

SISTEM DE MANAGEMENT ENERGETIC SI METODA DE GESTIUNE A FUNCTIONARII ACESTUIA PE VEHICULE ECHIPATE CU MOTOARE CU ARDERE INTERNĂ

Rezumat: Invenția se referă la un sistem de management energetic pentru vehicule având ca elemente de stocare a energiei atât baterii de acumulatori cât și supercondensatori care împreună cu sistemele electronice bazate pe microprocesor, memorii, interfețe, dispozitive electronice de comutație și programe de funcționare asigură pornirea motorului cu ardere internă a vehiculului cu solicitarea minimală a bateriilor de acumulatori precum și netezirea variațiilor de curent ce apar în funcționare pe circuitele electrice ale vehiculului. Cu ajutorul sistemului propus se asigură reducerea solicitărilor electrice la care sunt supuse bateriile de acumulatori aflate pe vehicul pe durata procesului de pornire a motorului cu ardere internă, precum și atunci când motorul cu ardere internă funcționează, reducerea capacității acestora în condițiile menținerii sau îmbunătățirii funcționalității în contextul utilizării supercondensatorilor, îmbunătățirea pornirii motorului cu ardere internă cât și funcționarea de ansamblu a instalației electrice a vehiculului prin netezirea variațiilor sarcinii care apar în mod normal în funcționare. **Figura 1** se referă la structura de ansamblu a sistemului de management energetic compus din patru subsisteme de control (**1,3,4,5**), fiecare dotat cu microprocesor, memorie, interfețe și programe de funcționare, și toate interconectate într-o rețea Ethernet având în componență un switch **2** (comutator electronic de pachete de date) care asigură transferul informațiilor între subsisteme. Aceste subsisteme sunt implementează funcțiuni cum sunt interfața de comunicație om-sistem de management energetic -subsistemul 1-, sistemul de control a pornirii motorului cu ardere internă –subsistemul 3-, subsistemul de stabilizare a tensiunii generate pe vehicul –subsistemul 4-, și subsistemul de control a încărcării bateriilor de acumulatori –subsistemul 5-. În **figura 2** se detaliază sistemul dotat cu dublu tampon de sarcină, bateriile **6** și supercondensatorii **10**, care asigură pe durata funcționării motorului cu ardere internă, împreună cu sistemele de control **3**, **4**, și **5** și dispozitivele electronice de comutație aferente stabilizarea tensiunii furnizate de către mașina electrică **14**, având rolul de generator de energie electrică pe vehicul, pe circuitele electrice ale acestuia, precum și optimizarea încărcării bateriilor de acumulatori. Optimizarea încărcării bateriilor de acumulatori este realizată prin implementarea hardware și software a unei metode de încărcare bazată pe determinarea periodică a nivelului de încărcare a bateriilor de acumulatori, precum și prin măsurarea temperaturii bateriilor și controlul în funcție de cei doi parametri menționați a sarcinii injectate pe baterii de către sistemul de încărcare. Procesul de pornire a motorului cu ardere internă se realizează prin comutarea succesivă în circuitul mașinii electrice **14**, cu rol de demaror, a supercondensatorilor **10** în prima fază a procesului, urmată eventual de comutarea pe demaror a bateriilor de acumulatori **6**, funcție de temperatură, tipul de motor și vehicul.

Desene: 8

Revendicări: 8

Sistem de management energetic si metoda de gestiune a functionarii acestuia pe vehicule echipate cu motoare cu ardere internă

Invenția se referă la un sistem de management energetic bazat pe supercondensatoare și care dispune de un sistem de calcul numeric care rulează un program ce implementează, conform unei metode originale, o strategie de control aplicabilă pe vehiculele dotate cu motoare cu ardere internă. Rolul sistemului de management energetic conform invenției este acela de a optimiza energetic funcționarea de ansamblu a vehiculului prin reducerea consumului de combustibil și de energie electrică, cât și de a crește disponibilitatea vehiculului prin asigurarea unei porniri ușoare a motorului cu ardere internă. De asemenea, se asigură îmbunătățirea calității energiei electrice furnizate pe vehicul prin reducerea vârfurilor de curent datorate fenomenelor de comutație cu consecințe ce se traduc prin creșterea duratei de viață a bateriilor și reducerea capacității acestora în condițiile îmbunătățirii performanțelor vehiculelor, precum și prin optimizarea controlului funcționării elementelor electrice de pe vehicul.

Sunt cunoscute actualele sisteme de asigurare a energiei electrice pe vehicule care dispun de o mașină electrică - de curent continuu sau alternativ - pe post de generator, precum și de un sistem de încărcare a bateriilor, energia necesară fiind asigurată de către generatorul antrenat cu ajutorul motorului cu ardere internă. De obicei mașinile electrice aflate pe vehicule au dublu rol, asigură pornirea motorului cu ardere internă, perioadă în care funcționează ca motor, de obicei numit „demaror”, și totodată sunt utilizate ca generator pentru a asigura funcționarea echipamentelor electrice de pe vehicul și a asigura încărcarea bateriilor de acumulatori. Bateriile joacă rolul de element intermediar (tampon) în procesul de reglare și stabilizare a tensiunii pe vehicul și acela de sursă de energie în procesul de demaraj al motorului cu ardere internă. Pe vehicule, regimurile tranzitorii de funcționare supun bateriile unor variații importante atât ale curentului de încărcare cât și ale curentului de descărcare. Aceste regimuri pot apare la pornirea motorului cu ardere internă, pe durata funcționării acestuia când consumatorii își comută starea de funcționare, fie automat urmare acțiunii reguletoarelor existente, fie urmare acțiunii operatorului ce supervizează funcționarea vehiculului.

Variația importantă a curenților de încărcare-descărcare a bateriilor, în general peste 20% din valoarea capacității acestora duce la reducerea semnificativă a duratei lor de viață ceea ce constituie un dezavantaj important al acestui tip de sisteme.

Deși pe vehicule sunt prezente diferite variante de reguletoare de tensiune acestea nu pot suplini prin controlul realizat pe durata funcționării motorului cu ardere internă toate variațiile sarcinilor care se modifică pe vehicul. Constantele de timp ale reguletoarelor, precum și necesitatea asigurării stabilității acestora sacrifică mai mult sau mai puțin performanțele lor dinamice ceea ce se reflectă și prin apariția regimurilor de variație rapidă a curenților pe baterii uneori chiar având o amplitudine importantă, dinamica bateriilor nepermițând suplinirea imediată a cerințelor de curent apărute. În special, variațiile de scurtă durată datorate comutației principalilor consumatori de pe vehicul sau reglării efectuate pe generatorul existent reflectate și la nivelul bateriilor, prin variații de scurtă durată ale curentului în procesul de încărcare a bateriilor, afectează în sens negativ durata de viață a acestora, constituind un dezavantaj major al acestui gen de sisteme.

Atunci când motorul cu ardere internă nu funcționează, grija pentru menținerea în limite de variație acceptabile a curentului de descărcare al bateriilor este și mai importantă, încercarea de pornire solicită semnificativ bateriile cu consecințe în micșorarea duratei de viață a acestora, acest aspect constituind un dezavantaj major.

Mai mult, în cazul în care nivelul de încărcare a bateriilor este redus, pornirea motorului cu ardere internă, care necesită o putere de vârf ridicată, nu poate fi asigurată ceea ce duce la indisponibilizarea vehiculului, deci acest aspect constituie de asemenea, un dezavantaj.

În dese situații, repetarea procesului de pornire a vehiculului poate duce la descărcarea „adâncă” a bateriilor ceea ce cauzează, fără o prealabilă manifestare, distrugerea bateriilor de acumulatori și reduce semnificativ fiabilitatea și disponibilitatea de ansamblu a vehiculului, fapt care constituie într-un alt dezavantaj major.

Sunt cunoscute elemente de stocare a energiei cu posibilitatea de încărcare și descărcare rapidă a sarcinii cum ar fi supercondensatorii având electrozi simetrici realizați din carbon activat, iar electrolitul solid, organic, sau anorganic-apos. Aceștia din urmă au o densitate de putere ridicată, dar o densitate de energie redusă și astfel, ca atare, nu pot fi utilizați singuri pentru pornirea motoarelor cu ardere internă decât în cazuri particulare datorită necesității de a furniza energie suplimentară procesului de pornire, ceea ce constituie de asemenea într-un dezavantaj al folosirii singulare a supercondensatorilor drept surse de energie la pornirea motoarelor cu ardere internă, ceea ce constituie un dezavantaj.

Mai mult, în cazul utilizării supercondensatorilor cu electrolit organic sau solid, aceștia prezintă tensiunii nominale pe dispozitiv relativ reduse sub 10V, ceea ce face ca în aplicații din domeniul transporturilor, pe vehicule, să fie necesară înserierea unor supercondensatori și utilizarea unor rețele rezistive de echilibrare a montajelor serie ale supercondensatorilor, acest aspect constituindu-se într-un dezavantaj. Spre deosebire de tipurile menționate mai înainte, celulele de supercondensatorii având electrolit apos pot fi integrate în dispozitive compacte în tehnologia „stacked” realizându-se astfel supercapacitori de înaltă tensiune (zeci sute de volți tensiune nominală) care nu necesită nici un element extern de echilibrare.

Sunt cunoscute realizările ce privesc dispozitive compuse din baterii și supercapacitori care în general sunt conectați în paralel în scopul compensării variațiilor de curent atât de scurtă durată cât și a acelor de durată medie sau lungă. Utilizarea în conexiuni electrice necomandate a bateriilor împreună cu supercondensatorii, de obicei conectate în paralel în circuitele electrice de pe vehicul, nu determină îmbunătățirea semnificativă a funcționării sistemelor electrice, ceea ce se constituie într-un dezavantaj al acestui gen de sisteme.

Mai mult, prezența supercondensatorului nu este exploatată, căci bateriile în raport cu supercondensatorii prezintă o rezistență echivalentă serie, internă, dinamică, relativ mare (în primele zeci, sute de milisecunde), iar prin capacitatea net mai mare a bateriilor în raport cu supercondensatorii, respectiv densitatea de energie mare, acestea vor limita variația tensiunii la bornele supercondensatorului. Astfel doar o foarte mică parte din energia stocată pe supercondensatori va putea fi efectiv folosită –extrasă-, ceea ce se constituie de asemenea într-un dezavantaj, conform și determinărilor ilustrate de figura 6 (curbele **E** și **F**).

În cazul bateriilor, din motive ce țin de stabilitatea și durata de viață a bateriilor, doar o foarte mică parte din energia stocată va putea fi efectiv folosită fără a afecta semnificativ durata de viață a acestora, ceea ce duce la necesitatea supradimensionării capacității bateriilor încă din faza de proiectare și implică pentru obținerea unor performanțe acceptabile, acceptarea unei greutăți portante pe vehicule mărite cu consecințe directe de reducere a eficienței energetice globale a vehiculelor, deci se constituie într-un dezavantaj.

Adăugăm și faptul că pentru obținerea curenților necesari pornirii vehiculelor, prin proiectare, are loc o supradimensionare semnificativă a bateriilor ce duce la efecte economice negative asupra prețului dar și legate de reciclare, de afectarea mediului inclusiv prin și creșterea consumului specific al vehiculului urmare greutății portante mărite, toate aceste elemente constituindu-se în dezavantaje pentru vehicul.

Utilizarea unor elemente de comutație de tip electromecanic, contactori, întreruptoare, nu este de dorit, căci timpii de comutație ai acestora sunt uneori comparabili cu constantele de timp ce caracterizează variația rezistenței echivalente serie a bateriilor, de asemenea, durata comutației contactoarelor poate varia în raport cu tensiunea la care bobinele acestora sunt alimentate și nu sunt mereu exact aceiași ceea ce afectează precizia reglării atunci când sunt utilizați pe vehicule ceea ce se constituie într-un dezavantaj.

Menționăm că dacă ciclabilitatea bateriilor cu plumb, este puternic limitată la maximum câteva sute de cicluri de încărcare/descărcare, dar nu numai a acestora, ci și a celorlalte tipuri de baterii spre exemplu Li-Ion, unde se pot atinge cel mult câteva mii de cicluri, în cazul supercondensatorilor această ciclabilitate atinge valori de ordinul sutelor de mii sau milioane de cicluri de încărcare/descărcare. Mai mult, aceste cicluri pot să se deruleze cu descărcarea până la zero a tensiunii pe supercondensator, pe când la baterii acest nivel este în medie de maximum 15-20% din capacitatea totală a bateriilor, deci soluțiile de sisteme ce presupun utilizarea exclusivă a bateriilor nu sunt eficiente și suficient de fiabile ceea ce se constituie ca un dezavantaj major.

Se cunosc sisteme de management energetic de pe vehicule care tratează unitar toate circuitele electrice existente pe acestea, ceea ce face ca anumite caracteristici ale elementelor de acționare (în special a mașinilor electrice, în speță a demaroarelor cu excitație serie care asigură un cuplu de pornire ridicat dar cu solicitarea semnificativă a bateriilor) să nu poată fi exploatate. La fel se petrece și cu motoarele cu ardere internă care deseori în procesul de pornire prezintă un regim instabil de funcționare exploziile apărute la nivelul motorului cu ardere internă cedează parțial energia apărută elementelor mecanice ale sistemului, dar și ansamblului convertor electromecanic (demaror) circuite de pornire și baterie, acesta din urmă funcționând ca un amortizor sau filtru trece jos al procesului dinamic datorat exploziei amestecului carburant în cilindrii motorului cu ardere internă deci consumând parțial din energia primelor explozii ale amestecului carburant, ceea ce reprezintă un dezavantaj.

Existența a două elemente de stocare a energiei pe vehicul, unul având o constantă de timp foarte redusă (de ordinul milisecundelor) și altul cu o constantă de timp medie (de ordinul zecilor, sutelor de milisecunde) nu este exploatată pe sistemele cunoscute în scopul reducerii greutateii portante, al creșterii eficienței energetice globale. De asemenea, utilizarea supercondensatorilor nu este exploatată dual în faza de pornire a motorului cu ardere internă și ulterior când acesta funcționează, ceea ce constituie un dezavantaj atât din punct de vedere economic (preț de cost al vehiculului mărit), dar și din punctul de vedere al calității reglării tensiunii pe vehicul și al fiabilității bateriilor.

Sunt cunoscute sisteme de comutație electrică a tiristoarelor care dispun de circuite de stingere separate care au în general un element acumulator de energie prin a cărui comutare comandată se aplică o tensiune inversă pe tiristor în vederea forțării trecerii prin zero a curentului între anod și catod, deci realizează stingerea acestuia. Astfel de sisteme dispun practic de un ansamblu de elemente electrice și electronice care compun circuitul de stingere, complicând sistemul pe ansamblu și ducând la reducerea fiabilității de ansamblu, ceea ce reprezintă un dezavantaj al utilizării acestora.

Sunt cunoscute sisteme de pornire a motoarelor cu ardere internă pe vehicule care prezintă fie senzori de turație, fie senzori de zgomot care sesizează pornirea sigură, fiabilă a motorului cu ardere internă. La aceste sisteme senzorii sunt cuplați mecanic fie rigid fie prin intermediul unor elemente de legătură la motorul cu ardere internă, indicațiile senzorilor putând fi afectate de erori datorate cuplajului funcțional mecanic realizat între senzor și cu motorul cu ardere internă. În cazul senzorului de zgomot factori externi, cu ar fi zgomotul ambiental sau vibrația unor

elemente constructive ale vehiculului, pot determina artefacte în procesul de sesizare a stării motorului cu ardere internă sau complicații privind sistemul de procesare de semnal ceea ce se constituie, de asemenea, ca un dezavantaj al acestor sisteme.

O problemă tehnică pe care noul sistem conform invenției o rezolvă eliminând o parte din deficiențele mai sus menționate constă în: creșterea fiabilității procesului de demaraj al motorului cu ardere internă și optimizarea fluxului de putere transmis de la supercapacitor către demaror în prima fază a procesului de pornire a motorului cu ardere internă al vehiculului. Aceasta se realizează inclusiv în situația în care nivelul de încărcare al bateriilor de pe vehicul este redus, precum și atunci când temperatura mediului ambiant și a motorului sunt reduse.

O altă problemă pe care soluția conform invenției o rezolvă constă în reducerea variațiilor de tensiune pe circuitele electrice ale vehiculului și creșterea duratei de viață a bateriilor de acumulatori pe durata cât motorul cu ardere internă funcționează, iar generatorul antrenat de către acesta debitează energie.

O altă problemă pe care noul sistem conform invenției o rezolvă constă în reducerea greutatea portante pe vehicul a surselor de energie electrică utilizate în condițiile menținerii sau chiar a îmbunătățirii funcționalității vehiculului, respectiv a pornirii motorului cu ardere internă și a furnizării unei tensiuni stabilizate cu variații extrem de reduse.

O altă problemă pe care sistemul o rezolvă, conform invenției, constă în comutarea automată, optimă a supercondensatorilor respectiv apoi a bateriilor în circuitul electric al demarorului folosind un program de calculator implementat pe un sistem de calcul dedicat cu memorie, având senzori, interfețe de comunicație cu celelalte subsisteme. Procesoarele asigură adaptarea comenzilor la condițiile de start ale motorului cu ardere internă, temperatura sa și a mediului ambiant, precum și corelează comenzile în raport cu nivelul de încărcare măsurat al bateriilor.

O altă problemă pe care sistemul, conform invenției, o rezolvă pe durata funcționării motorului cu ardere internă și a generării de energie electrică de către generator constă în îmbunătățirea caracteristicilor sistemului de încărcare a bateriilor de acumulatori de pe vehicul ce duce la creșterea fiabilității și a duratei de viață a bateriilor.

O altă problemă pe care sistemul, conform invenției, o rezolvă constă în dezvoltarea unei interfețe de comunicație cu operatorul uman care permite vizualizarea permanentă a stării sistemului de management energetic și dă posibilitatea operatorului uman de a comanda parametrii acestuia, inclusiv de a diagnostica stările pe care sistemul le parcurge.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

Îmbunătățește procesul de pornire a motorului cu ardere internă prin injectarea unui curent conform nevoilor demarorului în conjuncție cu caracteristicile motorului cu ardere internă fără a afecta în același timp bateriile de acumulatori pentru care curentul este menținut în limitele de variație acceptate de către acestea.

Îmbunătățește calitatea sistemului regulator de tensiune prin evitarea vârfurilor de curent ce apar inerent la comutația elementelor electrice în circuitele electrice ale vehiculului.

Îmbunătățește pornirea la rece, și în condiții de nivel de încărcare redusă a bateriilor, pentru motorul cu ardere internă.

Optimizează dinamic utilizarea energiei electrice disponibile pe vehicul în scopul menajării bateriilor.

Optimizează procesul de comutație a elementelor electrice în circuitele de pornire, precum și în funcționarea sistemului regulator de tensiune de pe vehicul.

Reduce greutatea portantă pe vehicul în condițiile menținerii sau chiar îmbunătățirii performanțelor reglatoarelor de pe vehicul, precum și a sistemului de control al pornirii motorului cu ardere internă.

Crește fiabilitatea și durata de viață a bateriilor imbarcate pe vehicul.

Îmbunătățește interfața om-mașină pe vehicul necesară supervizării proceselor energetice controlate pe vehicul.

Crește eficiența energetică a proceselor de pornire, încărcare a bateriilor și furnizare a energiei electrice necesare pe vehicul.

În afara acestor îmbunătățiri directe, invenția are consecințe indirecte cum sunt cele de reducere a poluării, reducere a consumului de combustibil și a eforturilor materiale și tehnice privitoare la reciclarea elementelor componente ale vehiculelor.

Sistemul de management energetic, conform invenției este un sistem dotat cu microprocesoare, elemente de memorie, interfețe, senzori și mijloace de comandă și control, și programe de calculator, fiind distribuit pe mai multe subsisteme interconectate informațional prin intermediul unei rețele locale de comandă și control. Fiecare dintre subsisteme cuprinde un microprocesor sau microcontroler dotat cu memorie, senzori, interfețe specifice, elemente de comandă și control precum și programe care implementează una sau mai multe funcțiuni.

Sistemul de management energetic cuprinde următoarele subsisteme:

- Subsistemul ce implementează interfața om-sistem de management energetic;
- Router-ul;
- Subsistemul dedicat controlului procesului de pornire a motorului cu ardere internă;
- Subsistemul dedicat procesului de monitorizare a curentului și tensiunii în circuitul demarorului în faza de pornire a motorului cu ardere internă, respectiv de stabilizare a tensiunii generate pe vehicul pe durata cât motorul cu ardere internă funcționează;
- Subsistemul dedicat încărcării optime a bateriilor de acumulatori.

Această organizare distribuită permite realizarea cu ușurință a funcțiunilor de comandă și control în timp real a proceselor care se derulează în cadrul sistemului de management energetic de pe vehicul, crescând fiabilitatea și disponibilitatea sistemului în sensul că defectarea unuia dintre subsisteme nu indisponibilizează tot ansamblul, căci prin program subsistemele pot asigura cel puțin o minimală compensare funcțională a subsistemului defect, inclusiv prin strategia de programare defensivă adoptată la proiectarea programelor care rulează pe diferitele subsisteme ale sistemului de management energetic.

Echipamentul ce implementează sistemul de management energetic dispune de elemente energetice precum și de sisteme de procesare a informațiilor compuse din microprocesoare sau microcontrolere având interfețe de comandă control și achiziție prin care sunt interconectate. Astfel subsistemul ce implementează interfața om-mașină asigură prin intermediul unei tastaturi și al unui ecran dialogul cu operatorul uman. Acesta poate să transmită comenzi către toate subsistemele de calcul de pe vehicul care sunt interconectate informațional. Sunt implementate funcțiuni de depanare ce permit determinarea stării sistemului de management energetic și a subsistemelor aferente, precum funcțiuni de înregistrare a mărimilor de interes cum sunt: tensiunea pe bateriile de acumulatori și pe supercondensatori, nivelul de încărcare al bateriilor, curenții și tensiunile în circuitele principale ale sistemului de management energetic, precum și duratele de timp cât vehiculul a funcționat sau a staționat. Prin aceasta se înlătură unele dintre dezavantajele menționate mai înainte asigurându-se atât informarea imediată a operatorului uman dar, și asistarea acestuia în procesul de depanare a sistemului.

Subsistemul dedicat procesului de pornire a motorului cu ardere internă se compune din bateria de acumulatori care furnizează, urmare comenzii recepționate de la operator prin intermediul subsistemului ce implementează interfața om-mașină, comanda de încărcare prealabilă a supercondensatorului, comandă executată de către un dispozitiv electronic de putere ce va comuta în starea „on” (circuit electric închis) atunci când operatorul a apăsât tasta de pregătire a pornirii. Utilizând un element de limitare a curentului, vârful de curent care apare la comutația bateriei pe supercapacitor este limitat, valoarea maximă fiind stabilită în prealabil la maximum 20% din capacitatea bateriilor de acumulatori. Sincron cu comanda de încărcare aplicată cu ajutorul dispozitivului de comutație de putere, prin programul care se execută pe sistemul de calcul dotat cu microcontroller, are loc declanșarea unui temporizator intern care are rolul de a limita procesul de încărcare independent de starea de încărcare a supercondensatorului după un timp presetabil și dependent de baterii, supercondensatori și elementul de limitare din cadrul circuitului de încărcare. Același semnal de start a încărcării va fi transmis subsistemului de monitorizare a curentului și tensiunii, care pe toată durata procesului de încărcare a supercondensatorului, va achiziționa informațiile corespunzătoare tensiunii atinse pe supercondensatori și va transmite subsistemului de pornire a motorului cu ardere internă semnalul de trecere în starea „off” (deschidere a circuitului electric) a dispozitivului electronic de putere atunci când tensiunea pe supercondensator va depăși 98% din valoarea tensiunii de pe baterii, informând totodată operatorul uman asupra noii stări apărute în sistem. Menționăm că independent de măsurile mai sus menționate, dispozitivul de comutație de putere este prevăzut cu un sistem de anulare automată a comenzii în cazul încercării de a comuta pe scurtcircuit în starea „on”, cu informarea simultană a operatorului. Prin redundanța funcțională, creată hardware și prin program (software), se crește fiabilitatea sistemului de pornire a motorului cu ardere internă înlăturându-se astfel posibilele situații de blocare în conducție a dispozitivului de comutație precum și se îmbunătățește funcționalitatea sistemului prin generarea automată în caz de funcționare defectuoasă a sa a unui semnal de avertizare a operatorului uman, înlăturându-se astfel o parte din deficiențele menționate anterior.

La inițiativa operatorului uman, prin intermediul subsistemului interfață om-mașină, este transmisă comanda de start a motorului cu ardere internă către subsistemul de pornire a motorului cu ardere internă. Urmare acestei comenzi, tiristorul ca dispozitiv de comutație de putere, va comuta în starea „on” începând să descarce supercondensatorul în circuitul electric al motorului de curent continuu cu excitație serie utilizat drept demaror. Folosind drept elemente de stocare supercondensatori de tip „stacked” de înaltă tensiune cu electrolit apos dispunem practic de un element de stocare a energiei ce prezintă o densitate de putere extrem de ridicată în concordanță cu caracteristicile demarorului, ceea ce face ca acesta să poată debita cuasi instantaneu cuplul maxim de pornire îmbunătățindu-se prin aceasta comportamentul dinamic al sistemului și totodată, în cazul motoarelor cu ardere internă diesel, crește viteza de compresie spre limitele maxime admise, ceea ce îmbunătățește semnificativ condițiile de pornire ale motorului cu ardere internă înlăturându-se astfel o parte dintre deficiențele mai sus menționate.

Funcție de dimensionarea elementului de stocare temporară a energiei, precum și funcție de tipul motorului cu ardere internă precum și de alți parametri termici și mecanici, motorul cu ardere internă poate porni urmare primului impuls de tensiune aplicat de pe supercondensator sau necesită prelungirea procesului de pornire prin aplicarea tensiunii de pe baterii în circuitul demarorului. Această decizie ține de proiectantul sistemului care experimental sau prin modelare teoretică va preciza și apoi implementa prin program strategia de pornire. În ambele situații însă, primul impuls de curent va fi preluat de pe supercondensator înlăturându-se astfel un dezavantaj important anterior menționat. Sincron cu comanda de aprindere a tiristorului care va descărca în

circuitul demarorului supercondensatorului are loc declanșarea monitorizării curentului și a tensiunii aplicate pe demaror, monitorizare ce cade în sarcina sistemului de monitorizare a curentului și tensiunii. Prin procesarea de către acesta a semnalelor mai sus menționate sunt detectate stările succesive prin care trece atât demarorul cât și motorul cu ardere internă. Pe de-o parte, monitorizarea tensiunii oferă informațiile despre viteza de rotație cu care demarorul antrenează motorul cu ardere internă, iar pe de altă parte, senzorul de curent oferă informații asupra „sarcinii mecanice” reflectate la nivelul arborelui demarorului. Astfel, monitorizând tensiunea, este detectată variația vitezei unghiulare de rotație a demarorului și implicit a motorului cu ardere internă, iar pe de altă parte, variația curentului în circuitul demarorului va decela apariția exploziilor amestecului carburant în cilindrii motorului cu ardere internă, variație ce determină modificarea cuplului rezistent la arborele demarorului. Cum varietatea condițiilor de pornire a motorului cu ardere internă este largă și influențează pozitiv sau negativ pornirea acestuia (temperatura, viscozitatea uleiului, frecările mecanice) sistemul descris mai înainte conform invenției, va înlătura dezavantajele mai sus menționate și va permite comutarea automată, autonomă în raport cu factorii de influență externi, a circuitului de alimentare a demarorului de pe supercondensatori pe baterii. În ambele situații, și atunci când pornirea motorului cu ardere internă presupune includerea acestei etape și atunci când aceasta nu este necesară, comutatorul electronic complet comandat, aplică pentru durata cât se menține prin program alimentarea demarorului de la baterii, respectiv pe durata de timp corepunzătoare timpului de stingere a tiristorului, tensiunea de pe acestea pe demaror care implicit duce la stingerea (trecerea în stare „off”) acestuia. Metoda originală dezvoltată se bazează pe monitorizarea tensiunii și curentului în circuitul de descărcare a supercondensatorilor pe demaror și constă în determinarea printr-un algoritm de calculul, implementat pe sistemul dotat cu microcontroler ce rulează programul corespunzător, a punctelor de extrem relative ale curentului din circuit, -informația furnizată corespunde numărului de explozii ale amestecului carburant ce apar în motorul cu ardere internă- și a tensiunii pe supercondensatori sau demaror -informație ce relevă viteza de rotație a motorului cu ardere internă-. Experimental, pentru fiecare sistem în parte și pentru un set de temperaturi ce acoperă domeniul de funcționare al motorului, se va determina pragul corespunzător turației minime atinse în procesul de start pentru care regimul de funcționare al motorului cu ardere internă rămâne stabil -prag dependent de tipul de motor cu ardere internă - cu benzină sau diesel - de sistemul de control a motorului cu ardere internă precum și de sistemul de alimentare cu combustibil al acestuia, sisteme care asigură reglarea turației și a puterii motorului. Atingerea acestui regim este, de asemenea, dependentă de numărul de explozii apărute în cilindrii motorului pe durata procesului de pornire a acestuia. Funcție de dimensionarea elementelor electrice ce concură la imprimarea mișcării de rotație a motorului cu ardere internă, supercondensatori, capacitatea bateriilor elementele de comutație, precum și de temperatură, se adoptă strategia de pornire cu comutarea în circuitul demarorului și a bateriilor de acumulatori sau este suficientă doar descărcarea supercondensatorilor în circuitul demarorului. Menținăm ca la comutarea bateriilor în circuitul de alimentare a demarorului, cum acesta este găsit în mișcare, curentul maxim preluat de la baterii este mult redus protejându-se odată în plus bateriile. Metoda pe care se bazează implementarea programelor de funcționare ale subsistemului de pornire a motorului cu ardere internă, precum și a subsistemului de monitorizare a tensiunii și curentului în circuitul demarorului constă în efectuarea unui șir de porniri ale motorului cu ardere internă în condiții de temperatură și de nivel de încărcare a bateriilor cunoscut. Prin variația duratei de descărcare a supercondensatorilor în circuitul demarorului se determină la o temperatură din domeniul de temperaturi de funcționare admis pentru motor, și respectiv la un anumit nivel de încărcare a bateriilor vehiculului, momentul

optim de timp la care motorul a pornit sigur prezentând un regim de funcționare stabil. Se măsoară tensiunea până la care supercondensatorii s-au descărcat precum și numărul de explozii apărute în cilindrii motorului cu ardere internă. Toate aceste valori sunt determinate în condiții specifice vehiculului, respectiv la o anumită capacitate proiectată pentru bateriile de acumulatori și supercondensatorii care echipează vehiculul dat. Valoriile determinate astfel experimental, sunt memorate într-o tabelă din memoria sistemului dedicat controlului procesului de pornire a motorului cu ardere internă și vor fi folosite drept valori de referință pentru controlul procesului de start al motorului cu ardere internă. În cazul în care motorul necesită prelungirea duratei procesului de start și ȗirul de măsurători va urmări determinarea momentului optim de timp astfel ca să fie maximizat raportul dintre curentul maxim preluat la pornire de către demaror de pe supercapacitori și curentul preluat la momentul comutaȗiei pe baterii a demarorului, aceste valori fiind memorate drept valori ale time-out –ului setabil pe subsistemul de control a pornirii motorului cu ardere internă. Sunt determinate totodată și punctele de extrem relativ ale curentului apărute în procesul de descărcare a supercondensatorilor în circuitul electric al demarorului și numărate minimele acestora. Durata alimentării demarorului de la baterii se determină experimental, valoarea acestei durate fiind de asemenea memorată în memoria subsistemului dedicat pornirii motorului cu ardere internă. Astfel, subsistemul dedicat pornirii motorului cu ardere internă va dispune de tabele de definire a valorilor de decizie, setate în prealabil, funcȗie de tipul de motor și caracteristicile sistemelor de control ale acestuia. Pentru motoarele care nu necesită prelungirea procesului de start prin comutarea în circuitul demarorului a bateriilor de acumulatori, funcȗie de parametrii temperatură motor, temperatură și nivel de încărcare a bateriilor sunt pentru fiecare din parametrii menȗionaȗi definite următoarele valori: numărul de minime relative ale curentului în circuitul demarorului atunci când acesta este alimentat de pe supercondensatori, durata de temporizare a aplicaȗiei tensiunii de pe supercondensatori pe demaror și valoarea tensiunii minime admise la descărcarea acestora. Tabele vor fi definite funcȗie de fiecare tip de motor pentru un număr (de puncte) de valori ale parametrilor adecvat calitaȗiei controlului dorit a fi obȗinut. În cazul în care vehiculul necesită prelungirea procesului de start și prin comutarea bateriilor de acumulatori în circuitul demarorului, tabela mai sus specificată este completată cu valorile duratei de menȗinere a alimentării de la baterii a demarorului care va fi considerată drept valoare de time-out pentru comanda ce menȗine închis circuitul de alimentare a demarorului de la baterii. Astfel subsistemul de monitorizare a curentului și tensiunii, împreună cu utilizarea semnalului de turaȗie a arborelui motorului cu ardere internă de la traductorul existent pe vehicul, și cu subsistemul dedicat pornirii motorului cu ardere internă se constituie într-un traductor „inteligent” capabil să detecteze automat momentul optim de comutaȗie cu efecte ce constau în creșterea eficienȗei energetice și reducerea totodată a duratei procesului de pornire a motorului cu ardere internă. Separându-se în prima fază a pornirii motorului cu ardere internă, circuitele de furnizare a energiei de pornire în cel având drept sursă supercondensatorul și respectiv în cel ce are drept sursă bateriile și aplicaȗindu-se mai întâi tensiunea supercondensatorului încărcat pe demaror se permite supercondensatorului, în corelaȗie cu traductorul „inteligent”, să se descarce mai „adânc” decât ar fi permis acest lucru bateriile fără a întâmpina dezavantajele descărcării „adânci” a bateriilor ce au consecinȗe catastrofale asupra fiabilităȗii și duratei lor de viaȗă. Aceasta duce totodată la utilizarea în proporȗii mai mari a energiei stocate pe supercondensator, (cel puțin 65-80% din energia stocată), la antrenarea efectivă a motorului cu ardere internă, mai mult, chiar asigurându-se o formă de variaȗie a curentului, respectiv cuplului și acceleraȗiei la nivelul cilindrilor motorului cu ardere internă care favorizează aprinderea amestecului carburant. Utilizarea tiristorului pe post de dispozitiv de comutaȗie a tensiunii de pe supercondensator pe demaror în corelaȗie cu un

dispozitiv de comutație comandat în circuitul baterii-demaror, elimină necesitatea introducerii unui circuit de stingere a tiristorului, acesta fiind constituit în fapt, chiar de către dispozitivul de comutație mai înainte menționat în corelație cu bateriile. Astfel, cum tensiunea pe supercondensator scade imediat comutării în starea „on” a tiristorului prin descărcarea acestuia în circuitul demarorului, atunci când dispozitivul de comutație de putere din circuitul baterie-demaror este trecut în starea „on”, are loc aplicarea unei tensiuni de blocare chiar pe tiristorul aflat în conducție, acesta blocându-se automat. Topologia și programul corespunzător de comutare împreună cu sistemul bazat pe microcontrolerul aferent, elimină un subsistem de stingere a tiristorului și permite comanda sigură a acestuia, ceea ce se constituie într-o soluție nouă cu avantaje pentru sistem. Astfel atât aspectele topologice ale circuitelor electrice în corelație cu elementele de control implementate prin program pentru traductorul „inteligent” ce optimizează momentul comutării circuitelor supercondensator-demaror, respectiv baterii-demaror, se constituie drept elemente noi ale soluției conform invenției, cu consecințe benefice asupra pornirii motorului cu ardere internă, a eficienței energetice de ansamblu a sistemului, precum și asupra fiabilității bateriilor ce echipează orice vehicul. Încheierea procesului de pornire a motorului cu ardere internă este realizată fie urmare detecției automate a momentului respectiv pe durata alimentării demarorului chiar de către traductorul inteligent, fie temporizat, valoarea de temporizare fiind particularizată experimental, în cazul când pornirea motorului cu ardere internă necesită aplicarea tensiunii de pe baterii pe demaror și prelungirea procesului de pornire. Traductorul de turație ce convertește mișcarea motorului cu ardere internă în semnalul de turație electric este utilizat drept element redundant în sistem, respectiv, în cazul în care procesul de pornire este prelungit, în corelație cu un temporizator setabil, va oferi un semnal de confirmare a pornirii –dacă turația motorului depășește turația minimă de pornire -, respectiv un semnal de eroare dacă aceasta este mai redusă sau chiar motorul se oprește. Acest semnal este transmis și subsistemului de interfață om-mașină informându-l asupra stării finale a procesului de pornire a motorului cu ardere internă inițiat.

În cazul în care motorul cu ardere internă a pornit, sistemul de monitorizare a curentului și tensiunii va temporiza un interval de timp specific setabil, perioadă în care motorul cu ardere internă va funcționa stabil, iar mașina electrică utilizată drept demaror nu va fi alimentată. De asemenea, aceasta sau o alta pe post de generator de energie electrică pe vehicul nu va fi excitată, deci nu va genera energie electrică. Durata de pauză este relativ redusă, de ordinul zecimilor de secundă sau secundelor, urmând ca apoi sistemul de monitorizare a curentului și tensiunii să-și schimbe automat funcțiunea respectiv, prin program să comande, în regim de modulare în durată, alimentarea cu energie a înfășurării independente a generatorului de pe vehicul și să controleze stabilizarea tensiunii debitate de către generator, mai mare decât tensiunea maximă atinsă de baterii în procesul de încărcare a acestora. În primele momente, tensiunea generatorului va fi aplicată pe supercondensator, care astfel se va constitui ca „sarcină tampon” a generatorului. Având în vedere capacitatea mare a sa, el va îndeplini în sistem rolul de filtru trece jos pentru tensiunea generată. Monitorizându-se în continuare atât curentul generat cât și tensiunea pe supercondensator se va determina, de către acesta, subsistem dotat cu microcontroller, memorie și interfețe și care rulează programul de stabilizare a tensiunii pe supercondensator, când tensiunea va atinge valoarea nominală setată pentru instalația electrică a vehiculului. Atingerea acestei valori, determinată de către subsistemul de stabilizare a tensiunii debitate de către generator va determina începerea debitării de către generator spre instalația electrică a vehiculului a energiei furnizate de către acesta având drept element tampon supercondensatorii prin activarea semnalului de comandă a comutatorului electronic (spre exemplu IGBT) care cuplează la instalația electrică a vehiculului supercondensatorii. Va fi informat, de asemenea,

subsistemul de interfață om-mașină asupra stării și parametrilor proprii de funcționare atinși (tensiunea și curentul debitat). Conform invenției, utilizarea aceluiași supercondensator, urmare comutării cu ajutorul dispozitivelor de comutație de putere a circuitelor electrice de pe vehicul, din regimul de sursă de putere în procesul de start al motorului cu ardere internă, în regim de element tampon pentru energia electrică furnizată de către generator, permite atât eliminarea unora dintre neajunsurile mai sus menționate, cât și îmbunătățirea atât a eficienței energetice, cât și a calității energiei electrice furnizate pe vehicul, prin minimizarea variațiilor tensiunii furnizate indiferent de variațiile sarcinii în circuitele electrice ale vehiculului. Menționăm că pe durata cât tensiunea furnizată de către generator nu este transmisă circuitelor electrice ale vehiculului, circuitele electrice sunt alimentate de la baterie care are înseriată în acest sens o diodă ce permite transferul energiei electrice de la baterii în instalația electrică atâta timp cât tensiunea pe baterii este mai mare decât cea generată de către generatorul electric de pe vehicul împreună cu elementul tampon – supercondensatorul -. Odată stabilizat și procesul de comutație a generatorului în circuitele instalației electrice ale vehiculului are loc inițializarea subsistemului de încărcare optimală a bateriilor de acumulatori. Acest subsistem împreună cu subsistemul de monitorizare a tensiunii și curentului, utilizând metoda determinării tensiunii pe baterii în circuit deschis (OCV Open Circuit Voltage) în corelație cu metoda ce permite monitorizarea și integrarea sarcinii transferate pe baterii, asigură determinarea, cu o bună precizie, a nivelului de încărcare a bateriilor (State of Charge- „SoC”). Astfel subsistemul de monitorizare a tensiunii și curentului prin procesarea semnalelor de la traductoarele de tensiune de pe baterii și a celui de curent, furnizează informațiile culese către subsistemul de încărcare optimală a bateriilor acesta din urmă, utilizând tabelele de tip LUT (Look Up Tables) în prealabil definite, va comanda după legea de control specifică fiecărui tip de baterii, curentul de încărcare a acestora ținând totodată cont și de temperatura bateriilor de acumulatori. Este de menționat faptul că pentru determinarea EMF (tensiunii electromotoare a bateriilor – „Electro Motive Force”) prin metoda OCV bateriile trebuie să fie deconectate din circuit un timp relativ îndelungat (1 la 6 minute) perioadă în care se menține continuitatea alimentării cu energie electrică a circuitelor electrice ale vehiculului prin utilizarea generatorului de pe vehicul a cărui excitație este alimentată de pe supercondensatori. Menționăm că utilizarea acestei metode este posibilă tocmai datorită existenței supercondensatorilor ca elemente tampon, căci astfel se asigură pe durata cât bateriile sunt complet deconectate în scopul determinării SoC continuitatea alimentării cu tensiune stabilizată a instalației electrice a vehiculului. Astfel, subsistemul de încărcare optimală a bateriilor dotat cu microprocesor, memorie, interfețe, senzori de tensiune și de curent și programe de calculator va permite dozarea sarcinii injectate în procesul de încărcare și va asigura conform unei legi de reglare definită tabelar în memoria sistemului de calcul (LUT), procesul de încărcare optimală a bateriilor. Se înlătură astfel o parte dintre dezavantajele sistemelor clasice de încărcare a bateriilor și se identifică drept element nou, prioritar faptul că utilizând drept element tampon de stocare a energiei supercondensatorul în corelație cu sistemul de calcul dotat cu microcontroller, memorie, interfețe și programe de funcționare se asigură o încărcare optimală a bateriilor bazată pe dozarea sarcinii injectate în proces cu consecințe pozitive în ceea ce privește durata de viață a bateriilor și stabilitatea tensiunii furnizate în instalația electrică a vehiculului.

În continuare se dă un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile: 1, 2, 3, 4, 5,6, 7 și 8 care reprezintă:

- Figura 1. Schema bloc a sistemului de management energetic;
- Figura 2. Schema detaliată a sistemului de management energetic;

- Figura 3. Reprezintă variația tensiunii de-a lungul procesului de pornire în două situații: A pentru locomotiva LDH1250CP originală, respectiv B pentru prototipul ce dispune de noul sistem de management energetic
- Figura 4. Reprezintă variația curentului de-a lungul procesului de pornire în două situații: C pentru locomotiva LDH1250CP originală, respectiv D pentru prototipul ce dispune de noul sistem de management energetic
- Figura 5. Reprezintă variația în primele 600ms ale rezistenței echivalente serie calculate pentru bateriile locomotivei LDH1250CP, curba de variație E, respectiv pentru supercondensatorii folosiți în același scop, curba de variație F
- Figura 6. Reprezintă variația normalizată a tensiunii G, și respectiv curentului H pe durata pornirii prototipului LDH1250CP dotat cu sistemul de management energetic propus de invenție.
- Figura 7. Reprezintă schema logică a algoritmului de control pentru traductorul inteligent de pornire a motorului diesel.
- Figura 8 se referă la organigrama programelor de funcționare ale sistemului de management energetic conform invenției.

În figura 1, elementul 1 implementează interfața om-sistem de management energetic și este un sistem de tip panel PC dotat cu microprocesor care este conectat prin intermediul unei interfețe de tip Ethernet la un switch 2. Acesta la rândul său se conectează cu sistemul dedicat controlului procesului de pornire a motorului cu ardere internă 3 care dispune de un sistem de procesare numerică bazat pe microcontrollerul de tip ATmega128. Același switch 2 se conectează și cu sistemul dedicat procesului de monitorizare a curentului și a tensiunii 4 în circuitul demarorului în faza de pornire a motorului cu ardere internă, respectiv de stabilizare a tensiunii generate pe vehicul pe durata cât motorul cu ardere internă funcționează. Acest sistem 4 este implementat pe baza unui microcontroller AVR32UC3 care dispune de memorie, interfețe de comunicație și convertoare analog-digitale care permite achiziția cu o frecvență de eșantionare de 1Kșantion/s a fiecăreia dintre mărimile monitorizate. Tot switch-ul 2 este conectat și cu sistemul dedicat încărcării optime a bateriilor de acumulatori 5 implementat cu ajutorul unui microcontroller ATmega128. Informațiile între sisteme sunt transmise utilizând protocolul TCP/IP fiecare dintre elementele aflate în conexiune având alocată automat câte o adresă dinamic definită. În figura 8 dăm organigrama derulării procesului de start al locomotivei. Mesajele vehiculate între subsistemele sistemului de management energetic sunt de tipul telegrame formate din unul sau mai multe caractere care reprezintă comenzi sau informații referitoare la starea subsistemelor și a parametrilor ce caracterizează sistemul de monitorizare. Spre exemplu, sunt identificate situații cum ar fi: stările de eroare ce pot apare în procesul de pornire sau de funcționare a locomotivei (îndeplinirea condițiilor de pornire pentru motorul cu ardere internă, neapariția exploziilor carburantului în cilindrii motorului cu ardere internă). Sunt măsurate mărimi precum: tensiunea pe bateriile locomotivei sau pe supercondensatorii cu care este dotat subsistemul de pornire, curenții pe diferitele circuite ale sistemului de management energetic, se determină starea de încărcare a bateriilor (SoC). În figura 2, elementul 6 reprezintă bateriile de acumulatori ale locomotivei, care au tensiunea nominală de 96V iar capacitatea pe prototip de 150Ah, respectiv mai puțin decât jumătate din capacitatea inițială a bateriilor aflate pe locomotivă (360Ah). Elementul 7 este o rezistență de limitare a curentului de încărcare a supercapacitorilor de 0,7 Ω , elementul 8 este format dintr-un tranzistor MOSFET de putere, în serie cu dioda 9 de sens, tranzistorul MOSFET fiind comandat de către sistemul 3, prin semnalul de comandă 3.1 care este izolat galvanic în raport cu sistemul de comandă 3 prin intermediul

unui optocuplor și care dispune de un circuit de protecție la comutarea pe scurtcircuit. Semnalul **3.1** digital, este activat urmare recepționării de către sistemul **3** a telegrammei de start a încărcării supercondensatoarelor **10** de la sistemul **1**. Această telegramă se generează de către sistemul **1** urmare apăsării de către mecanicul de locomotivă a butonului de comandă a încărcării supercondensatorilor în vederea pregătirii pornirii motorului diesel al locomotivei LDH1250CP. Elementul **10**, dispozitivul de stocare cu încărcare și descărcare rapidă, este implementat cu ajutorul a trei supercondensatori cu electrolit apos, de tip “stacked”, fiecare având 12F la 110V conectați în paralel, care împreună formează o capacitate echivalentă de 36F/110V, putând acumula maximum 217KJ. Rezistența echivalentă serie nominală a acestora este de 0,02Ω. Cu ajutorul unui senzor Hall de tensiune este monitorizată de către sistemul de monitorizare **4** variația tensiunii, iar atunci când aceasta atinge valoarea de 98% din tensiunea de pe baterii, sistemul **4** va transmite o telegramă de comandă a comutării în starea “off” a tranzistorului **8** și totodată va informa sistemul **1** asupra faptului că sistemul de pornire este pregătit să pornească motorul cu ardere internă al locomotivei. Același sistem va iniția și măsurarea tensiunii de pe baterii prin intermediul senzorului de tensiune **12** pentru a stabili valoarea nivelului de încărcare al bateriilor (SoC), sau va folosi ultima valoare determinată a acestuia în cazul în care această valoare există. La inițiativa mecanicului de locomotivă, acesta va apăsa butonul de comandă a pornirii motorului cu ardere internă, iar sistemul **1** după verificarea celorlalte condiții necesare pentru pornire va transmite o telegramă de comandă a pornirii motorului cu ardere internă către sistemul **3**. La recepția telegrammei, acesta va activa comanda **3.2** și va determina aprinderea tiristorului **13** care va închide circuitul de descărcare a supercapacitorilor pe motorul utilizat drept demaror pe locomotivă **14**, cu înfășurarea sa serie **15**. În scopul evitării supratensiunilor de comutație s-a prevăzut dioda rapidă **16**. Odată cu comanda de aprindere a tiristorului, sistemul **3** transmite comanda de începere a monitorizării de către sistemul **4** a tensiunii pe supercondensatori cu ajutorul senzorului **11**, semnalul de tensiune U_D (tensiunea de pe demaror, aceeași cu curba **B** din figura 3). În același timp, monitorizarea curentului se va face cu ajutorul unui senzor Hall de curent **17**, I_{DG} în circuitul demarorului (curentul de pe demaror, același cu curba **D** din figura 4). Sistemul **4** va determina pe de-o parte variația tensiunii pe demaror (U_D) și pe de altă parte va detecta oscilațiile curentului I_{DG} apărute în circuitul demarorului numărând minimele relative (minimele corespund exploziilor amestecului carburant care apar în motorul diesel al locomotivei). În cazul locomotivei, experimental s-a observat că numărul minimelor relative trebuie să fie de zece, acest număr fiind dependent de numărul de cilindri ai motorului (în cazul nostru 6). Tendința de creștere a tensiunii U_D reflectă scăderea vitezei de rotație a motorului diesel, deci epuizarea energiei pe supercondensatori. S-a determinat experimental prin variația duratei de temporizare corespunzătoare alimentării demarorului de pe supercondensatori, corelată cu tensiunea U_D măsurată, pragul optim din punctul de vedere al eficienței energetice a procesului. S-au considerat în acest scop două mărimi care reflectă scopul urmărit: maximizarea factorului de utilizare a energiei stocate pe supercondensatori în procesul de antrenare a demarorului locomotivei, și creșterea raportului curent maxim debitat de către supercondensatori, raportat la curentul maxim preluat la comutarea bateriilor în circuitul demarorului de pe acestea, acest al doilea aspect crescând implicit durata de viață a bateriilor prin evitarea sau micșorarea semnificativă a vârfurilor de curent specifice procesului de pornire. Valoarea la care s-a ajuns a fost de 5,8. În scopul asigurării siguranței controlului procesului de start s-a avut în vedere și introducerea unui element redundant în comandă, respectiv temporizarea de tip „time-out” implementată pe sistemul **3**, algoritmul corespunzător fiind detaliat în figura 7. Astfel sistemul **3** fie urmare recepționării semnalului de comandă din partea sistemului **4** specializat în monitorizarea tensiunii U_D și a minimelor relative ale curentului pe demaror, la detectarea de

către acesta (4) a pragului presetat, fie urmare depășirii duratei de temporizare verificată de către sistemul 3, va genera semnalul de comandă 3.3 de deschidere a IGBT-ului 18. Menționăm că și semnalul 3.3 este un semnal izolat galvanic în raport cu sistemul 3 iar sistemul de comandă al IGBT-ului prezintă circuite de protecție la desaturarea acestuia și circuite de inhibare a comenzii la încercarea de comutare pe scurtcircuit a IGBT-ului. La comutarea în starea “on” a IGBT-ului 18 tensiunea aplicată tiristorului 13 devine de semn opus celei de menținere a conducției pe acesta și urmare acestui fapt tiristorul se va bloca, întrerupând descărcarea supercondensatorilor pe demaror. Așa cum se specifică în figura 7, algoritmul de control a pornirii motorului diesel va permite generarea semnalului 3.3 fie urmare recepționării telegrammei de atingere a numărului de explozii prealabil setat la 10, fie urmare temporizării setate în prealabil și care, în cazul nostru, este de 2,2s ambele valori fiind determinate experimental pentru locomotiva LDH1250CP. Același sistem 3, după comanda 3.3 va temporiza o durată de alte 2.5s în vederea menținerii alimentării demarorului de la baterii, durată, de asemenea, experimental determinată. Această temporizare este necesară pentru atingerea condițiilor de funcționare stabilă a motorului diesel având drept regulator de turație, regulatorul de turație centrifugal cu contrapresiune de ulei al locomotivei LDH1250CP (durata temporizării a ținut cont de atingerea pe tot domeniul de temperaturi a presiunii de ulei care asigură alimentarea stabilă cu combustibil a motorului diesel al locomotivei). Pe de altă parte, impulsurile de tensiune generate de către tahogeneratorul 20 cuplat rigid la arborele motorului diesel al locomotivei vor fi formate și numărate pe o durată de timp setată în prealabil la 300ms, perioadă în care trebuie detectate un număr de 7 impulsuri de către unul dintre numărătoarele microcontroller-ului ATmega128 cu care este dotat sistemul 3. Utilizarea tahogeneratorului permite pe lângă redundanța structurală prevăzută și generarea automată a unui semnal ce indică pornirea sau nu a motorului cu ardere internă al locomotivei LDH1250CP. În figura 7 am detaliat schema logică a programelor care implementează metoda descrisă conform invecției și care rulând pe subsistemele cu microprocesor, memorie, interfețe și elemente de comandă control, convertoare analog-digitale permite implementarea sistemului de pornire a locomotivei utilizând atât supercondensatori cât și bateriile de acumulatori, cu avantajele mai sus menționate.

În figura 3 se prezintă variația tensiunii în procesul de demaraj pe locomotiva LDH1250CP în situația inițială –curba de variație **A** -, precum și pe prototipul dezvoltat –curba **B** -. Urmare aplicării strategiei de control mai sus specificate, implementată prin algoritmul din figura 7 au rezultat următoarele: reducerea vârfului de curent preluat de la baterii în procesul de pornire a motorului cu ardere internă de 5.8 ori în raport cu situația inițială, reducerea doar cu 10% a variației tensiunii pe baterii urmare procesului de demaraj, comparativ cu peste 45% în cazul inițial, cu consecințe legate de creșterea fiabilității bateriilor și a disponibilității sistemului de pornire. În figura 4 se prezintă variația curentului în circuitul de pornire a demarorului pe durata procesului de pornire, la fel în cazul inițial –locomotiva LDH1250CP originală, curba **C** -, respectiv în cazul prototipului curba **D**. Se observă că acest curent este în al doilea caz aproape pe toată durata procesului de start mai mare în cazul prototipului decât în situația inițială cu un vârf de aproximativ 1900A. Măsurătorile s-au efectuat pe aceeași locomotivă, vezi figurile 3 și 4 fără utilizarea sistemului de management energetic – curbele **A,C**- și cu sistemul de management energetic îmbunătățit –curbele **B,D** – la temperatura de 15°C și cu o temperatură a motorului egală cu aceea a mediului ambiant în condiții similare de încărcare a bateriilor. Pentru înregistrări s-a folosit osciloscopul cu memorie Scopemeter Fluke 196B (200MHz), frecvența de eșantionare internă a fost de 2,5Gsamples/s iar aceea a semnalelor achiziționate a fost de 2,5Keșantioane/s pe fiecare canal. S-au înregistrat simultan, pe două canale separate 2 mărimi: tensiunea și curentul pe demaror, pentru curent s-a utilizat un shunt de 60mΩ și 2000A curent maxim admis. Pe axele

X –abscisele- figurează timpul în secunde, axele Y –ordonatele- se figurează, în figura 3 tensiunea, iar în figura 4 curentul pe demaror.

Sistemul 3 va informa printr-o telegramă cu semnificație de sfârșit a procesului de pornire sistemele 1 și 4 asupra stării motorului cu ardere internă al locomotivei, inclusiv asupra unor eventuale erori apărute. În cazul terminării fără erori a procesului de pornire, la recepția telegramelor respective din partea sistemului 3 de către sistemul 4, acesta va iniția o temporizare pe durata căreia mașina electrică 14 nu va fi excitată, după care aceasta va fi trecută în regim de generator prin alimentarea în regim de modulare în durată a impulsurilor de comandă ale înfășurării de excitație separată a mașinii electrice 21. Alimentarea cu tensiune a excitației derivației va fi făcută de la bateriile locomotivei într-o primă fază, respectiv de pe supercondensatori atunci când pentru baterii se măsoară EMF. Urmare acestei acțiuni mașina electrică va deveni generatorul de energie pentru toate elementele electrice de pe locomotivă și va debita energia direct pe supercondensatorii 10 prin intermediul diodei de sens 22, a inductanței 23 și a comutatorului electronic de putere 24 IGBT, comandat de către semnalul de comandă 4.1 al sistemului 4. Acesta va utiliza drept semnale de control, pentru tensiune, semnalul cules de pe supercapacitorii pe post de elemente de filtrare/stocare a energiei, cu ajutorul senzorului de tensiune Hall 25 și a senzorului de curent 17. Impulsurile modulate în durată sunt aplicate prin intermediul interfeței izolate galvanic 4.2 către IGBT-ul 26 care aplică tensiunea de pe bateriile sistemului 6 pe înfășurarea de excitație a generatorului. Pentru evitarea supratensiunilor de comutație s-a introdus dioda 27. Sistemul dotat cu microcontroller-ul AVR32UC3 va rula programul de stabilizare a tensiunii pe supercondensatori, tensiune mai mare decât maximul atins la încărcarea bateriilor, respectiv 120V indiferent de nivelul sarcinii instantanee echivalente în circuitele electrice ale locomotivei. Menționăm că supercondensatorii pot funcționa la tensiuni ce pot depăși cu 10% tensiunea nominală fără a fi afectată durata de viață a acestora. Pe durata cât generatorul nu furnizează o tensiune mai mare decât tensiunea bateriilor minus 0,6V prin intermediul diodei 28 circuitele electrice ale locomotivei vor fi alimentate de la bateriile acesteia. Odată atins nivelul de tensiune setat prin program, o telegramă de inițializare a funcționării subsistemului 5 de încărcare a bateriilor este transmisă de la subsistemul 4. Este totodată informat și subsistemul 1 care va afișa pentru operatorul uman informația respectivă. Subsistemul de încărcare optimală a bateriilor este un sistem dotat cu microcontroller ATmega128 având memorie, interfețe pentru semnale de comandă și control, senzori, convertoare analog-digitale, precum și un program de calculator care implementează funcționalitatea de regulator al încărcării bateriilor de acumulatori bazat pe metoda determinării periodice a stării de încărcare a bateriilor (SoC). Tensiunea stabilizată de pe supercondensatori este aplicată prin intermediul diodei 29 comutatorului electronic de putere 30 (IGBT), acest IGBT fiind comandat prin intermediul interfeței izolate galvanic 5.1 dotată și cu circuit de evitare a desaturării și de protecție la comutarea pe scurtcircuit. Acest comutator este comandat în regim de modulare de impulsuri în durată curentul injectat fiind tradus în semnal de tensiune de către senzorul de curent Hall 31. Pentru implementarea de către subsistemul 5 a legii de reglare optimală a încărcării setului de baterii de pe locomotivă, în faza de punere la punct a sistemului, s-a ridicat caracteristica SoC a bateriilor bazată pe metoda de determinare OCV (Open Circuit Voltage $OCV = V_{bat} + I \cdot R$; $V_{bat} = EMF$ cand bateria este in gol). Aceasta constă în deconectarea setului de baterii din circuit, timp în care se va monitoriza variația tensiunii de relaxare pe baterii, tensiunea pe acestea, aflate în gol, având tendința de a se stabili după o anumită perioadă (durata aceasta este determinată experimental). Valorile OCV, respectiv SoC se vor memora sub formă de Look up Table (LUT) corespunzătoare setului de baterii. În

sistem sarcina transmisă sau preluată de la baterii este dată de: $Q(t) = \frac{1}{R} \int_0^t i(\tau) \cdot d\tau$ -semnul plus

corespunde încărcării, iar minus descărcării bateriilor. Prin R am considerat rezistența serie în circuitul de încărcare, iar I este curentul monitorizat. Durata după care tensiunea se stabilizează pe bateriile aflate în gol este dependentă de fiecare tip de baterii și este corelată cu SoC. Trecerea de la un nivel al SoC spre un altul se va face prin cunoașterea sarcinii stocate în procesul de încărcare a bateriilor, sarcină totală cunoscută de către sistem prin intermediul semnalului cules de către traductorul de curent, semnal integrat în raport cu timpul de către subsistemul digital **5**. Tabela LUT, specifică, este memorată de către subsistemul **5** și va conține: pe de-o parte valorile OCV și corelat cu acestea factorul de umplere prescris IGBT-ului ce comandă injectarea curentului pe baterii. Prin monitorizarea tensiunii de supercondensatori, inclusiv a variației acesteia, precum și prin monitorizarea curentului injectat, se permite determinarea cu precizie ridicată a integralei sarcinii transmise setului de baterii în procesul de încărcare a acestora. Traductorul de temperatură **32** va oferi un semnal referitor la temperatura și variația acesteia la nivelul bateriilor, acest semnal va fi utilizat drept semnal de corecție a prescrierilor factorului de umplere a impulsurilor de curent, precum și de limitare a încărcării atunci când supratemperatura bateriilor poate afecta durata de viață a acestora. Circuitele electrice ale locomotivei au fost figurate în figura **2** prin elementul **33** cu o valoare variabilă în raport cu consumatorii ce efectiv sunt alimentați la un moment dat pe locomotivă, iar prin **34** s-a figurat comutatorul electronic (IGBT) care conectează supercondensatorul cu instalația electrică a locomotivei și care este comandat de către semnalul de comandă **4.3** izolat galvanic în raport cu subsistemul **4** comandă care evită desaturarea comutatorului electronic și care este protejată contra comutării pe scurtcircuit a IGBT-ului. Astfel se alimentează rezistența **33** care reprezintă consumatorii instalației electrice a locomotivei, atunci când tensiunea pe supercondensatori depășește tensiunea bateriilor de acumulatori.

Revedicări:

Sistemul de management energetic **caracterizat prin aceea că** include cel puțin un element de stocare temporară a energiei cu încărcare și descărcare rapidă (supercondensator) și cel puțin un element de stocare a energiei electrice de capacitate energetică ridicată și având o caracteristică de încărcare și descărcare de viteză medie sau lentă (baterii). Aceste elemente sunt conectate succesiv în raport cu timpul, întâi dispozitivul de stocare a energiei cu încărcare/descărcare rapidă, iar apoi dispozitivul de stocare sau generare a energiei cu încărcare/descărcare de viteză medie sau lentă, utilizând dispozitive electronice de comutație, în circuitul mașinii electrice, cu rol de demaror, utilizată la antrenarea motorului cu ardere internă în procesul pornirii acestuia. Comanda dispozitivelor electronice de comutație se face cu ajutorul unor subsisteme electronice bazate pe microprocesor având memorie, interfețe, senzori și dispozitive electronice de comutație care, urmare comenzilor subsistemelor de control, comenzi generate prin program, separă circuitele care aplică tensiunea de pe supercondensatori, respectiv apoi de pe baterii, pe demaror în scopul optimizării funcționării demarorului ca element de antrenare a motorului cu ardere internă pe durata procesului de pornire a acestuia, al creșterii eficienței energetice, precum și al optimizării procesului de pornire a motorului cu ardere internă.

Sistem de management energetic **caracterizat prin aceea că** utilizează cel puțin un element de stocare temporară a energiei având o caracteristică de încărcare și descărcare rapidă – supercondensator- în dublu scop atât drept element ce asigură furnizarea puterii de vârf necesare procesului de pornire a motorului cu ardere internă, protejând astfel elementele având o caracteristică de încărcare/descărcare de durată medie sau lungă -bateriile-, cât și ca element de filtrare a tensiunii generate și de stocare temporară a energiei debitate de către generatorul de pe vehicul atunci când motorul cu ardere internă al acestuia funcționează cu scopul îmbunătățirii funcționării de încărcare a bateriilor de acumulatori, al stabilizării tensiunii în instalația electrică a vehiculului, al reducerii greutateii portante a acestuia, al creșterii fiabilității și duratei de viață a bateriilor.

Metodă de control optimizată a comutației pe durata procesului de pornire a unui vehicul a elementelor, imbarcate pe vehicul, de stocare sau generare a energiei având constante de timp diferite, supercondensatori și baterii, **caracterizată prin aceea că** detectează, în baza monitorizării curentului și tensiunii în circuitul electric al demarorului vehiculului a variațiilor acestor mărimi, respectiv a minimelor curentului consumat și a tensiunii în circuitul demarorului, numără punctele de minim relativ ale curentului din circuitul demarorului ce corespund exploziilor succesive ale amestecului carburant în cilindrii motorului cu ardere internă și le corelează cu variația tensiunii în circuitul demarorului stabilind în baza unei tabele specifice fiecărui tip de motor și vehicul momentul optim de comutare în timp de pe sursa de energie având caracteristică de încărcare/descărcare rapidă pe sursa de energie cu viteză de încărcare/descărcare medie sau lentă în scopul adaptării optime a procesului de transfer de energie atât la caracteristicile elementului de acționare –demaror- cât și la caracteristicile de pornire ale motorului cu ardere internă al vehiculului.

Metodă de sincronizare a comutației alimentării demarorului de pe vehicul care asigură întreruperea alimentării demarorului de pe supercondensatori simultan cu comutarea alimentării demarorului de la baterii, **caracterizată prin aceea că**, este utilizat un tiristor drept element de comutare a tensiunii de pe supercondensatori pe demaror stingerea acestuia fiind realizată automat la comutarea în stare “on” a dispozitivului electronic de comutație, spre exemplu IGBT sau tranzistor MOSFET de putere care aplică tensiunea de pe baterii pe demaror stingând totodată tiristorul.

Sistem de management energetic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, dispune de o interfață pentru informarea în timp real a conducătorului vehiculului asupra stării sistemului de pornire, a stării subsistemului de încărcare a bateriilor de acumulatori precum și o interfață ce asigură funcțiuni de depanare a sistemului.

Sistemul de management energetic al locomotivei LDH1250, conform figurilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că**, este un sistem distribuit de control ce include elementul 1 care implementează interfața om-sistem de management energetic dotat cu microprocesor memorie de program ecran de afișare și care este conectat prin intermediul unei interfețe de tip Ethernet la un switch 2. Acesta la rândul său se conectează cu sistemul dedicat controlului procesului de pornire a motorului cu ardere internă 3 care dispune de un sistem de procesare numerică bazat pe microcontroller. Același switch 2 se conectează și cu sistemul dedicat procesului de monitorizare a curentului și a tensiunii 4 în circuitul demarorului în faza de pornire a motorului cu ardere internă, respectiv de stabilizare a tensiunii generate pe vehicul pe durata cât motorul cu ardere internă funcționează. Acest sistem 4 este implementat pe baza unui microcontroller care dispune de memorie, interfețe de comunicație și convertoare analog-digitale care permit achiziția cu o frecvență de eșantionare de 1K eșantion/s a fiecăreia dintre mărimile monitorizate. Tot switch-ul 2 este conectat și cu sistemul dedicat încărcării optime a bateriilor de acumulatori 5 implementat cu ajutorul unui microcontroller. Informațiile între sisteme sunt transmise utilizând protocolul TCP/IP fiecare dintre elementele aflate în conexiune având alocată automat câte o adresă dinamic definită. Sunt măsurate mărimi precum: tensiunea pe bateriile locomotivei sau pe supercondensatorii cu care este dotat subsistemul de pornire, curenții pe diferitele circuite ale sistemului de management energetic, se determină starea de încărcare a bateriilor. Sistemul dispune de elementul 6, bateriile de acumulatori ale locomotivei, care au tensiunea nominală de 96V iar capacitatea pe prototip de 150Ah, elementul 7 ca rezistență de limitare a curentului de încărcare a supercapacitorilor, elementul 8 un tranzistor MOSFET de putere, în serie cu dioda 9 de sens. Tranzistorul MOSFET este comandat de către sistemul 3, prin semnalul de comandă 3.1 care este izolat galvanic în raport cu sistemul de comandă 3 prin intermediul unui optocuplor și care dispune de un circuit de protecție la comutarea pe scurtcircuit. Semnalul 3.1 digital, este activat urmare recepționării de către sistemul 3 a telegrammei de start a încărcării supercondensatoarelor 10 de la sistemul 1. Această telegramă se generează de către sistemul 1 urmare apăsării de către mecanicul de locomotivă a butonului de comandă a încărcării supercondensatorilor în vederea pregătirii pornirii motorului diesel al locomotivei LDH1250CP. Elementul 10, dispozitivul de stocare cu încărcare și descărcare rapidă, este implementat cu ajutorul unor supercondensatori cu electrolit apos, de tip “stacked”. Cu ajutorul unui senzor Hall de tensiune este monitorizată de către sistemul de monitorizare 4 variația tensiunii, iar atunci când aceasta atinge valoarea de 98% din tensiunea de pe baterii, sistemul 4 va transmite o telegramă de comandă a comutării în “off” a tranzistorului 8 și totodată va informa sistemul 1 asupra faptului că sistemul de pornire este pregătit să pornească motorul cu ardere internă al locomotivei. Același sistem va iniția și măsurarea tensiunii de pe baterii prin intermediul senzorului de tensiune 12 pentru a stabili valoarea nivelului de încărcare al bateriilor (SoC). La inițiativa mecanicului de locomotivă, acesta va apăsa butonul de comandă a pornirii motorului cu ardere internă, iar sistemul 1 va transmite în consecință o telegramă de comandă către sistemul 3. Acesta va activa comanda 3.2 și va determina aprinderea tiristorului 13 care va închide circuitul de descărcare a supercapacitorilor pe motorul utilizat drept demaror pe locomotivă 14, cu înfășurarea sa serie 15. În scopul evitării supratensiunilor de comutație s-a prevăzut dioda rapidă 16. Odată cu comanda de aprindere a tiristorului, sistemul 3 transmite comanda de începere a monitorizării de către sistemul 4 a tensiunii pe supercondensatori cu ajutorul senzorului 11,

semnalul de tensiune U_D . În același timp, monitorizarea curentului se va face cu ajutorul unui senzor Hall de curent **17**, I_{DG} în circuitul demarorului. Sistemul **4** va determina pe de-o parte variația tensiunii pe demaror și pe de altă parte va detecta oscilațiile curentului I_{DG} apărute în circuitul demarorului numărând minimele (corespund exploziilor care apar în motorul diesel al locomotivei) apărute. În cazul locomotivei, experimental s-a observat că numărul minimelor relative trebuie să fie de zece, acest număr fiind dependent de numărul de cilindri ai motorului (în cazul nostru 6). Conform algoritmului specificat în figura 7 se va comanda, prin intermediul semnalului de comandă **3.3** deschiderea IGBT-ului **18**. Menționăm că și semnalul **3.3** este un semnal izolat galvanic în raport cu sistemul **3** iar sistemul de comandă al IGBT-ului prezintă circuite de protecție la desaturarea acestuia și circuite de inhibare a comenzii la încercarea de comutare pe scurtcircuit a IGBT-ului. Așa cum se specifică în figura 7, algoritmul de control a pornirii motorului diesel va permite generarea semnalului **3.3** fie urmare recepționării telegramei de atingere a numărului de explozii prealabil setat (10), fie urmare temporizării setate în prealabil și care, în cazul nostru, este de 2,2s –stabilită experimental-. Același sistem **3**, după comanda **3.3** va temporiza o durată de alte 2.5s în vederea menținerii demarorului alimentat de la baterii, durată de asemenea experimental determinată, necesară atingerii condițiilor de funcționare stabilă a motorului diesel având drept regulator de turație regulatorul de turație centrifugal cu contrapresiune de ulei al locomotivei LDH1250CP. Totodată impulsurile de tensiune generate de către tahogeneratorul **20** cuplat rigid la arborele motorului diesel al locomotivei vor fi formate și numărate pe o durată de timp setată în prealabil de către unul dintre număratoarele microcontroller-ului cu care este dotat sistemul **3**. Fie urmare temporizării de 2,5s, fie urmare atingerii vitezei de rotație a motorului diesel detectată prin sistemul tahogenerator, formator de impulsuri, și numărător, se produce prin program, dezactivarea semnalului de comandă **3.3** care va întrerupe prin intermediul IGBT-ului circuitul de alimentare a demarorului de la baterii încheindu-se procesul de pornire a motorului diesel al locomotivei. Sistemul **3** va informa printr-o telegramă sistemele **1** și **4** asupra acestei situații, inclusiv asupra unor eventuale erori apărute. În cazul terminării fără erori a procesului de pornire, la recepția telegramei respective din partea sistemului **3** de către sistemul **4**, acesta va iniția o temporizare pe durata căreia mașina electrică **14** nu va fi excitată, după care aceasta va fi trecută în regim de generator prin alimentarea în regim de modulare în durată a impulsurilor de comandă ale înfășurării de excitație separată a mașinii electrice **21**. Urmare acestei acțiuni mașina electrică va deveni generatorul de energie pentru toate elementele electrice de pe locomotivă și va debita energia direct pe supercondensatorii **10** prin intermediul diodei de sens **22**, a inductanței **23** și a comutatorului electronic de putere **24** IGBT, comandat de către semnalul de comandă **4.1** al sistemului **4**. Acesta va utiliza drept semnale de control, pentru tensiune, semnalul cules de pe supercapacitorii pe post de elemente de filtrare/stocare a energiei, cu ajutorul senzorului de tensiune Hall **25** și a senzorului de curent **17**. Impulsurile modulate în durată sunt aplicate prin intermediul interfeței izolate galvanic **4.2** către IGBT-ul **26** care aplică tensiunea de pe bateriile sistemului **6** pe înfășurarea de excitație a generatorului. Pentru evitarea supratensiunilor de comutație s-a introdus dioda **27**. Sistemul dotat cu microcontroller va rula programul de stabilizare a tensiunii pe supercondensatori, tensiune mai mare decât maximum atins la încărcarea bateriilor, respectiv 120V indiferent de nivelul sarcinii instantanee echivalente în circuitele electrice ale locomotivei. Pe durata cât generatorul nu furnizează o tensiune mai mare decât tensiunea bateriilor minus 0,6V prin intermediul diodei **28** circuitele electrice ale locomotivei vor fi alimentate. Odată atins nivelul de tensiune setat prin program, o telegramă de inițializare a funcționării subsistemului **5** de încărcare a bateriilor este transmisă de la subsistemul **4**. Este totodată informat și subsistemul **1** care va afișa pentru operatorul uman informația respectivă. Subsistemul de încărcare optimală a

bateriilor este un sistem dotat cu microcontroller având memorie, interfețe pentru semnale de comandă și control, senzori, convertoare analog-digitale, precum și un program de calculator care implementează funcționalitatea de regulator al încărcării bateriilor de acumulatori bazat pe metoda determinării periodice a stării de încărcare a bateriilor (SoC). Tensiunea stabilizată de pe supercondensatori este aplicată prin intermediul diodei **29** comutatorului electronic de putere **30** (IGBT), acest IGBT fiind comandat prin intermediul interfeței izolate galvanic **5.1** dotată și cu circuit de evitare a desaturării și de protecție la comutarea pe scurtcircuit. Acest comutator este comandat în regim de modulare de impulsuri în durată curentul injectat fiind tradus în semnal de tensiune de către senzorul de curent Hall **31**. Subsistemul **5** va asigura implementarea unei legii de reglare optimale a încărcării setului de baterii de pe locomotivă, bazată pe măsurarea SoC a bateriilor în baza determinării OCV (Open Circuit Voltage $OCV = V_{bat} + I \cdot R$). Pentru aceasta se deconectează din circuit setul de baterii și după o prealabilă temporizare pe durata căreia sistemul va monitoriza variația tensiunii de relaxare pe baterii –durata de timp este experimental și specific determinată – memorându-se sub formă de Look up Table (LUT) valorile SoC

corespunzătoare setului de baterii. Sarcina Q transmisă bateriilor va fi $Q(t) = \frac{1}{R} \int_0^t i(\tau) \cdot d\tau$ unde Q

este sarcina transmisă setului în procesul de încărcare și este corelabilă cu SoC, R este rezistența serie în circuitul de încărcare, iar I este curentul monitorizat. Durata de monitorizare necesară determinării SoC este dependentă de fiecare tip de baterii și poate fi corelată cu SoC. Trecerea de la un nivel al SoC spre un altul se va face prin cunoașterea sarcinii stocate în procesul de încărcare a bateriilor, sarcină totală cunoscută de către sistem prin intermediul semnalului cules de către traductorul de curent, semnal integrat în raport cu timpul de către subsistemul digital **5**. LUT specific memorat de către subsistemul **5** va conține pe de-o parte valorile OCV și corelat cu acestea factorul de umplere prescris IGBT-ului ce comandă injectarea curentului pe baterii. Cunoașterea prin monitorizare a tensiunii de supercondensatori, inclusiv a variației acesteia, precum și prin monitorizarea curentului injectat, permite determinarea cu precizie ridicată a integralei sarcinii transmise setului de baterii în procesul de încărcare a acestora. Traductorul de temperatură **32** va oferi un semnal referitor la temperatura și variația acesteia la nivelul bateriilor, semnal de corecție a prescrierilor factorului de umplere a impulsurilor de curent, precum și de limitare a încărcării atunci când supratemperatura bateriilor poate afecta durata de viață a acestora. Alimentarea de pe supercondensator a instalației electrice a locomotivei se va face prin intermediul **34**, comutator electronic (IGBT), care este comandat de către semnalul de comandă **4.3** izolat galvanic în raport cu subsistemul **4** comandă care evită desaturarea comutatorului electronic și care este protejată contra comutării pe scurtcircuit a IGBT-ului.

Sistemul de optimizare a încărcării bateriilor, **caracterizat prin aceea că**, alimentarea încărcătorului bateriilor de acumulatori de pe vehicul se face de pe supercondensatorii care prin intermediul generatorului de energie și al sistemului numeric dotat cu microprocesor, memorie, interfețe, senzori și programe de funcționare asigură stabilizarea tensiunii la o valoare mai mare decât maximul tensiunii admise de bateriile de acumulatori. Supercondensatorii sunt utilizați drept elemente de stocare intermediară a energiei debitate de către generator la funcționarea motorului diesel al locomotivei ceea ce permite determinarea cu precizie ridicată atât a SoC (nivelului de încărcare a bateriilor -State of Charge) cât și a sarcinii care este injectată în baterii urmare comutației periodice în impulsuri modulate în durată, a monitorizării curentului și tensiunii aplicate și al integrării în timp a curentului injectat pe baterii, determinându-se astfel sarcina care se transmite bateriilor în procesul de încărcare a acestora. Mărimea factorului de

umplere a impulsurilor de comandă ale încărcătorului de baterii țină cont și de temperatura bateriilor în scopul menținerii în domeniul de temperaturi de funcționare a acestora.

Sistemul de optimizare a încărcării bateriilor, conform revendicării 6, **caracterizat prin aceea că**, utilizează supercondensatori cu electrolit apos și de tip stacked care dispun de o densitate de putere mare și nu necesită elemente adiționale de echilibrare.

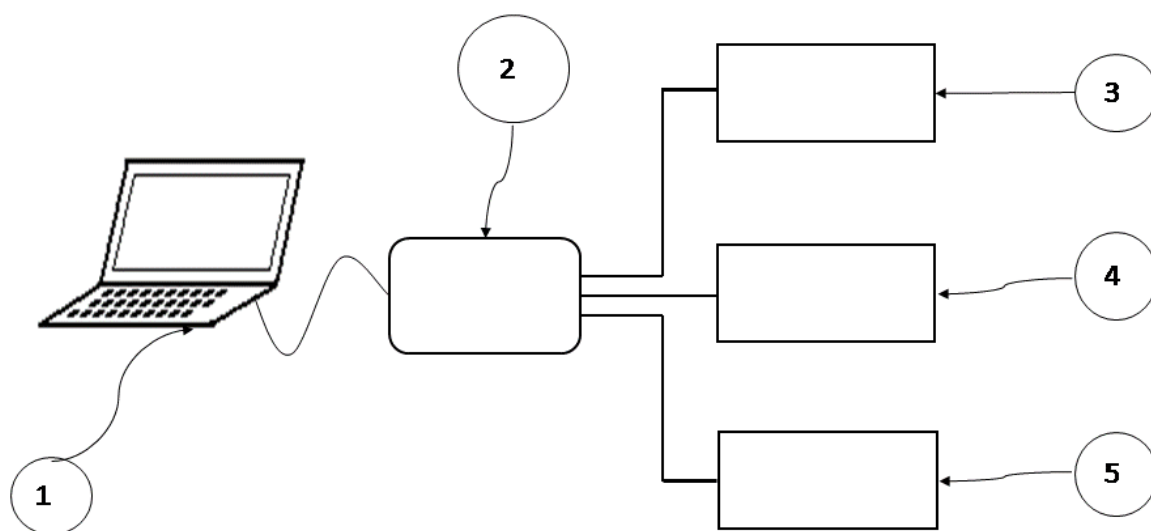


Figura 1



Figura 2



Figura 3

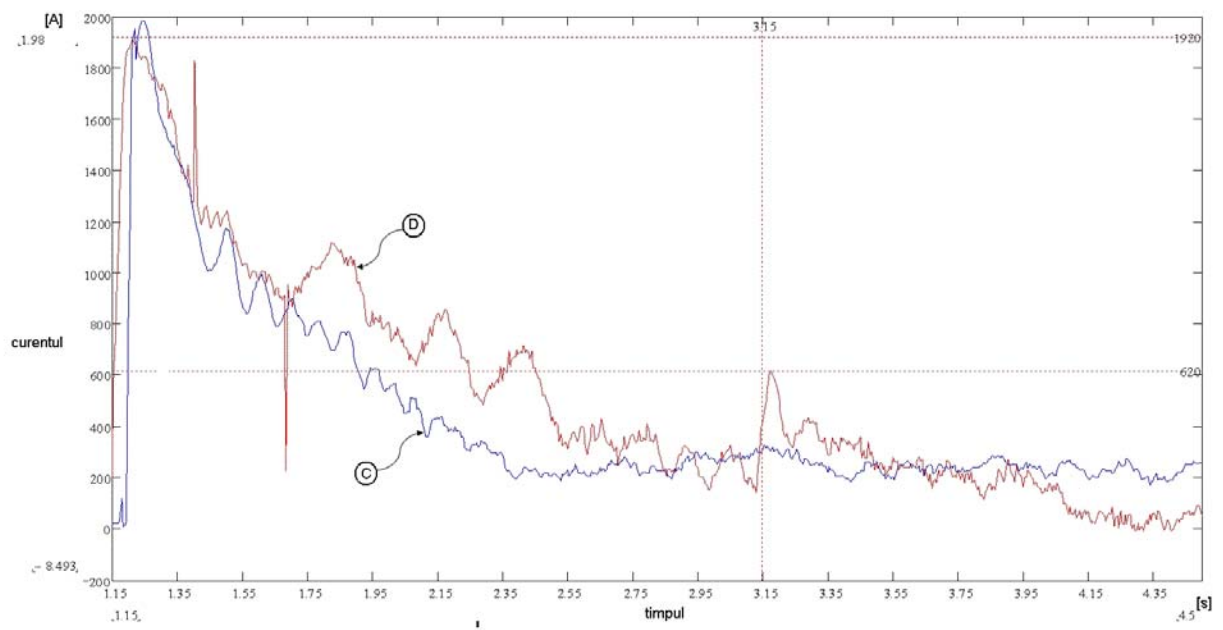


Figura 4

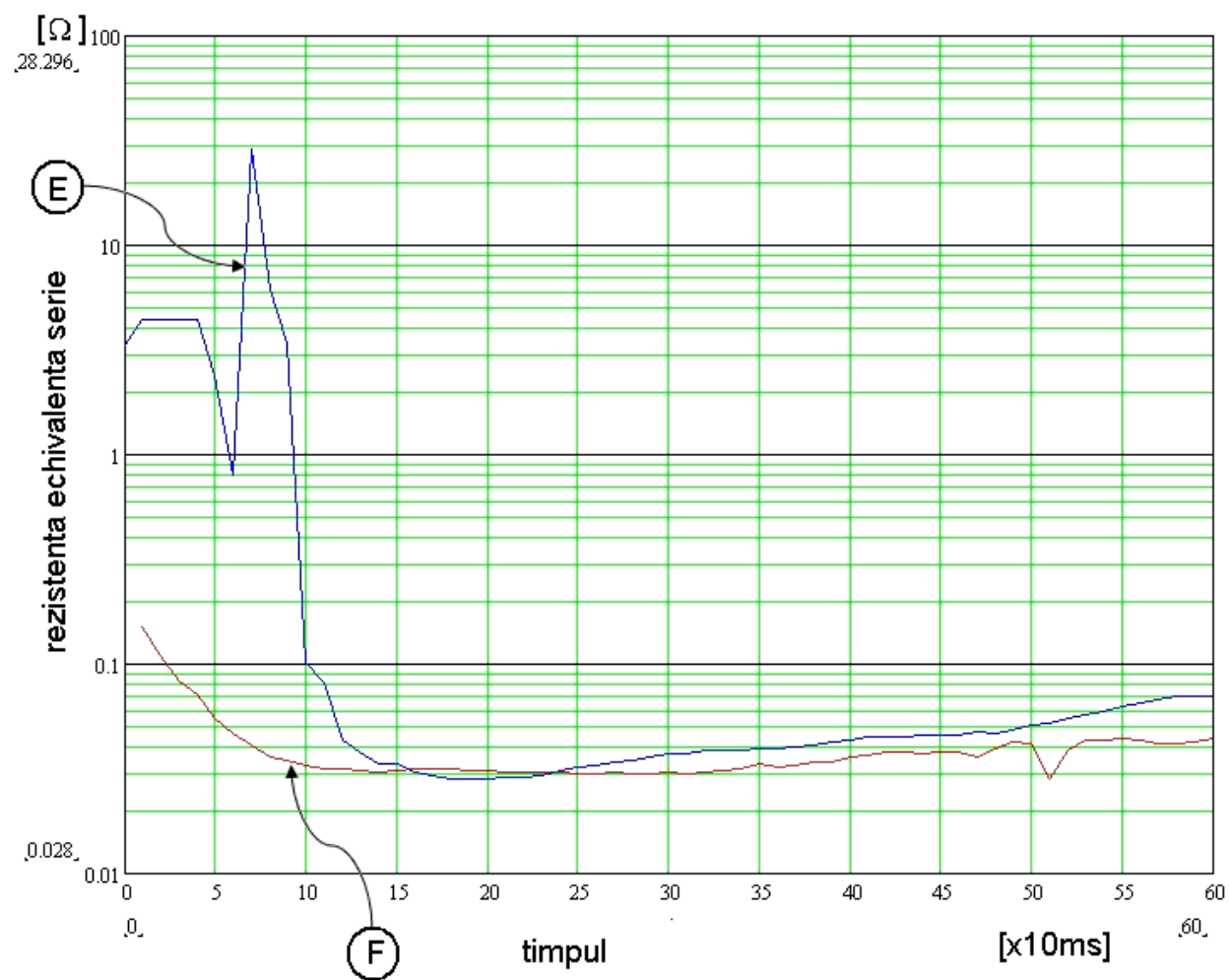


Figura 5

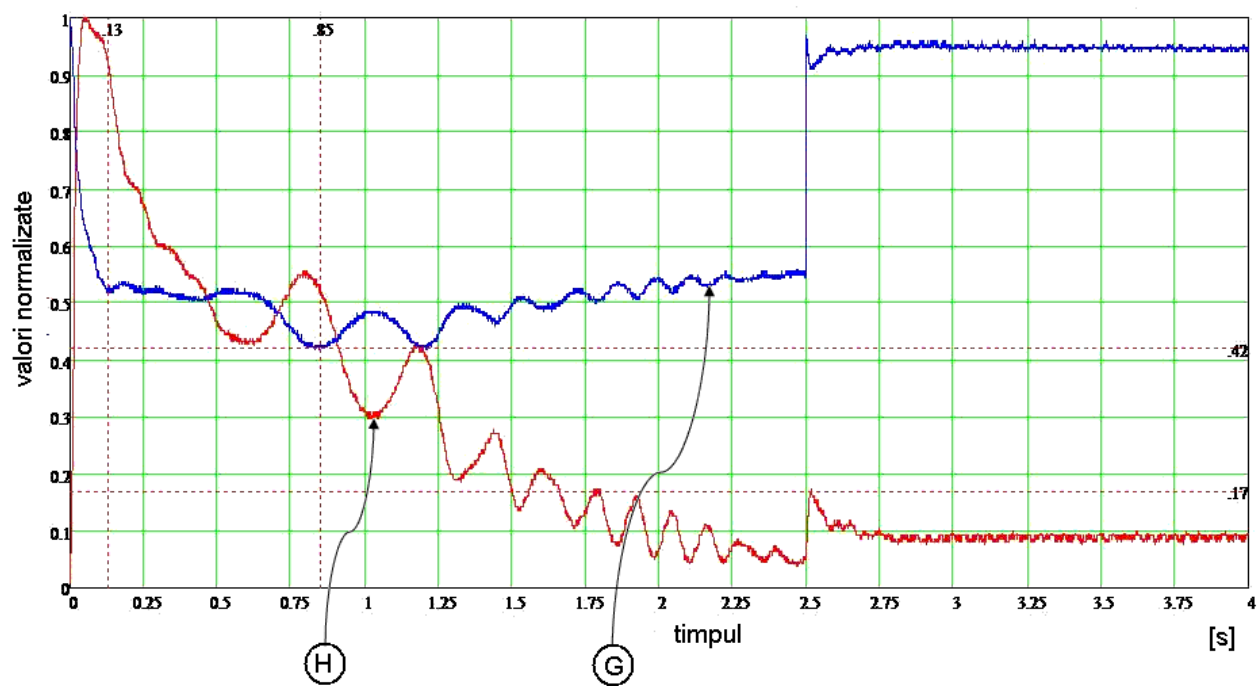


Figura 6

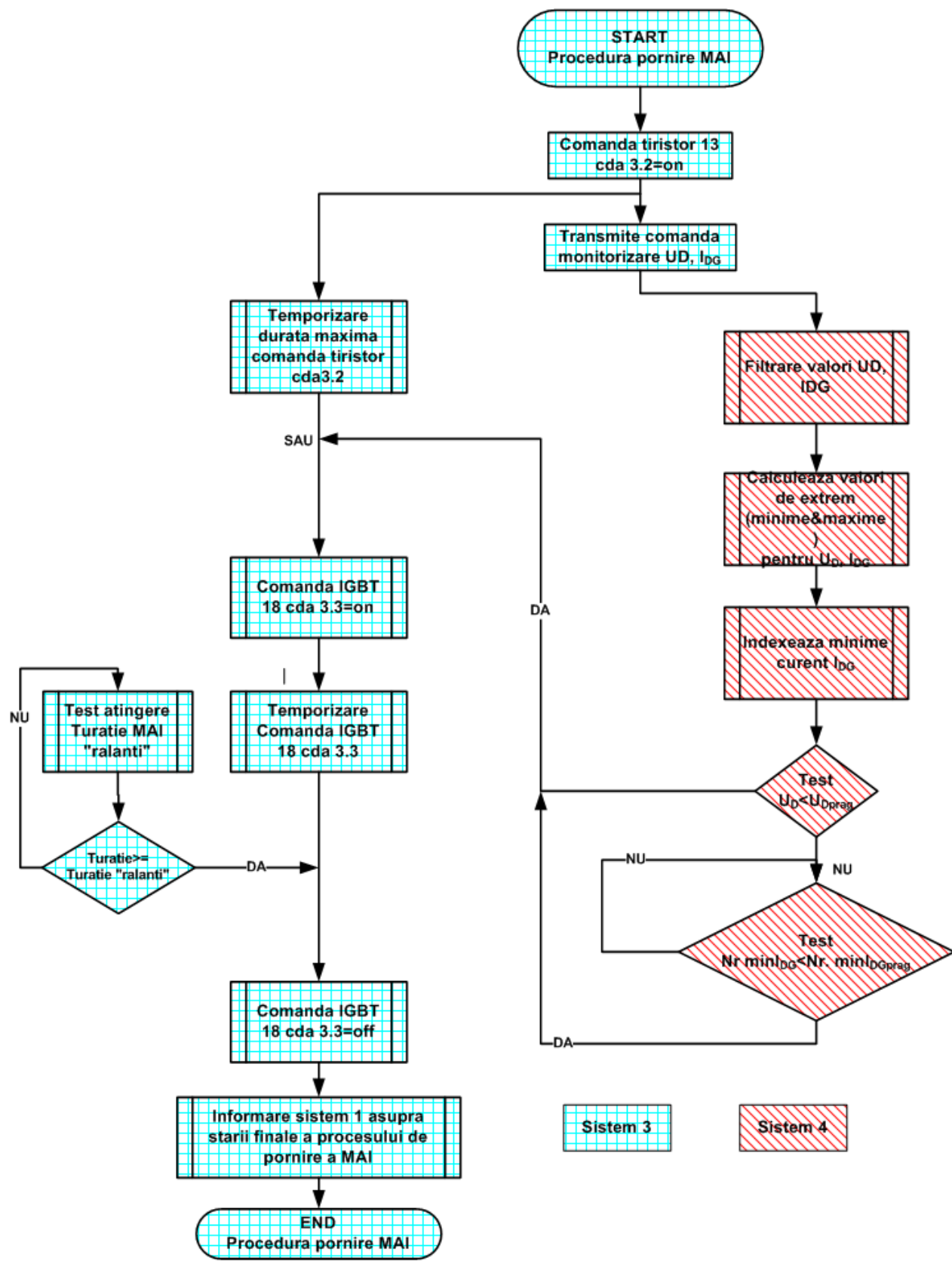


Figura 7

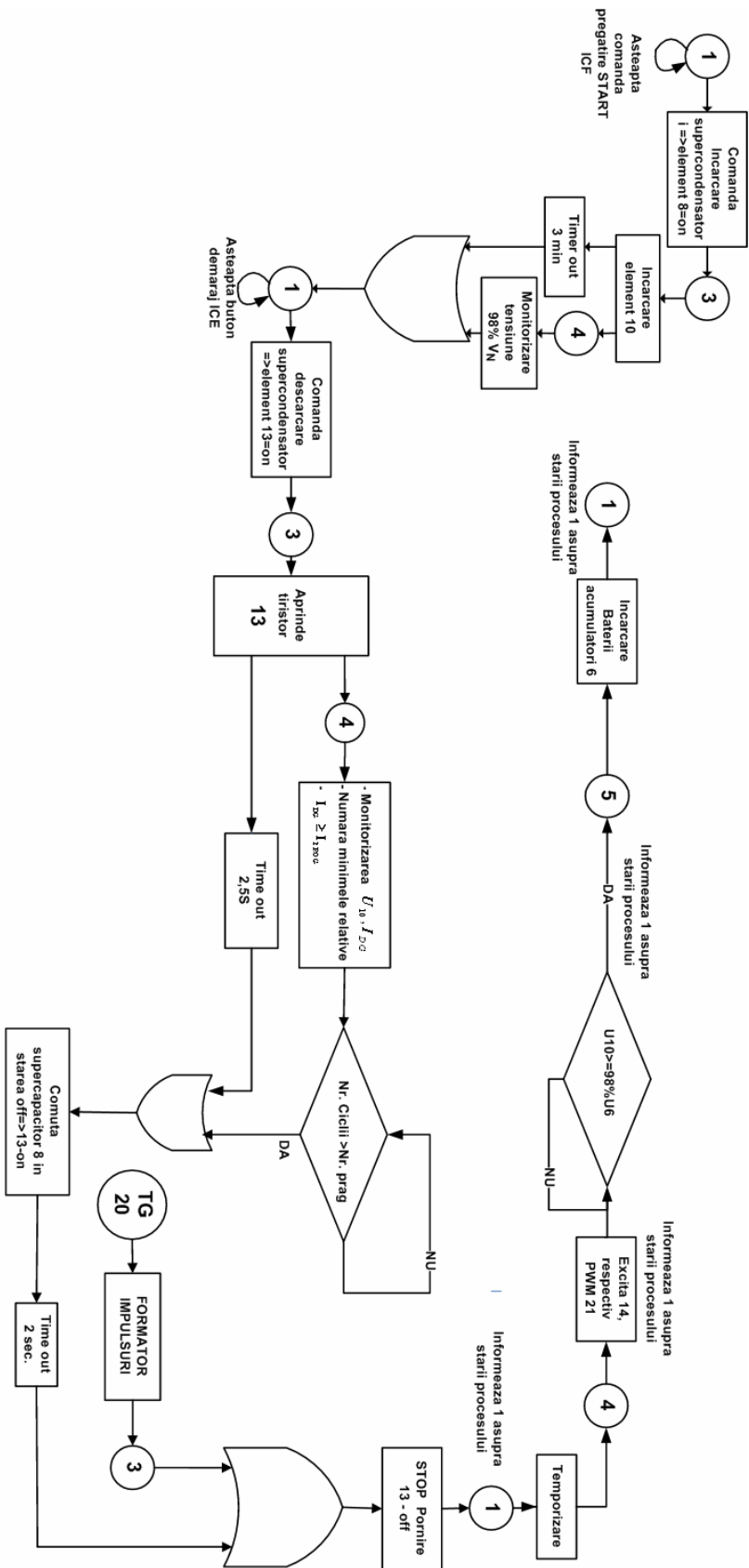


Figura 8

*Starile de eroare din proces nu au fost figurate