

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2012 00685

(22) Data de depozit: 26.09.2012

(41) Data publicării cererii:
30.04.2014 BOPi nr. 4/2014

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

(72) Inventatori:
• VARLAM MIHAI, STR. V.OLĂNESCU
NR. 14, BL.C10, AP.13, RÂMNICU VÂLCEA,
VL, RO;
• CULCER MIHAIL,
STR. GRIGORE PROCOPIU NR. 4, BL. 18,
SC. D, ET. 2, AP. 5, RÂMNICU-VÂLCEA, VL,
RO;

• RĂCEANU MIRCEA, STR. SUB COASTĂ
NR.2, BĂILE OLĂNEȘTI, VL, RO;
• ILIESCU MARIANA, ALEEA COCORILOR
NR. 2, BL. 21, SC. B, ET. 4, AP. 17,
RÂMNICU-VÂLCEA, VL, RO;
• ENACHE ADRIAN,
STR. MR. V. POPESCU NR. 6, BL. P4,
SC. A, ET. 1, AP. 6, RÂMNICU-VÂLCEA, VL,
RO;
• ȘTEFĂNESCU IOAN,
BD.NICOLAE BĂLCESCU NR.4,
RÂMNICU VÂLCEA, VL, RO;
• STANCIU VASILE,
STR.CALEA LUI TRAIAN NR.135, BL.N2,
SC.A, ET.3, AP.9, RÂMNICU VÂLCEA, VL,
RO

(54) STAȚIE ENERGETICĂ DE MICĂ PUTERE, REALIZATĂ CU
PILE DE COMBUSTIBIL DE TIP PEM

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o stație energetică de mică putere, până la maximum 5 kW, și la modalitatea de control utilizată pentru adaptarea puterii generate de stație la necesitățile consumatorului. Stația energetică conform invenției cuprinde un ansamblu (100) de pile de combustibil de tip PEM (Proton Exchange Membrane), alimentat cu hidrogen (20) și aer (40), fiind gestionată prin intermediul unui controler (200) programabil de automatizare, condus de un calculator (300), pentru a asigura în orice moment necesarul de putere pe sarcină (1), un sistem de gestionare a temperaturii de funcționare a ansamblului (100) de pile de combustibil de tip PEM, un sistem de gestionare optimizată a umidificării reactanților, un sistem de gestionare a alimentării cu hidrogen (20) și aer (40) în corelație cu sarcina (1), și un sistem de monitorizare, comandă și control al funcționării stației energetice.

Revendicări: 14
Figuri: 10

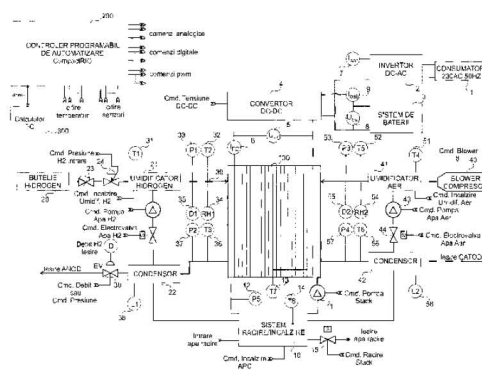
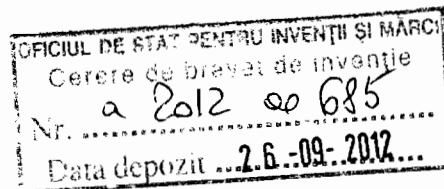


Fig. 1

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).



105



DESCRIEREA INVENTIEI

Inventia se refera la o statie energetica de mica putere , pana la max. 5 kW electric, realizata cu pile de combustibil cu membrana schimbatoare de protoni (PEM- Proton Exchange Membrane), si la modalitatea de control utilizata pentru adaptarea puterii generate de statie la necesitatile consumatorului.

Pilele de combustibil sunt dispozitive electrochimice capabile sa converteasca in mod direct energia chimica eliberata in urma reactiei dintre un combustibil si un oxidant in energie electrica, si sunt de mai multe tipuri, in functie de configuratie si de combustibilul utilizat.

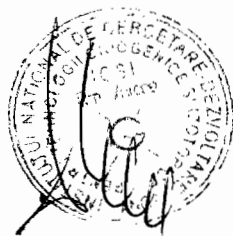
Raspandirea acestora pe scara din ce in ce mai larga se datoreaza eficientei ridicate, versatilitatii si impactului redus (sau chiar nul, in cazul pilelor alimentate cu hidrogen) asupra mediului.

Pilele de combustibil de tip PEM au anodul si catodul realizati din tesatura sau hartie din fibra de carbon impregnata cu un catalizator metalic din grupa platinei. Electrozii sunt separati de un electrolit solid sub forma de membrana realizata dintr-un polimer sulfonat avand conductibilitate protonica dar nu si electronica, permitand transportul ionilor de hidrogen (protoni) de la anod la catod si determinand stabilirea in circuitul exterior a unui curent electric circuland de la anod la catod.

Alimentarea pilelor de combustibil de tip PEM se face cu hidrogen la anod si oxigen sau un amestec continand oxigen (de exemplu aer) la catod.

Conductivitatea protonica a membranei este favorizata de prezenta moleculelor de apa, o membrana insuficient hidratata conducand la reducerea semnificativa a puterii generate de pila de combustibil. Deasemenea, functionarea cu membrana uscata reduce durata de viata a acesteia. Din aceasta cauza este important ca in interiorul fiecarei pile de combustibil sa fie mentinuta o cantitate suficienta de umiditate, conditie satisfacuta prin utilizarea de gaze de alimentare umidificate.

Pe partea catodica a celulei de combustibil se produce apa in urma reactiei dintre ionii de hidrogen (protoni) furnizati la anod, care au trecut prin electrolitul solid (membrana), si oxigenul din aerul furnizat la catod. Acumularea acesteia este posibila in anumite conditii si are drept urmare inundarea electrodului, cu reducerea consecutiva a disponibilului de oxidant, deci si a puterii furnizate.



Handwritten signature and initials at the bottom right of the page.

Reactia electrochimica catalizata intre fluxul de combustibil (hidrogen) furnizat la anod si cel de oxidant (oxigen sau aer) furnizat la catod este caracterizata de o valoare definita si limitata a diferentei de potential maxime intre cei doi electrozi si produce atat energie electrica cat si caldura.

Pentru cresterea tensiunii furnizate se utilizeaza conectarea in serie a mai multor pile de combustibil intr-un ansamblu de pile de combustibil (numit in continuare APC). Aceasta conectare se realizeaza fizic prin alaturarea sub forma de sandwich a pilelor, ceea ce poate conduce la supraincalzirea acestora pe seama caldurii de reactie, mergand pana la distrugerea ansamblului membrana- electrod.

Modul de operare al unui ansamblu de pile de combustibil de tip PEM trebuie sa raspunda cerintelor legate de:

- alimentarea in vederea asigurarii stoichiometriei reactiei si a preintampinarii deficitului de reactanti;
- asigurarea nivelului optim de umidificare a reactantilor;
- managementul termic, care trebuie sa mentina ansamblul de pile de combustibil la temperatura optima de functionare.

Din punct de vedere al alimentarii cu hidrogen la anod, APC de tip PEM poate fi operat in trei moduri;

- Cu iesirea anodica deschisa, caz in care alimentarea este continua si controlata prin debit. Fluxul de hidrogen parcurge continuu circuitul anodic al ansamblului, debitul fiind determinat de valoarea curentului generat si trebuind sa fie dimensionat astfel incat sa depaseasca in orice moment stoichiometria. Daca debitul de hidrogen este insuficient (substoichiometric), APC va absorbi aer pe la iesirea anodica, ceea ce poate produce oxidarea si deteriorarea ireversibila a catalizatorului. In anumite situatii, in care in circuitul anodic se produce o acumulare de apa pe seama difuziei retrograde a apei generate la catod, devine necesara marirea semnificativa a debitului de hidrogen, pentru evacuarea acestuia.
- Cu iesirea anodica inchisa, caz in care alimentarea este intermitenta si controlata prin presiune. La intrare se mentine o presiune constanta, iesirea circuitului anodic fiind



Handwritten signatures and initials at the bottom right of the page.

inchisa prin intermediul unei valve, care este comandata sa se deschida periodic, in vederea purjarii anodului. Frecventa si factorul de umplere al semnalului de comanda sunt determinate de valoarea curentului generat.

- Cu recirculare anodica, ceea ce presupune intoarcerea la intrare a excesului de reactant (hidrogen) neutilizat de la iesirea anodica. Acest mod de operare nu se utilizeaza decat in cazul in care alimentarea se face cu gaz pur.

Modurile de operare mentionate pentru alimentarea cu gaz la anod se pot utiliza si la catod, cu mentiunea suplimentara ca alimentarea cu iesirea catodica inchisa se utilizeaza numai daca pila lucreaza cu oxigen pur drept agent oxidant.

Exista in literatura diferite scheme de monitorizare, comanda si control al ansamblurilor de pile de combustibil de tip PEM [Claire H.Woo, J.B. Benziger, PEM fuel cell current regulation by fuel feed control- in Chemical Engineering Science 62 (2007) 957 – 968], [US 2005/0136296 A1 Controlling a Fuel cell system] care au aplicabilitate limitata in aplicatii de serie, in care se pune problema optimizarii consumului de hidrogen.

O problema tehnica pe care o poate rezolva inventia se refera la imbunatatirea acuratetei cu care statia energetica urmareste variatiile de putere cerute de sarcina, in conditiile unui consum minim de hidrogen, prin utilizarea a doua tehnici de alimentare cu hidrogen a ansamblului de pile de combustibil, in functie de regimul de functionare al sarcinii: alimentare discontinua in cazul functionarii sarcinii in regim static si alimentare continua in cazul functionarii sarcinii in regim dinamic. Se mentioneaza faptul ca sarcina functioneaza in regim static in cea mai mare parte a timpului, variatii bruste ale puterii absorbite producandu-se pe durate scurte de timp, cel mai frecvent la pornire - oprire, precum si la intrarea - iesirea de consumatori in / din sistem. Alimentarea discontinua este comandata de un semnal periodic de forma dreptunghiulara cu durata impulsului reglabila - semnal modulat pwm (pulse width modulation), al carui factor de umplere determina valoarea debitului de hidrogen la intrarea in pila. Modalitatea de comanda cu semnal pwm permite reglarea fina al debitului, ceea ce ofera posibilitatea de opera alimentarea APC cu stoichiometrie redusa, conducand la utilizarea celei mai mici cantitati de hidrogen pentru obtinerea unei anumite puteri la iesire.



Aceasta metoda de reglare nu se comporta bine la semnale de intrare cu viteza de variatie mare, asa cum este cazul la functionarea sarcinii in regim dinamic. Pentru a depasi acest obstacol, in cazul functionarii sarcinii in regim dinamic s-a adoptat metoda alimentarii continue, prin care variatiile de putere pe sarcina sunt satisfacute prin operarea APC cu stoichiometrie mare, ceea ce conduce insa la consumuri marite de hidrogen. Chiar daca aceasta metoda de reglare a puterii furnizate de APC functioneaza si in cazul sarcinii operand in regim static, utilizarea ca metoda unica de reglare ar creste nejustificat consumul de hidrogen, ceea ce reprezinta un obstacol destul de mare in aplicatii de serie.

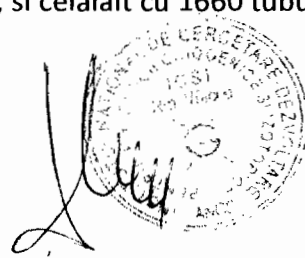
A doua problema tehnica pe care o poate rezolva inventia este aceea a cresterii acuratetei de reglare a debitului la functionarea in regim static prin utilizarea unui regulator fuzzy.

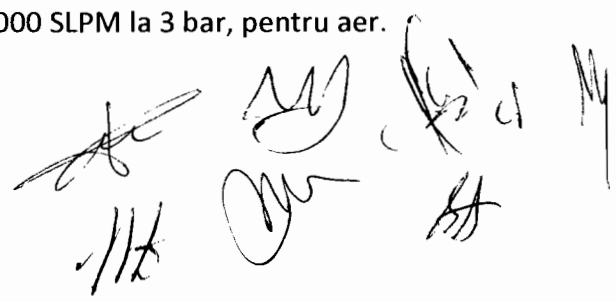
Statia energetica de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM conform inventiei cuprinde un ansamblu de pile de combustibil de tip PEM (APC), subansamblurile de gestionare a parametrilor de operare (debite, presiuni, temperaturi, umiditati) ai acestuia, subansamblurile care realizeaza adaptarea intre puterea generata de APC si cea ceruta de sarcina si subansamblul de monitorizare, comanda si control condus cu un calculator PC.

APC (100) este realizat dintr-o succesiune de 40 pile de combustibil de tip PEM avand suprafata activa a membranei de 250 cm², conectate in serie, intercalate cu placi de racire, cuprinse intre doua placi colectoare - anod si catod, si doua placi de capat. Puterea maxima a APC este de 5kW, iar tensiune generata in domeniul de 20-38 V la un curent maxim de 250 A. Presiunea de lucru la partea anodica si catodica nu trebuie sa depaseasca 2 bar, iar diferenta de presiune anod- catod nu trebuie sa fie mai mare de 0.3 bari. Temperatura de functionare este intre 65 si 90°C. Alimentarea se face cu hidrogen de puritate 99,999% la anod si cu aer la catod.

Temperatura de operare a APC se realizeaza prin intermediul unui sistem de gestionare a temperaturii de functionare a APC, care include un schimbator de caldura in al carui circuit primar se conecteaza dupa necesitati un incalzitor electric sau o bucla de racire cu apa.

Umidificarea gazelor reactante se realizeaza cu ajutorul a doua umidificatoare, unul cu 780 de tuburi de Nafion, avand debitul maxim in sistem apa-gaz de 450 LPM la o presiune maxima de 2 bar, pentru hidrogen, si celalalt cu 1660 tuburi, de pana la 1000 SLPM la 3 bar, pentru aer.

 4 din 20



In functie de regimul de functionare al statiei energetice, sistemul de baterii (3) este incarcat in curent constant pe durata regimului static, in functie de starea de incarcare SoC (State of Charge). Incarcarea bateriilor se face cu un convertor DC-DC (4) care primeste la intrare tensiune produsa de APC (100), pe care o converteste la iesire into tensiune pe magistrala DC in domeniul de 48 – 56 VDC. Tensiunea de iesire a convertorului DC-DC (4) este convertita in tensiune de curent alternativ 220 V, 59 Hz prin intermediul convertorului DC-AC.

In figura 1 se prezinta schema bloc a statiei energetice de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM.

Generatorul de energie este un ansamblu de pile de combustibil de tip PEM (100) de mica putere (5 kW), alimentat cu hidrogen (20) si aer (40).

Monitorizarea, comanda, reglarea si controlul parametrilor functionali ai sistemului energetic se realizeaza prin intermediul unui controler programabil de automatizare (200), numit in cele ce urmeaza CPA, condus cu calculatorul (300).

Aducerea temperaturii ansamblului de pile de combustibil de tip PEM la valoarea optima de functionare, cuprinsa in general intre 65°C si 80°C, precum si mentinerea temperaturii de functionare a APC de tip PEM sub valoarea limita superioara de 90°C, se realizeaza prin utilizarea de placi de racire intercalate dupa fiecare a doua pila de combustibil, prin canalizatia carora circula agentul termic sub forma de apa deionizata. Reglarea temperaturii ansamblului de pile utilizeaza drept sursa rece apa deionizata, iar drept sursa calda un incalzitor electric. Debitul agentului termic este comandat de catre un sistem de gestionare a temperaturii si presiunii (SGTP_APC) (10) de functionare a APC de tip PEM in functie de temperatura masurata de senzorul de temperatura T7 la iesirea catodica a APC. La incalzire, agentul termic are debit constant, iar reglarea temperaturii sale se face prin intermediul puterii disipate pe incalzitorul electric. La racire, agentul termic are temperatura constanta, reglarea temperaturii ansamblului de pile realizandu-se prin modificarea debitului de agent termic efectuata prin varierea turatiei pompei de agent de termic (3).

Ansamblul de pile de combustibil de tip PEM functioneaza cu iesirea anodica inchisa, utilizand pentru controlul debitului de alimentare electrovalva (30), comandata de un regulator fuzzy implementat in controlerul programabil de automatizare C1.



5 din 20



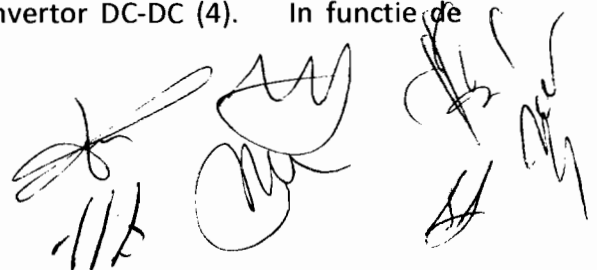
Alimentarea anodului APC se realizeaza cu hidrogen de puritate 99,999%, imbuteliat intr-un recipient sub presiune (20), prin intermediul unui ventil (23), al unui regulator de presiune (24) si al unui sistem de umidificare a reactantilor, numit in continuare SUR_APC, care include un umidificator (21), un condensor (22) care serveste condensarii vaporilor de apa in exces, o electrovalva (26) si o pompa de recirculare (25). Pe circuitul anodic se masoara temperatura T1(31) pe umidificatorul (21) si temperatura T2 (32), presiunea P1(33), debitul D1(35) si umiditatea RH1(34) a hidrogenului la intrarea in pila, precum si temperatura T3(36) si presiunea P2(37) ale fluidului la iesirea anodica si nivelul apei L1 in condensorul (22).

In momentul in care nivelul L1(38) al apei in condensorul (22) atinge o anumita valoare prescrisa, Lmax, CPA (200) comanda deschiderea electrovalvei (26) si pornirea pompei (25); cand nivelul L1(38) atinge valoarea Lmin, CPA (200) comanda inchiderea electrovalvei (26) si oprirea pompei (25).

Alimentarea catodului ansamblului de pile de combustibil de tip PEM (100) se face cu aer atmosferic, prin intermediul unui blower (40) si al unui sistem de umidificare a reactantilor SUR_APC identic celui de la anod. Iesirea de la catodul ansamblului de pile de combustibil de tip PEM se face pe un condensor (42) care serveste condensarii vaporilor de apa in exces si si intoarcerii apei rezultate in umidificator (41). Pe circuitul catodic se masoara la intrare temperatura T4(51) pe umidificatorul (41) si temperatura T5(52), presiunea P3(53), debitul D2(55) si umiditatea RH2(54) ale aerului la intrarea in ansamblul de pile (1), precum si temperatura T6(56) si presiunea P3(53) ale fluidului la iesirea catodica si nivelul apei L2(58) in condensorul (42).

In momentul in care nivelul L2(58) al apei in condensorul (44) atinge o anumita valoare prescrisa, Lmax, CPA (200) comanda deschiderea electrovalvei (44) si pornirea pompei (43); cand nivelul L2(58) atinge valoarea Lmin, CPA (200) comanda inchiderea electrovalvei (44) si oprirea pompei (43).

Energia electrica furnizata de APC (100) alimenteaza sarcina (1) prin intermediul unui convertor DC-DC (4) care face adaptarea cu sarcina si a unui convertor DC-AC (2) care transforma energia electrica de curent continuu in energie electrica de curent alternativ, respectiv incarca un sistem de baterii tampon (3) prin intermediul aceluiasi convertor DC-DC (4). In functie de



regimul sarcinii, stationar sau variabil, energia electrica necesara este furnizata de APC (100), respectiv de sistemul de baterii tampon (3) pe durata necesara modificarii parametrilor de operare ai ansamblului.

Adaptarea puterii furnizate cu cerintele sarcinii se realizeaza prin modificarea parametrilor de operare ai APC (100), in functie de puterea instantanee absorbita si de regimul de functionare a sarcinii.

Pe circuitul de sarcina se masoara curentul $I_{FC}(6)$ si tensiunea $U_{FC}(5)$ la iesirea APC de tip PEM (100), curentul absorbit de sarcina (1), $I_{sar}(7)$, precum si curentul $I_{bat}(9)$ si tensiunea de incarcare $U_{bat}(8)$ ale bateriei (3).

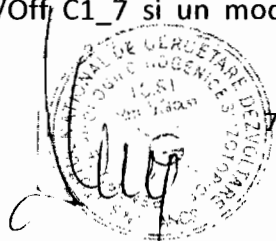
Daca regimul de functionare al statiei energetice este unul static, in care sarcina se afla in regim permanent (curentul electric absorbit este practic constant), debitul de hidrogen la anod se regleaza in mod discontinuu, valoarea sa fiind data de perioada si de factorul de umplere al semnalului de comanda.

Daca regimul de functionare al statiei energetice este unul dinamic, in care sarcina se afla in regim tranzitoriu (curentul absorbit poate varia in ambele sensuri, cu viteze diferite) si in functie de valoarea curentului absorbit $I_{SAR}(7)$, se stabileste modalitatea de reglare a debitului de hidrogen in regim continuu, astfel incat APC sa furnizeze la iesire curentul cerut de sarcina (1).

Debitul de agent oxidant- aer se regleaza astfel incat sa se asigure in permanenta raportul stoichiometric al celor doua debite de alimentare, hidrogen si aer. Pe durata regimurilor tranzitorii ale sarcinii, asigurarea necesarului de putere cerut de consumator se face utilizand bateria (3).

In schema bloc din figura 2 se prezinta controlerul programabil de automatizare (200).

Acesta este un sistem industrial cu microcontroler care se compune dintr-o parte software si o parte hardware specifica si adaptata sa functioneze in medii industriale. Schema bloc a CPA este prezentata in figura 2. Partea hardware a CPA este compus dintr-un controler C1_1 cu sistem de operare real-time, un modul analogic de masurare a temperaturii C1_2, doua module analogice de citire semnale de la senzorii C1_3 si C1_4, un modul analogic de comanda elemente de executie C1_5, un modul digital de comanda factor de umplere C1_6, un modul digital de comanda On/Off C1_7 si un modul digital de citire ON/Off C1_8. Aceste module



7 din 20

permit interconectarea semnalelor provenite de la senzorii si elementele de comanda si executie ale statiei energetice .

Controlerul C1_1 reprezinta partea cea mai importanta CPA (C1) si este compus dintr-un procesor cu frecventa de 400 MHz, o memorie RAM de 128 MB, o memorie nevolatila de 2GB si un port Ethernet ce permite conectarea CPA (200) la un calculator tip PC (300). Algoritmii de reglare ai buclelor de control sunt implementati in memoria C1_1, prin utilizarea solutiei FPGA, care poate executa simultan pana la 20 de bucle de control de tipul PID si fuzzy, la o rata de 100 kHz.

Modulul de citire temperaturi C1_2 permite conectarea directa a senzorilor de temperatura de tip termocuplu utilizand compensarea hardware a jonctiunii reci. C1_2 are caracteristica de filtrare si rejectare a zgomotului pe 50/60Hz. Frecventa de citire a semnalelor este de 100 citiri/secunda cu o precizie de 0,1 °C. Pentru conversia semnalelor se foloseste un convertor analogic digital pe 16 biti de tip sigma/delta. Modulul are 8 canale de intrare, semnalele fiind urmatoare: canalul1 – T1 temperatura umidificator hidrogen, canalul 2 – T2 temperatura traseu incalzit intrare anod, canalul 3 – T3 temperatura iesire la catod, canalul 4 – T4 temperatura umidificator aer, canalul 5 – T5 temperatura traseu incalzit intrare catod, canalul 6 – T6 temperatura iesire catod, canalul 7 – T7 temperatura APC si canalul 8 – T8 temperatura schimbator de caldura. Senzorii de temperatura sunt termocuple de tipul K.

Modul analogic de citire senzori C1_3 si C1_4 include functii hardware de amplificarea a semnalului, filtrare, izolare electrica si multiplexare. Domeniul analogic de intrare este ± 10 V, o amplificare de 500 si un convertor analog-digital de 16 biti care are rezolutia de 153 μ V. Modulul C1_3 are 8 canale de intrare, semnalele fiind urmatoarele: canalul 1 – P1 presiune intrare anod, canalul 2 – P2 presiune iesire anod, canalul 3 – P3 presiune intrare catod, canalul 4 – P4 presiune iesire catod, canalul 5 – P5 presiune iesire apa racire APC, canalul 6 – RH1 umiditate hidrogen la anod, canalul 7 – RH2 umiditate aer la catod. Senzorii de presiune utilizati sunt senzori cu transmiter ce au domeniu de intrare de 0-2.5 bari, iar semnalul electric de iesire este de 0-10V. Senzorii de umiditate sunt senzori capacitivi ce masoara umiditate in flux continuu in domeniul 0-100%, iar semnalul electric de iesire este de 0-1V.

8 din 20

Modulul C1_4 are 8 canale de intrare, semnalele fiind urmatoarele: canalul 1 – D debitul de hidrogen la iesire anod, domeniu de masura 0-20 SLPM semnal 0-5V, canalul 2 – D1 debit hidrogen la intrare anod, domeniu de masura 0-100 SLPM semnal 0-5V, canalul 3 - D2 debit aer la intrare catod, domeniu de masura 0-500 SLPM semnal 0-10V, canalul 4 - I_{sar} curent consumat de sarcina, canalul 5 - I_{bat} curent incarcare/descarcare baterie, canalul 6 - I_{FC} curent generat de APC, canalul 7 - U_{FC} tensiune generata de APC si canalul 8 - U_{bat} tensiune magistrala DC/baterie. Senzorii ce masoara curentii sunt senzori de tipul Hall si au domeniul de masura 0-200 A si semnalul de iesire 0-5 V. Senzorii ce masoara tensiunile sunt senzori divizori de tensiune ce masoara tensiuni in domeniul 0-100 V, iar semnalul de iesire este de 0-10 V.

Modulul analogic de comanda actuatori C1_5 este implementat cu un convertor digital analog pe 16 biti, fiecare iesire fiind definita de o bucla de reglare prin program si prin natura semnalului furnizat de 0-10V sau de 4-20mA. Modulul analogic de iesire permite conectarea a C1_5 la elemente de preactionare pentru a actiona functii de comanda si de reglare. Modulul C1_5 are 4 canale de iesire, semnalele fiind urmatoarele: canalul 1 – cmdAO1 comanda regulator presiune de intrare, semnalul de comanda este de 0-5V iar domeniul regulatorului de presiune este de 0-5 bar, canalul 2 – cmdAO2 comanda regulator debit hidrogen la iesire, semnalul de comanda este de 0-10 V iar domeniul regulatorului de debit este de 20 SLPM, canalul 3 – cmdAO3 comanda tensiune magistrala DC/baterie, semnalul de comanda este de 0-10 V, iar iesirea convertorului DC-DC este de 48-56 VDC, canalul 4 – cmdAO4 comanda debit de apa racire APC, semnalul de comanda este de 0-5 V, iar iesirea debitul pompei de apa este de 0-20 LPM.

Modulul digital de comanda factor de umplere C1_6 este implementat cu posibilitatea de modificarea in mai multe trepte a frecventei: 500Hz, 5 KHz si 15MHz , cu factor de umplere variabil de 0-100 % a semnalului de comanda digital.

Modulul C1_6 este utilizat pentru comanda releelor de putere de pe circuitele de incalzire ale statiei energetice si ale blowerului de pe intrarea catodica a APC. Modulul C1_6 are 4 canale de iesire, semnalele fiind urmatoarele: canalul 1 – cmdPWM1 comanda incalzire umidificator hidrogen, frecventa semnal 500Hz, canalul 2 –cmdPWM2 comanda incalzire umidificator aer,



Handwritten signatures and initials, including a large signature at the top and several smaller ones below.

frecventa semnal 500Hz, canalul 3 – cmd PWM3 comanda incalzire apa APC, frecventa semnal 5 KHz si canalul 4 – cmdPWM4 comanda debit aer intrare la catod, frecventa semnal de 15KHz.

Modul digital de comanda ON/Off C1_7 actioneaza asupra elementelor de actionare de tip releu. C1_7 este compus din 6 canale: canalul 1 – cmdDO1 comanda digitala pompa apa la anod, canalul 2 – cmdDO2 comanda digitala electrovalva pompa apa anod, canalul 3 – cmdDO3 comanda digitala pompa apa la catod, canalul 4 – cmdDO4 comanda digitala electrovalva pompa apa catod, canalul 5 – cmdDO5 comanda electrovalva racire APC si canalul 6 – cmdDO6 comanda purjare anod.

Modulul digital de citire semnale On/Off C1_8 are functia de a citi semnale de tipul On/Off, in cazul de fata On=24 V, iar Off=0 V. Modulul C1_8 are doua canale: canalul 1 – L1 nivel apa condensor anod si canalul 2 – L2 nivel apa condensor la catod.

In figura 3 se prezinta schema logica a rutinei R1- programul principal de monitorizare, comanda si control al functionarii statiei energetice de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM.

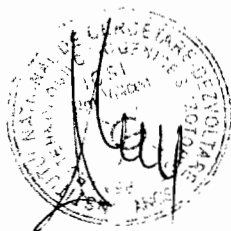
Rutina R1 este implementata intrun mediu de programare orientat pe instrumentatie virtuala, pagina principala a acesteia fiind prezentata in figura 10. R1 ruleaza pe un calculator (300) conectat la un controler programabil de automatizare C1 (200) cu o ciclicitate de 10/sec.

Rutina R1 cuprinde 6 subrutine si 5 blocuri decizionale.

Lansarea rutinei R1 se realizeaza la comanda operatorului. Primele secvente urmaresc aducerea APC la temperatura si gradul de umidificare nominale, prin intermediul subrutinei R2, respectiv R3.

Prin intermediul blocului decizional R1_1 se verifica temperatura de functionare a APC. Temperatura se masoara pe canalul 7 al modulului analogic C1_2. Trecerea la nivelul urmator se realizeaza numai dupa ce temperatura a atins valoarea de 80°C.

Prin intermediul blocului decizional R1_2 se verifica gradul de umidificare al reactantilor. Pentru hidrogen, umiditatea se masoara pe canalul 6 al modulului analogic C1_3, iar pentru aer, pe canalul 7 al aceluasi modulul . Trecerea la nivelul urmator se realizeaza numai dupa gradul de umidificare a atins valoarea de 80% atat pentru hidrogen cat si pentru aer.



Handwritten signatures and initials at the bottom right of the page.

Pe nivelul urmator se testeaza valoarea parametrilor de functionare nominali: tensiunea si curentul pe APC, diferenta de presiune anod- catod, diferenta de presiune intrare- iesire atat pe partea anodica cat si pe cea catodica.

U_{FC} se masoara pe canalul 7 din modulul analogic C1_4, iar I_{FC} pe canalul 6 al aceluiasi modul.

Presiunea la intrarea anodica se masoara pe canalul 1 al modulului analogic C1_3, iar cea de la iesirea anodica , pe canalul 2 al modulului analogic C1_3, presiunea la intrarea catodica se masoara pe canalul 3 al modulului analogic C1_3, iar presiunea la iesirea catodica se masoara pe canalul 4 al modulului analogic C1_3.

Daca una dintre valorile masurate se situeaza in afara intervalului admisibil pentru parametri nominali ai APC, se apeleaza subrutina de oprire controlata (R7) a statiei energetice. In caz contrar se monitorizeaza (R1_4) curentul de sarcina, I_{SAR} . Daca $I_{SAR} = \text{constant}$, se apeleaza subrutina R4, de functionare in regim static, iar in caz contrar, se apeleaza subrutina R5, de functionare in regim dinamic. Se apeleaza in continuare subrutina R6, de recuperare a apei generate la electrozi.

Decuplarea statiei energetice de mica putere se realizeaza la comanda operatorului (R1_5). In acest caz se apeleaza subrutina de oprire controlata R7.

In figura 4 se prezinta schema logica a subrutinei R2 de monitorizare, comanda si control al temperaturii si presiunii de operare a APC. Sistemul de gestionare a temperaturii si presiunii de functionare a APC (numit in continuare SGTP_APC) utilizeaza ca agent termic (incalzire/racire) apa deionizata cu o conductivitate mai mica de $17 \mu S$ la o presiune mai mica de 0.5 bar si asigura o viteza de incalzire de pana la $10^{\circ}C/min$. Incalzirea APC este realizata cu un circuit de rezistente electrice, iar racirea APC este realizata cu un schimbator de caldura ce utilizeaza ca agent termic de racire apa dintrun circuit exterior. Trebuie tinut cont de faptul ca, intrucat gazele de alimentare intra in APC la temperatura ambianta, debitul acestora va influenta echilibrul termic al APC. Astfel, pentru debite mici de alimentare, ceea ce corespunde functionarii APC la densitati mici de curent, incalzirea APC se face cu viteza mai mare decat in cazul in care debitele de alimentare sunt mari, daca se pastreaza ceilalti paranetri de operare nemodificati.



11 din 20

SGTP_APC este constituit dintrun sistem de incalzire/racire (10), o pompa de recirculare cu debit variabil (11) pentru antrenarea agentului termic, un senzor de presiune (12) care masoara presiunea la iesire circuitului de racire a APC, un senzor de temperatura (13) care masoara temperatura la iesirea catodica a APC, un senzor de temperatura (14) care masoara temperatura agentului termic, o electrovalva (15) care controleaza debitul agentului termic si din sistemul de conducte de legatura aferent. SGT (prezentat in schema ca un singur bloc) este la randul sau compus dintrun vas de apa demineralizata, circuitul de rezistente electrice cu releu de control integrat si un schimbator de caldura. SGTP_APC are si rolul de a asigura racirea celor doua condensoare (22) si (42) pentru eliminarea apei din gazele reactante de la iesirea APC. Apa care este colectata din gazele de iesire ale APC este reintrodusa in cele doua umidificatoare (21) si (41).

Functia SGTP_APC este de a reduce durata de intrare in regim de functionare normal a APC, in special in situatiile in care sunt prezente fluctuatii de putere pe sarcina (1). Rolul SGTP_APC este de stabili cat mai exact domeniul de temperatura si presiune al agentului termic, astfel incat APC sa functioneze cu o eficienta cat mai ridicata.

Subrutina R2 este apelata din rutina de program principal R1. La momentul initial se citesc valorile temperaturii si presiunii agentului de racire al APC (R2_1). Temperatura T7 este masurata cu un termocuplul (13) de tip K, positionat la iesirea catodica a APC, de catre modulul de citire temperaturi C1_2 pe canalul 7 al controlerului programabil de automatizare C1. Presiunea P5 a agentului termic este masurata cu un senzor de presiune cu transmitter (12), positionat la iesirea circuitului termic al APC, avand domeniul de masura intre 0 si 2.5 bari si semnal electric de iesire intre 0 si 5V, de catre modulul de intrari analogice C1_3 canalul 5 al controlerului programabil de automatizare C1. Reglarea temperaturii si presiunii se face intrun sistem de reglare in cascada, format dintro bucla exterioara in care se realizeaza reglajul de presiune si doua bucle interioare, din care una este responsabila cu procesul de incalzire si cealalta cu procesul de racire. Algoritmul de reglare se initiaza prin compararea presiunii P5 (12) cu o valoare prestabilita, $P=0,5$ bar, in blocul de decizie R2_2. Reglarea presiunii este un proces care se realizeaza prin controlul debitului pompei (11). Pompa are debitul in domeniul 0 - 20 LPM si este controlata de un semnal analogic de tensiune in domeniul 0-10 V generat de canalul



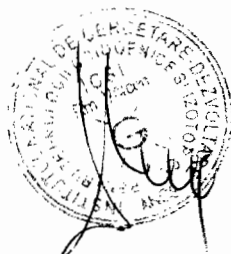
12 din 20

4 al modulului de iesiri analogice C1_5 al controlerului programabil de automatizare C1. Regulatorul care executa bucla de reglare este de tipul PD (proportional- derivativ) si este implementat in C1. Daca rezultatul comparatiei R2_2 este DA, se comanda actionarea pompei (11) - R2_3 din subrutina R2. Daca rezultatul comparatiei R2_2 este NU, adica presiunea P5 > 0.5 bari, se ajunge in blocul de decizie R2_4 din interiorul sistemului de reglare in cascada, in care se compara temperatura T7 (13) cu o valoare prescrisa de 65°C. Daca temperatura T7 este mai mica sau egala cu 65 °C se executa bucla de reglare R2_5, necesara pentru incalzirea a APC. Algoritmul de reglarea a temperaturii este implementat intrun regulator de tip PID (proportional-integral- derivativ) care compara temperatura T7 cu valoarea prestabilita si calculeaza parametrii PID optimi ce actioneaza asupra elementului de incalzire prin intermediul unui releu incorporat comandat in semnal pwm (pulse - width modulation) cu factor de umplere reglat din modulul C1_6, canalul 3 din C1. In bucla R2_5 elementul de executie pentru racirea APC este intodeauna decuplat. Daca rezultatul comparatiei R2_4 este NU, adica temperatura T7 este mai mare de 80 °C, se executa bucla de reglare R2_6 pentru racirea APC. Algoritmul de reglare este implementat intrun regulator de tipul ON-OFF. In aceasta bucla sistemul de incalzire cu rezistente este decuplat. Racirea se face cu apa dintrun circuit exterior ce traverseaza un schimbator de caldura cu o putere de 4 kW, care are rolul de a raci agentul termic din vasul cu apa demineralizata. Controlul debitului de apa din circuitul exterior este realizat cu ajutorul unui electroventil de tip solenoid (15), care este comandat de un semnal digital de iesire din canalul 5, modulul C1_7, al C1.

Energia termica extrasa din circuitul de racire al APC (apa calda la temperatura de cca. 60°C) se poate recupera si utiliza intr-un circuit exterior, transformand astfel statia energetica de mica putere intr-un sistem de cogenerare de energie electrica si termica.

Sistemul SGTP_APC permite mentinerea conditiilor de temperatura si presiune optime ale circuitului termic al APC printr-o dimensionare corecta a pompei de recirculare si a schimbatorului de caldura, monitorizate si controlate de un sistem de reglare in cascada.

In figura 5 se prezinta schema logica a subrutinei R3 de stabilire si mentinere a umiditatii gazelor de alimentare a ansamblului de pile de combustibil.



Handwritten signatures and initials in the bottom right corner of the page.

92

Sistemul de gestionare optimizata a umidificarii reactantilor din ansamblul de pile de combustibil este numit in continuare SUR_APC. Rolul SUR_APC este de a permite controlul optim al umiditatii gazelor reactante la intrarile anodica si catodica ale APC, printrun sistem special de umidificare. Se cunoaste faptul ca nivelul de umidificare al membranelor APC influenteaza conductivitatea protonica, un nivel ridicat de umidificare favorizand transportul protonilor de la anod la catod, deci cresterea puterii generate. Nivelul de umidificare al membranelor APC rezulta in urma determinarii solutiei de compromis intre valorile mari ale umiditatii, care determina cresterea pierderilor rezistive prin membrana si valorile reduse, care reduc conductivitatea protonica a membranei. Metoda de umidificare utilizata este cea prin care se realizeaza umidificarea reactantilor, umiditatea transportata de acestia realizand umidificarea membranelor.

Umidificatoarele utilizate in SUR_APC sunt sub forma unui schimbator de caldura tubular, cu un ansamblu de tuburi cuprinse intro manta, realizate din membrana Nafion. Hidrogenul, respectiv aerul, circula prin interiorul tuburilor, iar apa deionizata incalzita, prin interiorul mantalei si exteriorul tuburilor. Transportul apei prin peretii tuburilor este determinat de diferenta de presiune partiala a acesteia. Unul din avantajele principale ale acestui tip de umidificator este ca transferul de apa nu poate dapasi saturatia, valoarea umiditatii fiind data de temperatura apei deionizate. De asemenea, umidificatorul actioneaza ca un filtru pentru eventualele impuritati din apa, pe care nu le lasa sa treaca in gaz.

Sistemele de umidificare a reactantilor pe partea anodica (hidrogen) si pe partea catodica (aer) a APC sunt identice. Se prezinta SUR_APC pentru alimentarea cu hidrogen pe partea anodica a APC, care este constituit dintr-un umidificator (21), o pompa de recirculare (25), un electroventil (26), sistemul de incalzire (10), un senzor de temperatura T1 (31), un senzor de presiune P1 (33), un senzor de debit D1 (35), un senzor de umiditate RH1 (34), un senzor de temperatura T2 (32) positionat la intrare anodica si sistemul de conducte de legatura aferent. Conexiunea intre umidificator si anod (39) este incalzita si izolata termic pentru evitarea condensarii vaporilor in conducta.

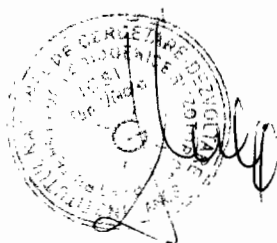
Rolul SUR_APC este de a optimiza gradul de umidificare al membranei. Umiditatea hidrogenului este in functie de temperatura apei deionizate din umidificator. Parametrul principal care



Handwritten signatures and initials at the bottom right of the page.

modificarea temperaturii sunt creșterile bruște ale fluxului de hidrogen necesare pentru a susține creșterile de putere solicitate de consumator. Subrutina responsabilă pentru menținerea gradului optim de umectare, R3, este apelată din rutina programului principal R1. În continuare se prezintă modul de apelare al subrutinei R3 pentru partea anodică (la partea catodică fiind identică). La momentul inițial, R3 (R3_1) citește valoarea temperaturii T1 (31) a umidificatorului de hidrogen (21) și umiditatea hidrogenului la intrarea anodică a APC, RH1 (34). Temperatura T1 este măsurată cu un termocuplu tip K, al cărui semnal este monitorizat pe canalul 1 din modulul analogic de temperaturi C1_2 al controlerului C1. Umiditatea hidrogenului este măsurată în flux continuu în domeniul 0-100%, de către senzorul RH1 (34) montat la intrarea anodică, iar semnalul electric de ieșire de 0-1 V este citit pe canalul 6 din modulul C1_3. Pentru controlul optim al umidității se folosește un sistem de reglare în cascada constituit dintr-o buclă exterioară care controlează temperatura umidificatorului și o buclă interioară responsabilă cu calculul optim al umidității. Algoritmul de reglare se inițiază prin compararea temperaturii T1 cu valoarea prestabilită, $T=80^{\circ}\text{C}$, în blocul de decizie R3_2. Dacă valoarea temperaturii $T1 < 80^{\circ}\text{C}$, se comandă încălzirea apei deionizate (R3_3) utilizând un regulator de temperatură la care acordarea parametrilor PID a fost calculată cu un timp de răspuns foarte mic, chiar dacă se risca eventual depășirea valorii presetate a temperaturii. În momentul în care $T1 \geq 80^{\circ}\text{C}$, subrutina R3 va testa (R3_4) valoarea umidității măsurate cu senzorul de umiditate RH1 (34). Dacă aceasta este mai mică sau egală cu 80%, încălzirea umidificatorului va continua (R3_5) cu parametrii PID modificați, pentru a obține o stabilitate mai bună a temperaturii. Dacă umiditatea va depăși valoarea de 80%, sistemul de încălzire este decuplat (R3_6). Algoritmul de reglare a temperaturii este implementat într-un regulator de tip PID care permite modificarea parametrilor de acordare în funcție de condițiile din subrutina R3 și acționează asupra elementului de încălzire prin intermediul unui relee încorporat comandat în semnal PWM cu factor de umplere comandat de canalul 1 al modulului C1_6.

Sistemul SUR_APC permite obținerea unui control optim al umidității gazelor cât mai rapid prin utilizarea unui regulator de tip cascada realizează modificarea parametrilor PID în funcție de temperatura umidificatorului și de gradul de umidificare al reactanților.



In figura 6 se prezinta schema logica a subrutinei R4 de comanda si control al functionarii in regim static a statiei energetice de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM. Subrutina 4 se utilizeaza pentru comanda statiei energetice de mica putere atunci cand curentul absorbit de sarcina este constant in timp, situatie care defineste regimul static de functionare. In aceasta situatie, functionarea electrovalvei (30) este setata pe modul discontinuu, controlul valorii debitului de hidrogen necesar pentru generarea la iesirea APC a valorii curentului cerut de sarcina realizandu-se prin modificarea frecventei si a factorului de umplere ale semnalului de comanda a alimentarii, realizate prin intermediul unui regulator fuzzy implementat in controlerul programabil de automatizare C1(200).

La momentul initial se citesc (R4_1) valorile urmatoilor parametri: temperatura T7 (13) la iesirea catodica a APC, curentul I_{FC} (6) furnizat de APC, tensiunea U_{FC} (5) pe APC, presiunea P1 (33) la intrarea anodica, presiunea P2 (37) la iesirea anodica, debitul de hidrogen D1 (35) la intrarea anodica, tensiunea pe baterie U_{BAT} (8) si curentul pe baterie I_{BAT} (9).

Pe baza valorilor achizitionate, programul de calcul calculeaza (R4_2) debitul de hidrogen D, necesar pentru generarea puterii cerute de sarcina, tinand cont de stoichiometria prescrisa.

Debitele de hidrogen si aer consumate de APC se calculeaza din legea lui Faraday, considerand ca gazele reactante se supun legii gazelor ideale. In functie de regimul de functionare, static sau dinamic, se utilizeaza pentru stoichiometrie valoarea de 1,1 respectiv 1,5 la anod si 2,0 la catod.

$$Debit_{Hidrogen_calculat} = \frac{\lambda_{hidrogen} * I * n_{cell} * R * T * 1000 * 60}{P_{anod} * z_{hidrogen} * F} \text{ [SLPM]}$$

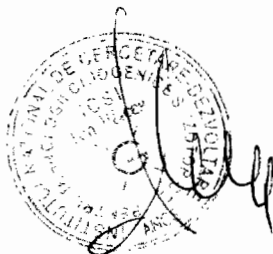
$$Debit_{Aer_calculat} = \frac{\lambda_{aer} * I * n_{cell} * R * T * 1000 * 60}{P_{catod} * z_{aer} * F} * \frac{1}{0.209} \text{ [SLPM]}$$

Unde: $n_{cell} = 40$, $z_{hidrogen} = 2$, $z_{aer} = 4$, $F = 96485 \text{ As/mol}$, $R = 8.3145 \text{ J/mol K}$

I – curentul generat de APC in [A];

T – temperatura de functionare a APC in [K];

P – presiunea la anod in [Pa].



Handwritten signatures and initials in the bottom right corner of the page.

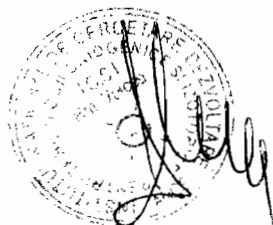
Secventa de comanda a electrovalvei (30), care va deschide periodic iesirea circuitului anodic al APC este comandata si controlata de catre un regulator fuzzy implementat in C1.

Regulatorul fuzzy este proiectat in cinci pasi. In pasul unu se definesc variabilele de intrare/iesire ale regulatorului, prima variabila de intrare fiind diferenta, notata ΔD , dintre debitele hidrogenului la intrare D1 (35) si debitul hidrogenului D calculat (R4_2) inainte, calculata conform relatiei $\Delta D = D1 - D$; a doua variabila de intrare este diferenta de presiune dintre presiunea citita la intrarea anodica P1 (33) si presiunea citita la iesirea anodica P2 (37), notata ΔP si calculata conform relatiei $\Delta P = P1 - P2$; a treia variabila de intrare este valoarea curentului generat de APC, I_{FC} (6), iar a patra variabila de intrare este tensiunea pe APC, U_{FC} (5). Prima variabila de iesire este durata dintre doua purjari, notat t_{2_purje} , iar a doua variabila de iesire este durata purjarii t_{purje} . In pasul doi se stabilesc variabilele lingvistice asociate celor patru intrari ale regulatorului fuzzy ca fiind cinci termeni lingvistici cu functii de apartenenta de forma triunghiulara, iar pentru cele doua variabile de iesire ale regulatorului fuzzy avem sapte termeni lingvistici cu functii de apartenenta de forma trapezoidala. In pasul trei se realizeaza implementarea bazei de reguli care este formata din 185 de reguli. Baza de reguli a fost stabilita in urma mai multor experimente, astfel incat acesta sa acopere intreg spectrul dorit. In pasul patru se utilizeaza metoda MAX-MIN a lui Mamdani pentru evaluarea inferentelor, iar defuzzificarea comenziilor vagi are loc pe baza centrului de greutate.

Rolul regulatorului fuzzy este de-a stabili cat mai corect durata intre doua purjari ale electroventilului (30) si perioada de deschiderea a acestuia, acestea depinzand de puterea generata de APC. De ex: la puteri mici (100W) durata dintre doua purjari este de 300 sec, iar perioada de purjare 0.5sec, merganda pana la puteri mari (5kW) durata dintre doua purjari este de 20 sec, iar perioada de purjare 2 sec.

In pasul urmator se verifica starea bateriei, SoC.

Starea de incarcare (SoC) este exprimata in procente si defineste cantitatea de energie disponibila in baterie. Pentru determinarea SoC au fost folosite metode tabelare de indicare a starii de incarcare care se bazeaza pe masurarea si integrarea curentului, in functie de rata de autodescargare, temperatura, eficienta incarcarii si descarcarii. Valorile SoC sunt stocate tabular.



Handwritten signatures and initials, including a large signature and several smaller ones.

In blocul decizional (R4_4) se verifica daca SoC este mai mic decat 60%. In caz afirmativ, inseamna ca bateria este defecta si CPA (200) executa rutina de oprire (R7), iar in caz negativ, se verifica in blocul decizional R(4_6) daca valoarea starii de incarcare este mai mica decat 80%. In caz afirmativ, bateria se incarca (R4_7) cu un curent de 20·Inominal, iar in caz negativ, bateria se incarca (R4_8) cu un curent de 10·Inominal. In cazul in care SoC = 100%, CPA decupleaza de statia energetica sistemul de baterii (care este incarcat).

In figura 7 se prezinta schema logica de functionare in regim dinamic a statiei energetice de mica putere

Subrutina 5 se utilizeaza pentru comanda statiei energetice de mica putere atunci cand curentul absorbit de sarcina variaza in timp, situatie care defineste regimul dinamic de functionare.

Regimul dinamic de functionare are loc pe durata regimului tranzitoriu care apare la modificarea intr-un sens sau altul a puterii absorbite de sarcina (1) si se caracterizeaza prin durata relativ redusa. Raspunsul sistemului in acest caz se produce prin reglarea continua a debitului de hidrogen de alimentare a APC, cu o stoichiometrie marita de 1,5 care sa favorizeze adaptarea rapida la variatiile sarcinii. Pe durata persistentei regimului dinamic de functionare, avand in vedere inertia inerenta a raspunsului APC la modificarea sarcinii, care este de 3 pana la 5 sec, energia necesara este furnizata consumatorului (1) de bateria (3), care actioneaza ca tampon.

La momentul initial se citesc (R5_1) valorile urmatoarelor parametri: temperatura T7 (13), curentul I_{FC} (6) furnizat de APC, tensiunea U_{FC} (5) pe APC, presiunea P1 (33) la intrarea anodica, presiunea P3 (53) la intrarea catodica, debitul de hidrogen D1 (35) la intrarea anodica, debitul de hidrogen D3 (30) la iesirea anodica, debitul de aer D2 (55) la intrarea catodica, tensiunea pe baterie U_{BAT} (8) si curentul pe baterie I_{BAT} (9), curentul de sarcina I_{SAR} (7).

Se verifica starea de incarcare a bateriei (R5_2), SoC (State of Charge).

Daca $SoC \geq 80\%$ se cupleaza bateria in circuitul de sarcina (R5_3), iar in caz contrar se comuta functionarea sistemului in regim static (R5_4).

Se calculeaza valoarea curentului necesar a fi furnizat de catre APC (R5_5), ca diferenta intre curentul de sarcina si curentul furnizat de baterie.



Se calculeaza (R5-6) valorile debitelor de hidrogen si aer necesare pentru generarea curentului absorbit de sarcina (1).

Se comuta (R5_7) regimul de functionare al electrovalvei (30) pe functionare continua. Se determina valoarea debitului de hidrogen utilizat pentru generarea curentului absorbit de sarcina, ca diferenta intre valorile masurate ale debitelor de hidrogen de la intrarea D1 (35) si de la iesirea D3 (30) APC.

Se compara (R5_9) valoarea curentului generat de APC, I_{FC} , cu valoarea calculata in pasul (R5_5). Daca valoarea curentului generat de APC, I_{FC} , este mai mica decat valoarea calculata, ceea ce inseamna ca APC singur nu este momentan capabil sa furnizeze puterea ceruta, se comuta regimul de functionare in regim static.

In figura 8 se prezinta schema logica a subrutinei 6 de recuperare a apei generate in APC.

Asa cum s-a aratat, pe partea catodica a celulei de combustibil se produce apa in urma reactiei dintre ionii de hidrogen (protoni) formati la anod, care trec prin electrolitul solid (membrana), si oxigenul din aerul furnizat la catod. Se produce astfel pe membrana pilei de combustibil o diferenta a presiunii partiale a vaporilor de apa care favorizeaza fenomenul asa-numit de difuzie retrograda a apei de la catod, unde s-a format, prin membrana, la anod. Apa formata la catod, la fel ca si cea migrata prin membrana la anod, este o apa ultrapura, ale carei proprietati o fac potrivita pentru utilizarea in dispozitivele de umidificare a reactantilor. Recuperarea si utilizarea acesteia in umidificatoare diminueaza aportul exterior de apa deionizata.

Sistemele de recuperare a apei generate la catodul si anodul APC, SRA_APC, sunt identice. Sistemul de recuperare a apei de la catod cuprinde: un condensor (42) racit prin intermediul SGTP_APC, care are rolul de a condensa vaporii de apa generati la catodul APC; electroventilul (44); pompa de recirculare (43); sesizor de nivel minim-maxim L2(58) pe condensor (42); conductele de legatura aferente.

Sistemul SRA_APC are rolul de a condensa, colecta si intoarce in circuitul umidicatorului (41) apa generata la catodul, respectiv anodul APC.

Rutina R6 se initializeaza prin citirea (R6_1) starii sesizoarelor de nivel L1 (38), respectiv L2(58) in condensorul de la anod si in cel de la catod.



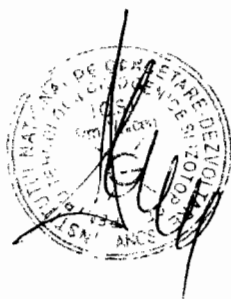
Se prezinta ramura decizionala aferenta catodului, ramura anodica fiind identica. Daca nivelul de condens este maxim (R6_6), se comanda deschiderea (R6_7) electroventilului (44), si pornirea pompei de recirculare (43), apa din condensorul (42) fiind introdusa in umidificatorul (41). La sesizarea nivelului minim (R6_8) in condensorul (42), se comanda inchiderea (R6_9) electroventilului (44), si oprirea pompei de recirculare (43). Algoritmul de reglare este implementat intrun regulator de tipul ON-OFF in controlerul C1.

Avand in vedere faptul ca apa utilizata pentru umidificarea membranelor APC nu se recupereaza, prin intermediul SGTP_APC se reduce aportul exterior de apa deionizata necesara alimentarii umidificatoarelor.

In figura 9 se prezinta schema logica a subrutinei R7 de oprire controlata a statiei energetice.

Subrutina (R7) este apelata din rutina principala (R1) in momentul in care se doreste inchiderea controlata a statiei energetice (R1_5) sau cand unul din parametrii statiei energetice este in afara plajei de control. In primul pas (R7_1) al subrutinei (R7) se decupleaza APC de la circuitul electric al Convertorului DC-DC (4) prin trecerea in 0V a semnalului de comanda de pe canalul 3 al modulului (C1_5) din (C1). In pasul urmator (R7_2) se inchide alimentarea cu hidrogen a APC prin inchiderea regulatorului de presiune (24) de pe traseul anodic al APC, comanda executata pe canalul 1 al modulului (C1_5) din (C1). In ultimul pas se opreste alimentarea cu aer a APC, prin oprirea blowerului (40), comanda executata pe canalul 4 al modulului (C1_6) din (C1)

In figura 10 se prezinta interfata software pentru monitorizarea, comanda si controlul functionarii statiei energetice de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM



REVEDICARI

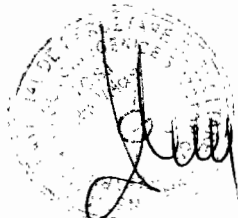
1. Statie energetica de mica putere, bazata pe un ansamblu de pile de combustibil de tip PEM, potrivit schemei din figura 1, care cuprinde:
 - Un ansamblu de pile de combustibil de tip PEM de mica putere, caracterizat prin aceea ca este realizat dintr-o succesiune de pile de combustibil de tip PEM conectate in serie, intercalate cu placi de racire, cuprinse intre doua placi colectoare - anod si catod, si doua placi de capat, realizat pentru a produce energie electrica utilizand hidrogen si aer;
 - Sistem de gestionare a temperaturii de functionare a ansamblului de pile de combustibil de tip PEM;
 - Sistem de gestionare optimizata a umidificarii reactantilor;
 - Sistem de gestionare a alimentarii cu hidrogen si aer in corelatie cu sarcina;
 - Sistem de monitorizare, comanda si control al functionarii statiei energetice.
2. Sistemul de gestionare a temperaturii de functionare a ansamblului de pile de combustibil de tip PEM mentionat in revendicarea 1, caracterizat prin aceea ca asigura mentinerea temperaturii de functionare a ansamblului de pile de combustibil de tip PEM la o valoare inferioara temperaturii limita de 90°C, prin utilizarea de placi de racire intercalate dupa fiecare a doua pila de combustibil, cu debit variabil de agent de racire - apa deionizata, avand elementele componente in contact cu apa de racire realizate din materiale nemetalice, compus din:
 - Placi de racire realizate din gafit de inalta densitate prin canalizatia carora circula apa deionizata, care se intercaleaza dupa fiecare a doua pila de combustibil, aceasta dispunere avand capacitatea de a asigura temperatura de functionare a ansamblului pentru puteri pana la 5 kW.
 - Schimbator de caldura;
 - Rezervor de apa deionizata de racire;
 - Pompa de recirculare;
 - Sistemul aferent de conducte si robineti;



- Circuitul de masura a temperaturii si presiunii apei de racire la intrarea in ansamblul de pile de combustibil, format din senzorii T8 si P5, controlerul CPA si conexiunile electrice aferente.;
 - Circuitul de monitorizare a temperaturii ansamblului de pile de combustibil de tip PEM, format din senzorul T7, controlerul CPA si conexiunile electrice aferente.
3. Sistemul de gestionare a temperaturii de functionare a ansamblului de pile de combustibil de tip PEM din revendicarea 2, caracterizat prin aceea ca regleaza temperatura pe ansamblul de pile intr-o bucla de reglare care primeste date de intrare de la circuitul de monitorizare a temperaturii ansamblului de pile de combustibil de tip PEM, calculeaza debitul corespunzator de apa de racire si comanda modificarea turatiei pompei de recirculare, utilizand un sistem de reglare in cascada.
4. Sistemul de de gestionare a temperaturii de functionare a ansamblului de pile de combustibil de tip PEM din revendicarea 2, caracterizat prin aceea ca ofera posibilitatea utilizarii conform necesitatilor a energiei termice reziduale colectate din circuitul secundar al schimbatorului de caldura.
5. Sistemul de gestionare optimizata a umidificarii reactantilor mentionat in revendicarea 1, caracterizat prin aceea ca realizeaza colectarea apei produse la catod si a celei obtinute prin difuzie retrograda la anod- apa deionizata, si o reintroduce in circuitul de umidificare a reactantilor, si prin aceea ca elementele in contact cu apa deionizata sunt realizate din materiale nemetalice, compus din:
- Vas colector;
 - Pompa;
 - Sistemul aferent de conducte si robineti.
 - Circuitul de monitorizare a nivelului in condensor, format din format din senzorii L1 la anod si L2 la catod, controlerul CPA si conexiunile electrice aferente.
6. Sistemul de gestionare optimizata a umidificarii reactantilor mentionat in revendicarea 1, caracterizat prin aceea ca utilizeaza un regulator de tip cascada ce permite modificarea parametrilor PID in functie de temperatura umidicatorului si de gradul de umidificare al reactantilor



7. Sistemul de gestionare a alimentarii cu hidrogen si aer in corelatie cu sarcina mentionat in revendicarea 1, caracterizat prin aceea ca utilizeaza un algoritm de reglare a alimentarii cu hidrogen si aer a ansamblului de pile de combustibil de tip PEM astfel incat acesta sa furnizeze la iesire puterea ceruta de sarcina, compus din:
- Circuitul de alimentare cu hidrogen (la anod);
 - Circuitul de alimentare cu aer (la catod);
 - Convertorul DC-DC pentru realizarea incarcarii bateriei;
 - Baterie tampon;
 - Convertor DC-AC;
 - Circuitul de monitorizare a starii de incarcare a bateriei, format din senzorii I_{BAT} si U_{BAT} , controlerul CPA si conexiunile electrice aferente.
 - Circuitul de monitorizare a sarcinii, format din senzorul I_{SAR} si controlerul CPA si conexiunile electrice aferente.
8. Circuitul de alimentare cu hidrogen in corelatie cu sarcina din revendicarea 6, caracterizat prin aceea ca permite doua moduri de functionare: continuu in regim static de functionare a sarcinii, elementul de executie fiind un element de strangulare, sau discontinuu, in regimul dinamic de functionare a sarcinii, elementul de executie fiind in acest caz un electroventil.
9. Circuitul de alimentare cu aer din revendicarea 6, caracterizat prin aceea ca utilizeaza un compresor sau un blower, prin modificarea turatiei carora se regleaza debitul de alimentare cu aer astfel incat sa se asigure stoichiometria reactiei electrochimice.
10. Sistemul de monitorizare, comanda si control al functionarii statiei energetice conform revendicarii 1, compus din controlerul de automatizare CPA, calculator personal, senzorii de masura pentru parametrii operare ai statiei energetice de mica putere si conexiunile electrice aferente, avand structura din figura 2.
11. Rutina principala R1 de gestionare a functionarii statiei energetice de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM, care include 6 subrutine si 5 blocuri decizionale, implementata intrun mediu de programare orientat pe instrumentatie virtuala.



12. Rutina principala R1 de gestionare a functionarii statiei energetice de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM, care realizeaza adaptarea puterii furnizate de APC la necesarul de putere al consumatorului prin deglarea debitelor gazelor reactante in functie de regimul de functionare a sarcinii.
13. Algoritmul de reglare a debitului de alimentare cu hidrogen, respectiv aer, din revendicarea 12, caracterizat prin aceea ca, pornind de la informatia furnizata de circuitul de monitorizare a starii de incarcare a bateriei, calculeaza debitele de alimentare si comanda elementele de executie din circuitele de alimentare cu hidrogen, respectiv aer.
14. Regulatorul fuzzy care implementeaza algoritmul de reglare a debitului de hidrogen din revendicarea 12, construit din patru variabile de intrare (debit, presiune, curent si tensiune), o baza cu 185 de reguli si doua variabile de iesire (durata intre doua purjari de hidrogen si perioada de purjare a hidrogenului)



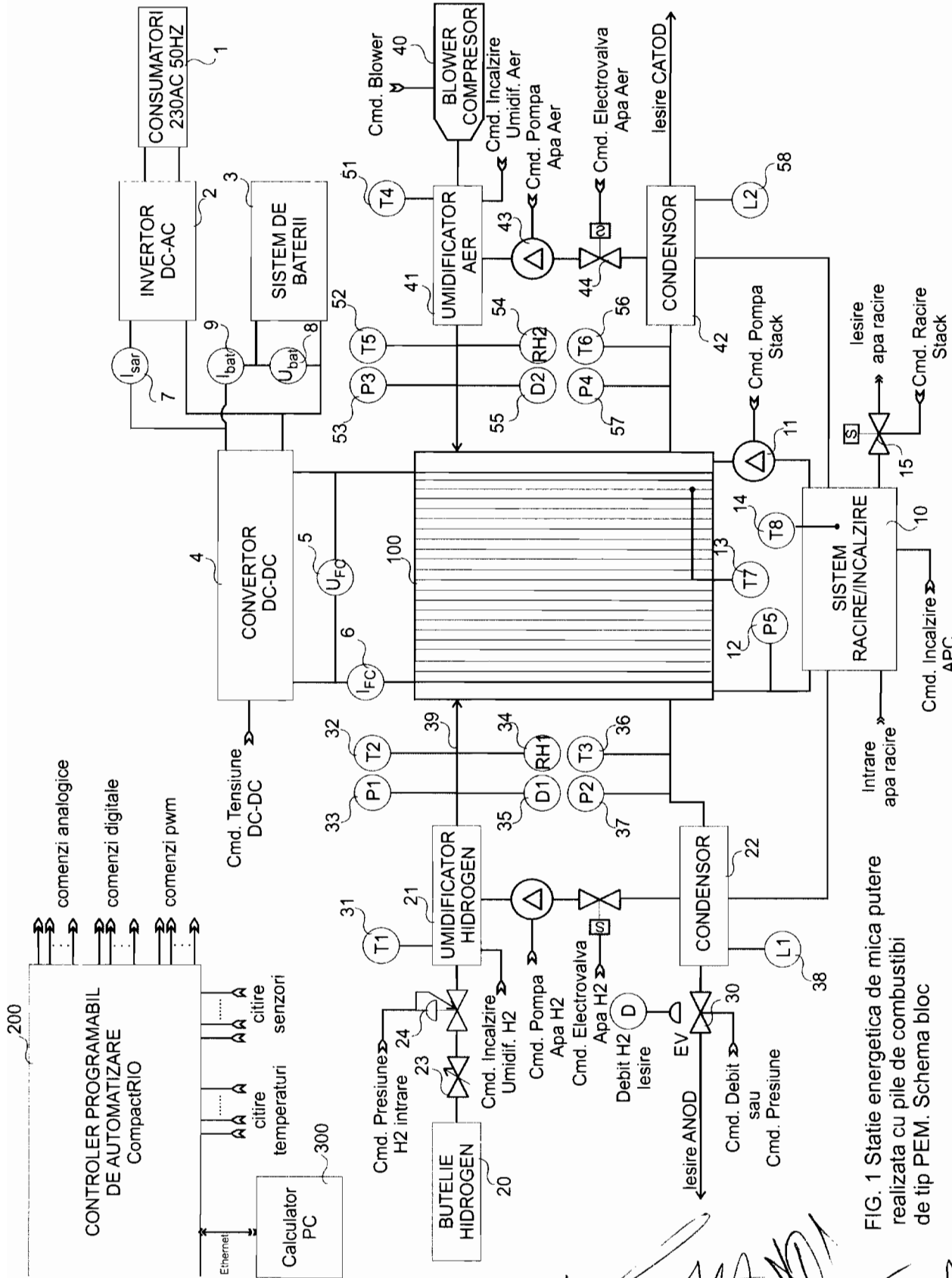


FIG. 1 Statie energetica de mica putere realizata cu pile de combustibili de tip PEM. Schema bloc



Handwritten signatures and initials at the bottom of the page.

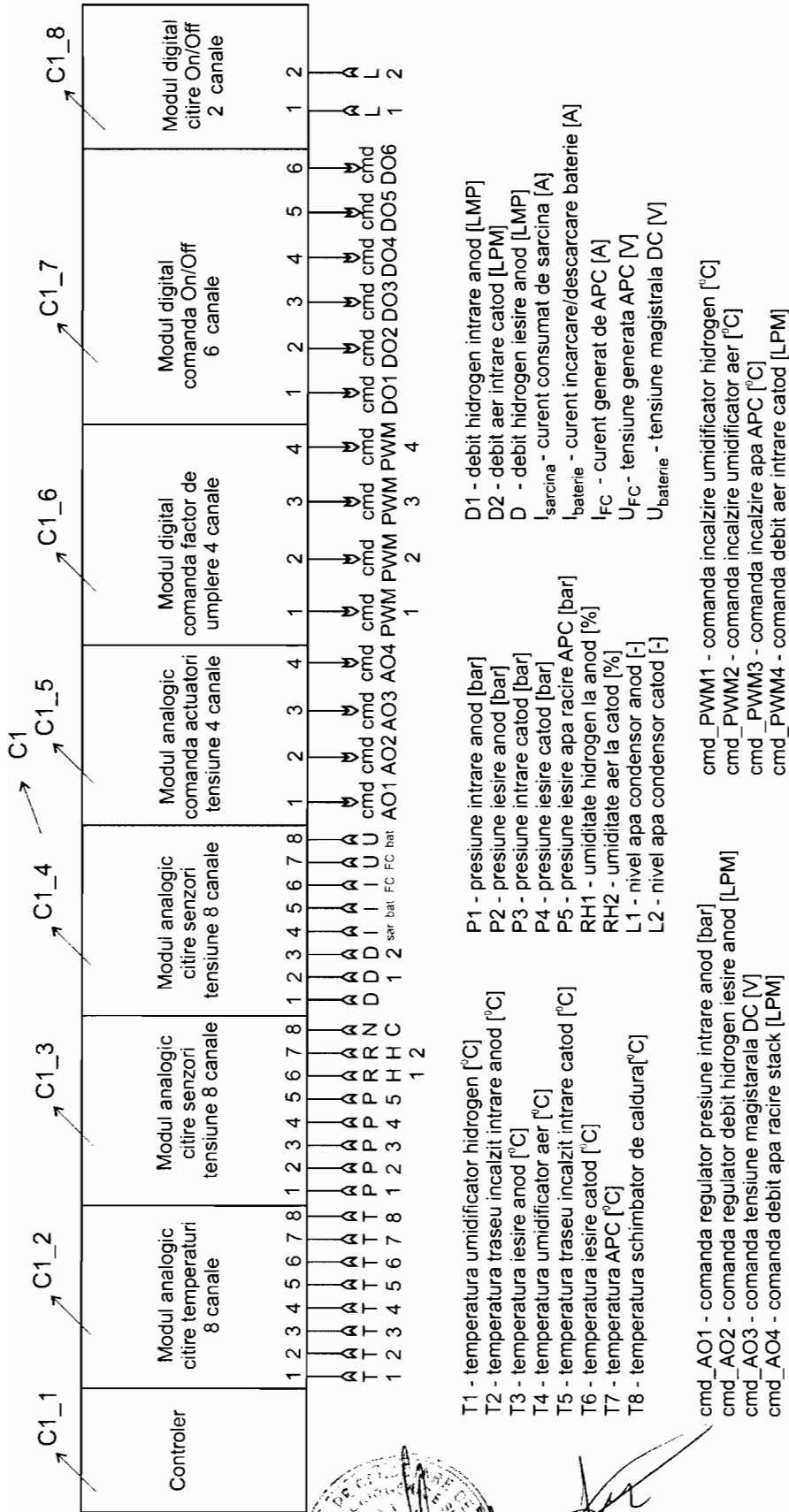
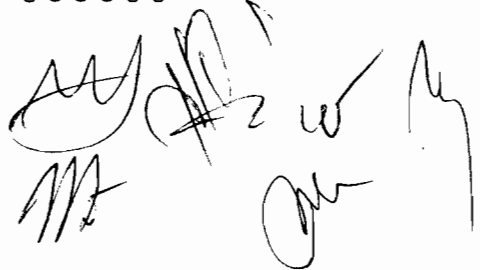
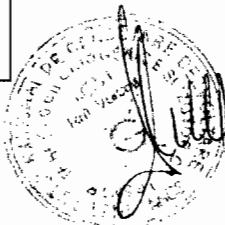


FIG.2 Controler programabil de automatizare de tip CompactRIO. Schema bloc



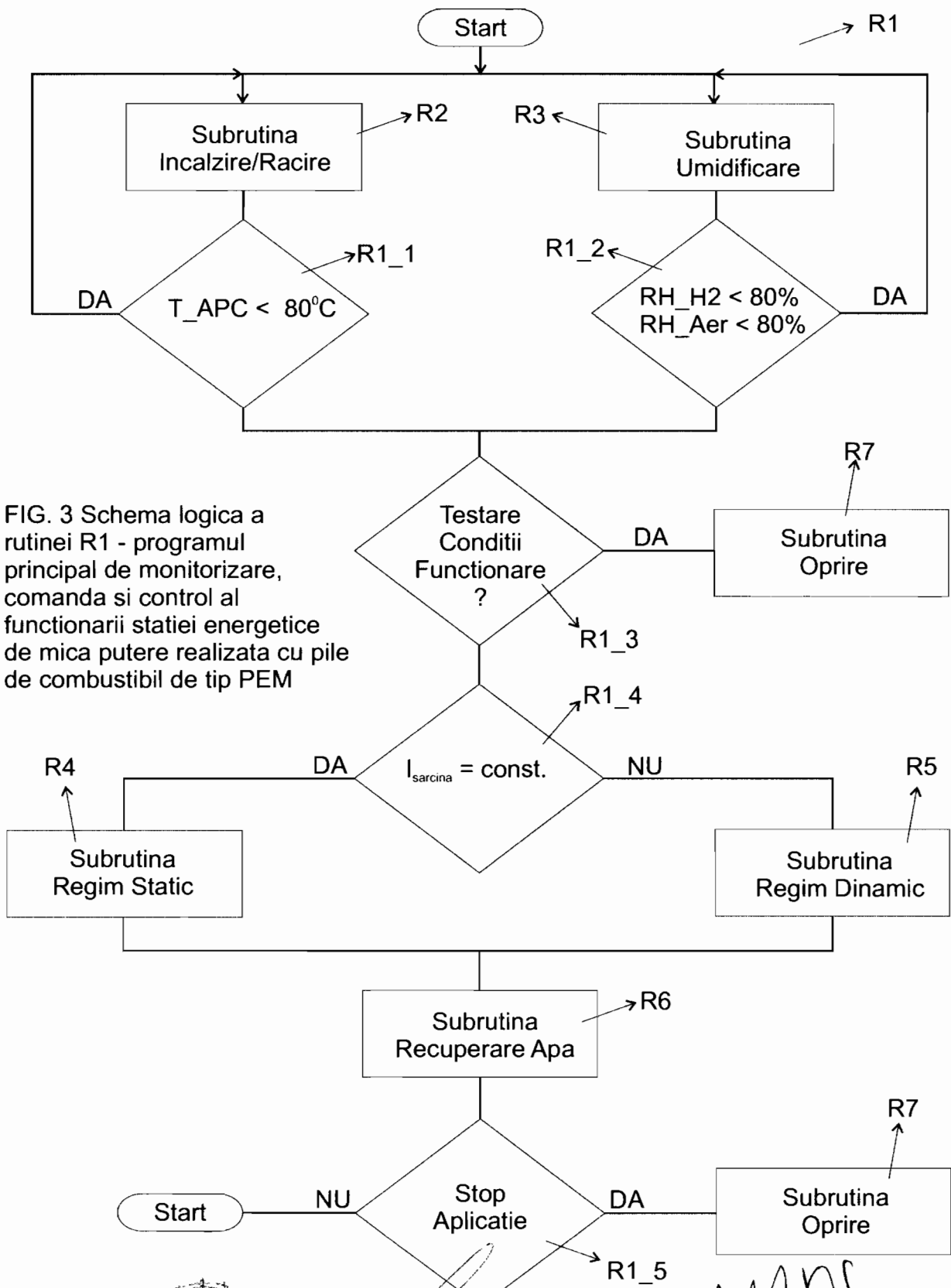
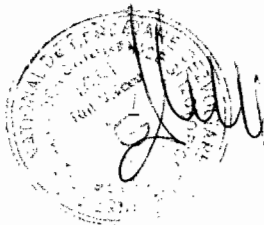


FIG. 3 Schema logica a rutinei R1 - programul principal de monitorizare, comanda si control al functionarii statiei energetice de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM



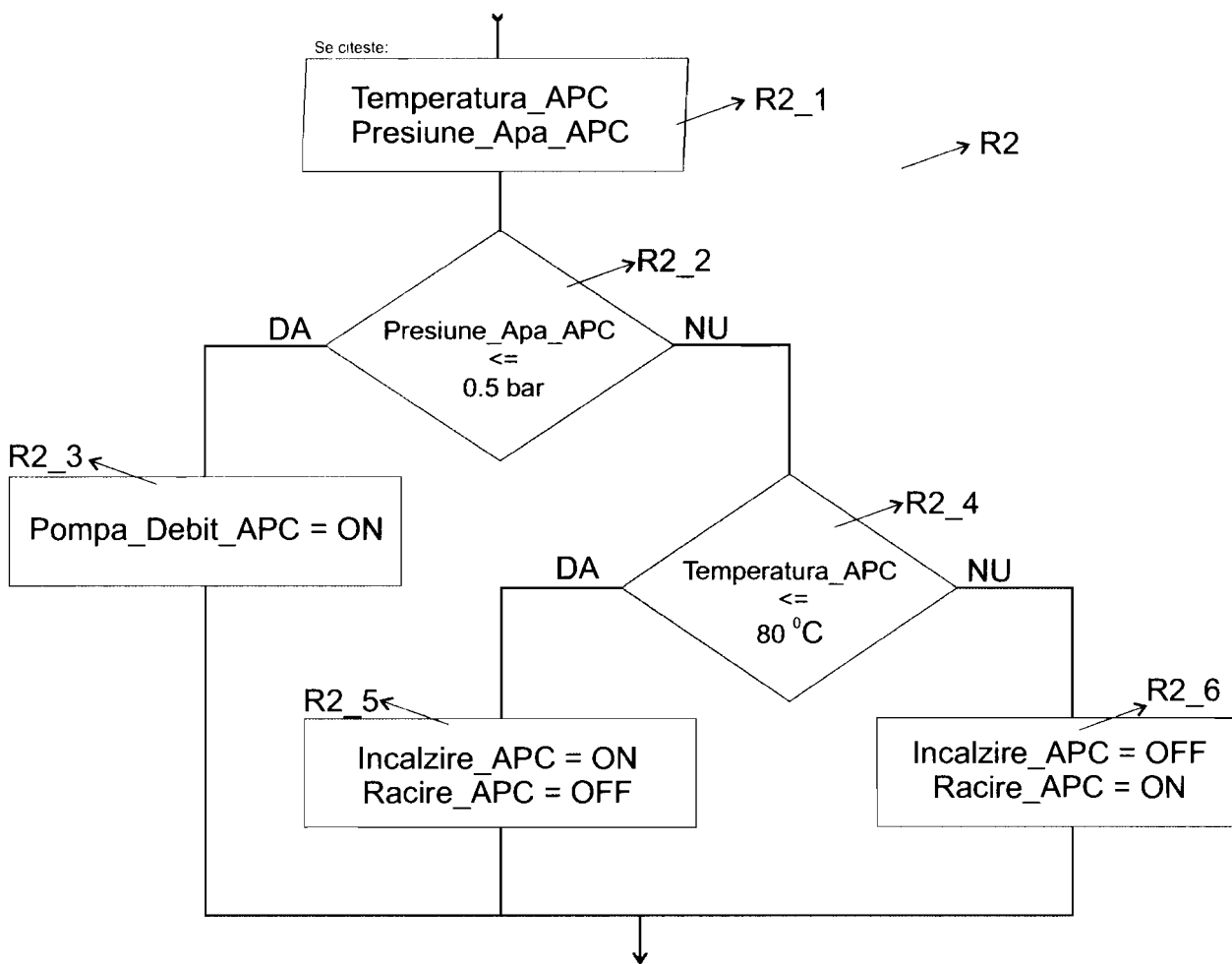
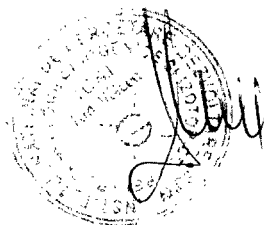


FIG.4 Schema logica a subrutinei R2 de monitorizare, comanda si control al temperaturii si presiunii de operare a ansamblului de pile de combustibil



[Handwritten signature]
4 din 10

[Handwritten signatures]

74

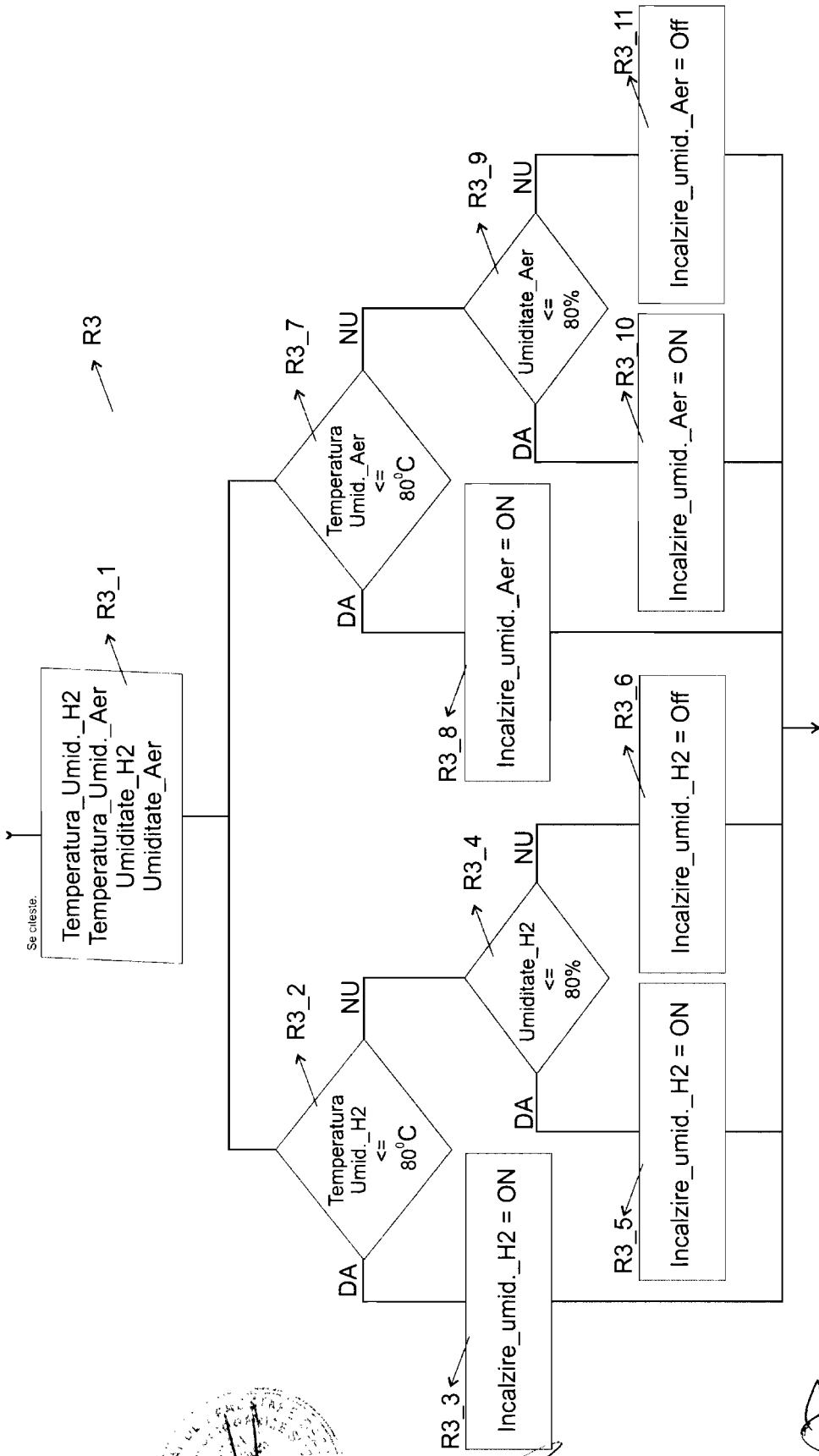
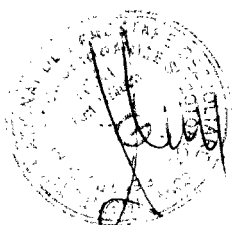


FIG. 5 Schema logica a subrutinei R3 de stabilire si mentinere a umiditatii gazelor de alimentare a ansamblului de pile de combustibil



[Handwritten signature]

[Handwritten signatures]

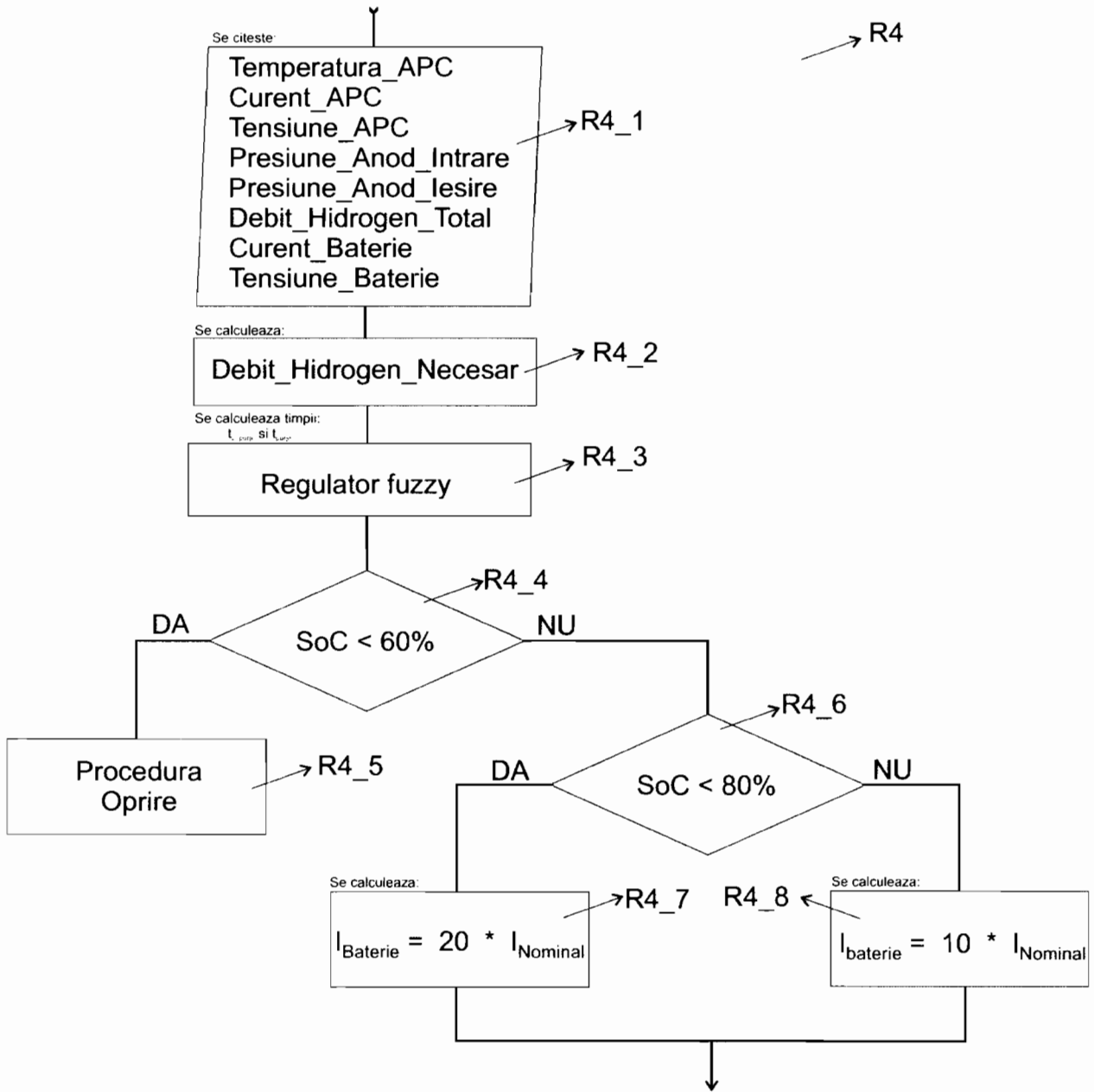


FIG. 6 Schema logica a subrutinei R4 de comanda si control al functionarii in regim static a statiei energetice de mica putere



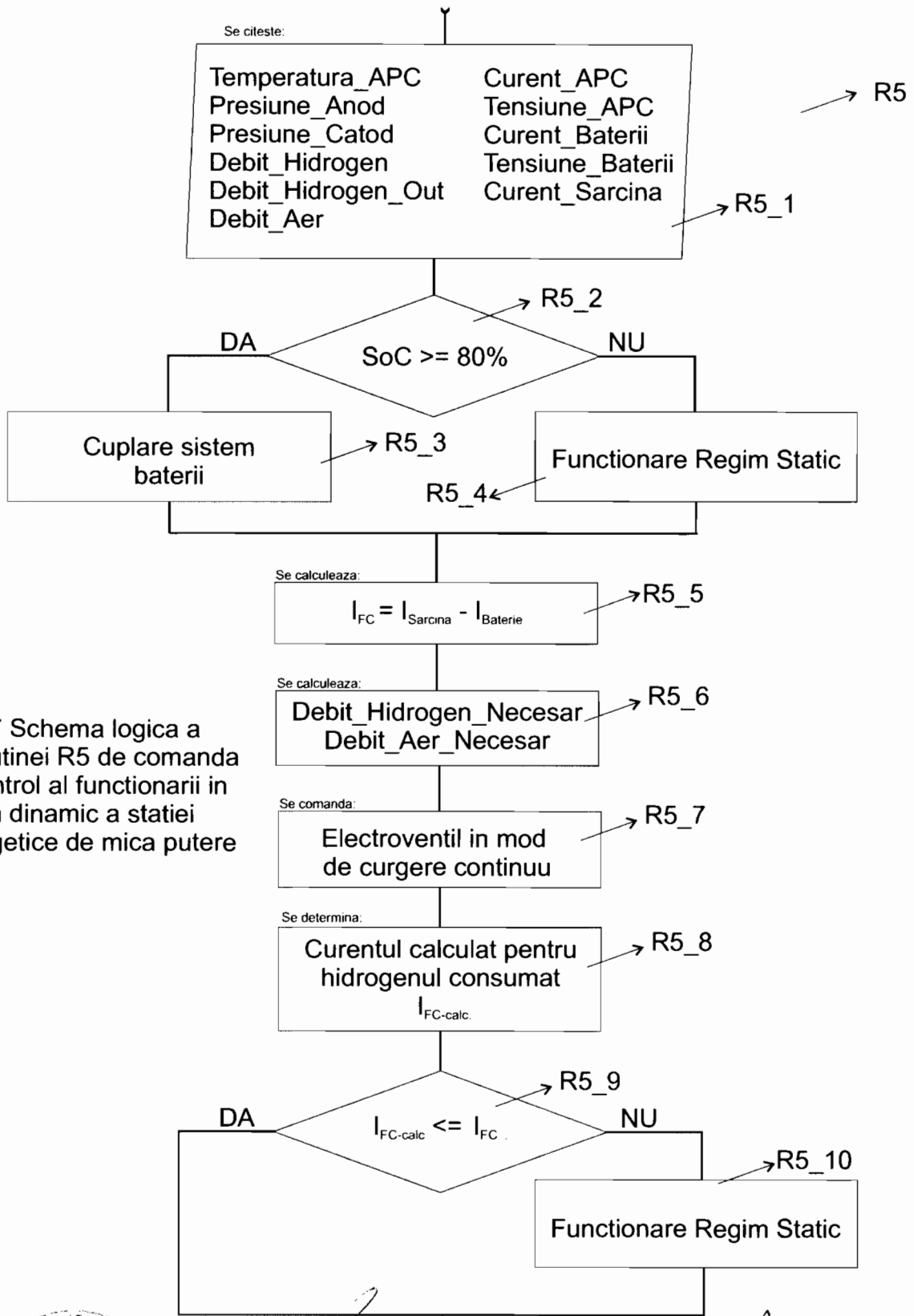
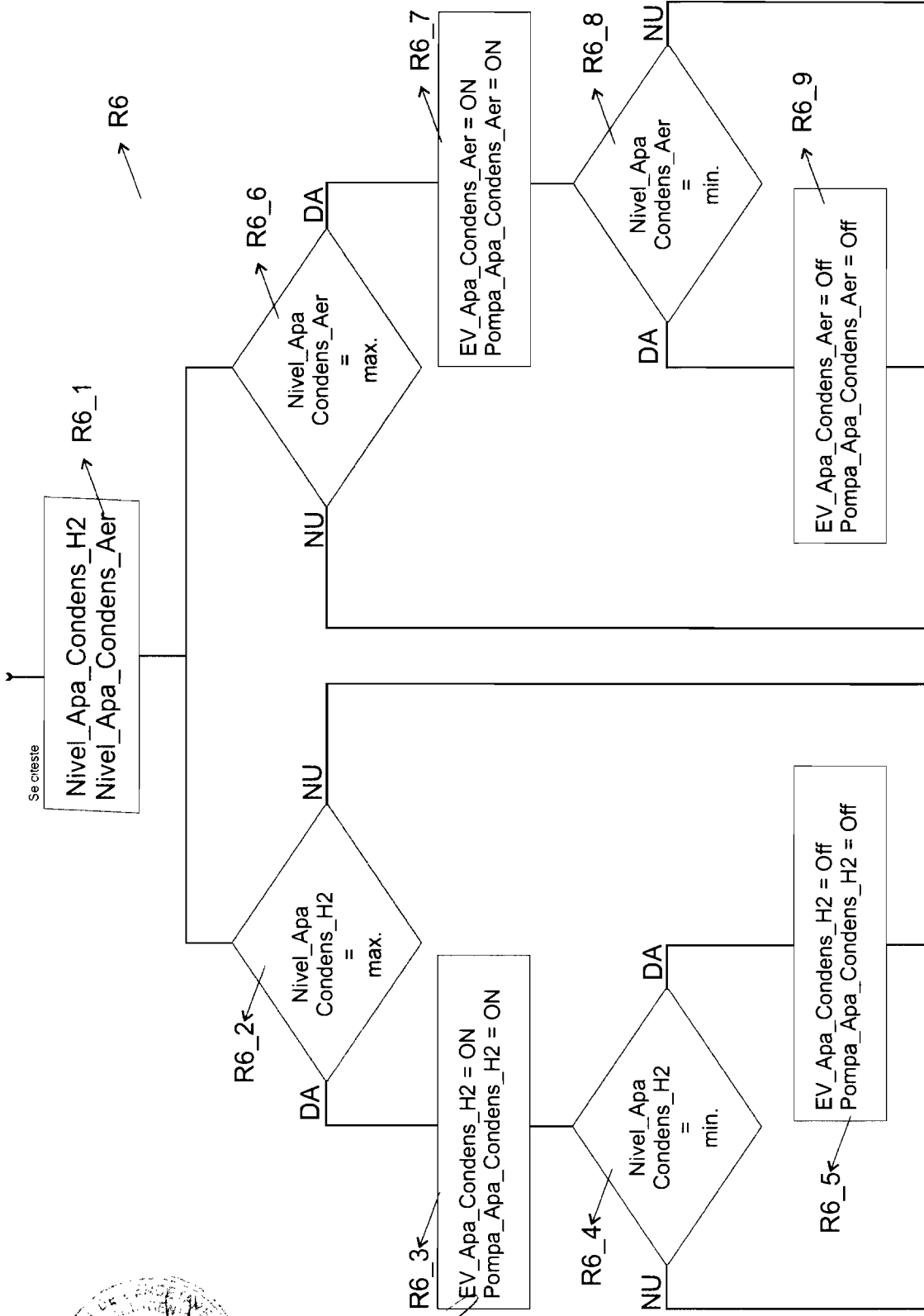


FIG.7 Schema logica a subrutinei R5 de comanda si control al functionarii in regim dinamic a statiei energetice de mica putere



Handwritten signature.

Handwritten notes and signatures at the bottom right, including '1/2', '1/2', and other illegible marks.



[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

FIG. 8 Schema logica a subrutinei R6 de comanda si control al procedurii de recuperare a apei din ansamblul de pile de combustibil

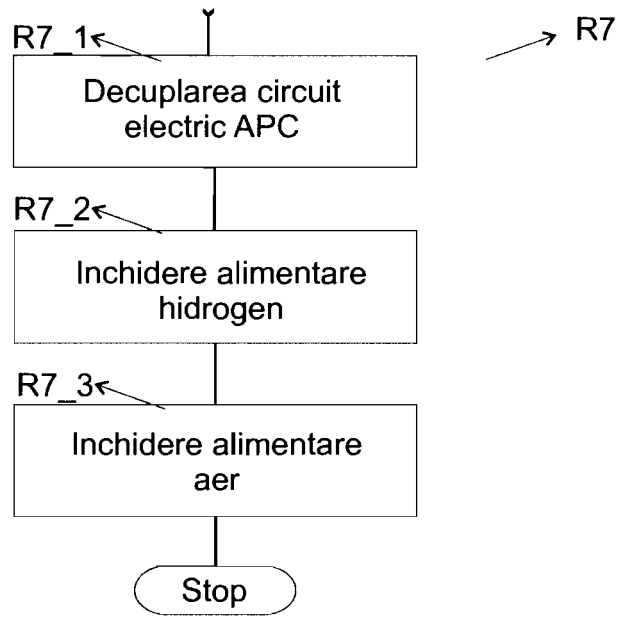
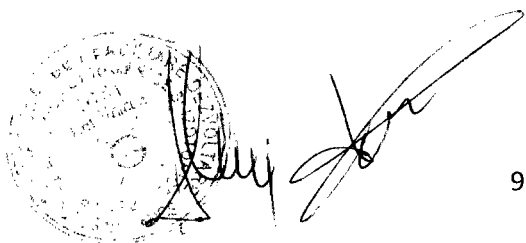
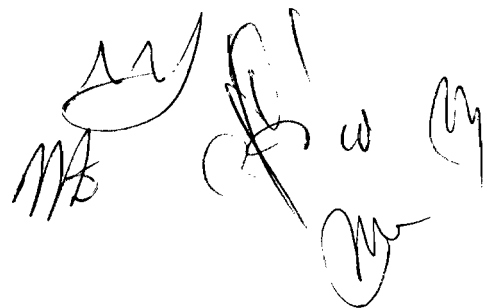
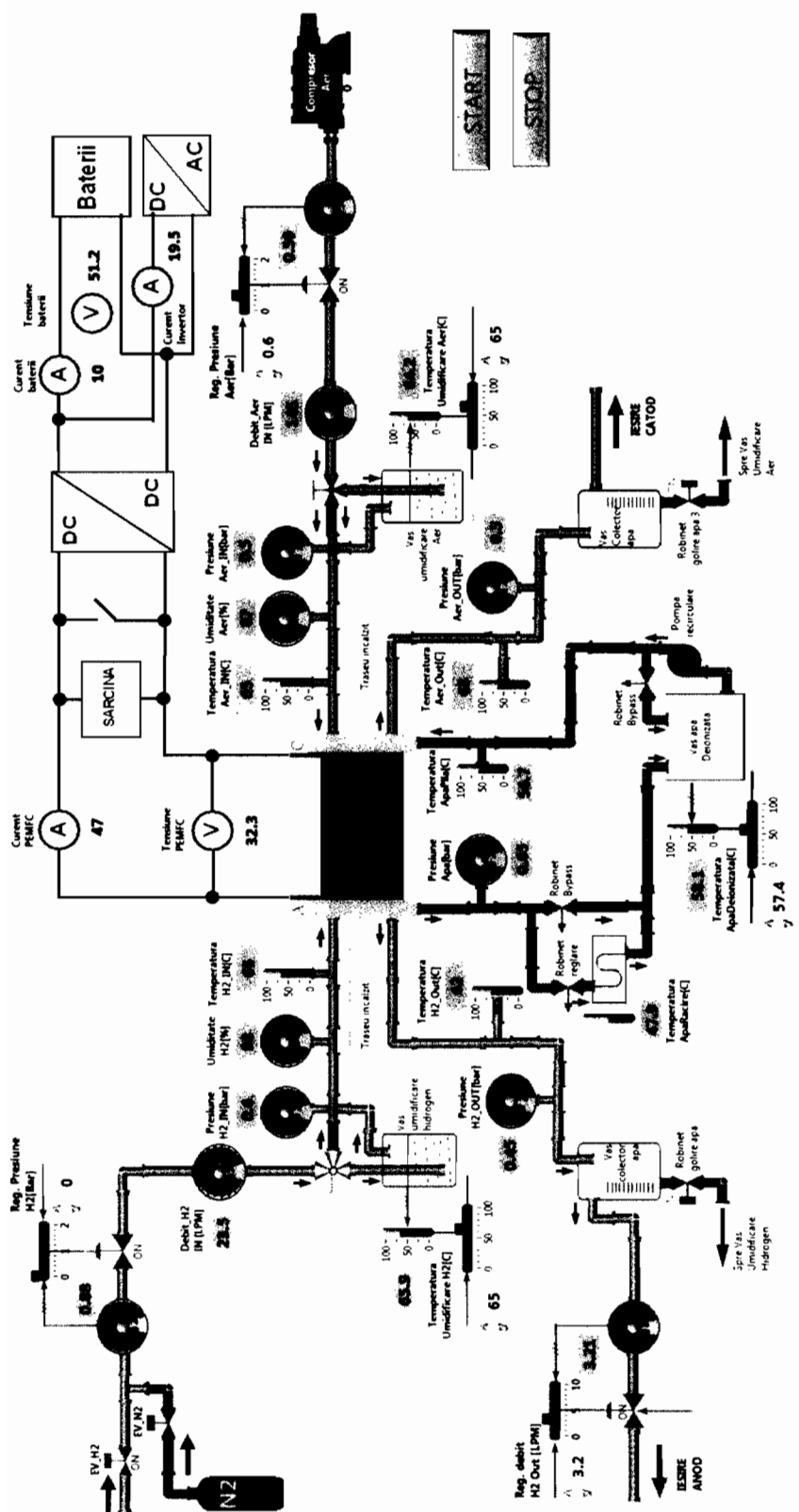


FIG.9 Schema logica a subrutinei R7 de oprire controlata a ansamblului de pile de combustibil





Handwritten initials



Handwritten signature
 NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY POLYTECHNIC OF BUCHAREST
 FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING
 DEPARTMENT OF ELECTRIC MACHINES AND ELECTRICAL POWER SYSTEMS
 100044 BUCHAREST, ROMANIA

FIG. 10 Interfata software pentru monitorizarea, comanda si controlul functionarii statiei energetice de mica putere realizata cu pile de combustibil de tip PEM

Handwritten signatures and initials