată și valoarea prestată și în cazul unei valori negative regulatorul PI calculează valoarea curentului de descărcare în domeniul de 0 A - 500 A, invers în cazul unei valori pozitive regulatorul PI calculează valoarea curentului de încărcare în domeniul de 0 A - 250 A. Creșterea tensiunii peste 400 volți este datorată în special energiei de recuperare din frânare care trebuie redirecționată către bateriei, o scădere sub 400 de volți apare în fazele de accelerare bruscă a vehiculului. Regulatorul de tip PI eșantionează informația la fiecare 200 milisecunde controlând rapid în funcție de situație valoare curentului furnizat de convertorul Bat200V/CC. Metoda de control rulează în UCC **200** și transmite valoarea curentului pe linie CAN convertorului Batt200V/CC. Dacă valoarea SoC este sub/peste pragul de referință, sub 20% și peste 85%, sistemul de baterii este decuplat. Regulatorul PI este acordat on-line și menține valoarea tensiunii pe magistrala CC de $\pm 2\%$ din valoarea setată.

În figura 7 este prezentată metoda de control a dispozitivului de cuplare ansambluri de pile de combustibil. Metoda de control analizează doi parametri tehnici, un parametru este timpul de funcționare al fiecărui ansamblu de pile de combustibil (FCs1 , FCs2) și al doilea este valoarea de tensiune a ansamblului de combustibil, în timp real, care este comparată cu valoarea implicită din caracteristica tensiune/curent, din Figura 3. Dacă această valoare se depreciază cu 10% atunci ansamblul în cauză este ocolit, activând o procedură de condiționare a pilei de combustibil, în care sunt purjate compartimentele de la anod și catod pentru redeshidratarea membranei fără constrângeri legate de producerea de energie. După ce sistemul de baterii **116** este cuplat la PDU400V **109** este inițiată pornirea ansamblurilor de pile de combustibil, în **C1**. În etapa **C2**, vehiculul FCHEV este pus în mișcare, dacă puterea motorului este mai mare decât puterea optimă de funcționare a celor doua ansambluri (din figura 4) de 25 kW este rulată secvența cu două ansambluri cuplate în serie, invers varianta cu un singur ansamblu de pile de combustibil.

În varianta de funcționare cu un singur ansamblu, în continuare este verificat timpul de funcționare anterior al celor doua ansambluri, astfel încât se asigură ca ambele ansambluri au timpi de funcționare egali. După sunt activate FCs1 **C5**, respectiv FCs2 **C6**. După intrarea în funcționare a ansamblului de pile de combustibil este monitorizata tensiunea acestuia la fiecare 0.2 secunde. Dacă această tensiune coboară cu 10% sub valoare tensiunii înregistrată într-un tabel în memoria UCC. Acel ansamblu este decuplat din circuitul de putere **300**, funcția lui fiind luată de celălalt ansamblu de pile de combustibil. Ansamblului depreciaat fiindu-i aplicată o procedură de recondiționare prin care ajunge în parametri optimi de funcționare (**C12**, **C6**). Ansamblului care este pregătit de funcționare i-se cuplează releele (**C11**, **C13**) și timpul de funcționare este monitorizat (**C15**, **C17**).

Pe ramura cu doua ansambluri de pile, la fel este monitorizată tensiune în timp real și dacă aceasta este în regulă (**C10**) sunt cuplate releele astfel încât la ieșire avem doua pile înseriate (Figura 2.2.), sunt monitorizați timpi de funcționare.



Această metodă de control asigură că ansamblurile de pilele de combustibil sunt configurate astfel încât să avem o eficiență maximă a sistemului de pile de combustibil, un timp de funcționare aproximativ egal pentru cele doua ansambluri și o procedură de verificare a stării de funcționare a ansamblurilor în timp real.

Această metodă oferă mai multă redundanță decât sistemele cu un singur ansamblu de pile de combustibil. Această redundanță este utilizată pentru a activa funcționarea cu toleranță la defecte. Defecțiunile sunt mai frecvente la pilele de combustibil, dar pot apărea și la convertorul de putere. Defecte comune ale pilelor de combustibil sunt uscarea, inundarea și otrăvirea celulelor. În acest mod segmentarea sistemului FC permite detectarea la anumite capacități de detectare a defecțiunilor (inundarea și uscarea anumitor ansambluri).

Această metoda de control este rulată în UCC 200 și cuplează/decuplează releele din 300, în funcție de descrierea de mai sus. Metoda nu controlează implicit puterea furnizată de cele două ansambluri, managementul de putere al pilei de combustibil fiind controlat în figura 7. Unde cele doua ansambluri sunt văzute ca un singur sistem de pile de combustibil.

În Figura 8 este prezentată o metodă de control bazată pe un set de opt reguli. În urma acestor reguli este determinată puterea sistemului de pile de combustibil raportată la starea de încărcare a sistemului de baterii, valoarea puterii necesare consumatorului (motorului) și a condițiilor de rulare ale vehiculului (acelerație și viteză). Prin acest tip de strategie sunt decise punctele de funcționare ale sistemului de pile de combustibil cu obiectivul de a maximiza eficiența sistemului. Valorile puterii minime, optime și maxime ale sistemului de pile de combustibil și ale valorii stării de încărcare a baterii sunt selectate pe baza limitelor de curent și tensiune, astfel $P_{FCSmin} = 9500 \text{ W}$; $P_{FCSmax} = 60000 \text{ W}$; $P_{FCSopt} = 25000 \text{ W}$; $SoC_{min} = 20\%$; $SoC_{max} = 85\%$; $SoC_{nom1} = 35\%$; $SoC_{nom2} = 70\%$. Metoda de control folosește un controler cu histerezis pentru a comuta între stări astfel evitând oscilațiile între stări. După cum se arată, ieșirea algoritmului este referința pentru puterea pilei de combustibil, din care, prin împărțire la tensiunea pilei de combustibil și în funcție de eficiența convertorului 107, se obține curentul de referință al pilei de combustibil. În acest algoritm de management energetic, așa cum se poate vedea în Figura 7, pila de combustibil funcționează la o putere minimă atunci când SoC-ul bateriei este ridicat și puterea motorului este sub minimul de putere al sistemului de pile de combustibil (starea 1). Pentru a evita porniri/opriri FC în momentul în care vehiculul staționează algoritmul setează ca FC să ruleze la putere minimă. Din tabelul stărilor este observat ca FC rulează în punctul de eficiență maximă de 25 kW când sunt îndeplinite condițiile din starea 3 și 4. De regula în aceste stări vehiculul rulează marea majoritate a timpului (40%-50%), pentru un ciclu de conducere EUDC. FCS rulează la putere maximă numai în starea 6 și 8, lucru care se întâmplă foarte rar, sub 5%, numai când sistemul de baterii este foarte descărcat. În rest FCS furnizează o putere egală cu puterea motorului (20%-30%).

În figurile 9, 10, 11 și 12 sunt prezentate imagini din desfășurarea construcției vehiculului FCHEV. În figura 13 este prezentată interfața programului software, în care sunt observați mai mulți parametri de monitorizare și control.



Revendicări

1. Vehicul hibrid electric alimentat cu pile de combustibil FCHEV , compus din:
 - doua ansambluri de pile de combustibil (101, 104) controlate independent, având subsisteme auxiliare de alimentare proprii (102, 105) și sisteme electronice de control local (103, 106);
 - dispozitiv programabil pentru cuplarea electrică a doua ansambluri de pile de combustibil (300) cu interfața unui convertor unidirecțional de putere (107) la magistrala de curent continuu a unui FCHEV (109);
 - sistem de baterii (116) ca și sistem auxiliar de stocare conectat la un convertor bidirecțional programabil (119) conectate la o unitatea de distribuție a puterii (109) folosind circuite de preîncărcare (118, 121);
 - sistem de baterii de joasă tensiune (124) conectate la (109) printr-un convertor unidirecțional (122)
 - motor electric (113) alimentat de un invertor (110) care transmite mișcarea la roți (115) printr-o unitate de transmisie (114);
 - componentele 103, 106, 108, 117, 120, 123, 125 și 111 sunt conectate printr-o comunicație CAN cu 200;
2. O secvență de pornire a unui vehiculul FCHEV prezentat în revendicarea 1, **caracterizată prin aceea că**, inițiază punerea în funcțiune a vehiculului FCHEV conform a trei metode de control:
 - prima metoda are rolul de control al curentului de încărcare și descărcare al sistemului de baterii de 200 volți (116) prin convertorul Batt200V/CC (119) utilizând un regulator de tip PI, **caracterizată prin aceea că**, asigură necesarul de putere motorului electric menținând valoarea tensiunii pe magistrala CC la aproximativ $\pm 2\%$ din valoarea setată de 400 volți;
 - a doua metodă controlează dispozitivului de cuplare ansambluri de pile de combustibil (300) **caracterizată prin aceea că**, crește eficiența pilei de combustibil, alocă timpi de funcționare egali pentru cele doua ansambluri de pile de combustibil, și crește durata de viață normata a ansamblurilor prin monitorizarea tensiuni;
 - a treia metodă de control optimizează puterea generată de sistemul de pile de combustibil, folosind un controler bazat pe 8 reguli, **caracterizată prin aceea că**, pila de combustibil funcționează pe paliere constante de putere, evitând ciclurile de pornire/oprire, rulând 40% - 50% din timpul în punctul de eficiență maximă.



53

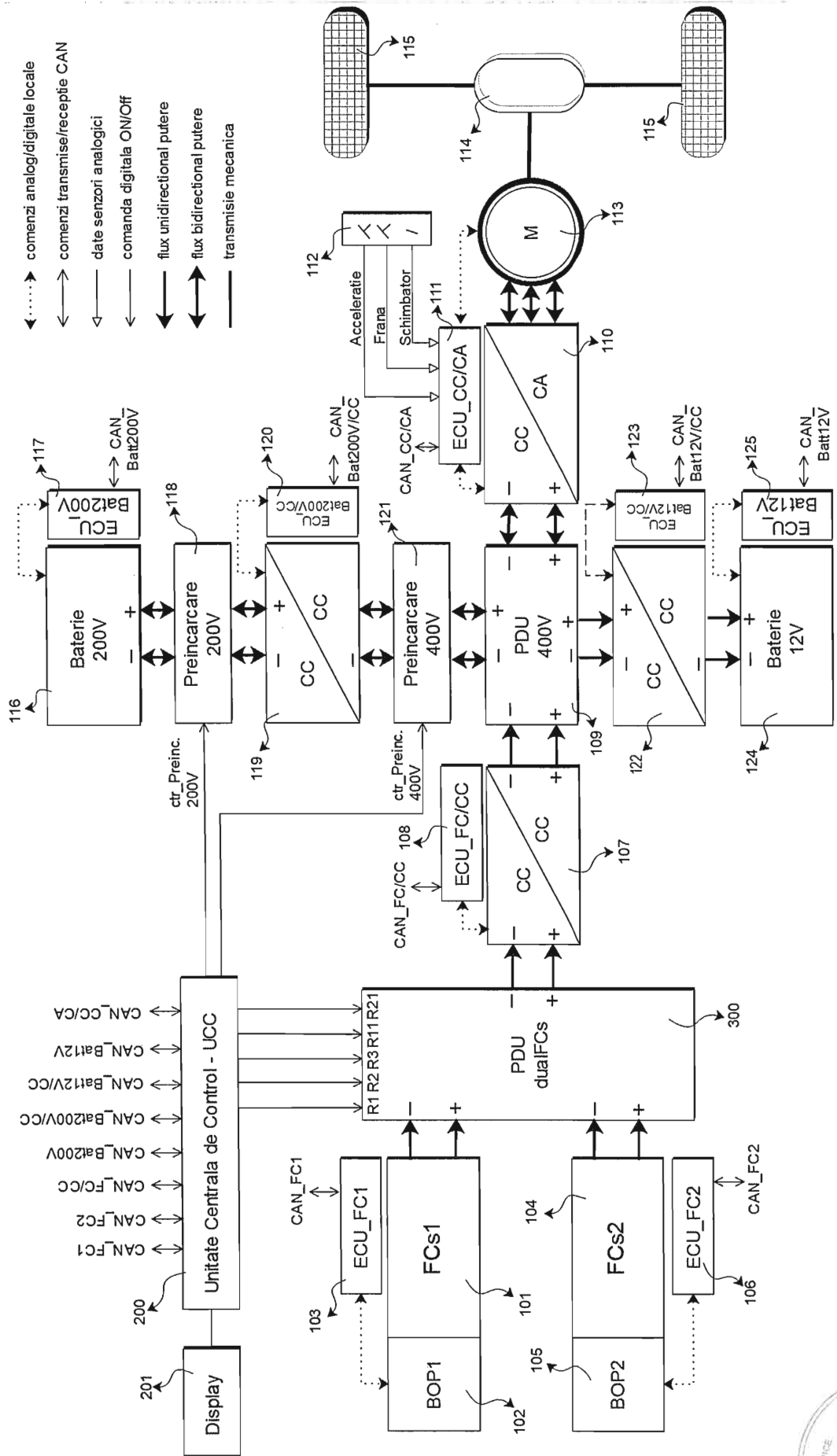


Figura 1.



52

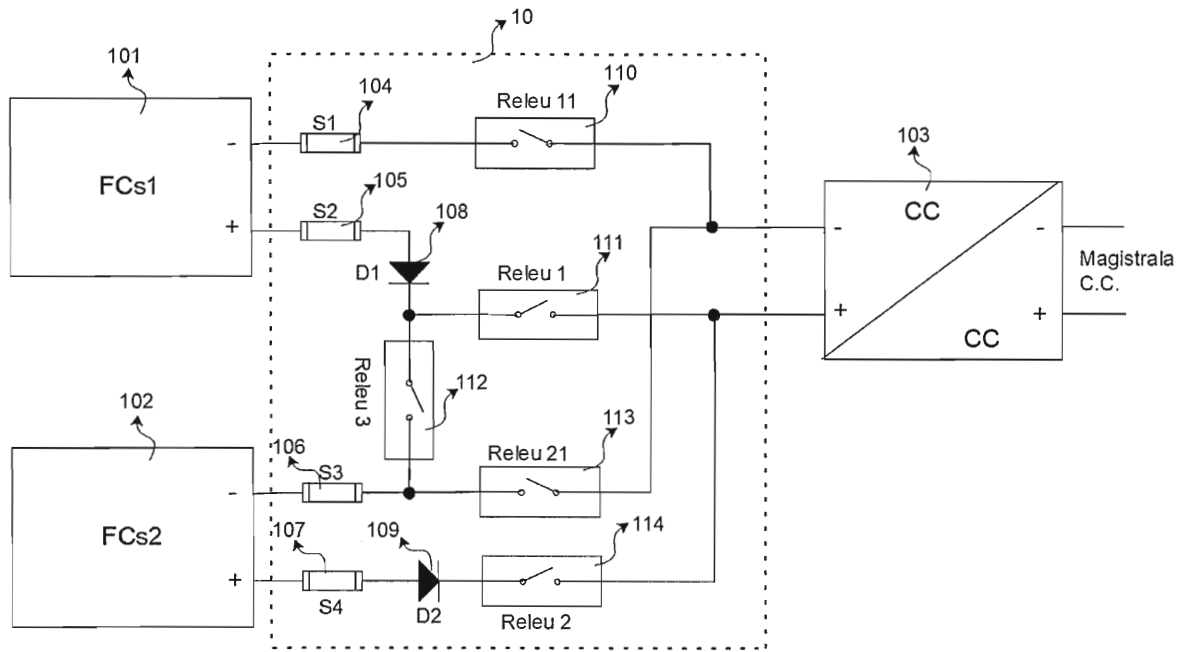


Figura 2.1.

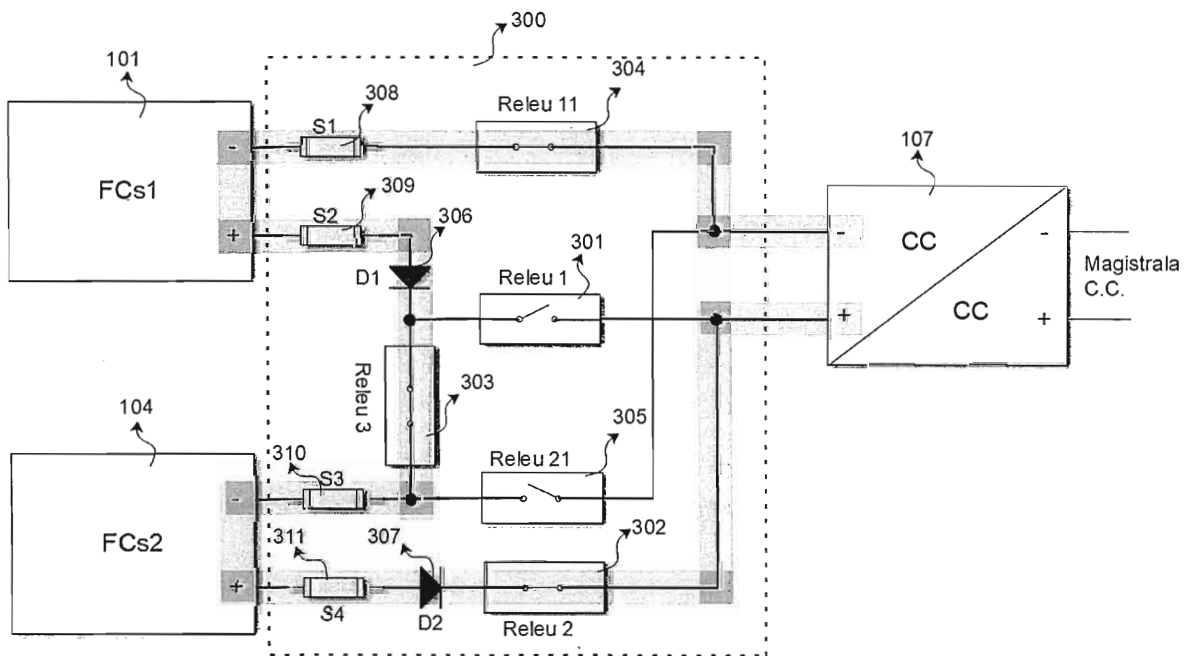


Figura 2.2.

[Handwritten signatures and marks]



[Handwritten signature]

51

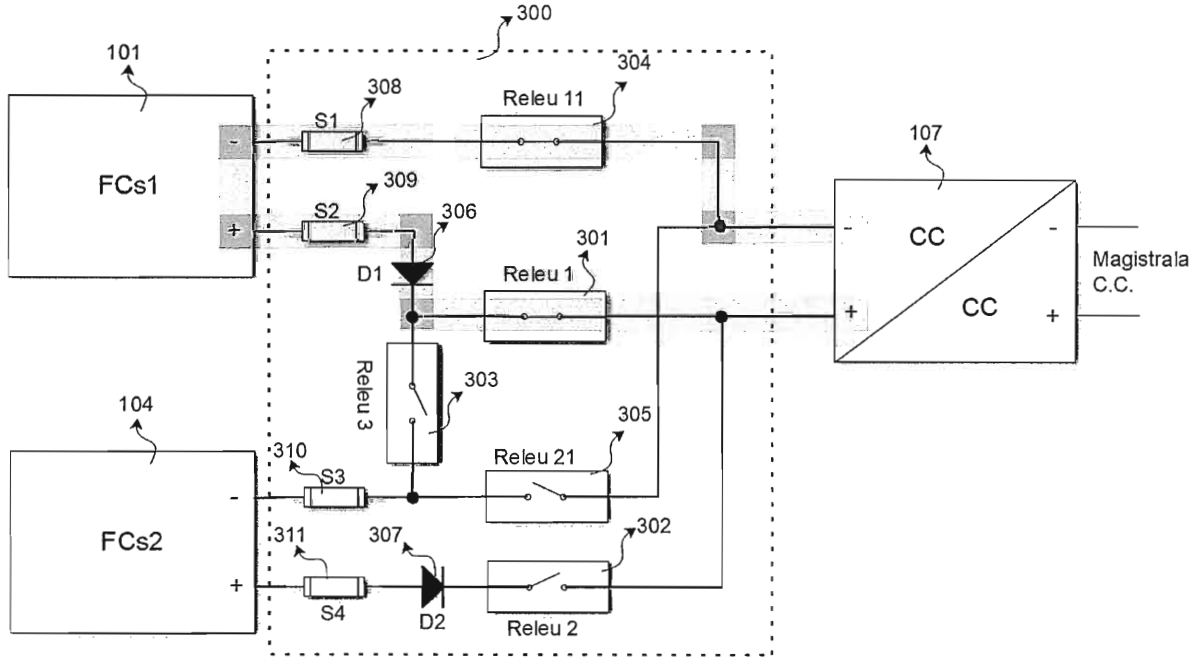


Figura 2.3.

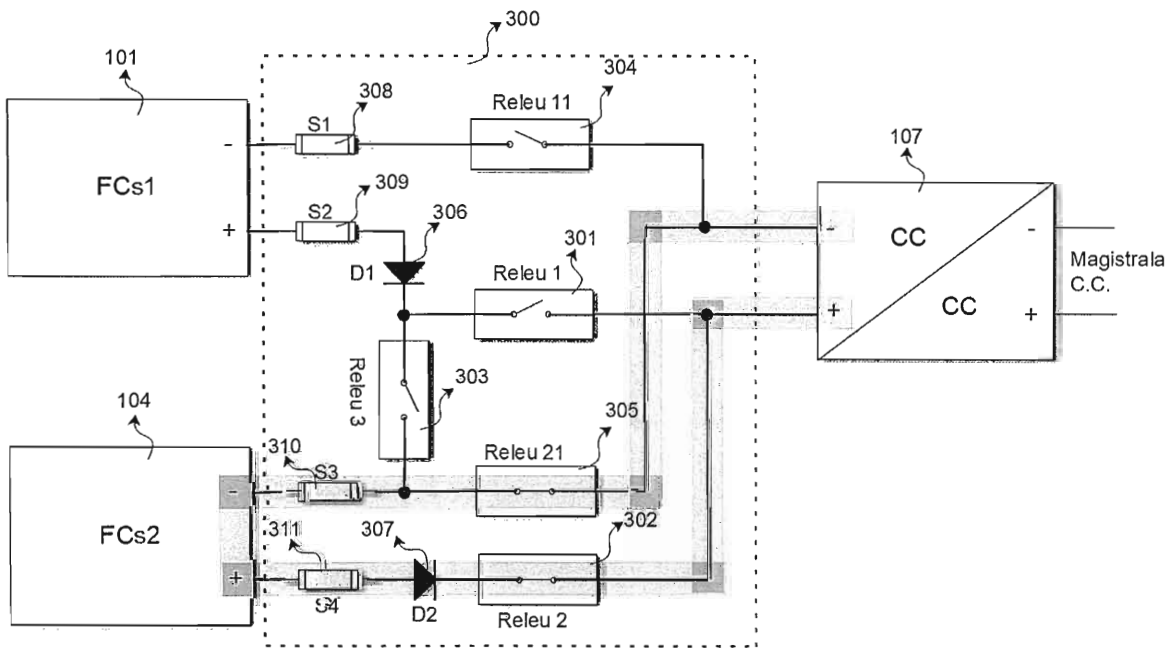


Figura 2.4.

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]



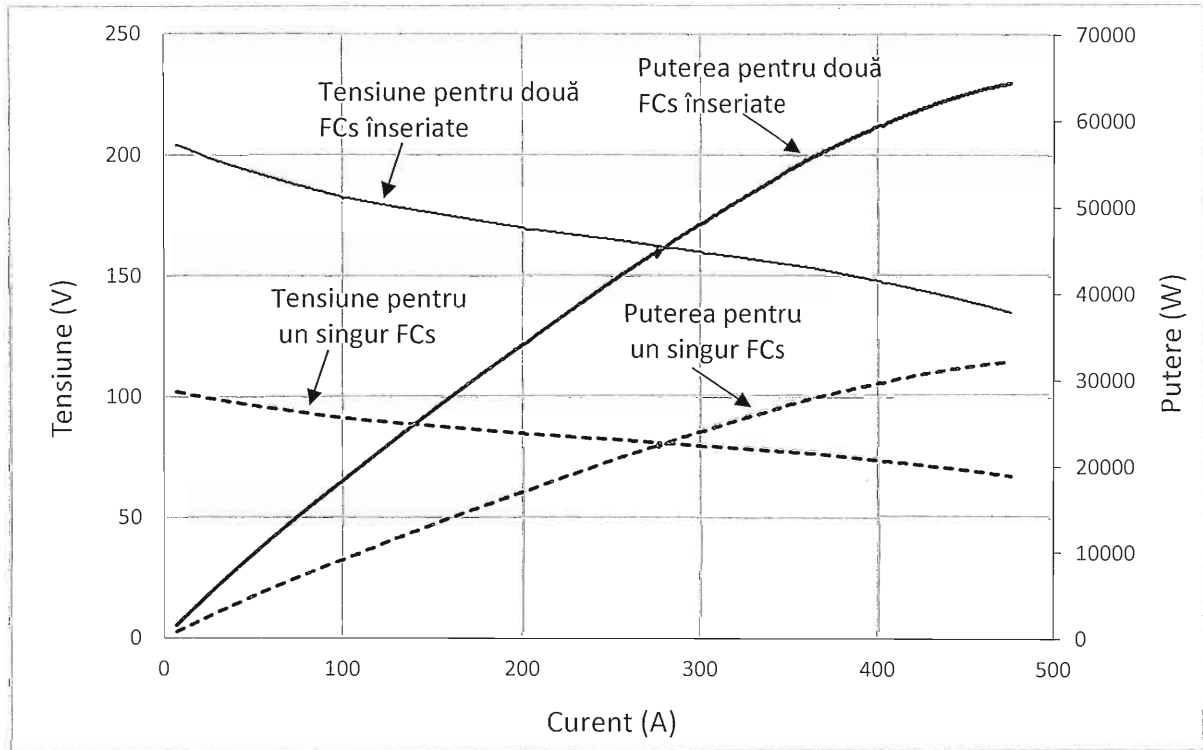


Figura 3.

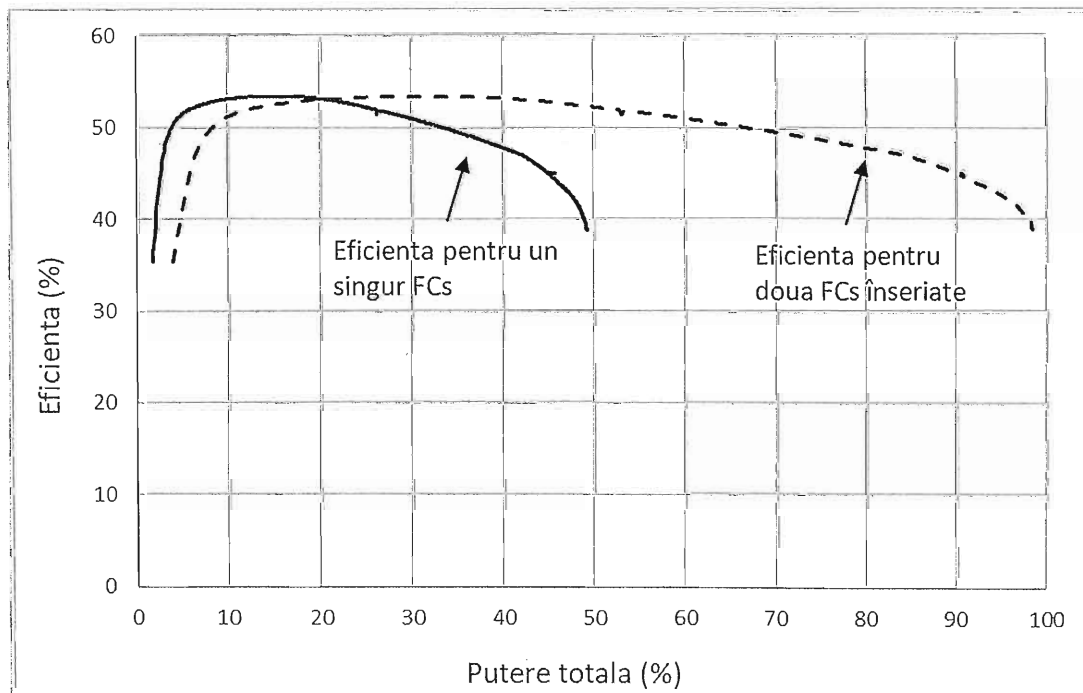


Figura 4.

Handwritten signatures and initials.



49

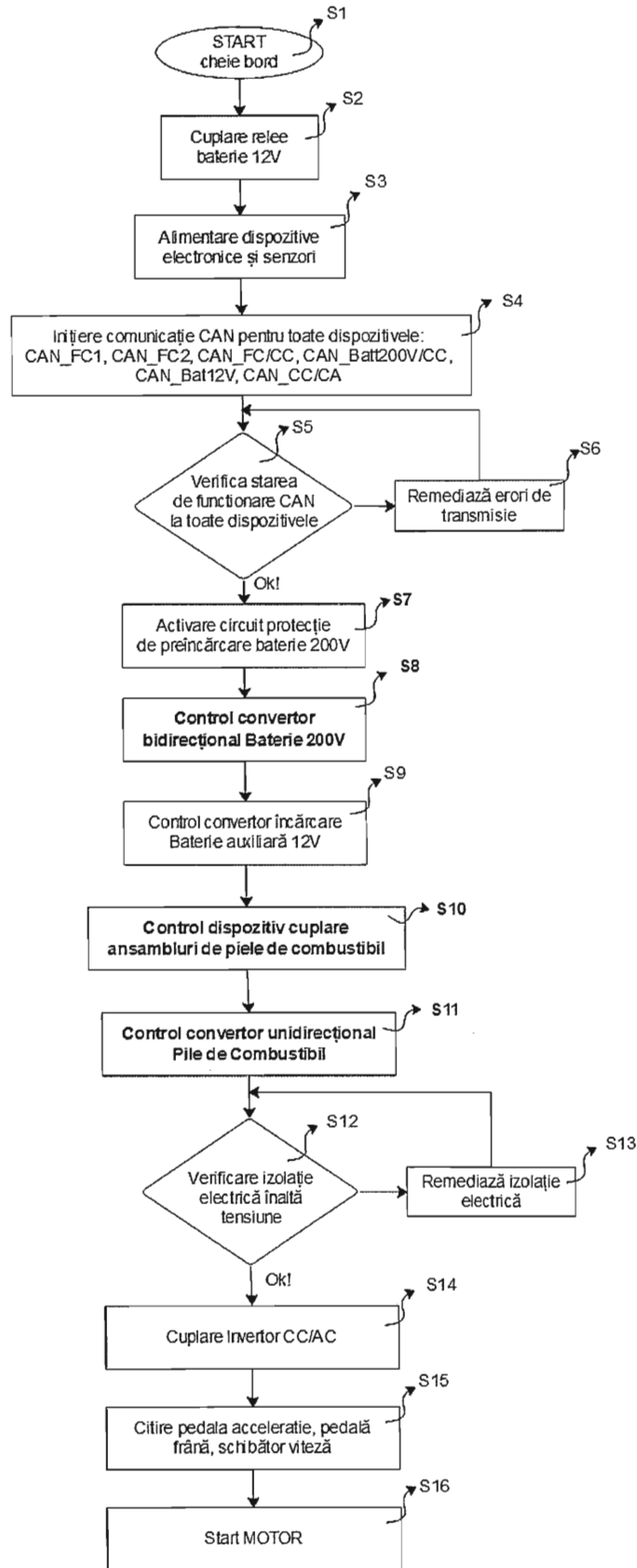


Figura 5.

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]



48

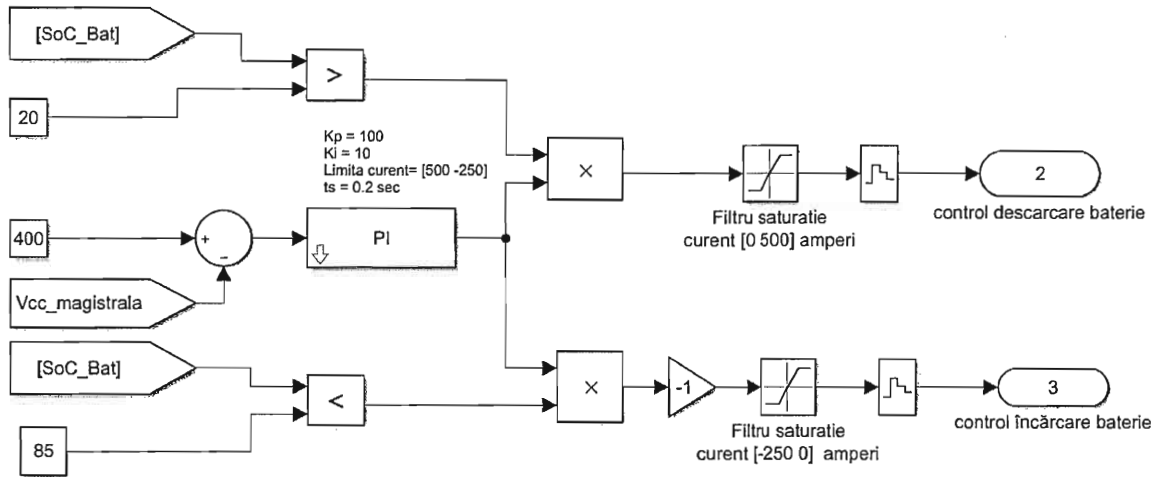


Figura 6.

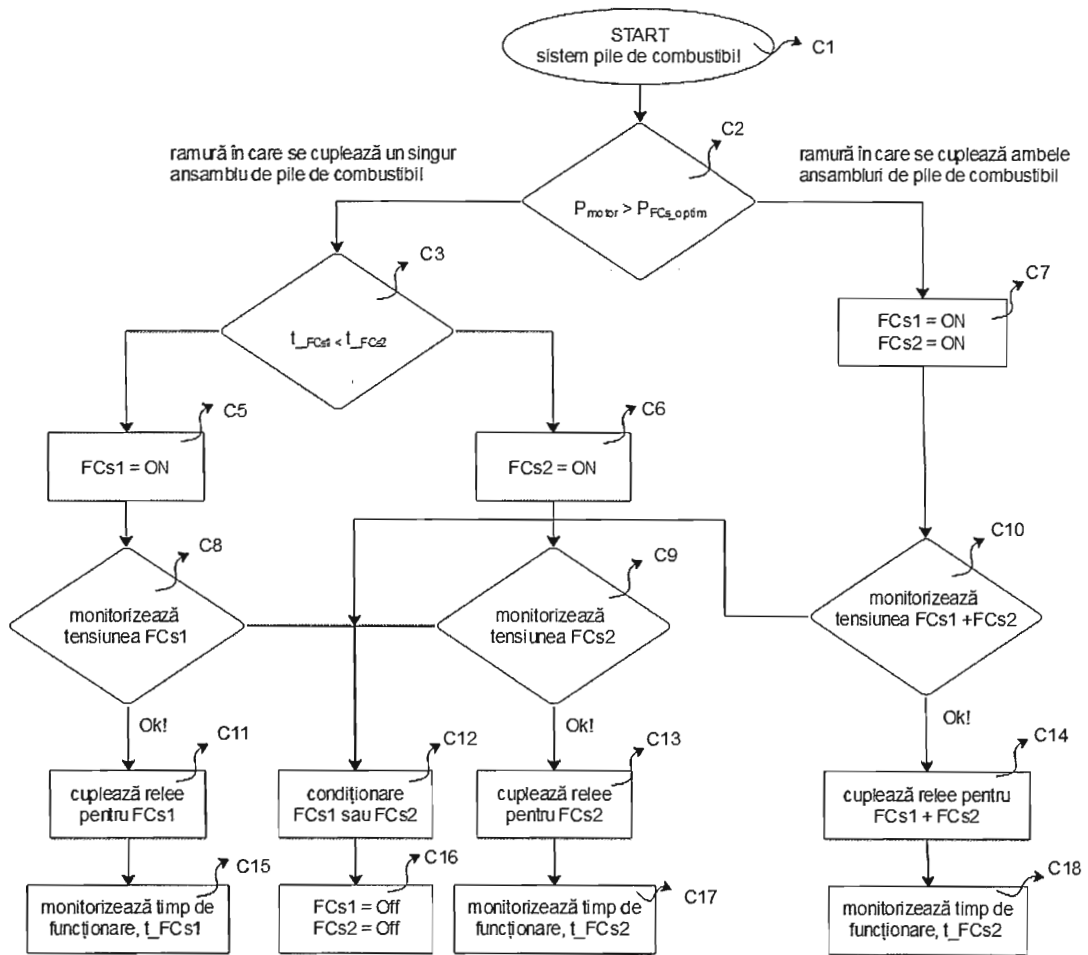


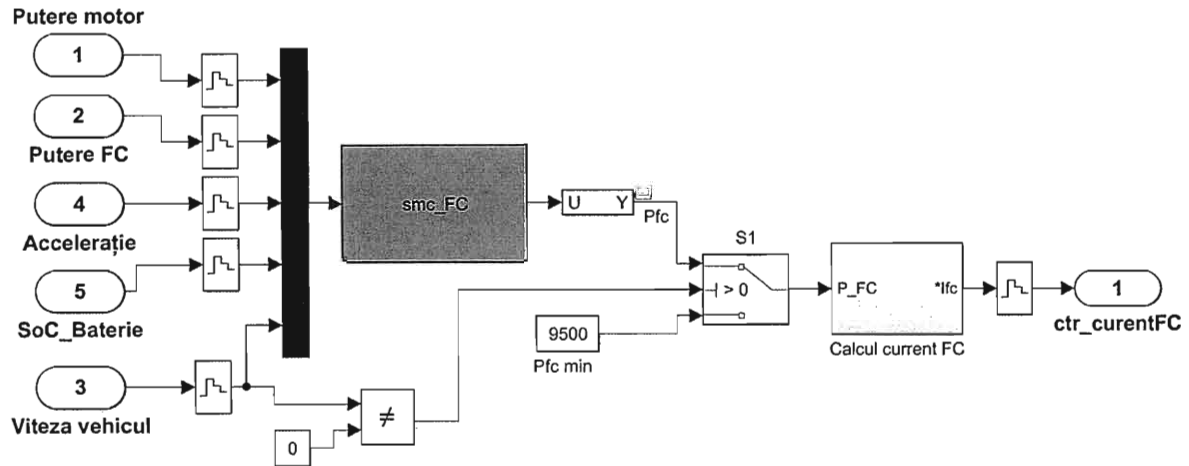
Figura 7.

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]



47



| Stare ^a | Condiție-de-operare ^a | Putere-calculată-FCS ^a |
|--------------------|--|-----------------------------------|
| 1 ^a | $SoC > SoC_{max} \ \& \ P_{motor} < P_{FCSmin}$ | $P_{FCS}^* = P_{FCSmin}$ |
| 2 ^a | $SoC > SoC_{max} \ \& \ P_{motor} \in [P_{FCSmin}, P_{FCSmax}]$ | $P_{FCS}^* = P_{FCSsarcină}$ |
| 3 ^a | $SoC > SoC_{max} \ \& \ P_{motor} < P_{FCSmax}$ | $P_{FCS}^* = P_{FCSopt}$ |
| 4 ^a | $SoC \in [SoC_{nom1}, SoC_{nom2}] \ \& \ P_{motor} < P_{FCSopt}$ | $P_{FCS}^* = P_{FCSopt}$ |
| 5 ^a | $SoC \in [SoC_{nom1}, SoC_{nom2}] \ \& \ P_{motor} \in [P_{FCSopt}, P_{FCSmax}]$ | $P_{FCS}^* = P_{FCSsarcină}$ |
| 6 ^a | $SoC \in [SoC_{nom1}, SoC_{nom2}] \ \& \ P_{motor} \geq P_{FCSmax}$ | $P_{FCS}^* = P_{FCSmax}$ |
| 7 ^a | $SoC < SoC_{nom2} \ \& \ P_{motor} < P_{FCSmax}$ | $P_{FCS}^* = P_{FCSsarcină}$ |
| 8 ^a | $SoC < SoC_{nom2} \ \& \ P_{motor} \geq P_{FCSmax}$ | $P_{FCS}^* = P_{FCSmax}$ |

Figura 8



46

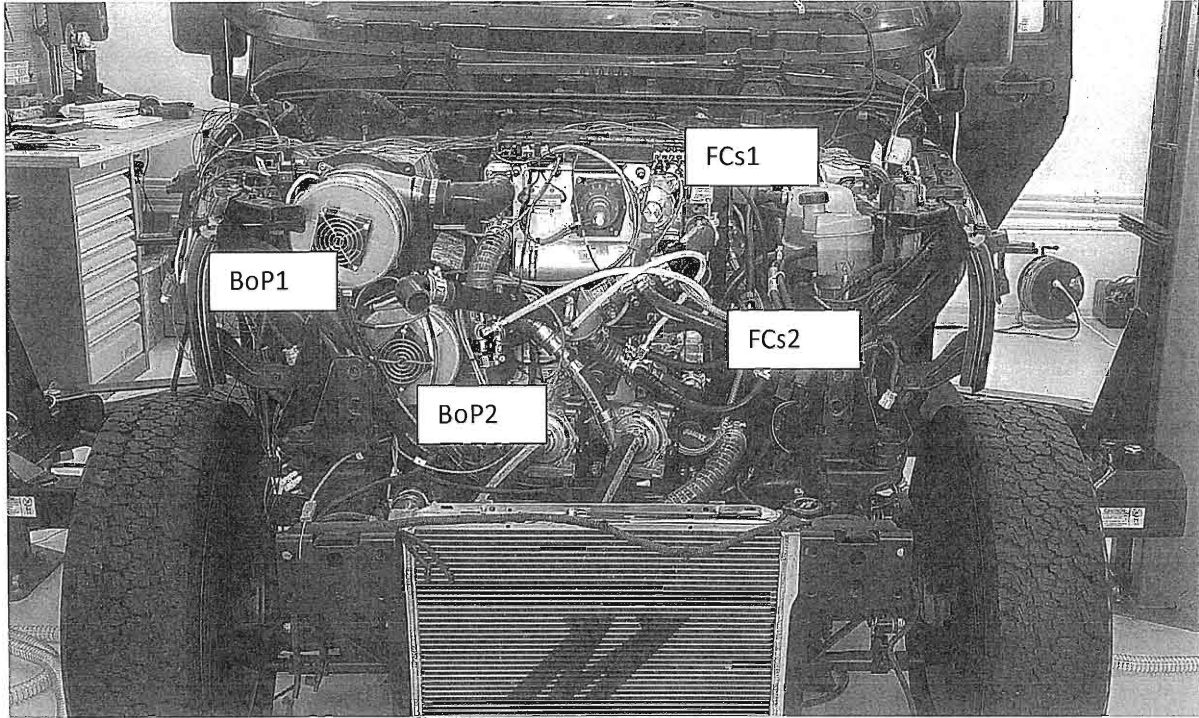


Figura 9.1.

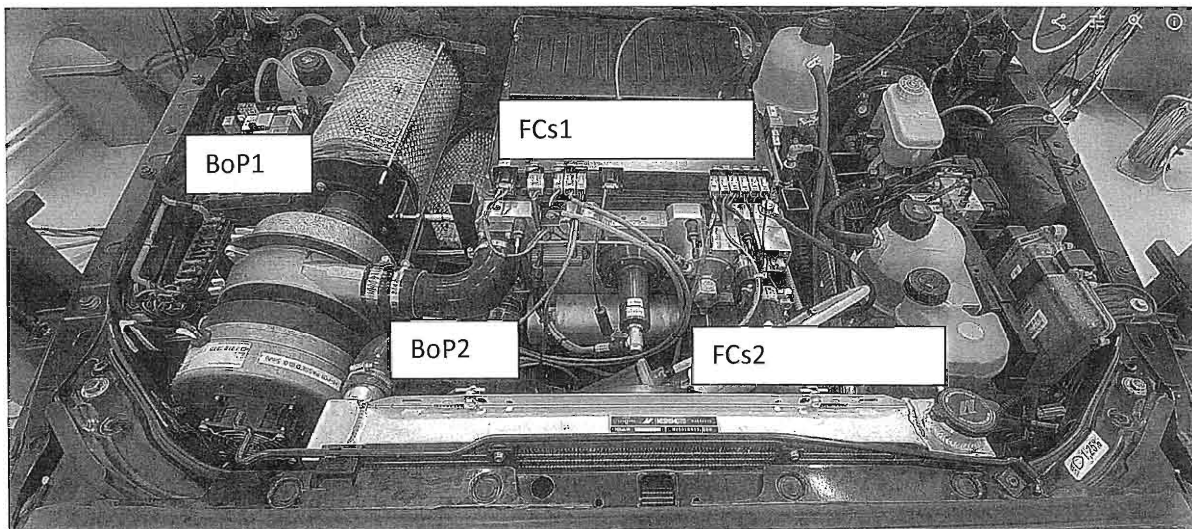


Figura 9.2.

for *at* *Edin* *jo*



45



Figura 10.

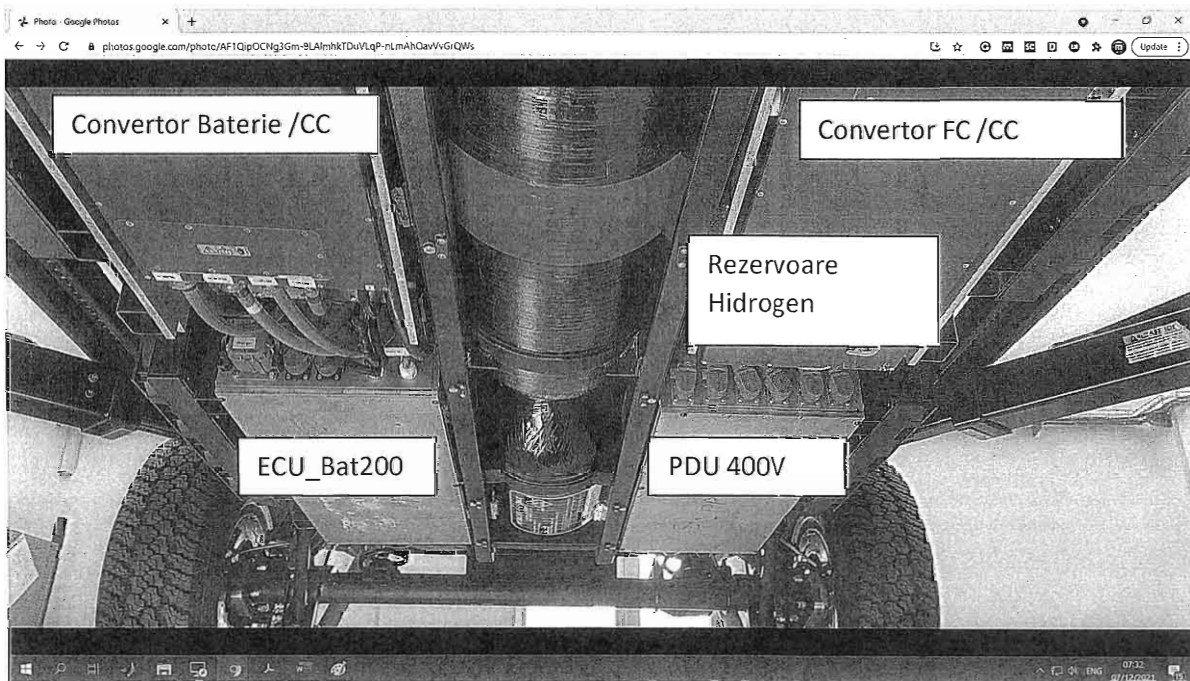


Figura 11.

[Handwritten signature]



yh



Figura 12.

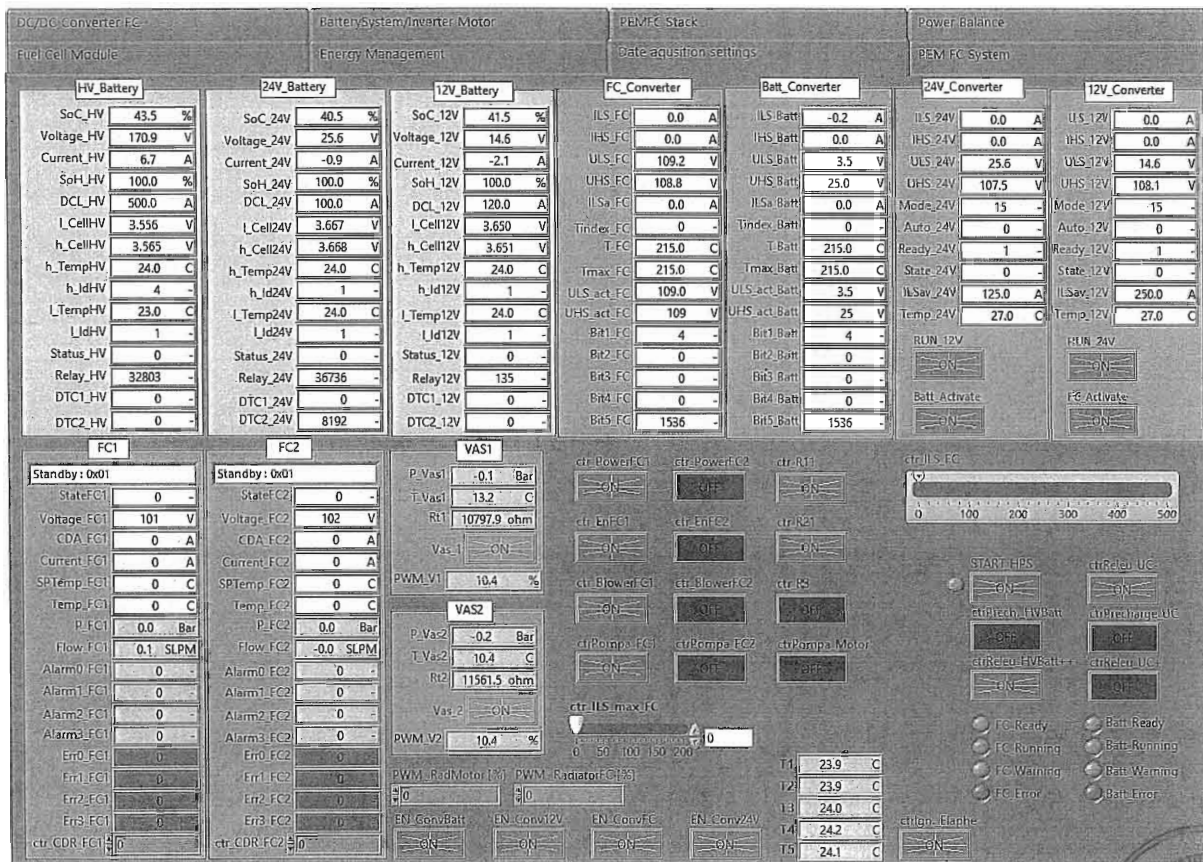


Figura 13.

for at ECU

