



**Departamentul de Mecatronică și Robotică  
Universitatea Politehnica Timișoara**

## **Software pentru standul de încercări al motoarelor pas cu pas folosite în LHC la CERN**

Autor:  
Profesor coordonator:

Lucian Mircea GREC  
ș.l. dr. Cristian MOLDOVAN

## Abstract

Acceleratoarele de particule moderne sunt folosite pentru a face cercetare fundamentală în fizica nucleară. La CERN, complexul de acceleratoare accelerează particule, în principal protoni și ioni de plumb, la cea mai mare energie obținută vreodată în mod sintetic.

Pentru a obține energii de până la 13TeV în 2015 s-au investit sume importante de bani pentru a crea și menține acceleratorul în funcțiune.

Unele din principalele componente ale acceleratorului sunt **cavitățile RF, magnetii dipoli, magnetii quadrupoli, detectoarele de particule** și alte instrumente adiacente cum ar fi **colimatoarele**.

**Colimatoarele** ajută la eliminarea particulelor care nu se afla pe direcția dorită. Eliminarea lor se face prin micșorarea spațiului prin care îi este permis fascicului să treacă. Colimatoarele dețin de obicei 2 sau 4 bare dintr-un material compozit care pot fi introduse în câmpul fascicului de particule apropiindu-le din ce în ce mai mult de fascicul pentru a face ca toate particulele care nu fac parte din raza concentrată (dar fac parte din ceea ce se cheamă pe engleza "**halo**") să se lovească de barele colimatorului și astfel să fie eliminate din circuit.

Aceste aparate trebuie să fie comandate cu precizii ridicate dar realizarea acestei sarcini este problematică în primul rând din cauza radioactivității. Radioactivitatea are un efect nociv asupra dispozitivelor electronice în primul rând, din aceasta cauză ele trebuind să fie amplasate la distanțe foarte mari față de zona radioactivă.

Deoarece motoarele folosite sunt cele pas cu pas ele trebuie comandate de la o distanță de până la 1km, acest lucru însemnând că electronica de comandă se află la acea distanță față de motorul în sine.

Dezvoltarea unei noi plăci de comandă a fost necesară pentru a permite înlăturarea efectelor cablului asupra transmiției semnalelor necesare pentru comanda motorului, acest lucru realizându-se prin folosirea filtrului Kalman extins pentru a modela ieșirile din puntea pentru fiecare fază a motorului astfel încât să țină cont de proprietățile cablului. Pe lângă acest obiectiv principal au mai existat și câteva obiective secundare cum ar fi posibilitatea folosirii motorului în buclă închisă atât cât senzorul va permite acest lucru și dezvoltarea unui nou mod de comandă pentru a reduce impactul pe care pașii motorului îl au asupra sistemului mecanic al colimatoarelor, mod de comandă numit control vectorial (pe engleza Field Oriented Control sau FOC).

Pentru testarea plăcii de comandă a fost nevoie de dezvoltarea unui program în LabVIEW, program la care am contribuit și eu, și care face obiectul acestei lucrări. Programul are ca scop testarea și asigurarea calității plăcilor de comandă ce urmează a fi instalate pentru a servi colimatoarele complexului de acceleratoare de la CERN.

## CUPRINS

<b>1</b>	<b>INTRODUCERE</b>	<b>4</b>
1.1	CERN	4
1.1.1	<i>Cercetarea la CERN</i>	4
1.1.2	<i>Modelul Standard</i>	4
1.1.3	<i>Bosonul Higgs</i>	5
1.1.4	<i>Supersimetria</i>	5
1.1.5	<i>Materia și energia întunecată</i>	5
1.2	ACCELERATOARELE DE PARTICULE	6
1.3	PROIECTUL COLIMATOARELOR LA CERN	8
<b>2</b>	<b>ASIGURAREA CALITĂȚII PLĂCILOR DE COMANDĂ</b>	<b>12</b>
2.1	LABVIEW	12
2.2	DESCRIEREA PROGRAMULUI DIN DIGITAL SIGNAL PROCESOR(DSP)	16
2.2.1	<i>Automate cu stări finite(FSM- Finite State Machine)</i>	16
2.2.2	<i>Programul din DSP</i>	17
2.2.2.1	Comunicarea cu placa de control	17
2.2.2.2	Stările principale ale automatului finit din DSP	18
2.2.2.3	Una din stările secundare ale automatului finit	22
2.3	DESCRIEREA STANDULUI DE TESTE	22
2.4	CONSTRUIREA PROGRAMULUI	24
2.4.1	<i>Schema interfeței grafice</i>	25
2.4.2	<i>Interfața grafică. Panoul de control</i>	26
2.4.2.1	Panoul de comunicare	26
2.4.2.2	Panoul de configurare	29
2.4.2.3	Panoul de comunicare cu DSP-ul	32
2.4.3	<i>Interfața grafică. Programe de test</i>	34
2.4.3.1	"Steps test"	34
2.4.3.2	"Currents test"	39
2.4.3.3	"Get statistics"	42
2.4.3.4	"Repeatability test"	44
2.4.3.5	"Transient test"	46
2.4.4	<i>Testul automat</i>	48
2.4.4.1	Testul 1 "Drive configuration"	48
2.4.4.2	Testul 2 - Steps test	49
2.4.4.3	Testul 3 - Currents test	50
2.4.4.4	Testul 4 - Repeatability test	50
2.4.4.5	Testul 5- Phase current limits	51
2.4.4.6	Testul 6 - Measure theta 0	51
2.4.4.7	Testul 7 - Drive reconfiguration	52
2.4.4.8	Testul 8 - Transient test în FOC	52
2.4.4.9	Testul 9 - Steps test using online switch closed to open position loop	53
<b>3</b>	<b>CONCLUZII</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>INDEX AL FIGURILOR</b>	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>67</b>

## 1 Introducere

Această lucrare de masterat este realizată la Organizația Europeană pentru Cercetare Nucleară, care este un institut de cercetare ce utilizează acceleratoare de particule pentru a studia legile fundamentale ale fizicii.

Pentru ca aceste acceleratoare să funcționeze corespunzător, instrumentație atent proiectată este de o importanță fundamentală. În acest capitol voi face o scurtă introducere a CERN și voi prezenta obiectivele acestei lucrări.

### 1.1 CERN

CERN este unul dintre cele mai mari institute de cercetare din lume. A fost fondat în 1954 și este situat la granița dintre Franța și Elveția în apropierea orașului Geneva. CERN angajează aproximativ 2500 de oameni și pe deasupra aproape 10000 de cercetători care însumează jumătate din numărul fizicienilor din lume vin la CERN pentru a-și desfășura o parte din cercetare. Organizația are 4 mari misiuni. Poate cea mai cunoscută este aceea de a efectua cercetare fundamentală în fizică. O altă misiune este aceea de a raspândi tehnologiile dezvoltate în cadrul organizației pentru ca apoi să poată fi folosite și în alte domenii. A 3-a misiune a CERN este aceea de a educa comunitățile științifice din statele membre în domeniul tehnic iar a 4-a este aceea de a oferi un cadru de colaborare între cercetătorii din diferite state.

#### 1.1.1 Cercetarea la CERN

Direcția principală de cercetare la CERN este în fizica nucleară. Începând cu anii 1970 Modelul Standard a fost folosit pentru a explica tot ce poate fi observat în Univers. Acest model susține că Universul vizibil este format din particule elementare care sunt legate între ele de către 4 forțe fundamentale. Totuși, conform înțelegerii noastre acest model poate să descrie doar 4% din Univers iar restul se presupune că este format din materie și energie întunecată. Folosind acceleratoare puternice de particule, scopul CERN este de a studia aceste lucruri. Alte scopuri sunt de a înțelege bosonul Higgs care oferă masă altor particule, și de a investiga dacă există dovezi care să susțină teoria supersimetriei.

#### 1.1.2 Modelul Standard

Modelul Standard adună cunoștințele actuale despre fizica nucleară și forțele care sunt prezente la acel nivel. Susține că leptonii și quarcurile sunt particulele fundamentale din care este construită materia. Există 6 leptoni și 6 quarcuri care sunt legați de 4 forțe fundamentale fiecare prin ajutorul unor particule purtătoare.

Forța nucleară tare are grijă ca particulele ce compun neutronii și protonii, în speță quarcurile, să rămână în loc pentru a compune neutronii și protonii.

Purtătorii de forță, în acest caz, sunt gluonii, particule fundamentale care fac legătura dintre quarcuri și determină schimbarea “aromei” acestora.

Forța nucleară tare are grijă și ca protonii și neutronii să stea lipiți în același nucleu. Este știut faptul că protonii sunt de sarcină pozitivă și se resping foarte puternic, dar sunt ținuti în același nucleu atomic de către pioni, care sunt purtătorii de forță.

A doua forță fundamentală este forța electromagnetică a cărui purtător de sarcină este fotonul. Acționează asupra quarcurilor și a leptonilor și este responsabilă pentru menținerea electronilor pe orbită și pentru legarea atomilor în molecule.

A treia forță fundamentală este forța slabă care acționează asupra atât asupra quarcurilor cât și asupra leptonilor. Este forța responsabilă pentru radioactivitatea naturală și pentru fuziunea nucleară din stele precum Soarele, unde atomii de hidrogen se combină pentru a crea heliu.

A patra forță fundamentală este gravitația.

### 1.1.3 Bosonul Higgs

Modelul Standard nu a fost în stare să explice cum particulele obțin masa proprie sau de ce unele sunt mai masive decât altele. Teoria mecanismului Higgs susține că spațiul este umplut de un câmp Higgs prin care particulele obțin masă. Acest câmp Higgs are cel puțin o altă particulă asociată și anume bosonul Higgs. Pe durata anilor 2012 și 2013 s-au descoperit dovezi care susțin această teorie, în cadrul experimentelor ATLAS și CMS.

### 1.1.4 Supersimetria

O unificare a tuturor forțelor fundamentale nu a fost posibilă în Modelul Standard datorită dificultății incorporării forței gravitaționale într-un mod similar celorlalte forțe. Supersimetria ar putea rezolva această problemă. Această teorie susține că există particule mai masive care sunt parteneri particulelor fundamentale deja cunoscute. Dacă teoria este corectă, cele mai ușoare particule supersimetrice ar trebui să fie descoperite în experimentele de la CERN.

### 1.1.5 Materia și energia întunecată

Prin observări astronomice s-a arătat că materia vizibilă este doar 4% din Univers. Restul se presupune a fi ocupat de materia întunecată(23%) și de energia întunecată(73%). O teorie populară este aceea că materia întunecată ar putea fi alcătuită din particule supersimetrice. Presupusa existență a materiei întunecate a fost găsită prin observații astronomice și calcule ale gravitației care au arătat că trebuie să mai existe ceva în Univers decât ceea ce se poate vedea. Aceste măsurători au făcut posibil să se poată estima cantitatea a ceea ce se presupune că este materie întunecată și densitatea ei, deși nu se poate observa

direct. Se crede că efectul gravitațional al materiei întunecate face ca galaxiile să se rotească mai repede decât era așteptat și câmpul gravitațional al acestei materii deviază lumina obiectelor din spatele său.

Energia cenușie este postulată a fi distribuită uniform în întregul Univers și în timp. Acest lucru înseamnă că efectul său nu este diluat pe măsură ce Universul se extinde. Distribuția omogenă ar avea și efectul de a nu avea un efect gravitațional local ci un efect gravitațional global asupra întregului Univers. Acest lucru ar crea o forță de respingere care ar avea tendința de a accelera expansiunea Universului. Rata de expansiune poate fi măsurată prin experimente și a fost confirmată prezența energiei întunecate și o estimare a cantității existente.

## 1.2 Acceleratoarele de particule

Acceleratoarele de particule au fost inventate pentru a putea furniza particule cu energie mare necesare pentru studiul nucleului atomic. Ele accelerează, respectiv cresc energia particulelor prin generarea de câmpuri electrice care le accelerează și energia câmpurilor magnetice folosite pentru a le focaliza și direcționa. Aceste acceleratoare sunt construite fie în forma de cerc (ciclotron), fie într-o formă liniară. Componentele principale într-un accelerator sunt:

-Cavitățile rezonante RF și câmpuri electrice care accelerează particulele transferând energia undelor radio particulelor.

-Tuburi vidate prin care raza de particule circulă. Presiunea vidului este cât se poate de scăzută pentru a menține la minim nivelul de interacțiune dintre eventualele molecule de gaz rămase în cadrul acceleratorului și particulele accelerate.

-Magnetii care au diferite roluri într-un accelerator. Magnetii dipolari sunt folosiți pentru a direcționa particulele pe o traiectorie circulară și magnetii cvadrupolari folosiți pentru focaliza raza de particule.

Datorită undelor radio, particulele se organizează în grupuri minuscule cu o anumită distanță între ele. Aceste grupuri formează raza de particule. Grupurile de particule sunt făcute să se ciocnească unele cu altele sau cu alte ținte staționare (ex. table metalice). Efectele acestor ciocniri sunt studiate cu ajutorul detectoarelor de particule. Pentru a obține energii mari, mai multe acceleratoare pot fi conectate între ele, energia razei crescând succesiv de la un accelerator la altul.

### Complexul de acceleratoare de la CERN

Complexul de acceleratoare de la CERN (fig 1.2.1) este un șir de acceleratoare de particule care pot să accelereze treptat particulele. Particulele sunt accelerate treptat în fiecare accelerator înainte de a fi transferate prin tunelul de transfer (TT) în acceleratorul următor. Complexul de acceleratoare include și Antiproton

Decelerator(AD) și Isotope Separator On-Line Device(ISOLDE) și furnizeaza particule pentru CLIC(Compact Linear Collider).

La LHC(Large Hadron Collider) se studiaza 2 clase de particule: protoni și ioni grei(ioni de plumb). Protonii sunt obtinuti prin indepartarea electronilor din atomi de hidrogen. Acesti protoni sunt apoi accelerati în acceleratorul liniar LINAC 2 inainte de a fi transferati în PS Booster avand o energie de 50MeV. De aici pleaca cu o energie de 1.4 GeV în acceleratorul numit Proton Synchrotron(PS) unde sunt accelerati la 25GeV. Sunt transferati apoi la SPS(Super Proton Synchrotron) unde sunt accelerati la 450 GeV inainte de a fi transferati în LHC care este acceleratorul cel mai puternic de la CERN. Isi continua miscarea timp de aproximativ 20 de minute inainte de a ajunge la viteza și energia maxima.

Ionii de plumb folositi în LHC sunt obtinuti din plumb incalzit la 500 grade Celsius. Un curent electric este folosit apoi pentru a ioniza vaporii de plumb, producând un numar mare de ioni cu un maxim în jurul ionului  $Pb^{29+}$ . Acesti ioni sunt apoi accelerati la 4.2 MeV/u (energie/nucleon) în LINAC 3 și trecuti printr-o folie subtire de carbon pentru a fi transformati în  $Pb^{54+}$  inainte de a intra în LEIR(Low Energy Ion Ring). Particulele sunt apoi accelerate la 72 MeV/u în LEIR după care intra în PS și se accelereaza în continuare până la 5.9 GeV/u inainte de a fi transformati în  $Pb^{82+}$  de o a doua folie de carbon. Raza este pasata la SPS de unde iese cu o energie de 177 GeV/u și intra în LHC unde urca până la 2.76 TeV/u.

Complexul de acceleratoare este controlat de către camera de control de la CERN (CCC), de unde este controlat și intregul sistem criogenic folosit pentru a raci magnetii și restul infrastructurii necesare operarii complexului.

# CERN Accelerator Complex

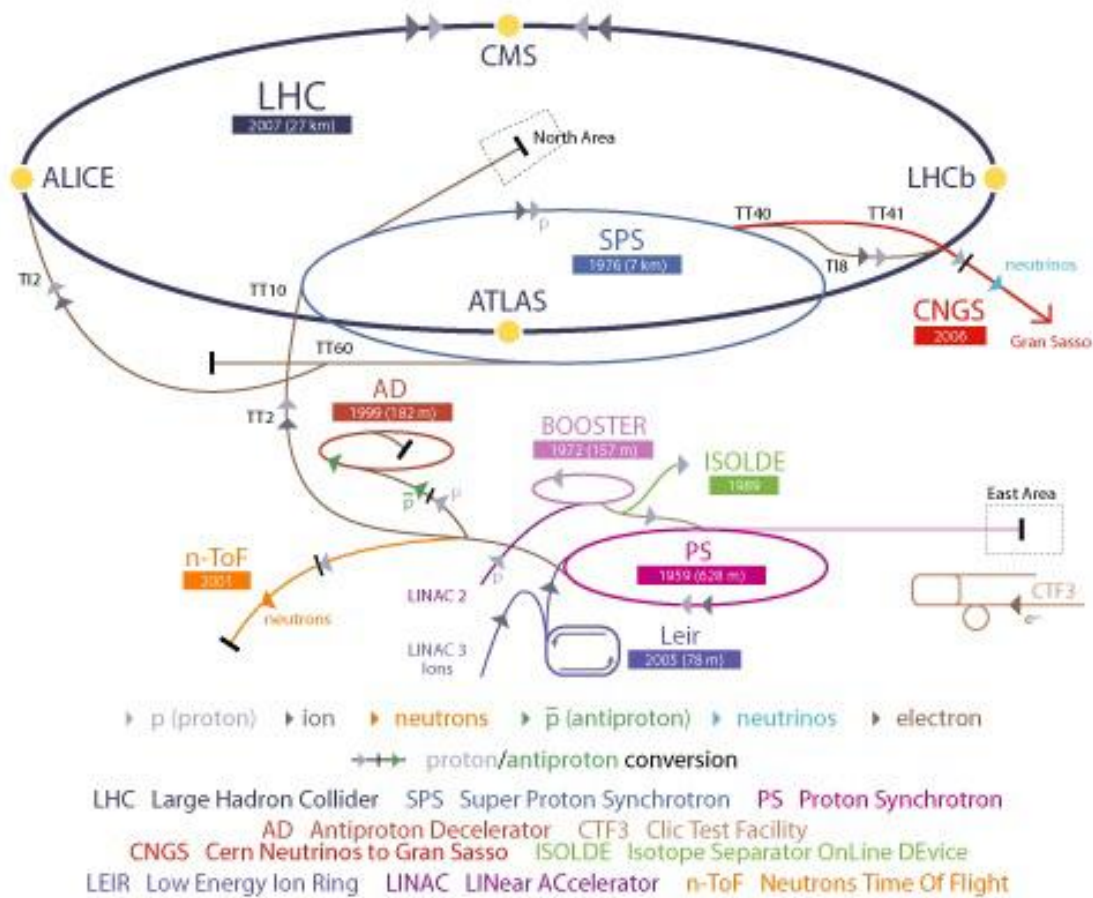


Figura 1-1 - Complexul de acceleratoare de la CERN

## 1.3 Proiectul colimatoarelor la CERN

### Colimatoare la CERN

Instrumente de baza în acceleratoarele de particule sunt colimatoarele care protejează aceste mașini scumpe și ajută la curățarea razei pentru ca experimentele efectuate să își poată urma cursul așteptat.

Pe măsură ce energia folosită crește, cresc și cerințele pentru colimatoare. Precizia de poziționare în colimatoare nu este o excepție deoarece pe măsură ce energia razei crește, dimensiunile acestora scad.

Pe deasupra, datorită energiei mai mari și activării radioactivității nu se pot folosi dispozitive electronice în cadrul colimatoarelor sau în imediata apropiere a acestora (echipamentele de măsură din cadrul colimatoarelor și electronica de putere sunt așezate la ~800 m depărtare, în cadrul LHC).



Colimatoarele sunt necesare la CERN pentru a înlătura particulele care nu se afla pe direcția dorită, particule care altfel devin periculoase pentru accelerator în sine.

Principiul pe care se bazează aceste aparate este destul de simplu. Există 2 sau 4 bare patrute dintr-un material compozit, dispuse în așa fel încât să existe o anumită distanță între ele, formându-se un spațiu prin care raza de particule va avea loc să treacă. Particulele care nu sunt pe direcția corespunzătoare vor lovi aceste bare dispuse paralel razei de particule, și vor fi înlăturate, barele fiind racite cu ajutorul sistemului de racire.

Munca pe care o descriu în acest proiect a fost depusă în cadrul departamentului EN/STI-ECE la CERN, Geneva și constă în dezvoltarea software-ului folosit pentru testarea plăcii de comandă dezvoltată în cadrul departamentului și parțial a motorului în sine.

Datorită problemelor cauzate de radioactivitate, poziționarea de înaltă precizie a cleștilor colimatorului trebuie realizată prin comandarea motoarelor de la o distanță foarte mare și fără a avea comanda cu bucla de reacție. Acest tip de control a fost implementat folosind Filtrul Kalman Extins pentru a reconstrui starea motorului la celălalt capăt al cablului.

Acest tip de algoritm necesită un model precis al motorului, dar modelul standard al unui motor pas cu pas hibrid prezintă unele limitări atunci când curentul prin bobinele motorului este îndeajuns de mare pentru a produce saturarea circuitului magnetic. Datorită acestei probleme au fost propuse îmbunătățiri acestui model.

O altă problemă care apare datorită motoarelor pas cu pas este uzura colimatoarelor datorată mișcării și cuplului brusc introdus la trecerea de la un pas la altul în cazul metodei de comandă standard. Controlul poziției în buclă închisă și anume controlul vectorial al poziției (Field Oriented Control) permite folosirea unor profile de mișcare mult mai line dar necesită folosirea unor senzori pentru a închide bucla de comandă.

După cum am menționat deja acest lucru este problematic din cauza efectelor radioactivității asupra circuitelor electronice. De aceea a fost nevoie de dezvoltarea unui sistem care să permită folosirea buclei de reacție și când senzorii cedează să se poată face trecerea la comanda în buclă deschisă.

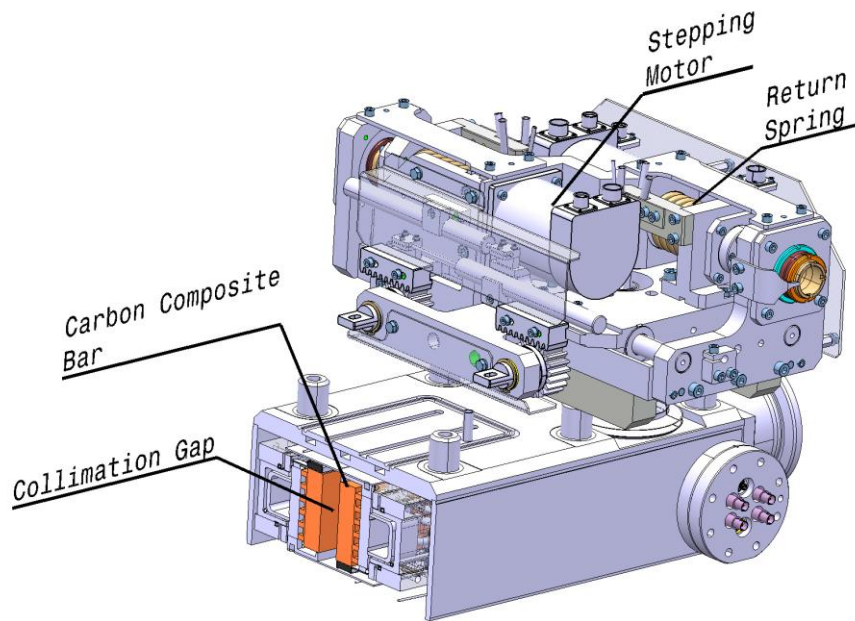


Figura 1-2 Secțiune a unui colimator

Distanța dintre clestii colimatorului depinde de caracteristicile razei care se dorește, și pentru a modifica această distanță se folosesc motoare pas cu pas pentru a aduce barele în poziția dorită. Aducerea acestor clesti în poziția dorită este problematică deoarece senzorii cedează din cauza radioactivității și atunci singura informație care se știe despre starea colimatorului este curentul care trece prin fazele motorului dar doar în partea dinspre circuitul de comandă. Acest circuit se afla la sute de metri departare, conectat la motor prin cabluri de o lungime foarte mare.

În figura 1-3 se observa un motor pas cu pas hibrid, cu pasul de  $1.8^\circ$ . Rotorul este format dintr-un magnet permanent, care este magnetizat axial, un capăt fiind polul nord iar celălalt polul sud. Atât rotorul cât și statorul unui astfel de motor au dinți asemănători unei roți dințate, care se aliniază în diferite configurații în timpul rotației.

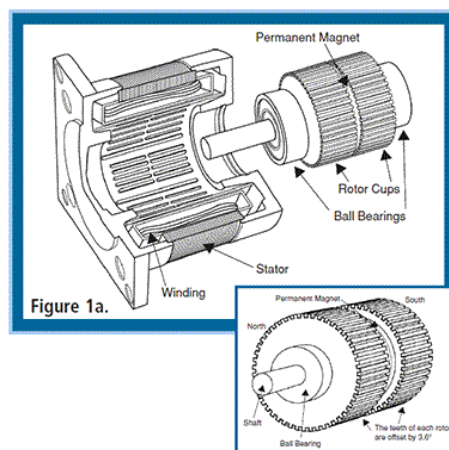


Figura 1-3 Motor pas cu pas hibrid

Rotorul are 50 de dinți, iar după cum se observă în figura 1-3, există 2 părți ambele a câte 50 de dinți, care sunt defazate între ele cu  $3.6^\circ$ . Statorul este format din 2 faze. Bobinajele așezate la  $90^\circ$  unul față de celălalt formează fiecare fază. Aceste bobine sunt astfel înfășurate încât poli care se formează la  $180^\circ$  departare au aceeași polaritate. Când curentul într-o fază se inversează, la fel și polaritatea magnetilor statorului, lucru care înseamnă că oricare bobina poate să fie nord sau sud în funcție de sensul curentului.

După cum se observă în figura 1-4, când faza A este energizată, bobinele de la ora 12 și ora 6 devin polul nord și cele de la ora 3 și ora 9 devin polul sud. Cele de la ora 12 și 6 vor atrage dinții de la polul sud magnetic al rotorului și cele de la ora 3 și 9 vor atrage dinții de la polul nord magnetic al rotorului. În funcție de direcția de rotație dorită se alege următorul set de poli care urmează a fi energizați.

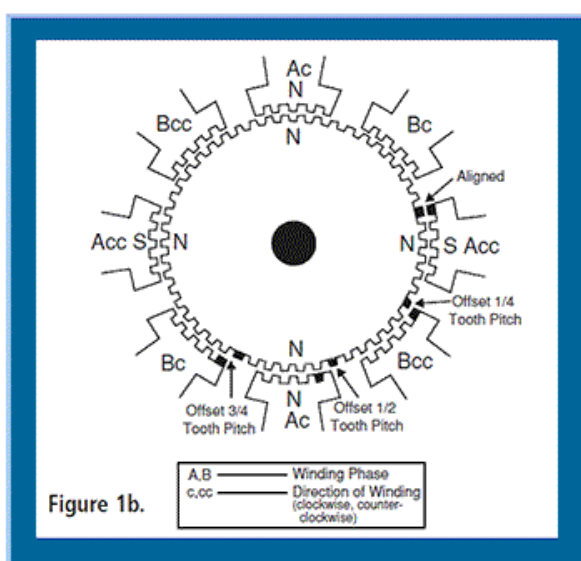


Figura 1-4 Schema a unui motor pas cu pas

Circuitul de comandă, controlează această secvență de energizare. Deoarece rotorul are 50 de dinți, pasul dintre dinți este de  $7.2^\circ$ . Pe măsură ce rotorul se învârtă, unii dinți se aliniază cu dinții de pe stator. Ceilalți dinți care nu sunt aliniați perfect, sunt defazați cu  $3/4$ ,  $1/2$  sau  $1/4$  din pasul dintre dinți. Când motorul face un pas, arborele motorului se va mișca la cea mai apropiată poziție unde rotorul și statorul sunt aliniați adică  $1.8^\circ$  la fiecare pas.

Acest tip de motoare a fost ales datorită faptului că ele nu necesită o buclă de reacție pentru a fi poziționate cu o precizie relativ bună și datorită faptului că sunt mai robuste decât alte tipuri de motoare electrice.

Motoarele pas cu pas oferă un cuplu static ridicat și de aceea sunt potrivite pentru aplicații în care mișcarea este menținută în majoritatea timpului la poziții

fixe sau variaza în pasi discreti. Pe deasupra, în ciuda faptului că de obicei sunt comandate în buclă deschisă, nu suferă de eroare de poziționare cumulativă.

În aplicațiile care necesită folosirea de cabluri lungi de obicei se folosește o buclă de reacție cu ajutorul unui encoder sau dacă nu, nu este necesară o precizie de poziționare atât de ridicată. Acest lucru (folosirea encoderului) nu este posibilă în asemenea condiții (radioactivitate) concomitent cu obținerea unui sistem robust.

## 2 Asigurarea calității plăcilor de comandă

### 2.1 Labview

NI LabVIEW este un software folosit la scară largă într-o gamă mare de aplicații și industrii.

LabVIEW este un mediu de dezvoltare de software care conține numeroase componente dintre care multe sunt de obicei necesare pentru măsurători sau controlul diverselor aparate.

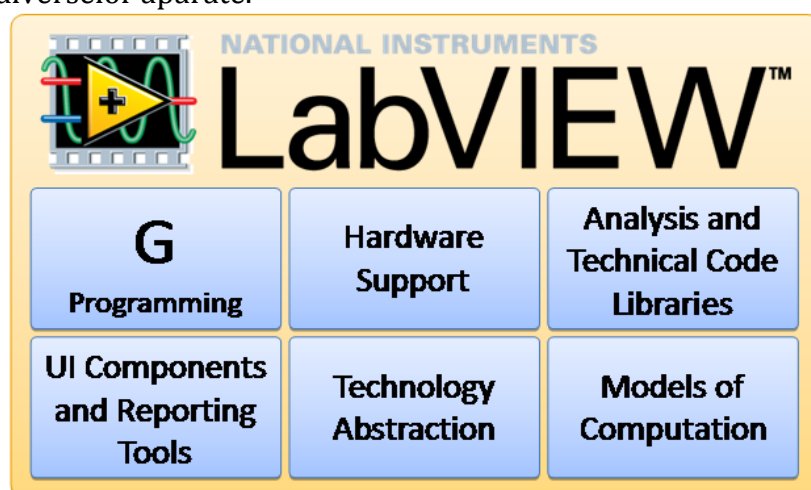


Figura 2-1 Module LabVIEW

### Limbajul de programare G

Dispune de un model de programare intuitiv similar cu modul de reprezentare al schemelor bloc iar timpul de învățare al limbajului este mult mai scurt în comparație cu limbajele tradiționale.

Folosind acest limbaj de programare poți crea foarte rapid programe pentru achiziția de date, analiza semnalelor achiziționate, operații logice asupra semnalelor. Din punct de vedere tehnic limbajul G este un limbaj de programare grafic în care nodurile acționează asupra informației odată ce ea este disponibilă spre deosebire de limbajele pe baza de text unde fiecare linie se execută secvențial.

Un program în acest limbaj arata destul de similar unei scheme bloc în care informația curge de la un nod la altul, fiecare element al schemei modificând într-un anumit fel informația.

Beneficiile practice ale acestei abordari grafice este că se aduce în prim plan semnalul achiziționat, sau orice alt tip de informație și operațiile care se efectueaza asupra ei, și se ascunde o mare parte din procesul de programare, cum ar fi alocarea memoriei sau sintaxa limbajului,

Programatorii incepatori au nevoie de mai puțin timp pt a folosi acest limbaj de programare deoarece este similar cu alte tipuri de reprezentare a unor procese.

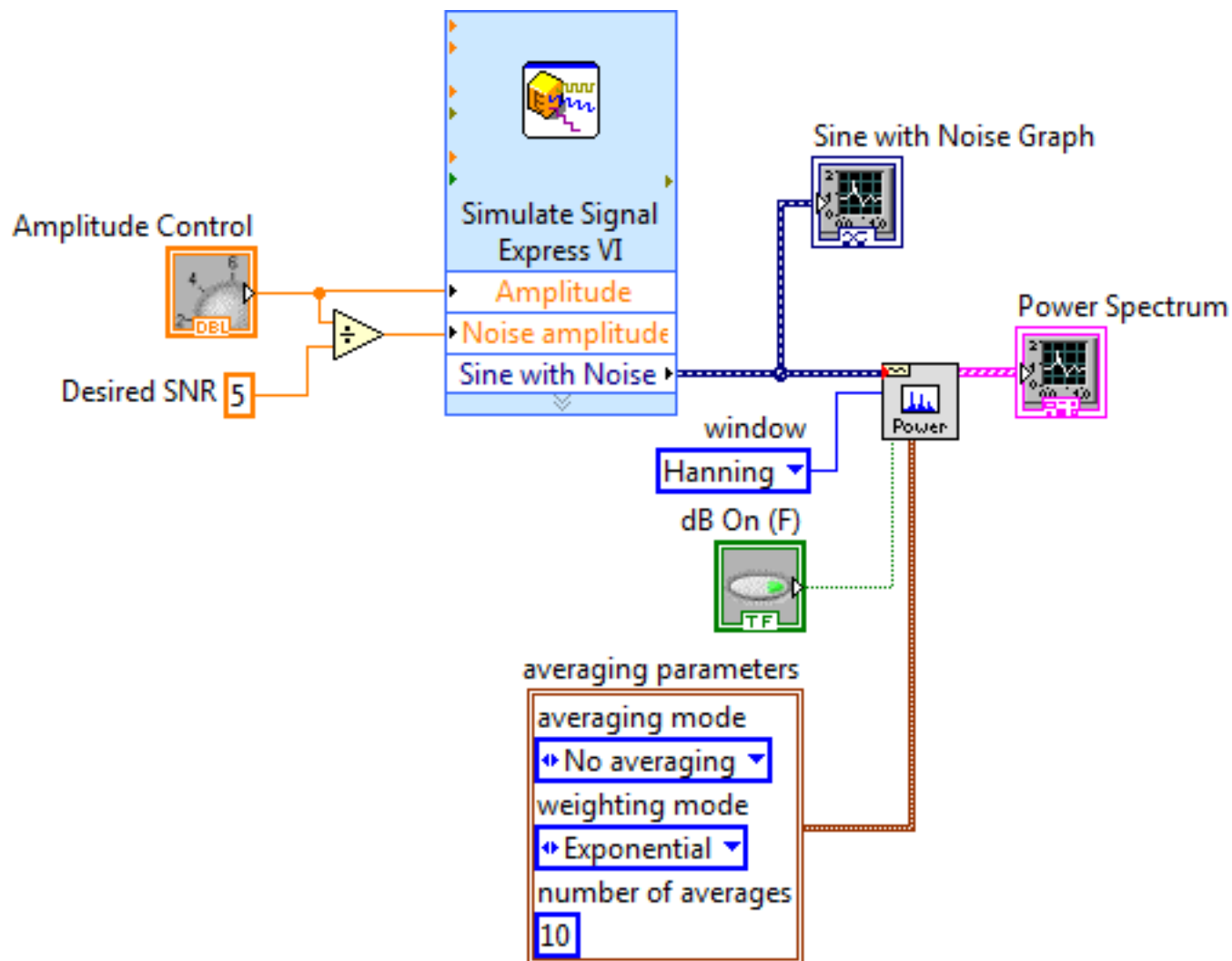


Figura 2-2 Modul de documentare automată al limbajului

Labview conține un compilator eficient care examineaza codul creat și genereaza codul masina, evitand scaderile de performanta aferente limbajelor interpretate sau celor care compileaza pentru mai multe sisteme.

Compilatorul poate identifica și segmente de cod care sunt independente, atribuindu-le automat firelor de executie(thread) libere, ruland astfel în paralel și rezultand intr-o aplicatie mai rapida și mai sensibila din punct de vedere al controlului decât o aplicatie care foloseste un singur fir de executie.

Cu ajutorul aplicației de depănare se poate încetini execuția programului și vedea exact cum curge informația de la un nod la altul, sau se pot folosi metode mai comune precum puncte de întrerupere pentru a observa cum funcționează programul realizat.

## Suport pentru hardware

- Suport pentru mii de aparate :
  - instrumente științifice
  - plăci de achiziție
  - senzori
  - camere de filmat
  - motoare și actuatoare
- Stil de programare similar pentru toate aparatele
- Codul este portabil pe diferite platforme

De obicei integrarea diverselor dispozitive poate fi problematică când se dorește automatizarea unor teste, măsurători sau sisteme de control. Și mai rău de atât, neintegrându-le se ajunge la o gramada de lucru manual, ineficient și predispus apariției erorilor.



Figura 2-3 LabVIEW se conectează la aproape orice dispozitiv

LabVIEW face ca acest proces de integrare al diverselor dispozitive utilizând o abordare consecventă indiferent de tipul de hardware folosit.

Același model "inițializează-configurează-citește/scrie-închide" este repetat pentru o varietate mare de aparate, iar informația este întotdeauna returnată într-un format compatibil cu funcțiile disponibile pentru analiza ei, nefiind nevoie pentru a te documenta în detaliu despre funcționarea protocolului de comunicare sau alte lucruri asemănătoare.

LabVIEW oferă drivere gratuite pentru mii de produse NI și ale altor terți iar în cazul în care nu există acest driver, pune la dispoziție instrumentele necesare pentru a putea să îți creezi singur driverul necesar dispozitivului pe care vrei să îl folosești.

## Biblioteci de funcții tehnice și de analiza

- biblioteci de funcții pentru procesare de semnale și algoritmi de control
- biblioteci de funcții pentru comunicare, scriere.citire în/din fișiere
- biblioteci de funcții care accepta informația în același format în care este transmisă de la hardware

LabVIEW proiectează limbajul G să fie specific ingineriei și utilizării în scopuri științifice, incorporând sute de funcții specializate și algoritmi care nu sunt în mod normal incluși în limbajele de programare tradiționale.

## Interfețe grafice și instrumente pentru generare de rapoarte

- obiecte interactive precum grafice, tabele, indicatori tip manometru
- instrumente pentru a salva informația în fișiere sau baze de date sau pentru a genera automat rapoarte tehnice

Fiecare program în LabVIEW(limbajul G) are asociată o interfața grafică care va fi portalul prin care utilizatorul va interacționa cu aplicația. Pe această interfață se pot poziționa diferite obiecte cum ar fi șiruri de caractere, numere, butoane, alte tipuri de instrumente de control, indicatori, grafice, tabele etc. Toate acestea sunt proiectate pentru a fi folosite în inginerie, deci pot avea unități de măsură, le poate fi schimbată scara(grafice) doar prin modificarea extremelor și semnalele reprezentate pot fi exportate cu câteva click-uri în Microsoft Excel sau DIAdem.

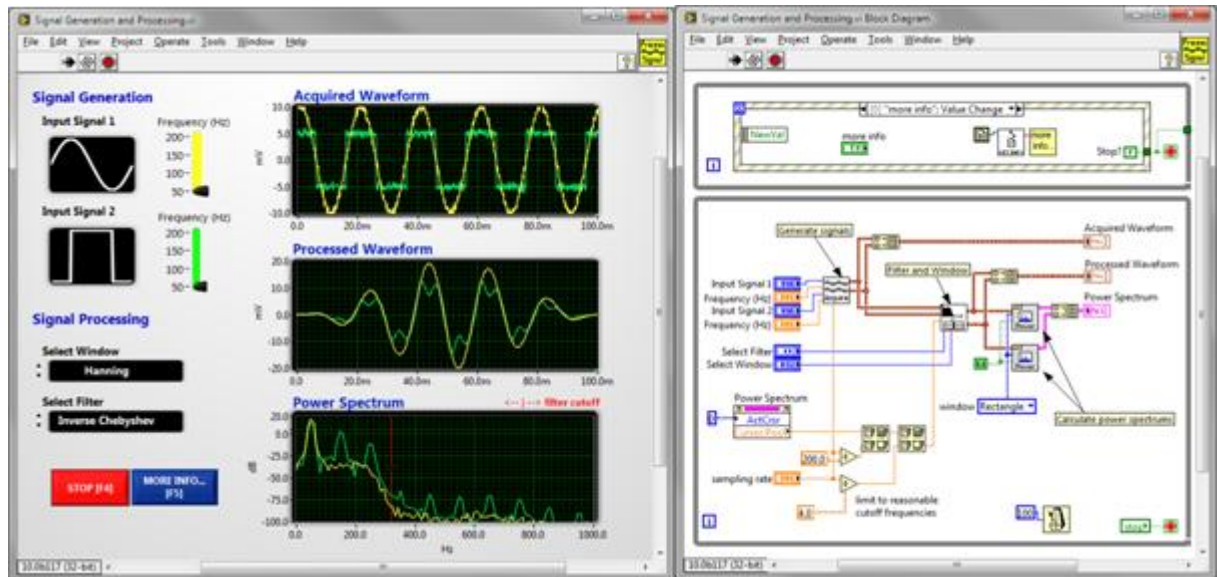


Figura 2-4 Orice program în LabVIEW are asociată o interfața grafică



## 2.2 Descrierea programului din Digital Signal Procesor(DSP)

### 2.2.1 Automate cu stări finite(FSM- Finite State Machine)

#### **Generalități**

Automatele cu stări finite sunt arhitecturi fundamentale în proiectarea programelor software în care există un număr determinat de stări. Fiecare stare poate să ducă la o stare următoare sau la un număr de stări următoare, aceste tranziții bazându-se pe acțiuni ale utilizatorului sau pe calcule executate în interiorul fiecărei stări. Multe aplicații necesită o stare de inițializare urmată de o stare default de bază(default) unde se pot efectua diferite acțiuni. Aceste acțiuni depind de intrările în sistemul respectiv și de starea curentă și stările anterioare.



## 2.2.2 Programul din DSP

O abstractizare a programului scris în C se poate vedea mai jos.

### 2.2.2.1 Comunicarea cu placa de control

Title:	State Machine - Modbus Communication
Code file name:	modbus.c
Author:	R. Picatoste & P. Serrano
Date:	24/4/2015
Description:	Flow chart of the state machine for the Modbus Communication module in the DSP.

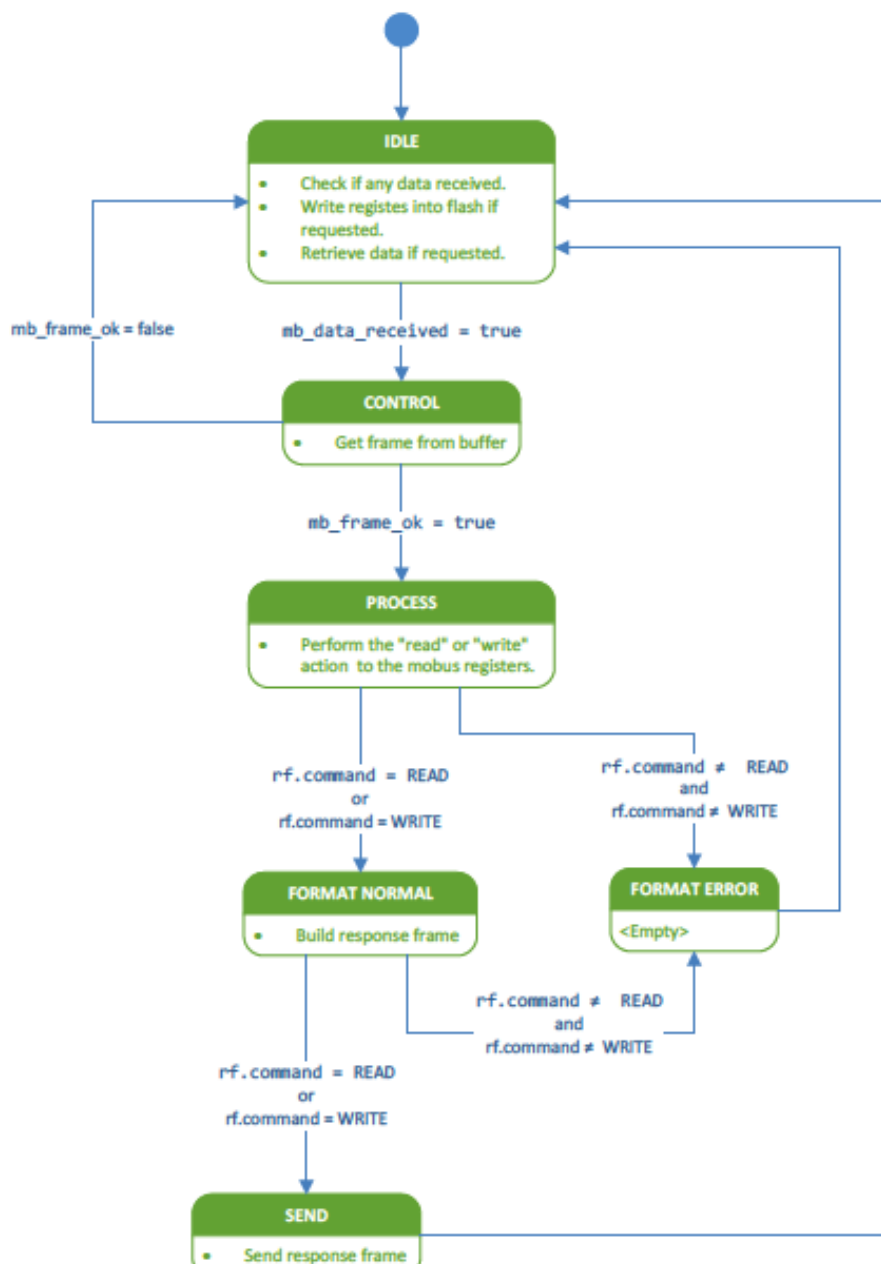


Figura 2-5 Automatul finit al protocolului de comunicare

### 2.2.2.2 Stările principale ale automatului finit din DSP

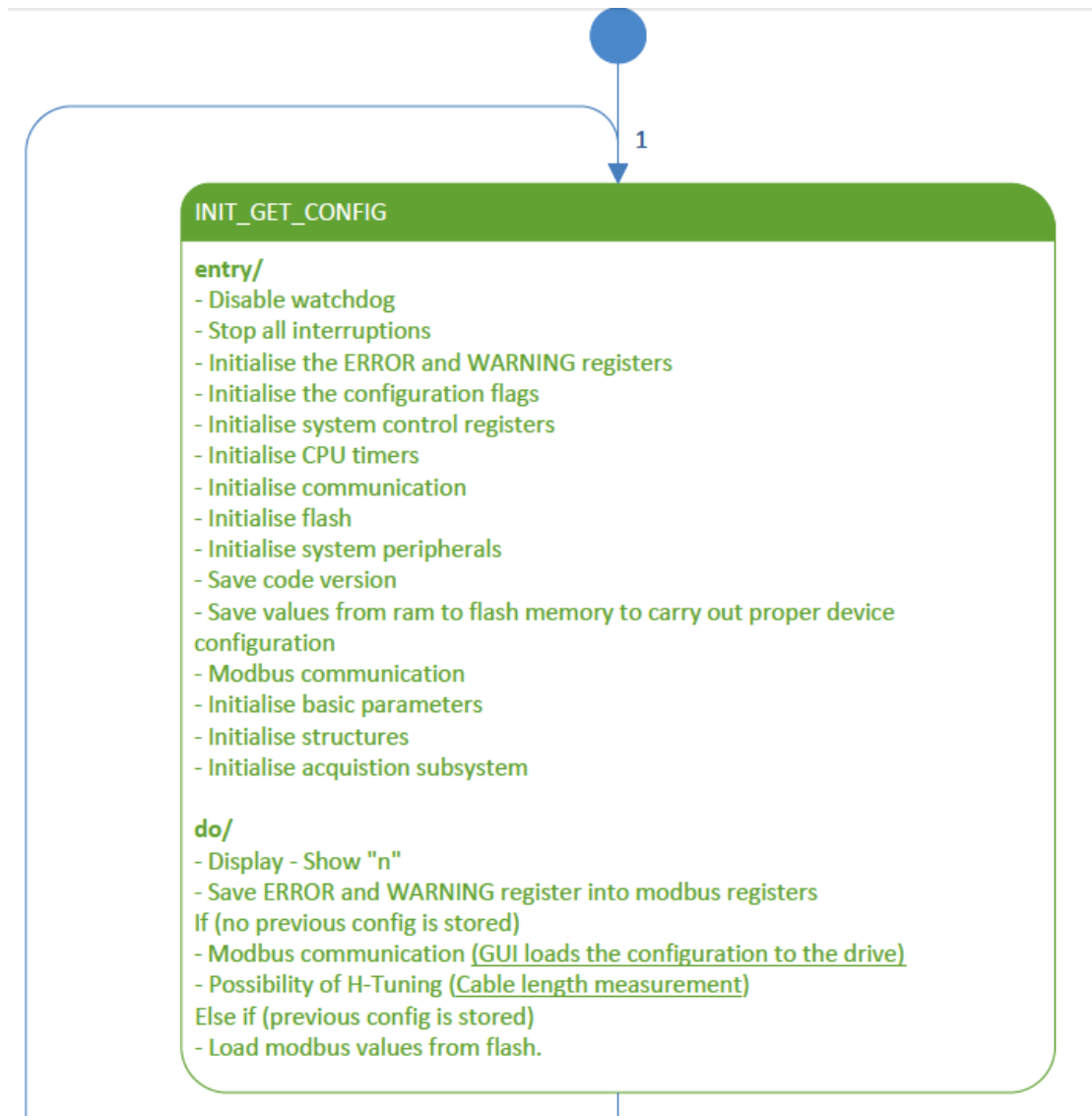


Figura 2-6 Starea de inițializare a automatului finit general

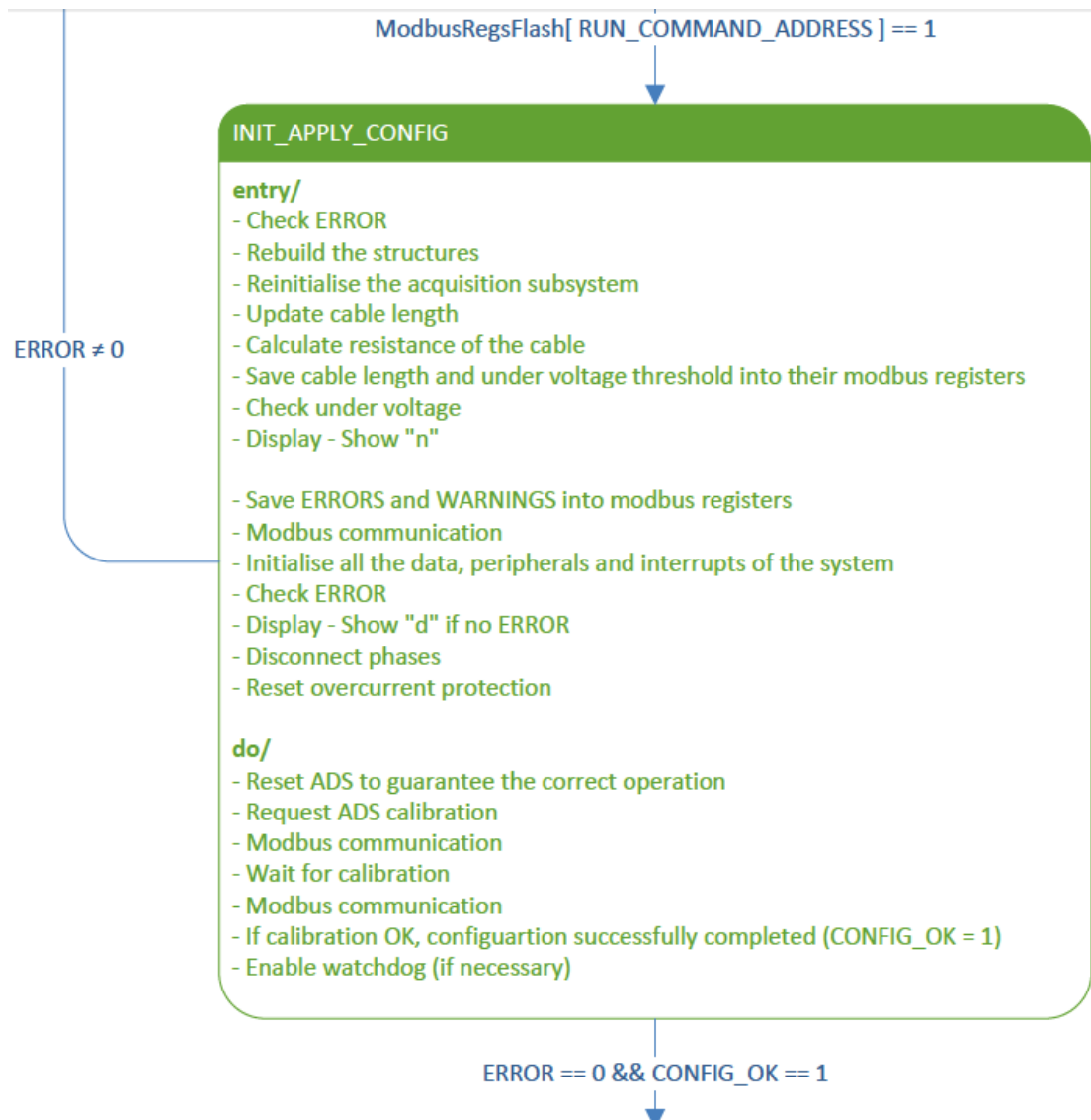


Figura 2-7 Continuare a starii de inițializare

## DRIVE\_RUNNING

### entry/

- Initialize state machine: SM\_DRIVE\_RUNNING

### do/

- Reset max values for inspection (if requested).
  - Save values into the modbus registers for inspection.
  - Service I2C Queue.
  - Modbus communication.
  - Update Working and Stepping mode if necessary.
  - Launch an acquisition if requested.
  - Clear step counter on demand.
  - Disregard limit changes online.
  - Online update of the values: I\_REF, FOC\_i\_d\_ref, theta\_0\_e, high and low limits (they act as auxiliary variables), VoltageSupply and Auxiliar Words (Controls, Indicators and Actions).
  - Run state machine: SM\_DRIVE\_RUNNING
- 
- Prepare and launch a "find encoder index" if requested.
  - Restart step mode and interruptions after "find encoder index" process.
  - Initialise state machines of "find encoder index" and "calibrate theta 0" if necessary.

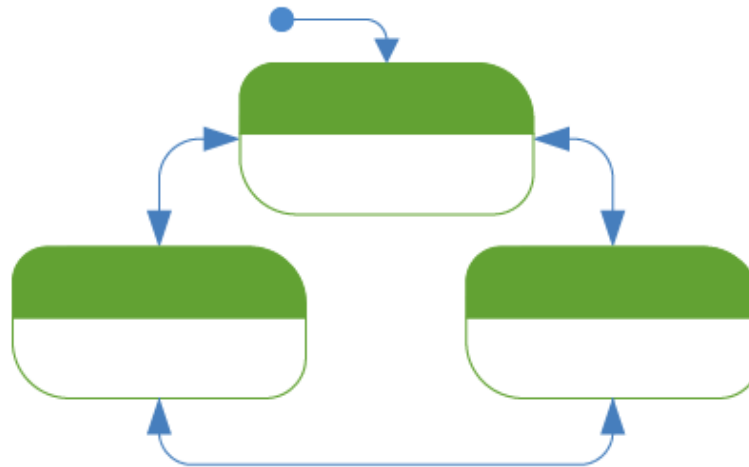


Figura 2-8 Starea default a automatului finit general

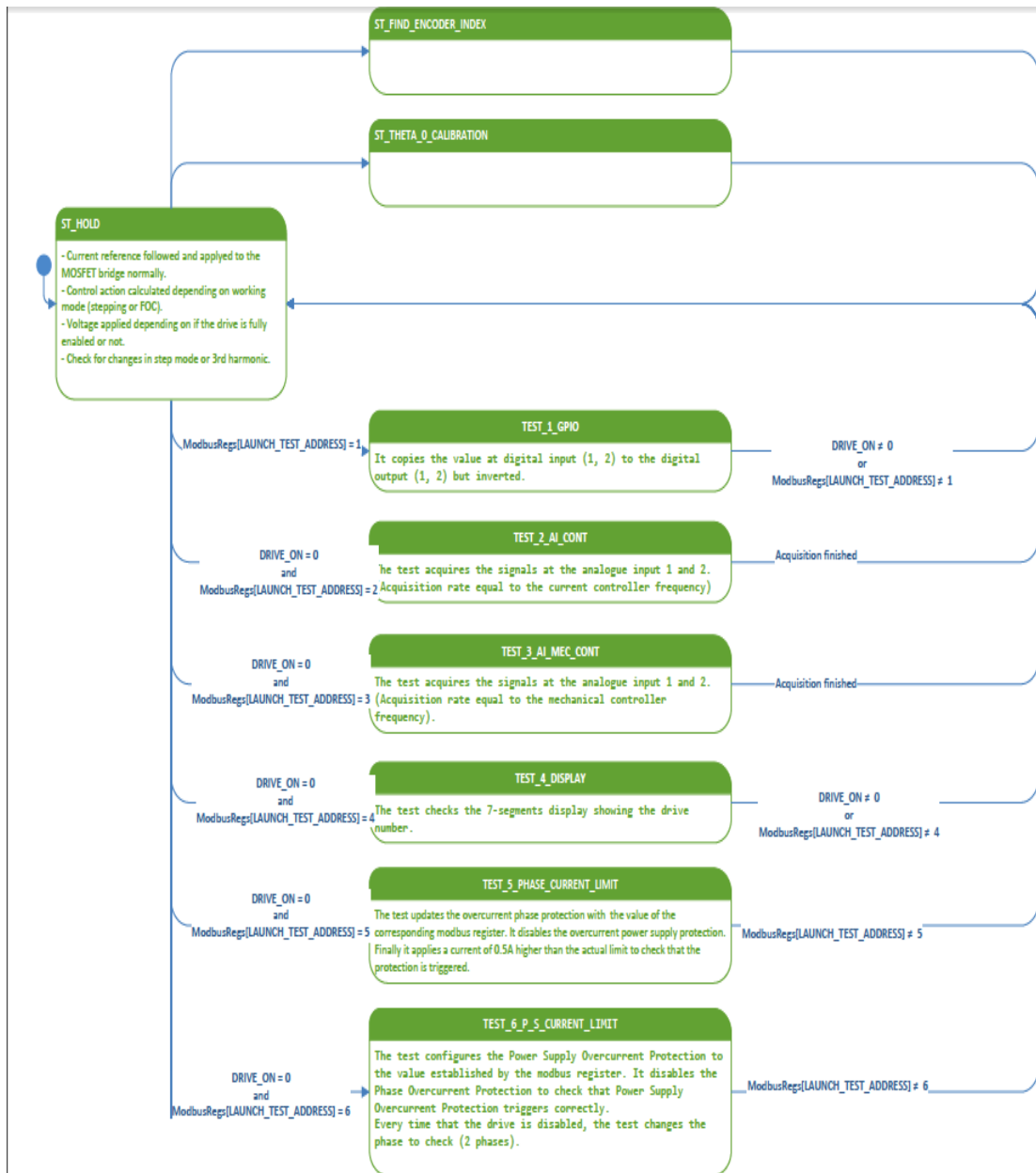


Figura 2-9 Starea de alegere a testelor de executat

### 2.2.2.3 Una din stările secundare ale automatului finit

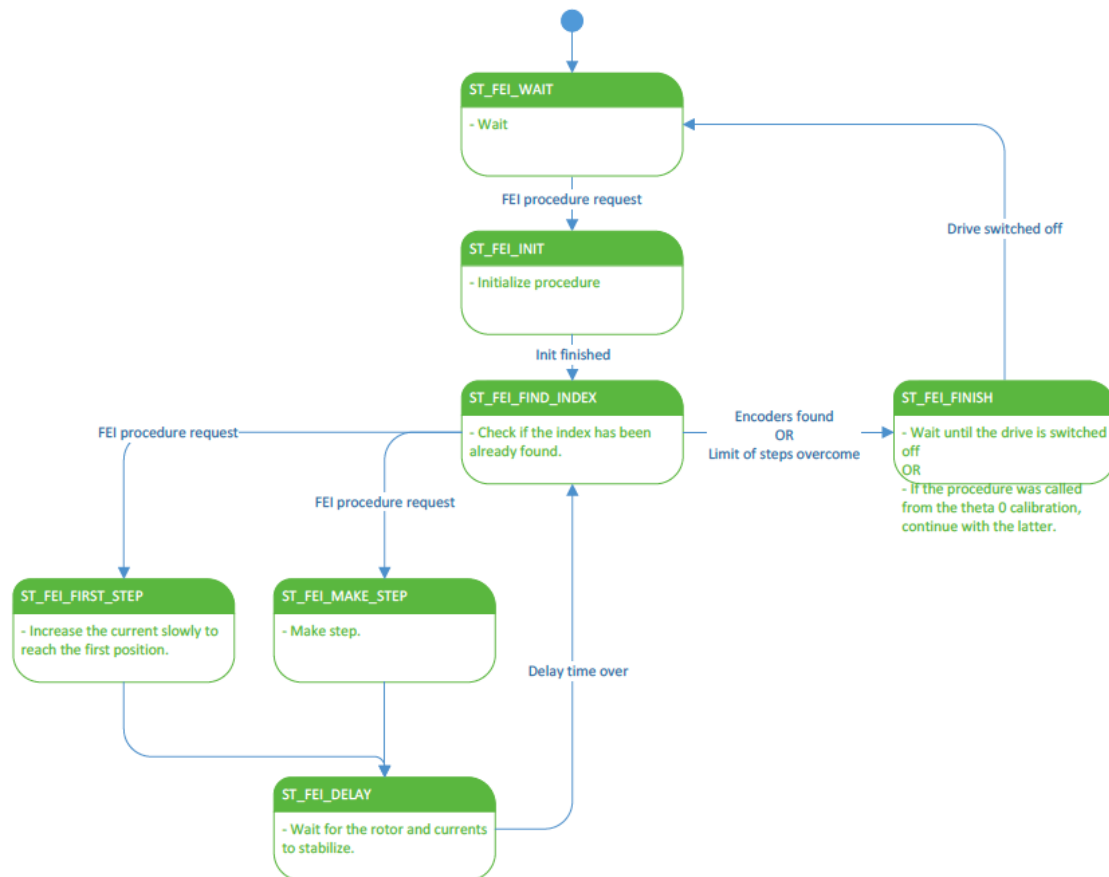


Figura 2-10 Automatul finit al procedurii de identificare al poziției 0 a encoderului

## 2.3 Descrierea standului de teste

Standul de teste este format momentan din următoarele componente:

- Motor pas cu pas marca Macon - parametrii acestui motor nu fac neapărat obiectul cercetării acestei lucrări
- Encoder fixat pe arborele motorului care transmite semnalele la placa de comandă și la placa care generează tactul pasilor adică placa NI UMI-7764
- Resolver conectat la motor, convertit mai apoi în semnale compatibile cu cele ale encoderului
- Placa de multiplexare a intrărilor/ieșirilor digitale SCB-68
- Surse de alimentare cu tensiune a plăcii de comandă
  - 120 V pentru alimentarea motorului
  - 15 V pentru placa de comandă a motorului
  - 24 V pentru interfața de comunicare ModBus
- Osciloscop
- Senzori de curent LEM
- Calculator
- Cablu Jtag și convertor USB-Serial
- Placa de comandă cu procesor DSP

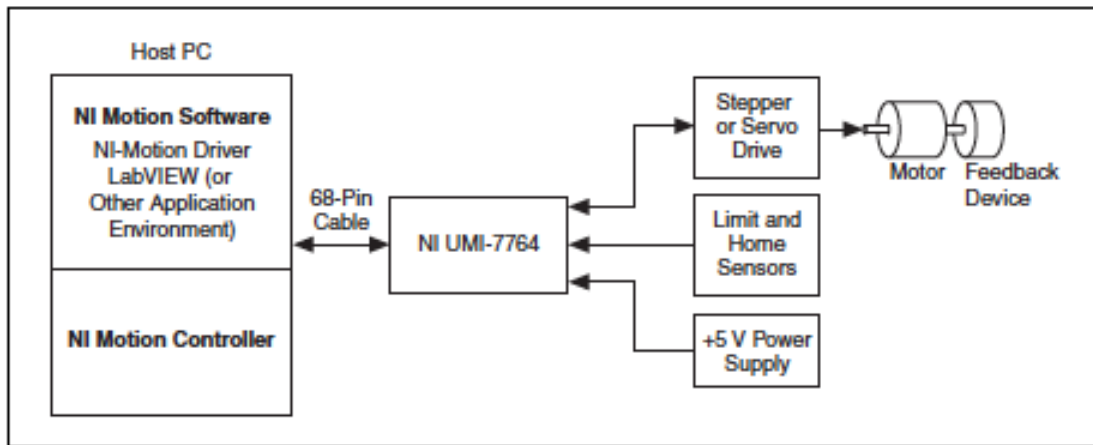


Figura 2-11 Schema bloc a standului de teste

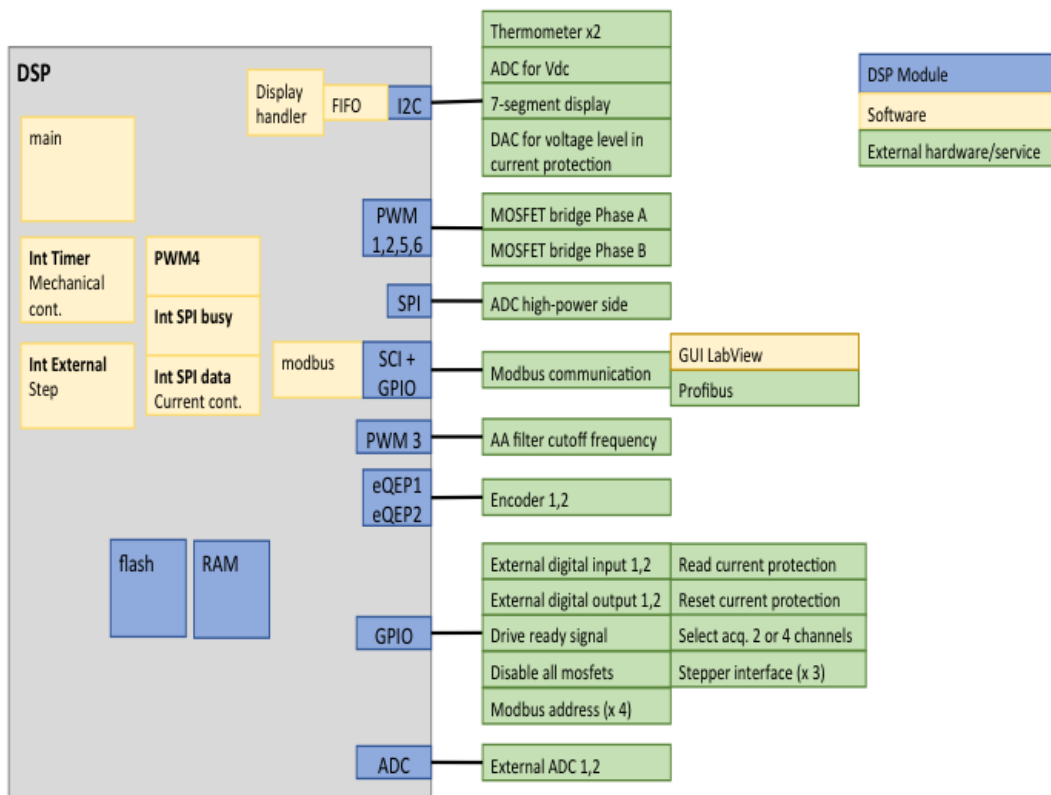


Figura 2-12 Schema bloc a plăcii de comandă

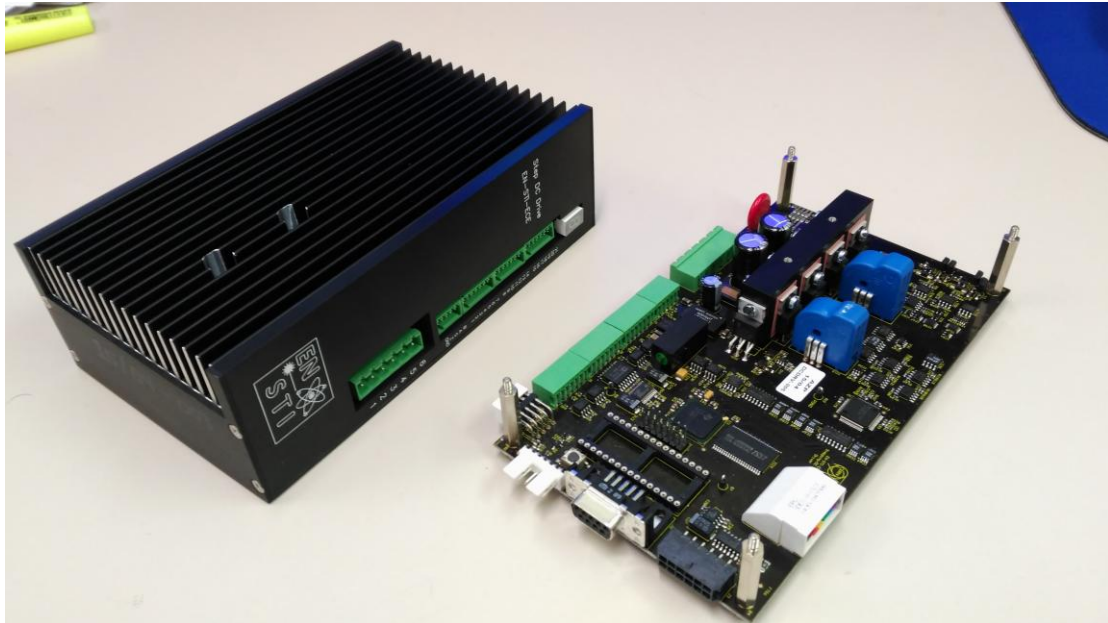


Figura 2-13 Placa de comandă a motoarelor pas cu pas

## 2.4 Construirea programului

Interfața grafică se bazează pe o combinație de bucle while paralele care comunică între ele. Bucla principală, Event Handling Loop (EHL), este bucla care conține codul care procesează toate acțiunile utilizatorului. Este formată dintr-o buclă while și o structura "event". Această structura are definit pentru fiecare acțiune (click stânga, click dreapta, modificarea valorii unui câmp etc.) un anumit mesaj care trebuie transmis buclei Message Handling Loop (MHL) sau poate direct să comunice cu buclele vreunui test anume.

Bucla EHL primește referințele fiecare tunel de comunicare (LabVIEW queue) printr-un fir de tip "cluster" și le demultiplexează în funcție de nevoile fiecărui caz al structurii "event".

În principal fiecărui buton din interfața grafică îi este atribuit un caz în structura "event" care este executat atunci când butonul este apăsător. Codul atribuit fiecărui buton în general constă dintr-un mesaj transmis buclei MHL.

Acest mesaj are o structură standard: este format dintr-o variabilă de tip "enumerare" și o variabilă de tip "variant". În LabVIEW enumeratorul este simplu de definit și reprezintă o listă de șiruri de caractere cărora le este atribuit un număr de ordine. În concluzie dacă conectăm un fir de la o variabilă de tip enumerator la selectorul unei structuri "case" vom putea avea ca titlu al cazurilor structurilor "case" șirurile de caractere definite în enumerator.

Al doilea tip de variabilă dintr-un mesaj standard este "variant" care în lipsa unei traduceri corespunzătoare va rămâne ca și în limba engleză (variant). Această variabilă permite stocarea oricărui tip de informație în cadrul ei. Poate lua forma unei matrici, unei variabile de tip boolean, unei structuri foarte complexe etc.

Aceste 2 variabile sunt multiplexate într-un singur fir care este transmis ca mesaj între tunelurile de comunicare.



La capătul receptor al mesajului în funcție de mesajul transmis, trebuie creată o metoda de demultiplexare(figura 2-13) a mesajului care să fie în concordanță cu modul în care mesajul a fost multiplexat în special cu tipul de date care a fost salvat în variabila de tip variant.

În figura 2-14 se observă o abstractizare a testului "Currents Test" unde de la tunelul de comunicare(firul mov) se primește mesajul care este demultiplexat, rezultând 2 elemente:"currents test enum" și "data". Primul este enumeratorul care conține stările principale ale automatului finit pentru acest test și este conectat la selectorul structurii case iar cel de-al doilea este variabila de tip variant numită generic "data" care este transmisă mai departe stării alese de enumerator, în acest caz starea de inițializare, unde este convertită în tipul de date care a fost transmis la nodul de intrare în tunelul de comunicare.

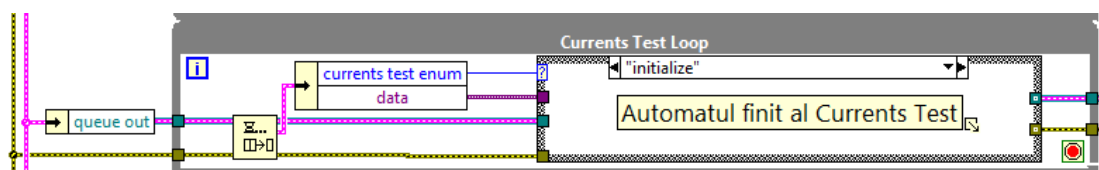


Figura 2-14 Structura de demultiplexare a mesajului standard

#### 2.4.1 Schema interfeței grafice

În figura 2-15 am prezentat o abstractizare a arhitecturii interfeței grafice compusă din buclele while pentru fiecare test, bucla while care se ocupa de crearea rapoartelor în formatul .pdf și buclele principale care procesează acțiunile utilizatorului(EHL) și procesarea mesajelor (MHL).

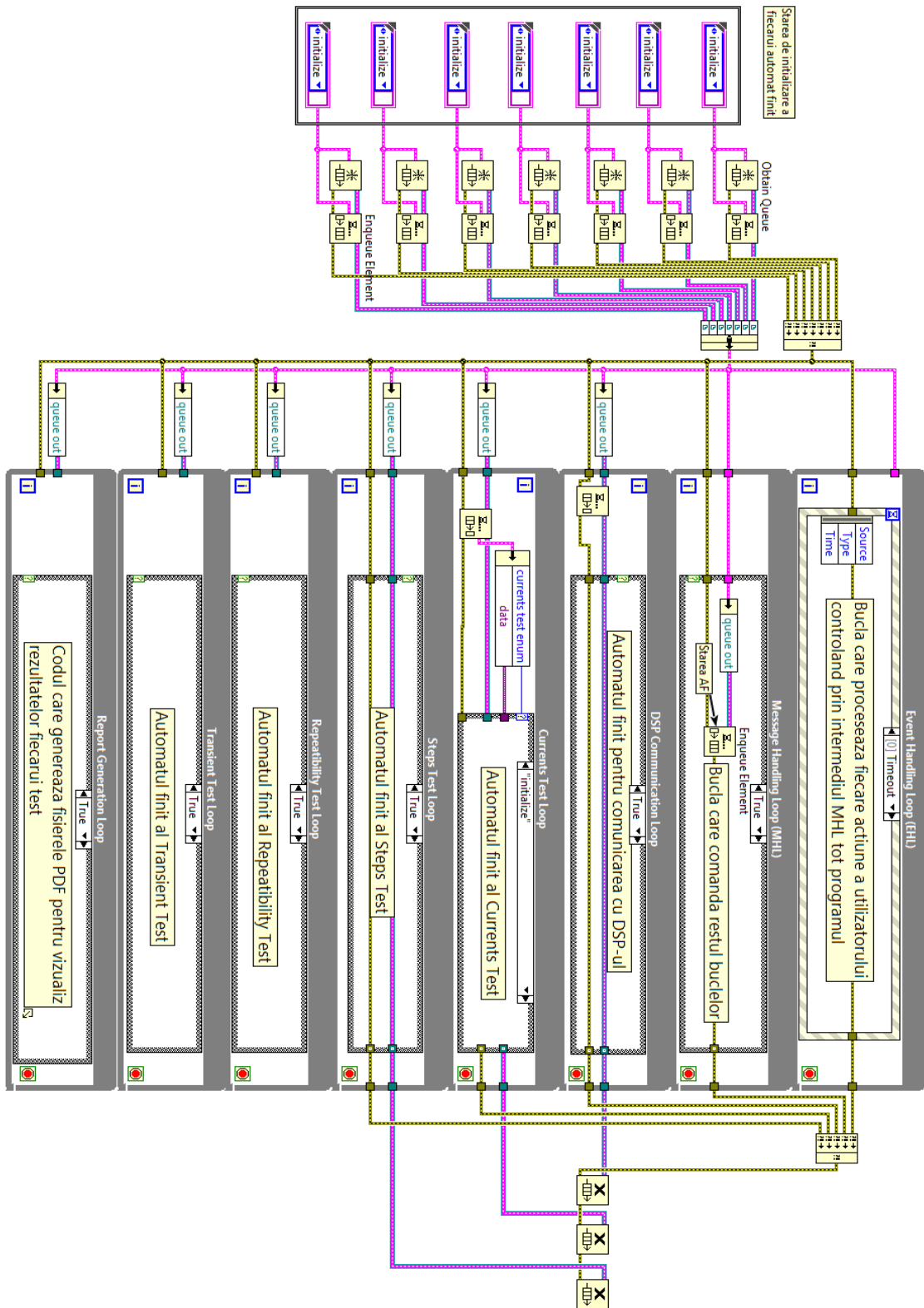


Figura 2-15 Abstractizare a arhitecturii interfeței grafice

## 2.4.2 Interfața grafică. Panoul de control

### 2.4.2.1 Panoul de comunicare

În figura 2-16 este prezentat panoul prin care se stabilește comunicarea cu placa de comandă și se porneste/opreste programul.

Setările posibile sunt portul de comunicare la care este conectata placa de comandă de obicei pe un calculator pe care ruleaza sistemul de operare Windows este COM1 dar poate să difere în functie de sistemul de operare și de ce alte periferice sunt conectate la calculator.

După selectarea portului de comunicare trebuie selectata viteza protocolului de comunicare care în mod predefinit este 38400 baud. Dacă viteza nu corespunde cu cea la care este setata placa de comandă (în mod predefinit tot 38400 baud) se va genera o eroare de comunicare după ce numărul de încercări și timpul de așteptare s-a scurs.

Dacă nu se știe exact care este viteza setata în placa de comandă se poate selecta casuta "Auto Baudrate" pentru ca programul să încerce în mod automat vitezele posibile și să o selecteze pe cea corectă.

În acest panou, după ce conexiunea a fost stabilita, se poate modifica viteza de comunicare din placa de comandă cu ajutorul butoanelor Edit și Read, pentru a modifica respectiv a citi viteza la care comunică DSP-ul.

În campurile numite Timeout și Nb. attempts se selectează timpul care este necesar să se scurta pentru ca încercarea de stabilire a conexiunii cu placa de comandă să fie considerata esuata respectiv numărul de încercări.

Butonul Exit program este folosit pentru a închide în mod sigur aplicația iar butonul Disconnect pentru a intrerupe comunicarea cu DSP-ul, necesara pentru a schimba viteza de comunicare sau portul setate pe calculator.

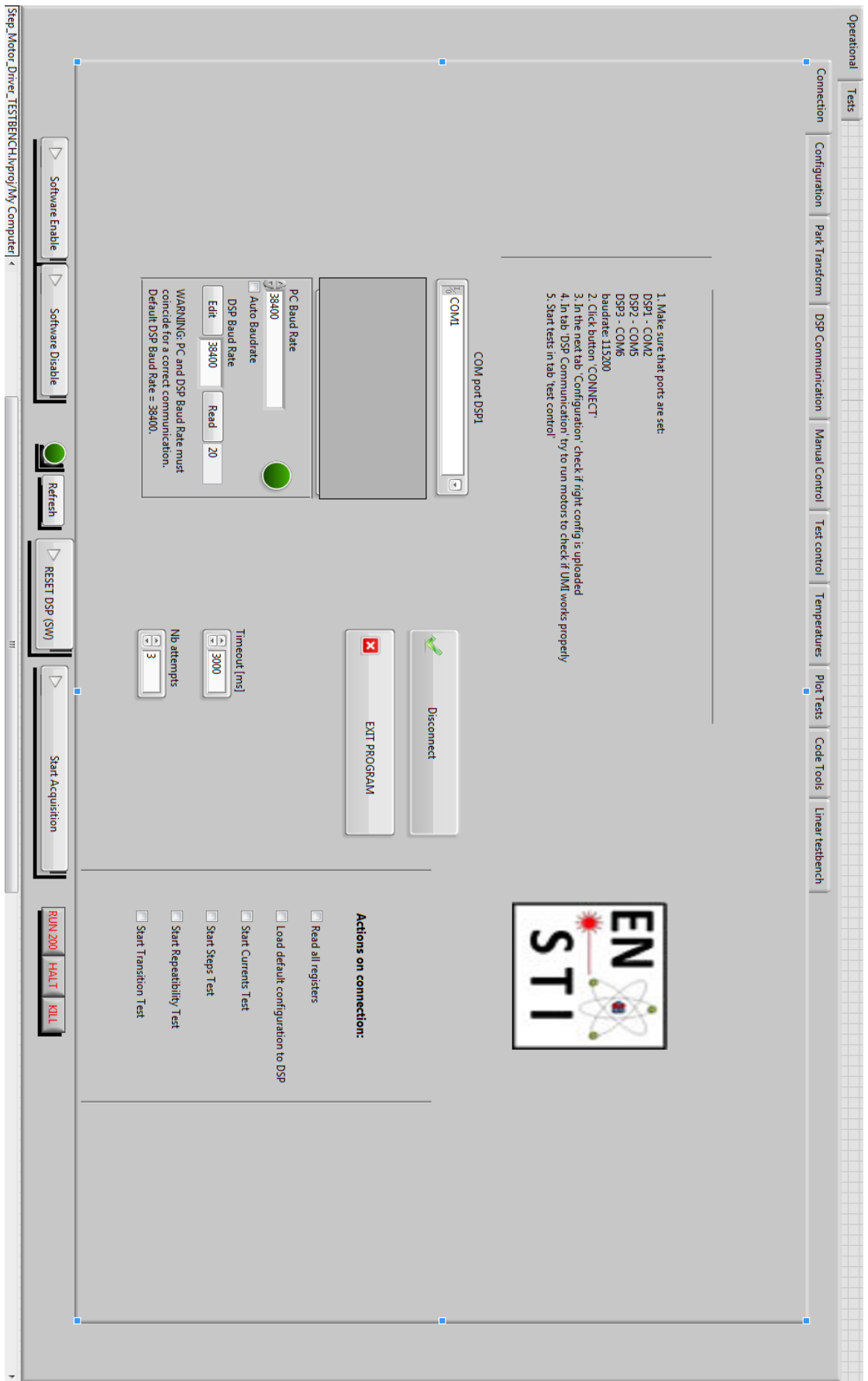


Figura 2-16 Panoul de conectare

### 2.4.2.2 Panoul de configurare

În acest panou (Figura 2-17) se realizează configurarea setărilor posibile prin interfața grafică.

Majoritatea câmpurilor au atașate câte un buton cu numele W sau R.

W semnifică că valoarea câmpului va fi scrisă în DSP atunci când butonul va fi apăsat iar R că valoarea câmpului aferent a fost citită de la DSP atunci când butonul R a fost apăsat.

Setările sunt grupate în grupuri funcționale numite :

#### **a.Operation**

Aceste setări permit configurarea unui număr de setări principale cum ar fi "Stepping mode" pentru modul de comandă a motorului, "Third Harmonic" pentru a seta un parametru care atenuează efectele armonice nedorite ale celei de-a treia armonici a frecvenței fundamentale (PWM) care generează tensiunea electrică în fazele motorului.

"Iref" este câmpul care setează amplitudinea maximă a sinusului care comandă motorul.

"Drive working mode" setează modul în care este comandat motorul, adică în mod standard prin pași trimiși secvențial de la circuitul de comandă sau în control vectorial.

"Cable length" setează lungimea cablului, parametru care este luat în considerare în algoritmi de control ai motorului.

Restul câmpurilor din acest grup sunt folosite pentru a citi starea automatului finit al programului din DSP.

#### **b.Acquisition**

În acest grup se alege modul în care DSP-ul să facă achiziția diferitelor semnale care îi sunt disponibile. Poate achiziționa semnalul encoder-ului, curenții aplicați, tensiunea aplicată, diferite semnale care sunt conectate la intrările analogice sau digitale etc. Există câteva moduri de achiziționare predefinite în programul din DSP.

#### **c.Current Controller Parameters**

"Controller Leq" este inductanța echivalentă a fazelor motorului folosită în modelarea sistemului care ține cont de efectul generării nivelurilor de tensiune prin modularea duratei impulsurilor (PWM).

"Tchopping" este un parametru folosit pentru a seta indirect frecvența (direct perioada) la care se vor genera nivelurile de tensiune necesare pentru comandarea motorului, parametru măsurat în mii de cicluri ale procesorului, procesor care lucrează la 150MHz.

"Bcl" este un parametru care setează lățimea de bandă la care lucrează algoritmul de control.

"Tcontroller" este perioada la care lucrează algoritmul de control

"AA filter" este frecvența la care se limitează semnalul înainte de a fi achiziționat, frecvența care trebuie redusă prin acest filtru antidebulare înainte de a fi achiziționat semnalul pentru a satisface teorema esanționării.

#### **d.Cable Parameters**

"Motor  $R_w$  +Conn.R" reprezintă rezistența fazelor motorului și a modului de conectare al motorului la cablul de lungime mare.

Cablul prin care se transmit semnalele de comandă al motorului poate să ajunga să aibe o lungime de până la 1 km deci proprietatile sale electrice nu pot fi neglijate.

"Cable R" reprezintă rezistența cablului

"Cable L" reprezintă inductanța cablului

"Cable C" reprezintă capacitatea electrică a cablului

#### **e.Limits**

"Temperature limit" este limita maximă la care se intrerupe acțiunea motorului. Senzorii de temperatura sunt așezați pe disipatorul termic care răcesc tranzistorii punții H.

"Phase current limit" este limita maximă la care poate ajunge curentul din puntea H

"Power S. Current limit" este limita maximă la care poate ajunge curentul consumat de la sursa de tensiune.

"Voltage Limit" este limita maximă tensiunii la care puntea H poate fi alimentată.

"Voltage supply threshold" este limita minimă la care trebuie alimentată puntea H pentru a putea comanda motorul, limita care este setată automat în funcție de restul parametrilor sistemului

#### **f.Encoders**

"Encoder 1 -Theta 0" este un parametru care caracterizează unghiul dintre punctul de 0 al encoderului sau traductorului de poziție și pasul în care una din fazele motorului este la 0 A.

"Encoder 1 -N bits" este rezoluția encoderului în puteri ale lui 2, de obicei 16 pentru o rezoluție de 65536 de citiri pe rotație completă.

#### **g.Mechanical Controller Parameters**

Parametrii algoritmului de control al poziției arborelui motorului

#### **h.Errors & Warnings**

Indicatoare și butoane pentru a controla erorile și avertismentele ce pot apărea pe parcursul folosirii circuitului de comandă.

#### **i.Actions**

Butoane care pornesc diferite proceduri din codul din DSP sau setează unii parametri liberi care sunt folosiți în procesul de proiectare al sistemului.

Butoane care ajută la configurarea circuitului de comandă prin transmiterea unui fișier de configurare predefinit sau pentru citirea/editarea tuturor parametrilor deodată.

Operational Tests

Connection Configuration Park Transform DSP Communication Manual Control Test control Temperatures Plot Tests Code Tools Linear testbench

**OPERATION**

Code Version	R	55
Stepping Mode	W	-1
Third Harmonic (%)	W	120
Iref (mA)	W	1000
Drive Working Mode	W	STD
FOC	R	1
Cable length (m)	W	720
MAIN_SM_JUIT	R	0
ST_HOLD	R	0
NO_ACQ_REQUEST	R	0
EXECUTING	R	1
EXECUTING	R	1

**ACQUISITION**

Acquisition Type	W	3	R	20
Wait cycles	W	1	R	1

**CURRENT CONTROLLER PARAMETERS**

Controller Leq (*1e-4 H)	W	300	R	300
T chopping (KClks)	W	3000	R	3000
Bcl (Hz)	W	1300	R	1500
T controller (*1e-6 s)	W	40	R	20
Filter Leq (*1e-5 H)	W	1140	R	1794
AA Filter Freq (Hz)	W	8000	R	20

**CABLE PARAMETERS**

Motor R <sub>w</sub> + Conn. R (mOhm)	W	3700	R	3700
Cable R (*10 mOhm/km)	W	2300	R	2300
Cable L (*0.1 mH/km)	W	6	R	6
Cable C (*0.1 nF/km)	W	487	R	487

**LIMITS**

Temperature Limit (C)	W	80	R	80
Phase Current Limit (*0.1 A)	W	60	R	60
Power S. Current Limit (*0.1 A)	W	60	R	60
Voltage Limit (V)	W	150	R	150
Voltage Supply Threshold (V)	R	6553	R	6553

**ENCODERS**

Encoder 1 - Theta 0	W	720	R	720
Encoder 2 - Theta 0	W	720	R	720
Encoder 1 - N bits	W	20	R	20
Encoder 2 - N bits	W	20	R	20
Encoder used	W	20	R	20
Apply RZE comp. table	W	No	R	No
RZE comp. table successfully applied	R	No	R	No

**MECHANICAL CONTROLLER PARAMETERS**

Mec. Controller Freq (Hz)	W	20	R	20
Max Lq (mAs)	W	20	R	20
Max Speed (*0.1 mec. turns/s)	W	20	R	20
Ld (mAs)	W	20	R	20
Theta error instability limit (0.001 * deg)	W	300	R	1
Theta error threshold (0.001 degrees)	W	720	R	1
Filter Order	W	2	R	2
Cutoff freq (Hz)	W	1000	R	1000

**Mec. Controller K** 0.10387821496 20  
**Mec. Controller Cl** 0.0001655478 20  
**Mec. Controller C2** 0.03206596524 20  
**Mec. Controller C\_Theta** 80.39409637451 20

**ERRORS**

Error Log	150	6553
Warning Log	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0

**WARNINGS**

0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0

**ACTIONS**

Driver Address: 1

Change Working Mode

Measure Cable Length

Callb. Theta 0

Find Enc. Index

Launch Test: 0 R 60

Test step iq time limit(ms): W 8000 R 1

Test step iq theta limit(turns): W 5 R 1

Edit Aux 1: W 0 R 0  
 Edit Aux 2: W 0 R 0  
 Edit Aux 3: W 0 R 0  
 Edit Aux 4: W 0 R 0

Modbus Register: RUN\_COMMAND\_ADDRESS

Write value: 1  
 Read value: 1

Reconfigure Upon Next REBOOT

Location of searching file: G:\Departments\ABR\Group\1

Configuration OK? Communicating

**NEW CONFIGURATION**

Edit all (1)

Save file from DSP

Save file from GUI

Load file to DSP

Load file to GUI

Read all (2)

FULL CONFIGURATION

Start Acquisition

RUN 200 HALT KILL

Figura 2-17 Panoul de configurare/control

### 2.4.2.3 *Panoul de comunicare cu DSP-ul*

Principalele funcții din acest panou(Figura 2-18) sunt legate de achiziția de date a plăcii de comandă în special de transferul datelor de la DSP în calculator.

Butoanele "Retrieve Array\_1" până la "...Encoder" sunt butoanele care pornesc transferul de date prin protocolul de comunicare Modbus de la placa de comandă la calculator. Semnalele achiziționate sunt stocate în matrici din memoria RAM externă controlată de procesor și cu o marime maximă de 58240 de adrese.

Numărul de adrese care se doresc a fi transferate se selectează prin câmpul "Max size" iar adresa unde se dorește a fi salvate prin câmpul clasic de selectare a adresei.

O altă parte a acestui panou este aceea unde se ocupă de erori și avertismente într-un mod mai elaborat decât în panoul de configurare.



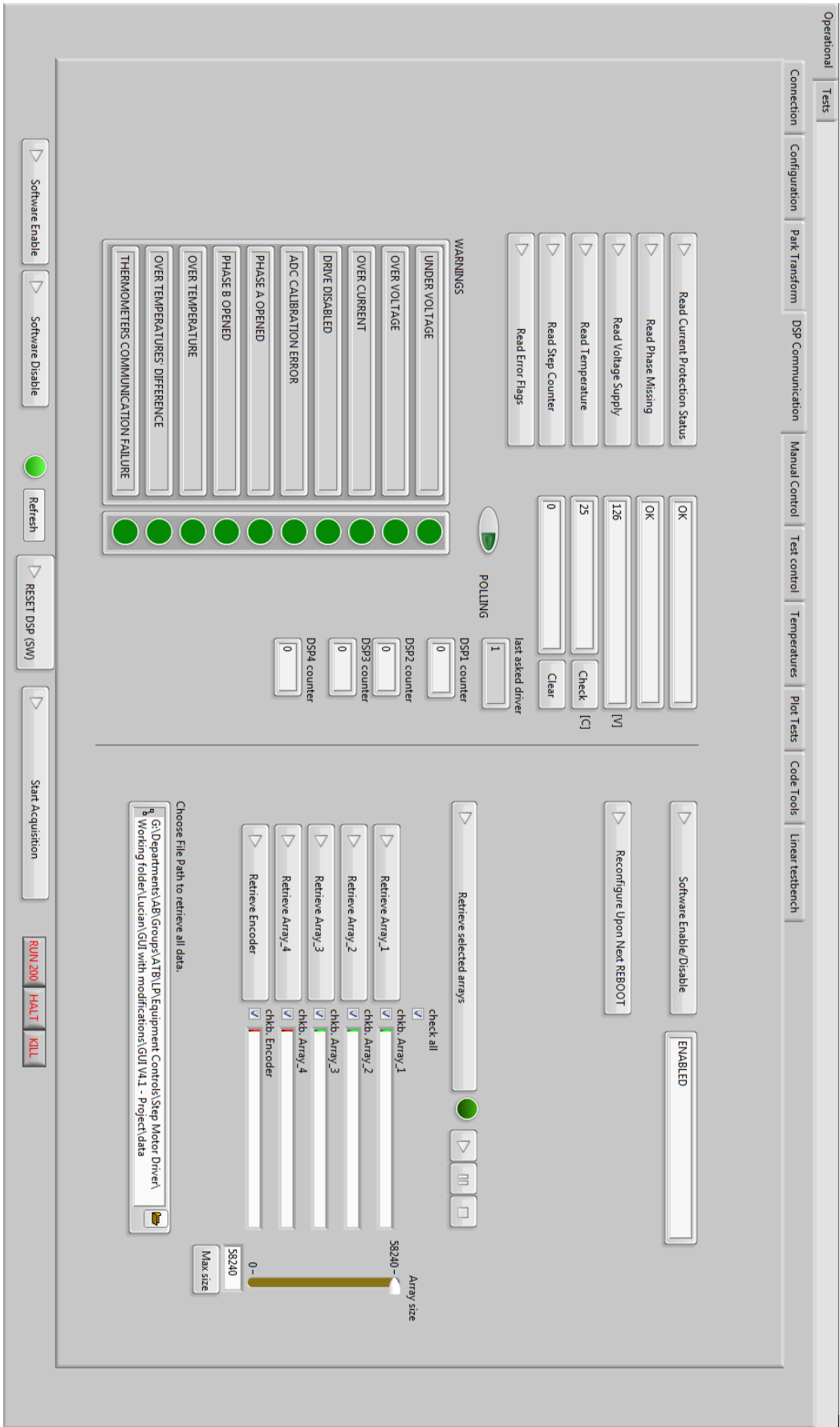


Figura 2-18 Panoul de comunicare cu DSP-ul

### 2.4.3 Interfața grafică. Programe de test

#### 2.4.3.1 "Steps test"

Pe langa panourile care țin de configurare și de comunicare cu placa de comandă am implementat diferite functionalitati de testare pe care le voi numi "test" de acum inainte.

#### **Descrierea testului:**

Acest test va acționa motorul în diferite moduri de comandă pentru un numar stability de pasi și la final va masura pozitia la care s-a ajuns.

#### **Descriere detaliata a testului:**

Trebuie să existe posibilitatea selectarii :

- modului de comandă
- vitezei
- distanței parcurse
- timpul mort în care motorul este franat, între moduri de comandă diferite
- viteza la care se paseste dacă este folosita generarea tactului pentru pasi din DSP
- variabila pentru numărul de teste și de cicluri de efectuat
- variabila care să configureze rezoluția encoderului
- variabila pentru selectarea modului de comandă STD sau FOC
- variabila pentru selectarea generarii raportului .pdf
- variabila pentru selectarea semnalului de tact pentru pasi de la DSP sau UMI
- modalitate de selectare a unui fisier predefinit cu configurația pentru acest test

#### **Raportul:**

Raportul trebuie să conțină:

- configurația plăcii de control a motorului
- configurația specifica testului
- tabel cu valori caracteristice fiecarui mod de comandă :unghiul referință,viteza,distanța referință și distanța masurata și valori statistice specifice erorii(media, abaterea medie pătratică, max, min)

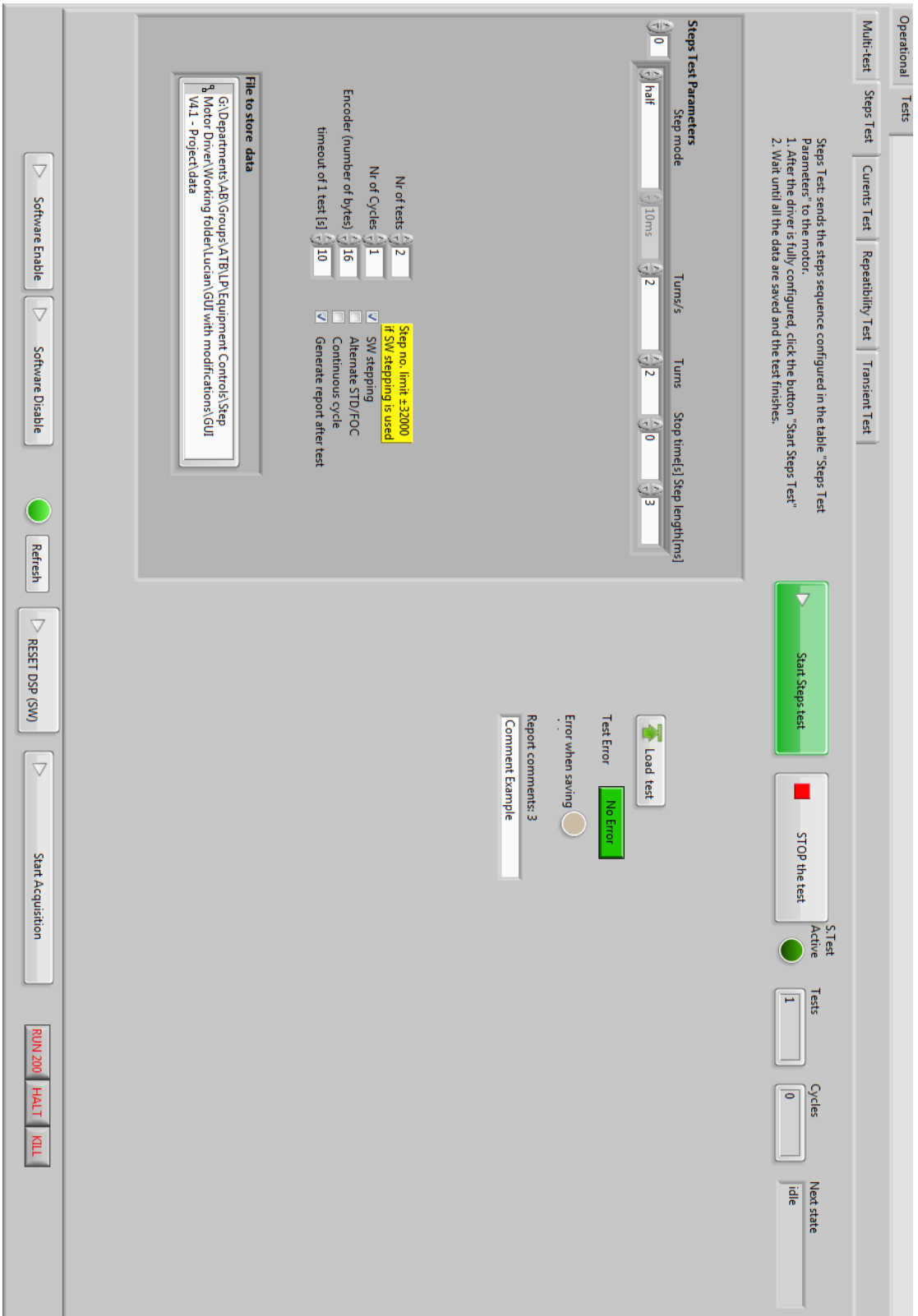


Figura 2-19 Panoul "Steps test"

Automatul finit al "steps test.vi" nivelul 1

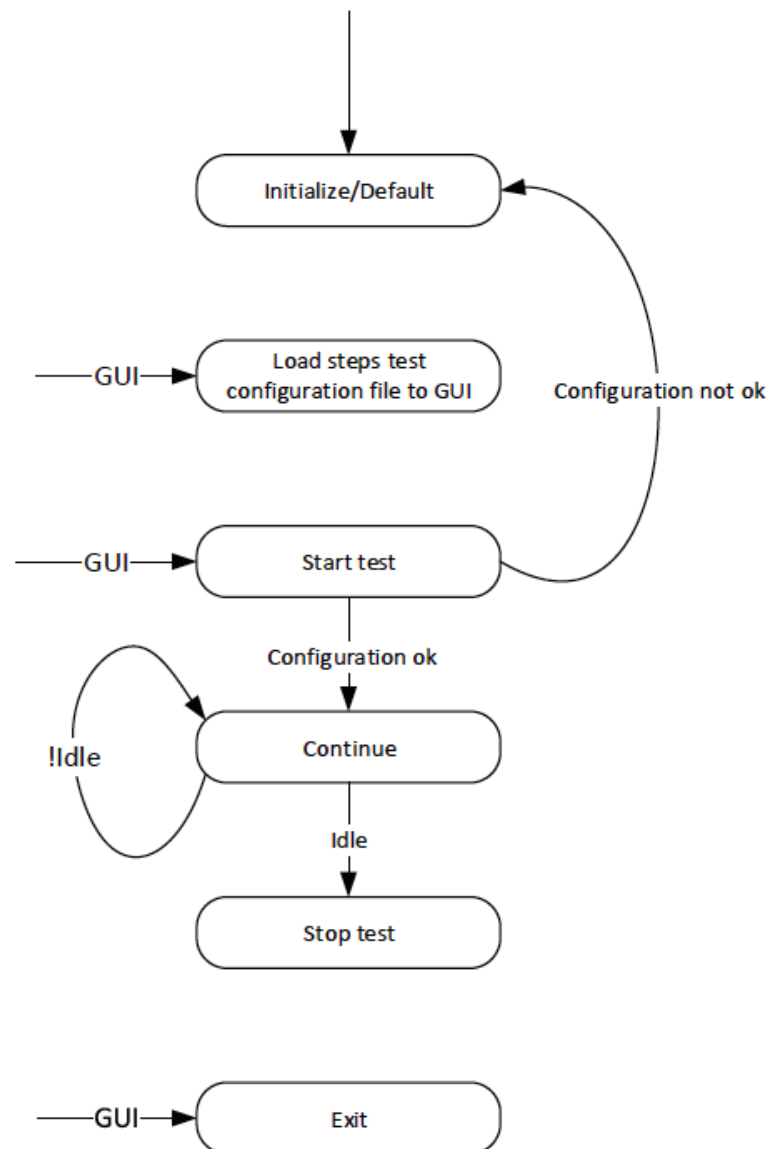


Figura 2-20 Automatul finit al "steps test.vi " nivelul 1

Automatul finit al "steps test.vi" nivelul 2

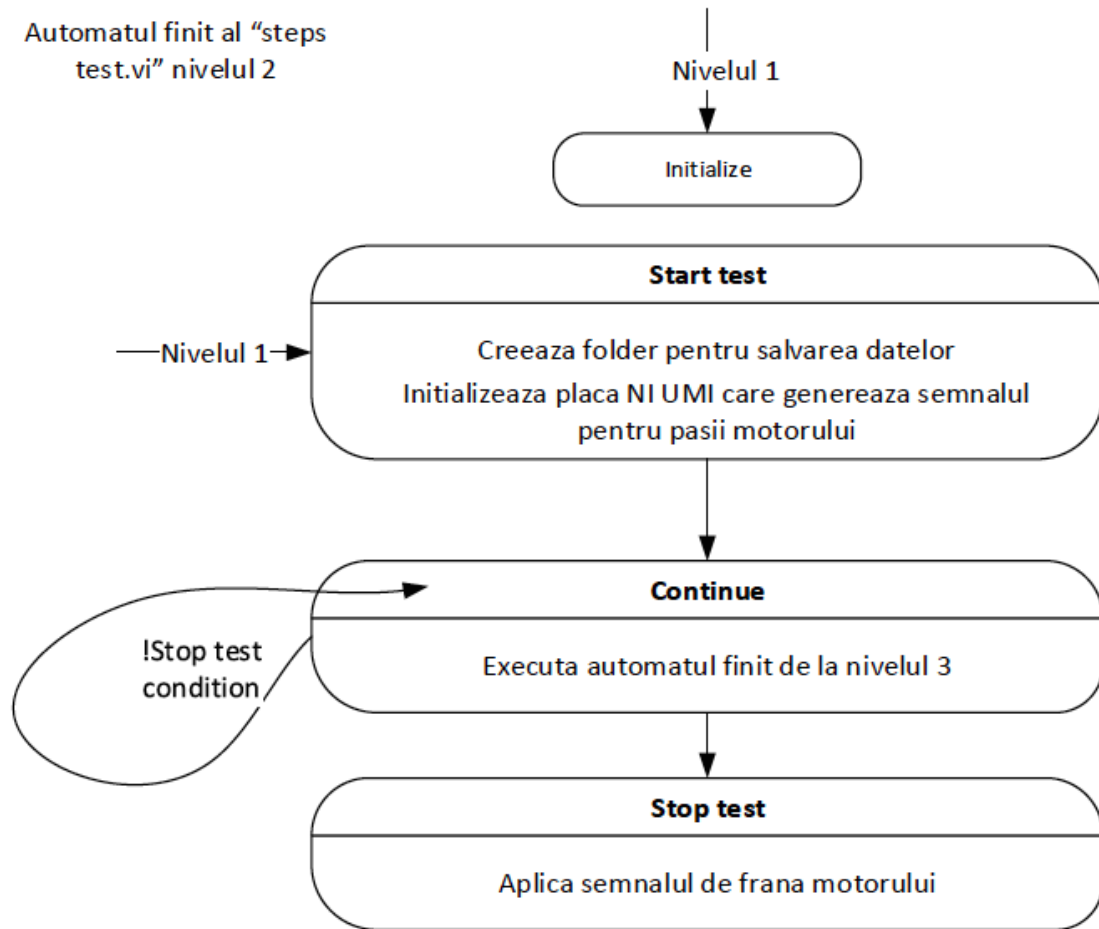


Figura 2-21 Automatul finit al "steps test.vi" nivelul 2

Automatul finit al "steps test.vi" nivelul 3, starea "Continue"

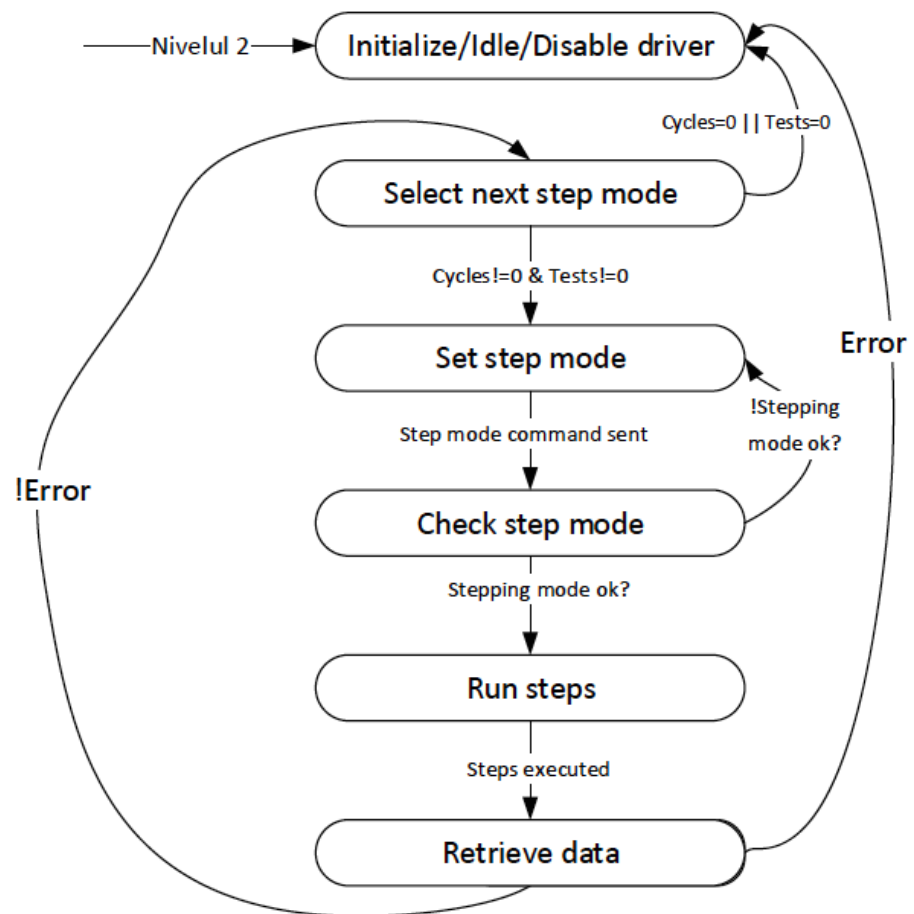


Figura 2-22 Automatul finit al "steps test.vi" nivelul 3, starea "Continue"

### 2.4.3.2 "Currents test"

#### **Descriere:**

Acest test va acționa motorul, achiziționând curentul care trece prin fazele motorului, iar în final va obține valorile caracteristice pentru performanța algoritmului de control.

#### **Descriere detaliată:**

- Motorul va fi acționat în modul full step, cu o singură fază energizată.
- Valoarea nominală a curentului va fi selectată din GUI
- Curentul va fi achiziționat prin următoarele metode:
  - Osciloscop
  - Cu ajutorul DSP-ului setând tipul de achiziție 14  
ACQ\_14\_CURRENT\_CONT\_INT\_CURRENTS\_TEST.
- Din forma curentului (faza A, faza B, semnalul de tact), trebuie obținute următoarele valori caracteristice: durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, suprareglajul și media pătratică a erorii staționare, pentru fiecare pas al motorului și făcută o medie a acestor valori.
- Modul de comandă va fi întotdeauna full step cu o singură fază energizată. În acest fel vor exista doar 2 niveluri ale curentului, 0 A sau diferit de 0 A, începând ori din 0 ori la o valoare diferită.

#### **Raportul:**

Raportul trebuie să conțină:

- Un tabel cu valorile reprezentative ale parametrilor măsurați.
- Un grafic pentru fiecare caz al valorilor curentului în care se suprapun valorile de la același nivel din ambele faze:
  - Nivelul de referință= 0 Amperi
  - Nivelul de referință != 0 Amperi
- Configurația plăcii de comandă
- Configurația testului

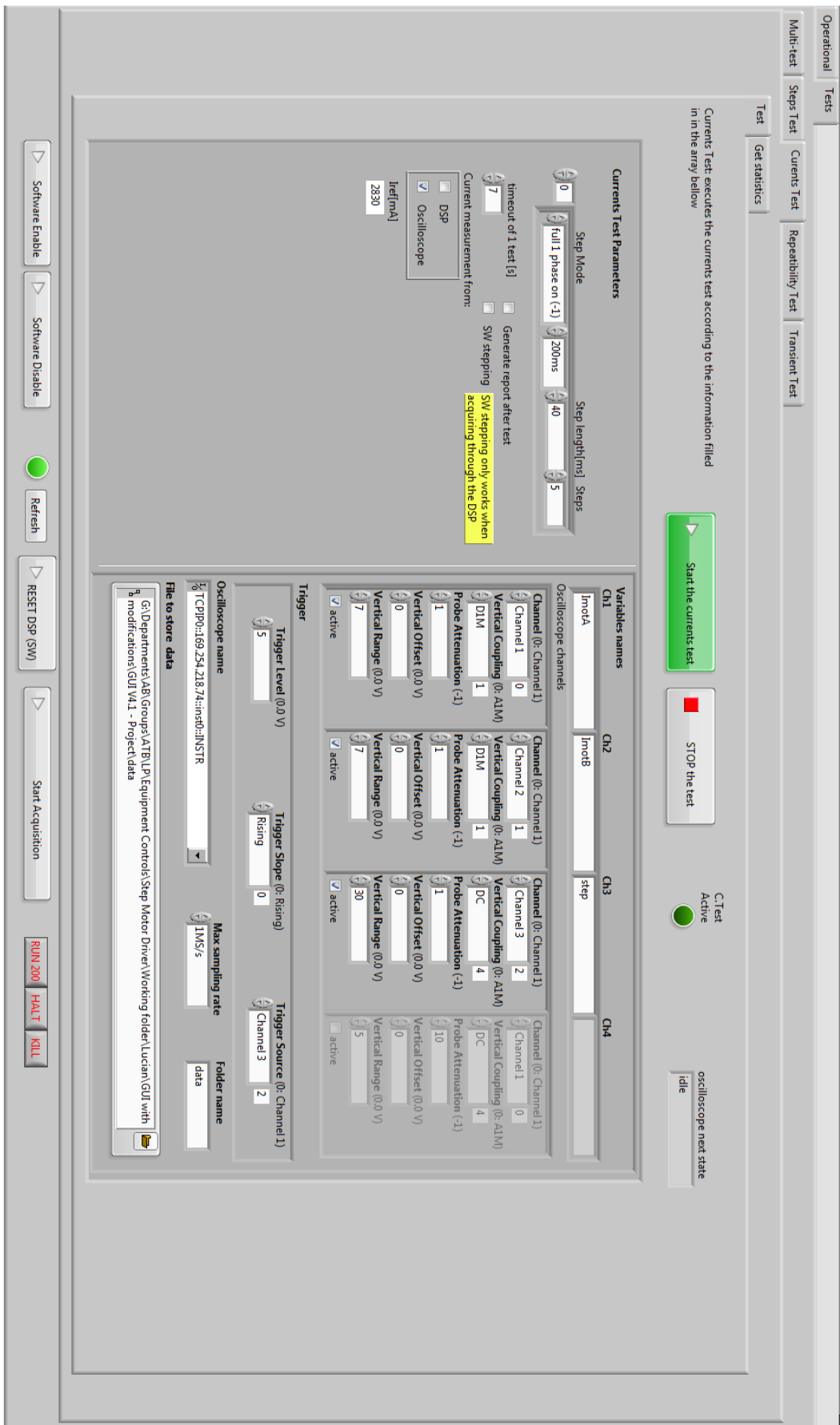


Figura 2-23 Panoul "Currents test"



Un al doilea panou al testului "Currents test" este panoul de analiza a datelor. În acest panou există un grafic principal în care se pot vizualiza simultan câte un pas din fiecare faza a motorului în funcție de faza și numărul pasului ales, plus nivelul teoretic de referință și semnalul achiziționat direct fără nici o altă filtrare.

Funcționalitatea acestui panou este folosită în final pentru generarea raportului final al testului. Pentru aceasta, în partea stângă sus se pot configura diferiți parametri ai modului în care se realizează analiza curentilor.

Parametrii configurabili :

Numărul pasului electric din faza A

Numărul pasului electric din faza B

Intervalul în care se consideră că semnalul a intrat în regim staționar

Nivelul semnalului de tact la care se consideră că a început pasul

Tipul filtrului digital aplicat semnalului după achiziționare

Frecvența de tăiere a filtrului

Pe lângă graficul unde se poate vizualiza separat fiecare pas am creat un subpanou în care se pot vizualiza separat un grafic cu toți pașii din ambele faze și parametrii asociați lor, și încă 2 subpanouri, unul cu toți pașii la care referința curentului este de 0 A și parametrii lor (Figura 2-25 stânga), iar celălalt cu parametrii la care referința curentului este diferită de 0 A (Figura 2-25 dreapta)

### 2.4.3.3 "Get statistics"

The screenshot shows the 'Get statistics' panel in the 'Currents test' section. The panel is divided into several sections:

- Table:** A table with columns: Nr, Step type, Overhoot [%], Rise time [ms], Settling time [ms], Error's RMS, Phase, Current, Dir. The table contains 10 rows of data.
- Zero Phase Filter 2:** A section with controls for source of coeff, low cutoff freq, passband ripple, order, and stopband attenuation.
- Amplitude[A] vs Time[s] (Top):** A plot showing a transient response with a peak around 0.0025s and a settling time around 0.01s.
- Amplitude[A] vs Time[s] (Bottom):** A plot showing multiple overlapping waveforms, likely representing different test steps or filtered signals.
- Buttons:** 'Get statistics', 'Software Enable', 'Software Disable', 'Refresh', 'RESET DSP (SW)', 'Start Acquisition', 'RUN 200', 'HALT', 'KILL'.

Nr	Step type	Overhoot [%]	Rise time [ms]	Settling time [ms]	Error's RMS	Phase	Current	Dir
Av.	NAN	4.485	0.668	3.153	0.034			
Max	0.000	9.380	0.940	6.580	0.045			
Min	inf	1.070	0.420	1.000	0.027			
1	ref=0	1.44	0.94	1.18	0.029	3	A DSP	-1
2	ref=0	7.19	0.52	4.84	0.038	0	A DSP	1
3	ref=0	1.57	0.82	1.04	0.027	1	A DSP	1
4	ref=0	7.71	0.44	4.96	0.042	2	A DSP	-1
5	ref=0	1.07	0.92	1.16	0.029	3	A DSP	-1
6	ref=0	6.86	0.52	4.84	0.038	0	A DSP	1
7	ref=0	1.23	0.84	1.02	0.027	1	A DSP	1
8	ref=0	7.69	0.44	4.98	0.042	2	A DSP	-1
9	ref=0	1.42	0.94	1.16	0.029	3	A DSP	-1
10	ref=0	7.18	0.52	4.88	0.038	0	A DSP	1

Figura 2-24 Panoul "Get statistics" din cadrul "Currents test"

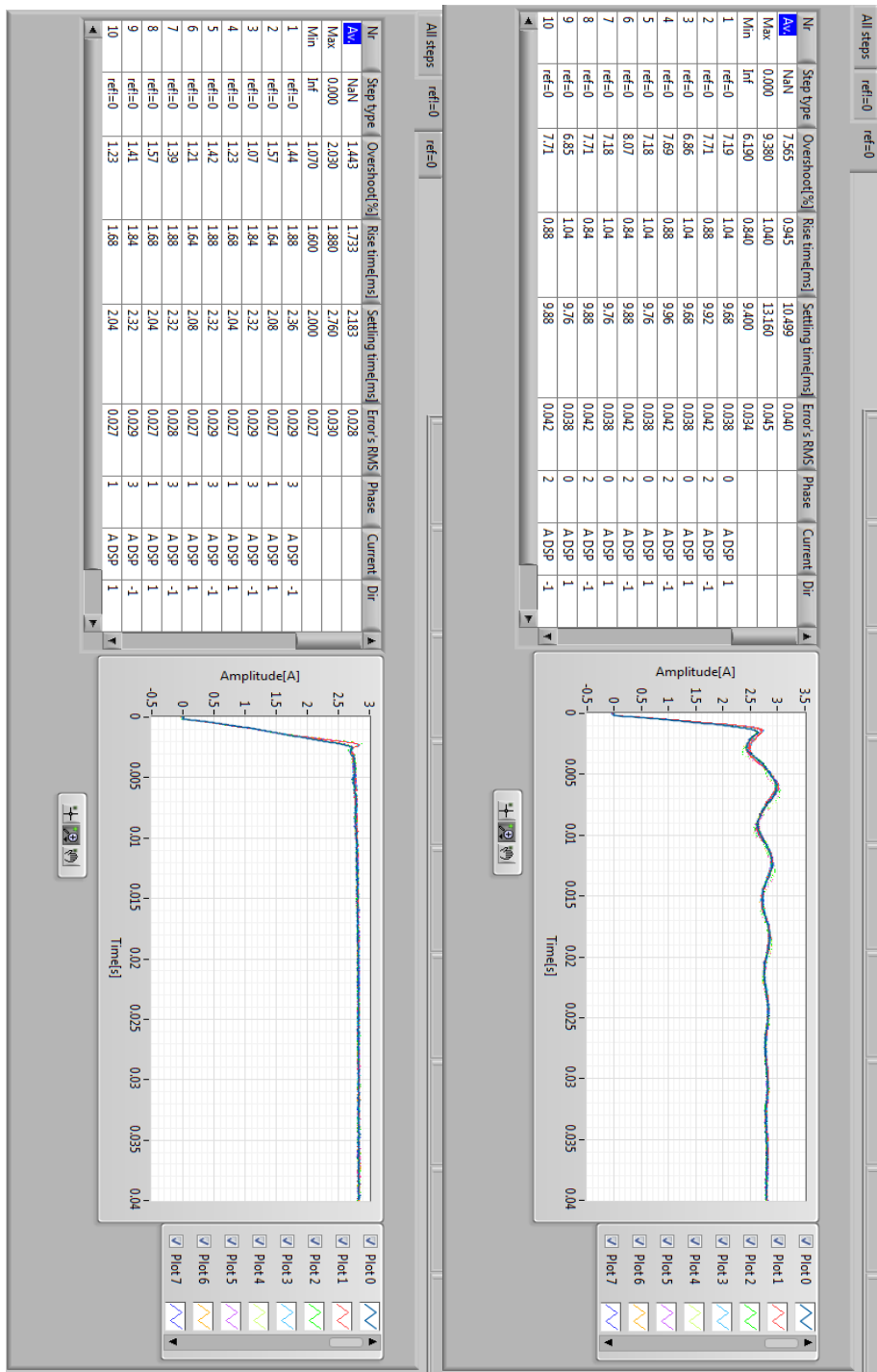


Figura 2-25 Refl=0 și Ref=0

#### 2.4.3.4 "Repeatability test"

##### **Descriere**

Acest test va acționa motorul în diferite moduri de comandă (full step, half step etc.) și va măsura cu ajutorul unui encoder sau traductor de poziție analog unghiul făcut de motor la fiecare pas.

##### **Descriere detaliată:**

Trebuie să existe posibilitatea:

- selectării modului de comandă
- alegerii numărului de pași care trebuie executați
- viteza la care trebuie acționat motorul în cazul în care se folosesc pași generați direct de DSP
- numărul de teste care trebuie executate
- numărul de cicluri în cazul în care se dorește repetarea unui număr de teste
- timpul minim de așteptare între 2 pași
- numărul de citiri ale poziției înainte de efectuarea pasului și după
- timpul dintre citirile poziției
- buton pentru selectarea modului de generare al pașilor (UMI sau DSP).
- posibilitatea salvării rezultatelor într-un format .pdf

##### **Raportul:**

Raportul trebuie să conțină:

- Grafic cu erorile măsurate
- Tabel cu:
  - abaterea medie pătratică a erorii
  - varianta
  - media aritmetică
  - valoarea maximă
  - valoarea minimă
  - numărul de pași executați
- Grafic și tabel pentru fiecare mod de comandă
- Configurația de măsurare a unghiului și configurația circuitului de comandă al motorului.

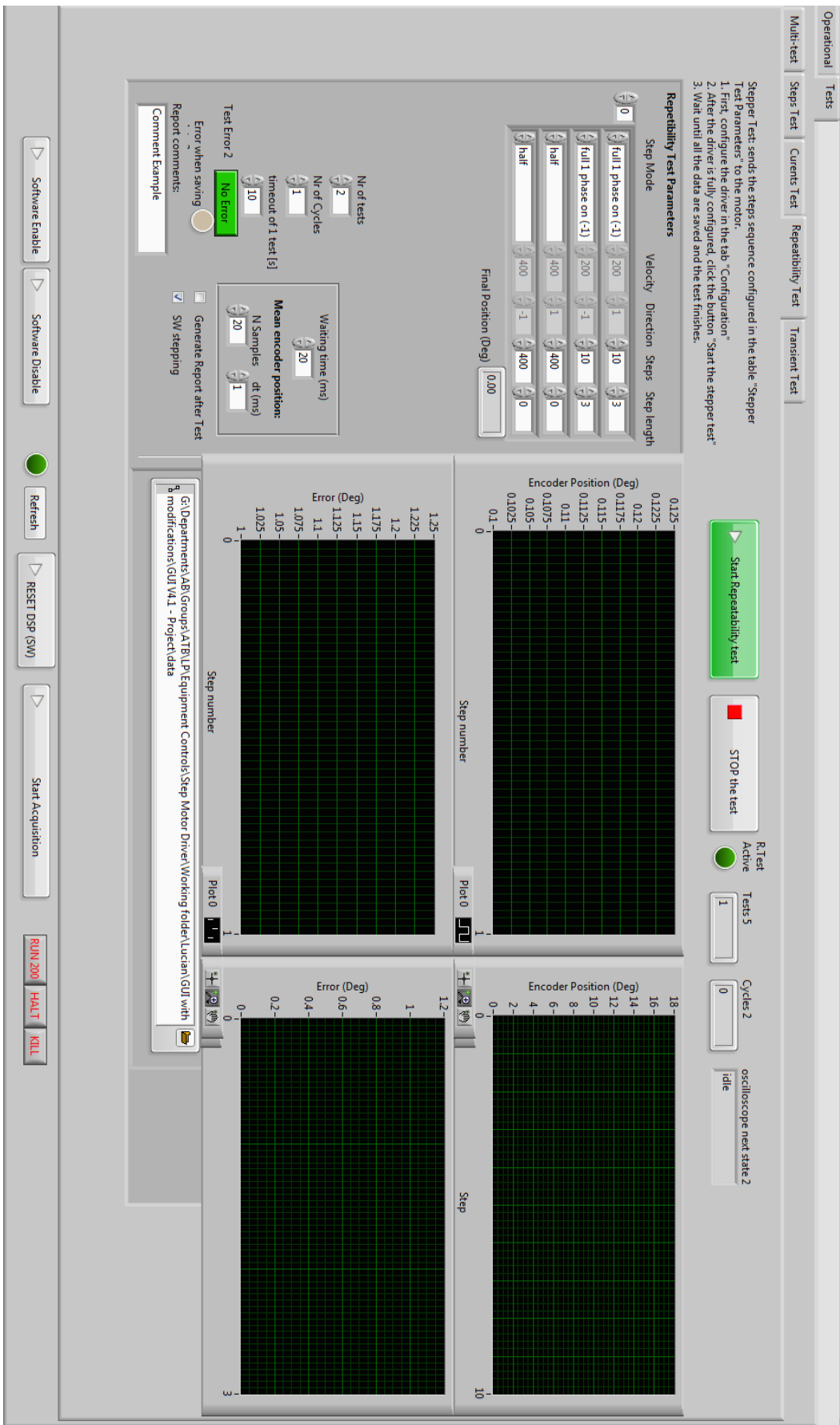


Figura 2-26 Panoul "Repeatability test"

#### 2.4.3.5 "Transient test"

##### **Descriere**

Acest test va acționa motorul cu un număr relativ redus de pași și va achiziționa poziția rotorului pe parcursul fiecărui pas prezentând fiecare pas pe grafic.

##### **Descriere detaliată**

Trebuie să existe posibilitatea selectării:

- modulului de comandă
- vitezei
- numărului de pași
- viteza la care se paseste dacă este folosita generarea tactului pentru pași din DSP
- variabila pentru numărul de teste și de cicluri de efectuat
- variabila care să configureze rezoluția encoderului
- variabila pentru selectarea generării raportului .pdf
- variabila pentru selectarea semnalului de tact pentru pași de la DSP sau UMI

##### **Raportul:**

Raportul trebuie să conțină:

- configurația plăcii de control a motorului
- configurația specifică testului
- tabel cu valori statistice(media, max, min) ale caracteristicilor regimului tranzitoriu pentru fiecare pas: suprareglajul, timpul de creștere, durata regimului tranzitoriu, media pătratică a erorii staționare
- grafic cu toți pașii efectuați

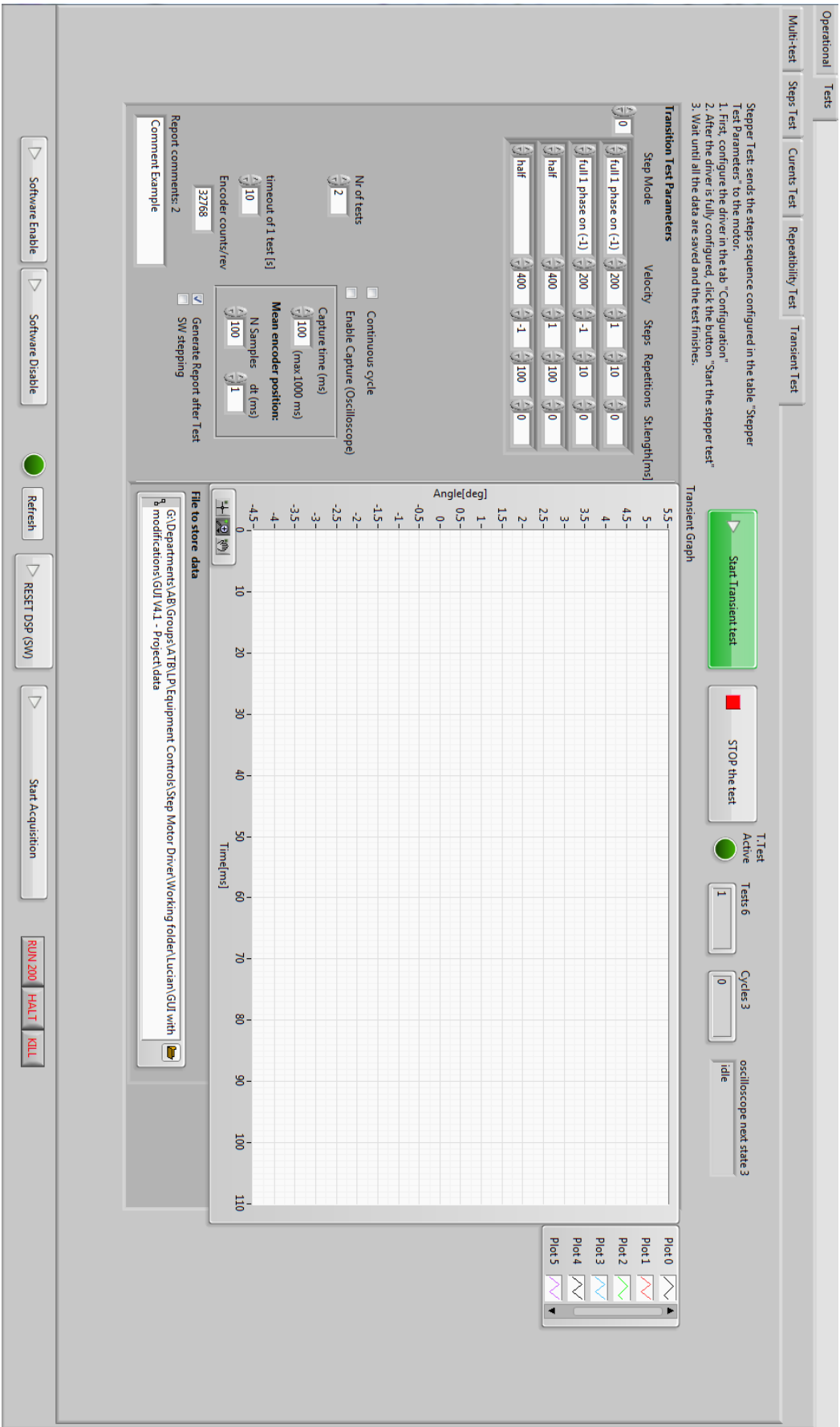


Figura 2-27 Panoul "Transient test"

#### 2.4.4 Testul automat

Automatizarea testelor prezentate mai sus a trebuit realizată pentru a reduce cât mai mult timpul necesar pentru testarea circuitelor de comandă. Voi prezenta mai jos specificatiile care descriu functionarea acestei părți a interfeței grafice.

Inainte de startul testelor placa de control trebuie alimentata la 15V DC pentru partea de control și la 120V pentru partea de comandă.

Tactul de generare a pasilor produs de placa UMI de la National Instruments trebuie conectata la intrările STEP,DIR și ENABLE ale plăcii de control.

Mai este nevoie de a conecta un encoder la intrările plăcii de control sau un resolver convertit în semnale digitale ca și ale encoderului pentru a masura pozitia rotorului, dar care să poată fi citit și prin placa UMI.

Rezultatele fiecarui test pot fi **Pass**, **Fail** sau **To Check** fiecare insemnand următoarele:

**Pass** - testul a fost trecut cu succes

Acțiunea de efectuat : continua la testul urmator

**Fail** - testul nu a fost trecut deci secvența testelor trebuie oprita deoarece se consideră că placa de comandă nu satisface cerintele de calitate

Acțiunea de efectuat : se opreste testul și se afiseaza un anunt corespunzător

**To Check** - testul nu are un rezultat concludent și trebuie verificat de către inginerul raspunzator dacă placa de comandă trebuie reevaluată, schimbată sau acceptată.

Acțiunea de efectuat : continua la testul urmator

În panoul testului automat, în dreptul fiecarui test se va afisa rezultatul sau.

Raportul .pdf va consta dintr-o pagina principală unde se va face un rezumat al rezultatelor tuturor testelor la care se va adauga fiecare raport separat al fiecarui test.

Toate fisierele folosite la generarea rapoartelor, semnalele achiziționate, configuraria plăcii de comandă etc vor fi salvate într-un loc usor de selectat din interfața grafică. La numele folderului selectat se va adauga data, ora și minutul la care testul a fost inceput, iar această cale va fi mai apoi folosita pentru salvarea directoarelor pentru fiecare test.

##### 2.4.4.1 Testul 1 "Drive configuration"

Scopul acestui test este de a verifica dacă placa de control raspunde la comenzi și este alimentata cu energie electrica.

Se verifica dacă există deja o configurație a DSP-ului iar dacă da se acceseaza metoda de reconfigurare a DSP-ului. Dintr-un fisier de configurare inițial se transfera prin protocolul ModBus toti registrii definiti în fisierul de configurare după care se descarca și se salveaza într-un alt fisier aceeasi registri care au fost transferati inițial și se compara cele 2 fisiere.



Rezultatul:

**Pass:** Dacă fisierele au aceleasi valori în toti registrii

**Fail:** Dacă valoarea cel puțin unui registru este diferită între cele 2 fisiere

#### 2.4.4.2 Testul 2 - Steps test

Descrrierea detaliata a acestui a fost deja făcută. Scopul sau este de a face o verificare generala atât a partii de control a plăcii cât și a celei de comandă.

Configurația testului este următoarea

Modul de comandă	Viteza (Rotatii pe secunda)	Rotatii
Full 1 phase on	2	20
Half	2	-20
Quarter	2	20
4000	2	-20

		Cu evitarea întrerupere alimentarii	Nu
Numărul de teste	4	Alterneaza STD/FOC	Nu
Numărul de cicluri	4	Nr. de alternari STD/FOC	Nr. fix
Encoder (rezoluția în numar de biti)	15/16 (în functie de encoder/resolver)	Ciclu continuu	Nu
Timeout of 1 test [s]	10	Genereaza raport .pdf	Da

Rezultatul:

**Pass:** Dacă toate erorile sunt sub 1 grad.

**Fail:** Dacă vreuna din erori este mai mare de 20 de grade.

**To Check:** Dacă condițiile **Pass** sau **Fail** nu au fost îndeplinite.

#### 2.4.4.3 Testul 3 - Currents test

Acest test verifica performanta algoritmului de control al curentului.

Configurația testului este următoarea:

Iref (peak)	2830 mA (2000 mA RMS)
Durata unui pas	40 ms
Nr. de pasi	40
Raport .pdf	Da
Achizitia de date	DSP

Rezultatul:

**Pass:** durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, suprareglajul și media pătratică a erorii staționare sunt în limita de 10% a valorilor de referință (pentru fiecare tip de pas în parte, ref!=0 și ref=0).

**Fail:** durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, suprareglajul și media pătratică a erorii staționare sunt în afără limitei de 100% al valorilor de referință.

**To Check:** dacă rezultatele nu sunt **Pass** sau **Fail** .

#### 2.4.4.4 Testul 4 - Repeatability test

Scopul acestui test este să verifice repetibilitatea unghiului făcut de sistemul placa-motor.

Testul va fi făcut cu următoarea configurație:

Step mode	Steps
Full 1 phase on	200
Full 1 phase on	-200
Half	400
Half	-400

Nr. de teste	4	Timp de așteptare (ms)	20
Nr. de cicluri	1	Calcularea poziției:	
Rezoluția encoderului	15/16 biti	Nr. de esantioane:	20
Timpul de expirare	10s	Rata de esantionare	1ms
		Raport .pdf	Da

Rezultatul:

**Pass:** Media pasilor trebuie să fie în intervalul  $\pm 10\%$  din unghiul de referință.

**Fail:** Media pasilor este în afără intervalului  $\pm 20\%$  din unghiul de referință.

**To Check:** Dacă rezultatul nu e **Pass** sau **Fail**

#### 2.4.4.5 Testul 5- Phase current limits

Scopul acestui test este de a testa senzorii LEM de pe placa de comandă.

Pasii testului:

1. se dezactivează placa
2. se salveaza valoarea actuala a limitei curentului prin faze
3. se lanseaza automatul finit al acestui test din DSP (testul nr. 5)
4. se seteaza limita la 1 A
5. se activează placa, și testul incepe automat
6. se salveaza limita la care curentul a fost intrerupt prin citirea valorii din registrul ModBus corespunzător
7. se dezactivează placa. Automatul finit va genera un curent în direcția inversa sau în faza cealalta de fiecare data când placa este dezactivata și activata. Se repeta de la pasul nr. 5 până când ambele directii ale curentului în ambele faze au fost testate de 3 ori fiecare.
8. se repeta de la pasul nr. 4 cu limita setata la 2, 3 și 4 A.
9. la finalul testului se resetează valoarea limitei curentului la cea inițiala
10. se dezactivează placa

Rezultatul:

Un tabel cu valorile fiecărei limite obținute și valoarea referinței, arătând abaterea de la referință în procente.

**Pass:** Dacă curenții sunt în limita de  $\pm 15\%$  a limitei setate.

**Fail:** Dacă curenții sunt în afără limitei de  $\pm 25\%$  a limitei setate.

**To Check:** Dacă rezultatul nu e **Pass** sau **Fail**

#### 2.4.4.6 Testul 6 - Measure theta 0

Scopul acestui test este de a verifica dacă calibrarea unghiului de referință theta 0 este corectă.

Pasii testului :

1. se dezactivează placa
2. se porneste automatul finit al calibrării unghiului theta 0 din codul DSP-ului
3. se activează placa
4. se citește starea registrului Modbus care conține rezultatul calibrării până când aceasta este finalizată
5. se dezactivează placa

Rezultatul :

**Pass:** Dacă rezultatul final este 2(calibrare reusita) testul a fost trecut.

**Fail:** Dacă rezultatul final a fost 3 testul nu a fost trecut cu succes.

#### 2.4.4.7 Testul 7 - Drive reconfiguration

Scopul acestui test este de a vedea dacă placa de comandă funcționează corespunzător dacă este reconfigurată după utilizarea ei pentru o anumită perioadă de timp

Pasii testului :

1. se dezactivează placa
2. se salvează configurația într-un fișier text
3. se resetează placa
4. se așteaptă 5 secunde pentru ca valorile inițiale să poată fi transferate din memoria Flash în memoria RAM și pentru a se realiza inițializarea plăcii
5. se porneste automatul finit care caută unde este punctul 0 al encoderului
6. se citește succesiv registrul ModBus care conține rezultatul automatului finit până când valoarea este 2(Ok) sau 3(Error)
7. se dezactivează placa
8. se salvează din nou configurația într-un fișier text și se compară cu cea avută înainte de pasul 3.

Rezultatul :

**Pass:** dacă configurațiile sunt identice și poziția 0 a encoderului a fost găsită.

**Fail:** dacă configurațiile nu sunt identice sau poziția 0 a encoderului nu a fost găsită.

#### 2.4.4.8 Testul 8 - Transient test în FOC

Se testează calitatea pașilor realizați în modul de comandă - control vectorial.

Pasii testului :

1. se dezactivează placa
2. se setează modul de comandă la FOC(Field Oriented Control) prin setarea numărului 1 în registrul corespunzător modului de comandă
3. se folosește următoarea configurație pentru a se realiza un număr de pași

Step mode	Directie	Pasi
Full 1 phase on	1	10

Full 1 phase on	-1	10
-----------------	----	----

Rezoluția encoderului	15/16 biti	Durata achizitiei	100 ms
Timpul de expirare a testului	10s	Nr. de esantioane	100
Raport .pdf	Da	Perioada achizitiei	1ms

4. se dezactivează placa
5. se verifica erorile și avertismentele

Rezultatul:

**Pass:** durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, suprareglajul și media pătratică a erorii staționare sunt în limita de 10% din pasului de referință

**Fail:** durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, suprareglajul și media pătratică a erorii staționare sunt în afără limitei de 50% al pasului de referință.

**To Check:** Dacă rezultatul nu e **Pass** sau **Fail**.

#### 2.4.4.9 Testul 9 - Steps test using online switch closed to open position loop

Scopul acestui test este de a verifica cât de bine funcționează trecerea de la comanda în buclă închisă la cea în buclă deschisă a sistemului motor-placa de comandă.

Se setează următoarea configurația a testului "Steps test":

Step mode	Viteza [rotatii/secunda]	Rotatii, Directie	Timp de frana[s]
Half step	2	40	40s
Half step	2	-40	40s

Nr. de teste	2	Cu evitare de întrerupere a alimentarii	Da
Nr. de cicluri	4	Alternare între STD/FOC	Da
Rezoluția encoderului	15/16 biti	Schimburi/test	3
Timpul de expirare	10s	Raport .pdf	Da

Rezultatul :

**Pass:** Toate erorile unghiurile masurate sunt sub 1 grad.

**Fail:** Dacă eroarea vreunui unghi masurat este mai mare de 20 de grade.

**To Check:** Dacă rezultatul nu e **Pass** sau **Fail**.

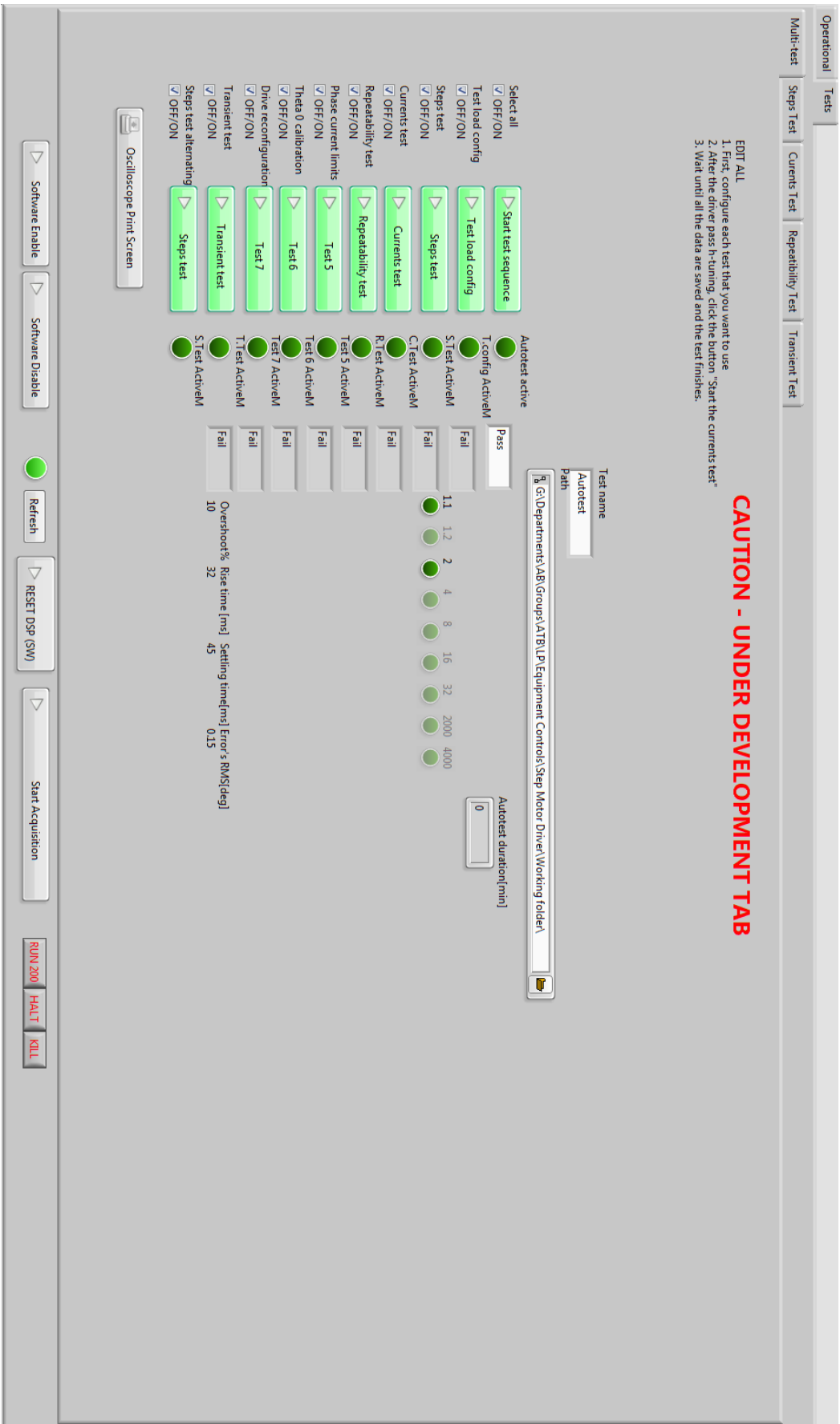


Figura 2-28 Panoul de selectare a testelor în secvența automată

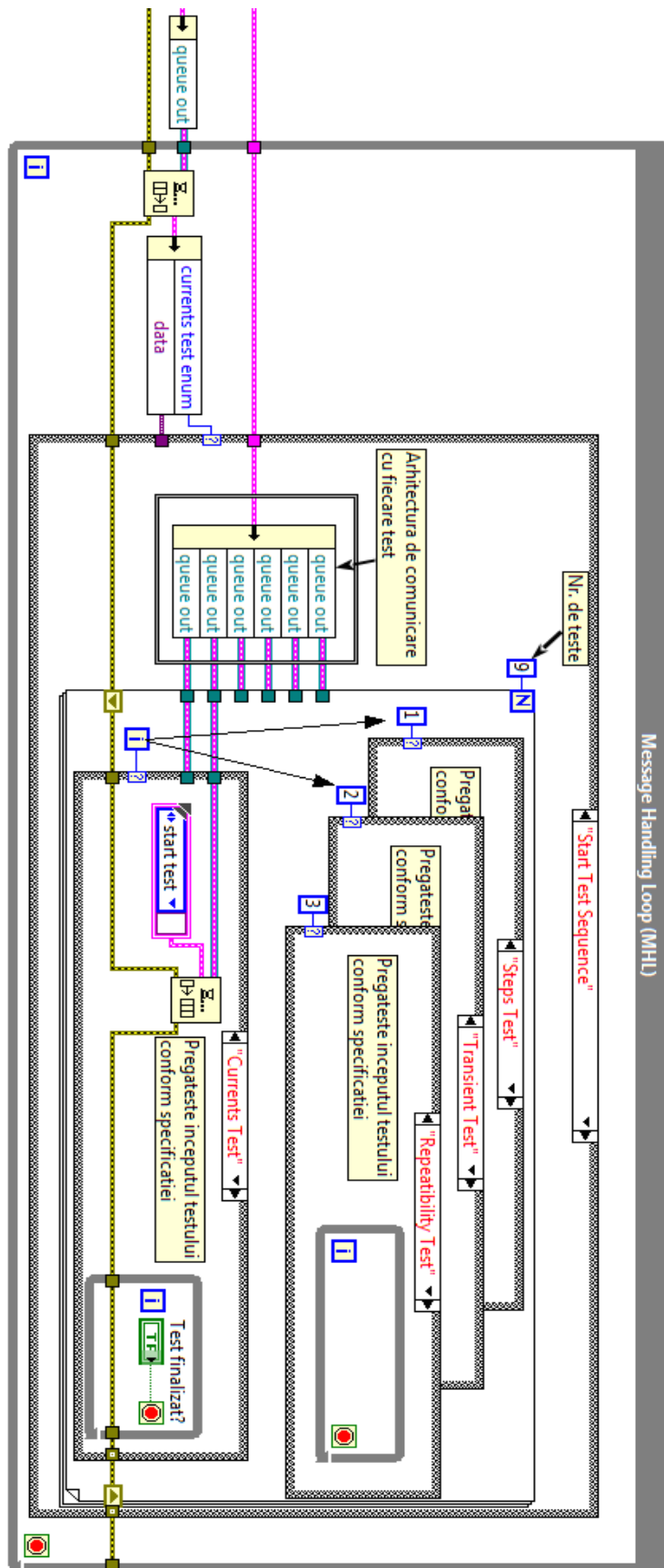


Figura 2-29 Abstractizare a automatului finit pentru automatizarea testelor

### 3 Concluzii

Munca depusă în acest proiect nu este încă finalizată iar testarea automată a plăcilor de control deși s-a simplificat tot necesită un inginer sau un utilizator expert pentru a putea fi dusă la capăt. Obiectivele următoare țin de simplificarea testării în continuare pentru ca aceasta să poată fi realizată cu ușurință de un tehnician care nu cunoaște în detaliu sistemul care urmează a fi testat.

Rezultatul final al unui test automatizat asupra sistemului motor-placă de comandă este prezentat într-un raport final în format pdf.

În imaginile următoare se vede rezultatul unui test automat. Raportul creat conține rezultatele tuturor testelor într-un format ușor de înțeles.

Pentru fiecare test selectat a fost creat la finalul său un director cu datele salvate în cadrul testului și cu o pagină în format pdf unde sunt afișate graficele necesare sau după caz tabele cu măsurătorile efectuate.



# Multi-test summary

Test	Result
Test load config	Pass
S_Test	Pass
C_Test	To check
R_Test	Pass
Phase current limits	Fail
Test_6_then_0_calibration	Pass
Test_7_reconfiguration	Pass
T_Test	Fail
S_Test_alternating	Fail

User: Lucian Grec  
Date: 02/19/2016

**Summary**  
Equipment, Controls and Electronics Section  
EN-STI Group



Figura 3-1 Testul automat - rezumatul testelor

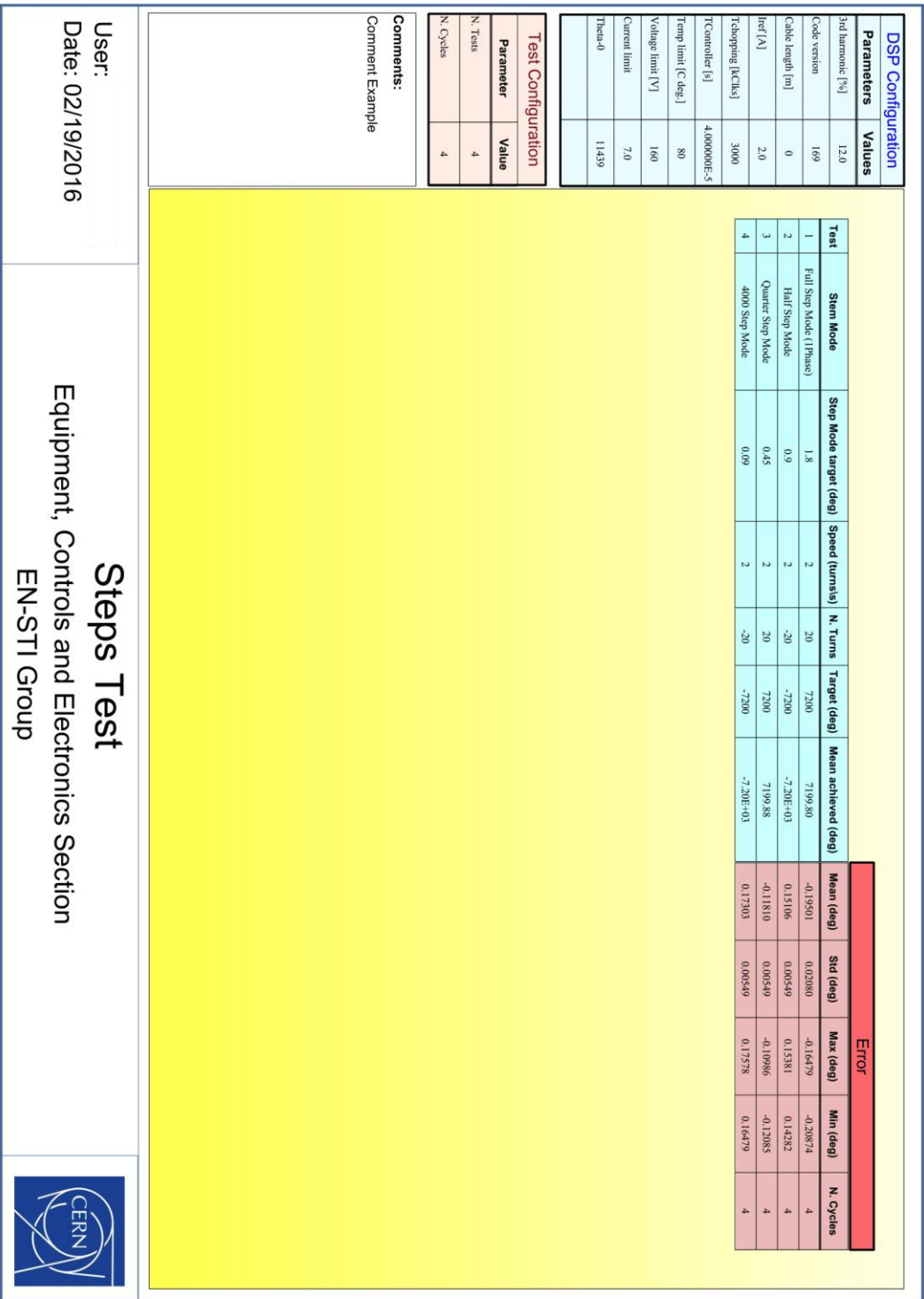


Figura 3-2 Testul automat - "Steps test"

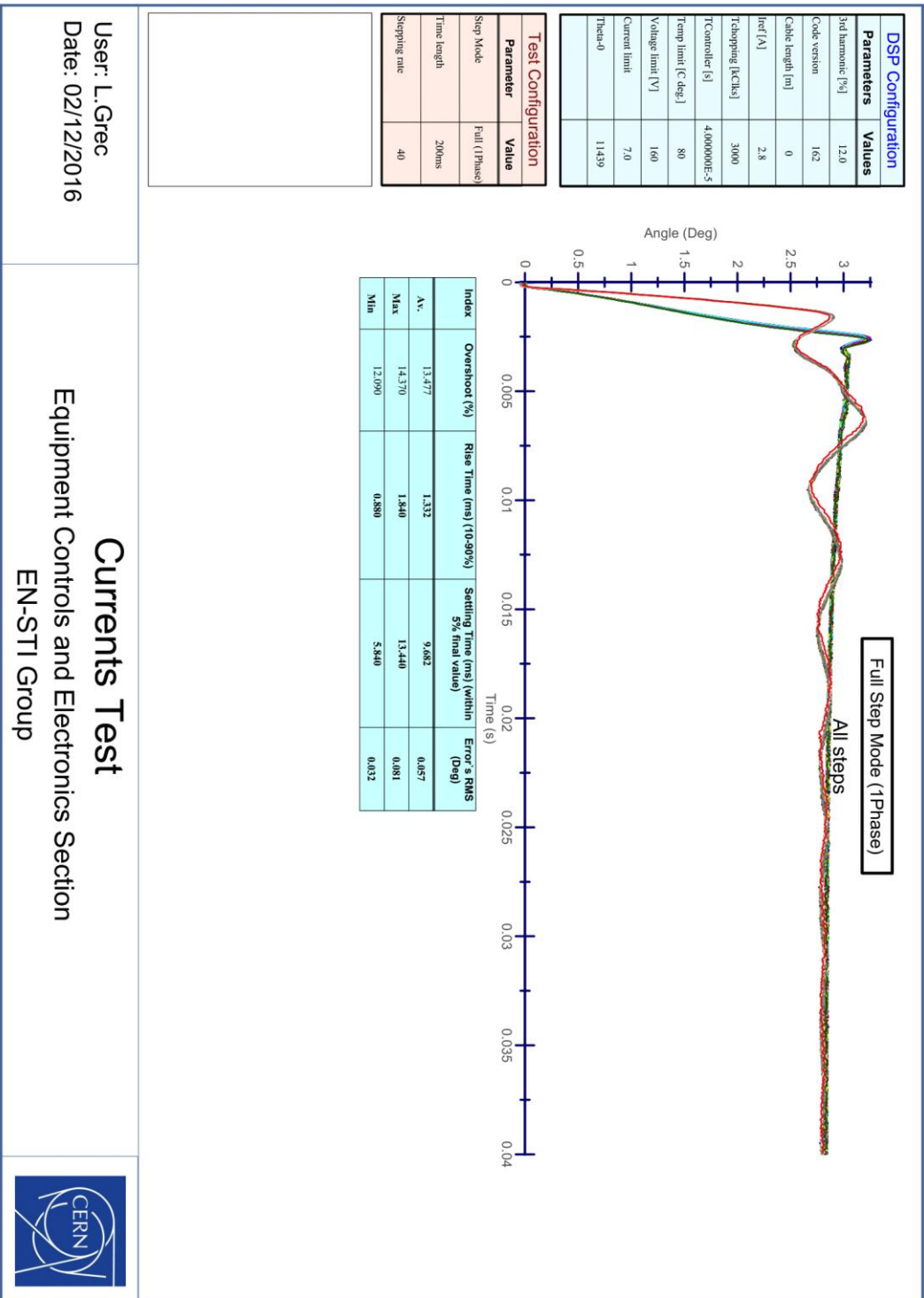


Figura 3-3 Testul automat - "Currents test"

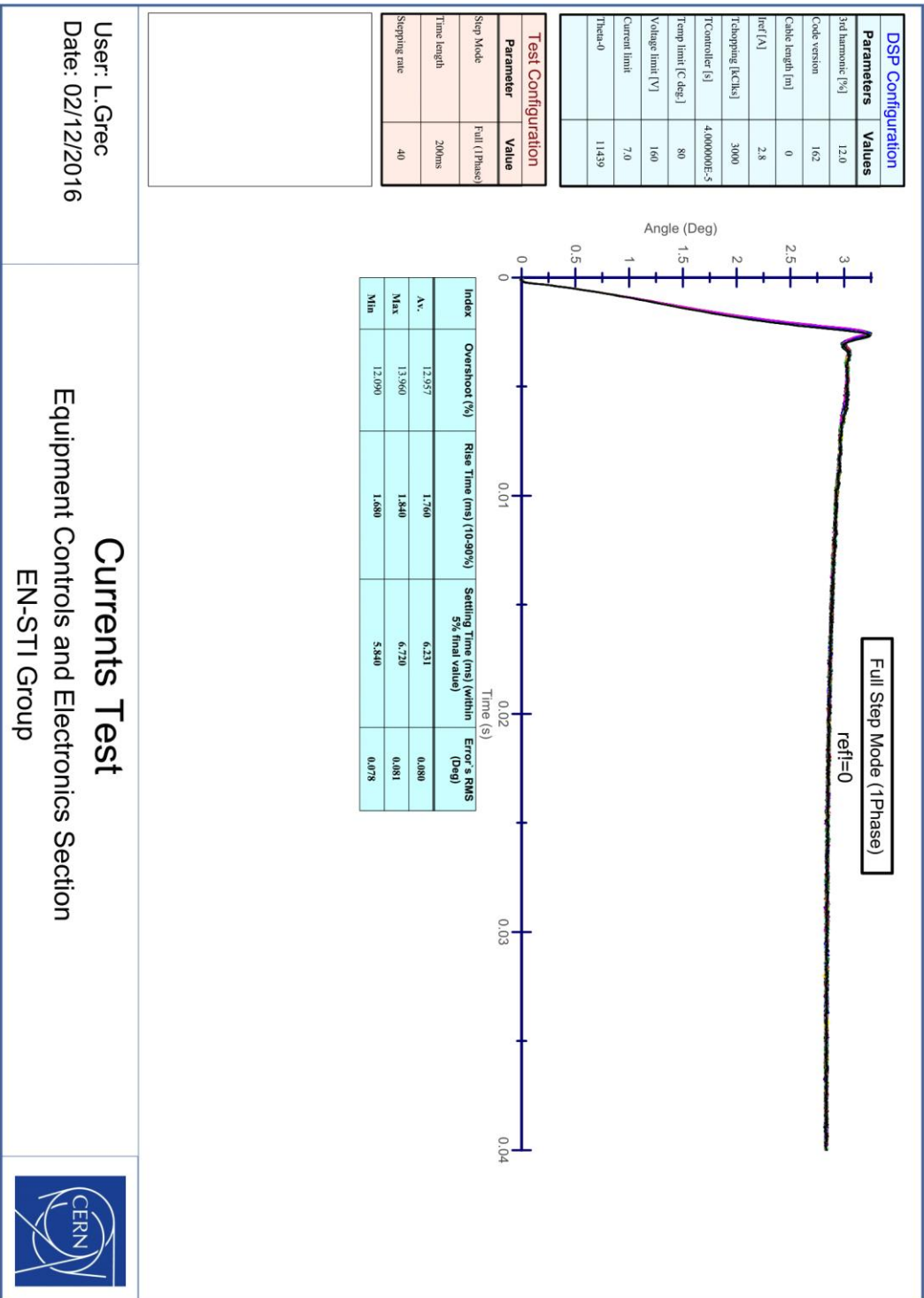


Figura 3-4 Testul automat - "Currents test"

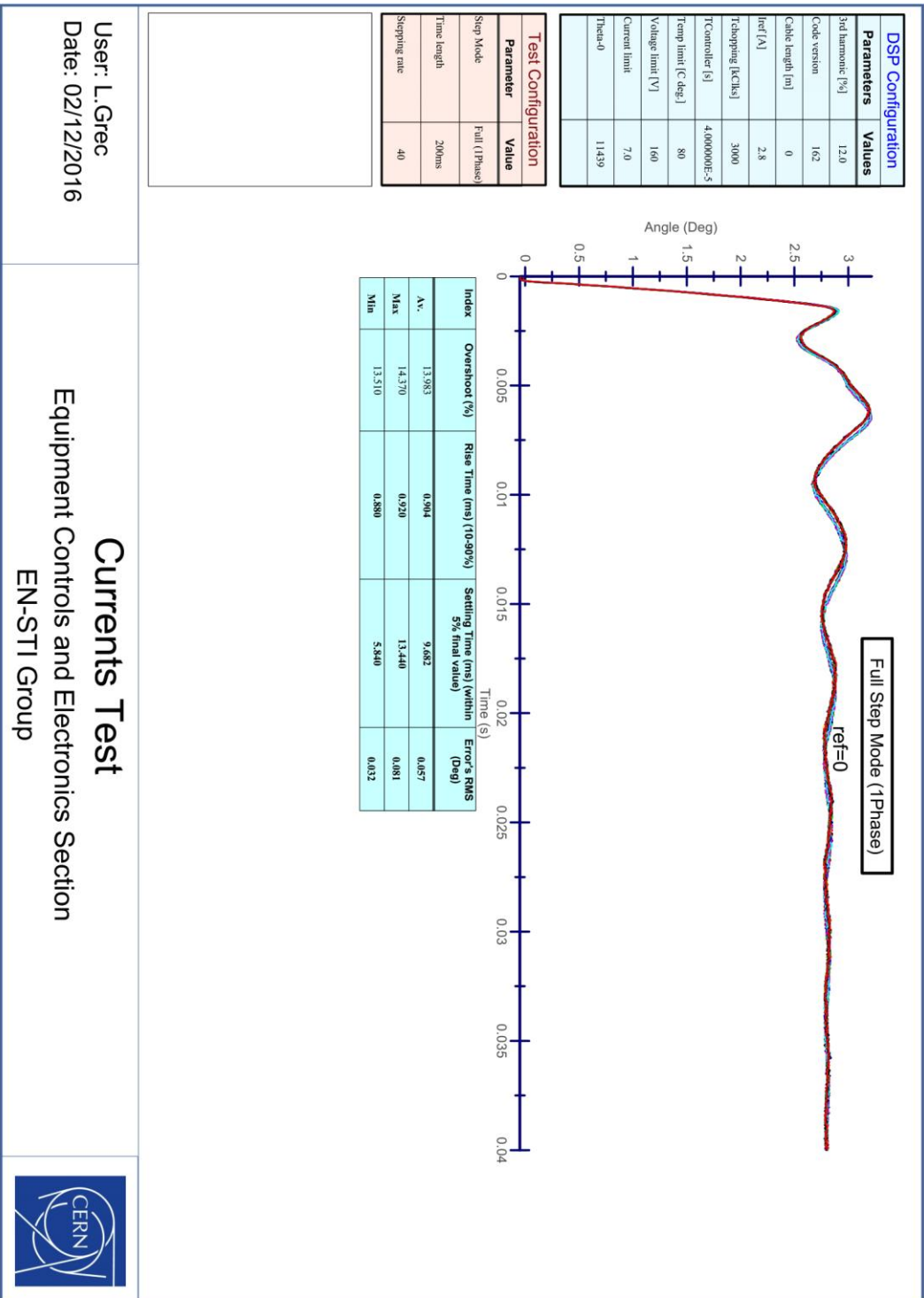
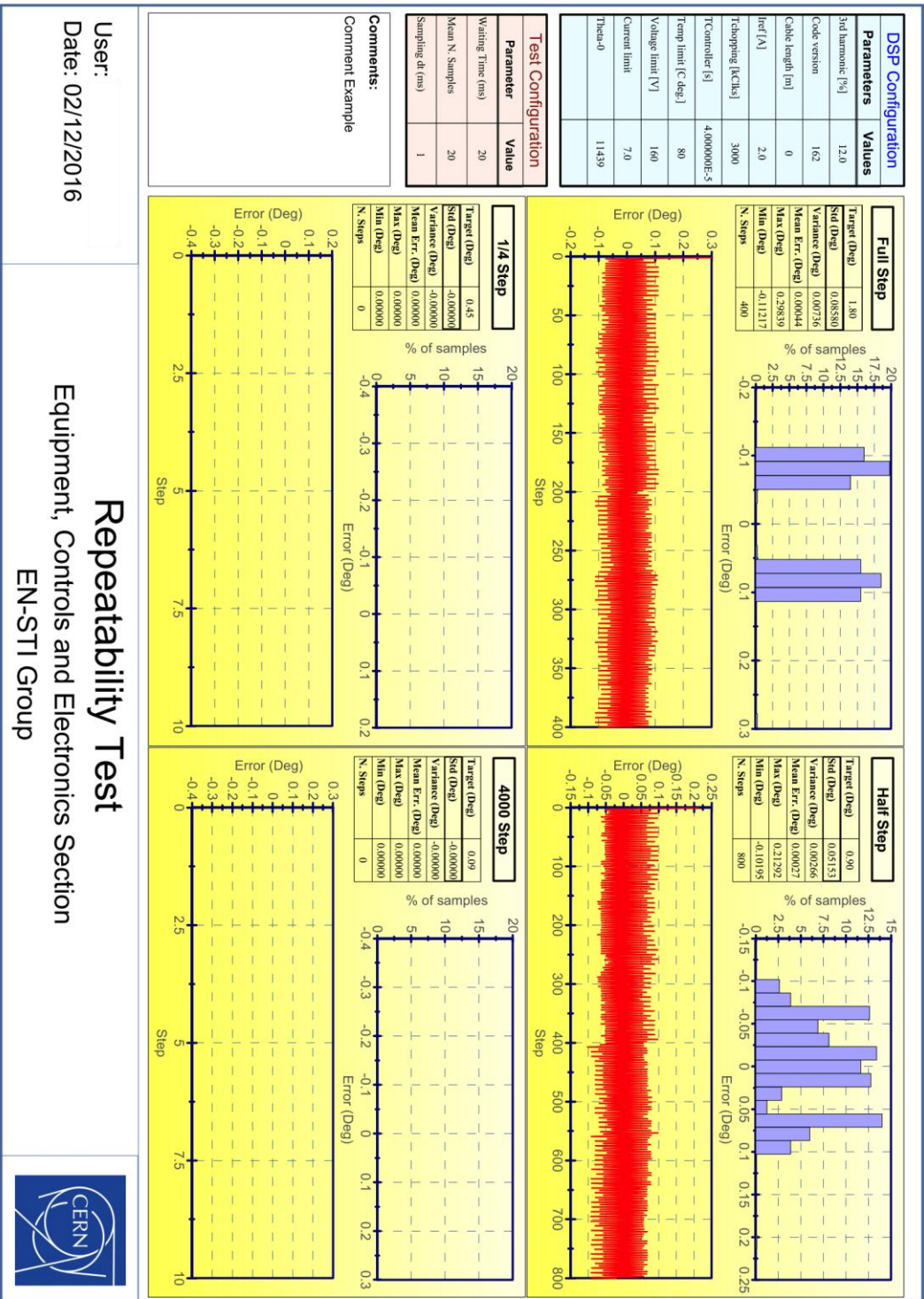


Figura 3-5 Testul automat - "Currents test"



User:  
Date: 02/12/2016

## Repeatability Test

Equipment, Controls and Electronics Section  
EN-STI Group



Figura 3-6 Testul automat - "Repeatability test"

# Phase current limits

Deviation[%] from 1A	Deviation[%] from 3A	Deviation[%] from 4A	Deviation[%] from 2A
23.96	4.15	2.28	3.97
24.08	4.51	2.55	2.08
31.45	3.39	3.18	5.76
22.46	1.37	2.39	5.66

User: Lucian Grec  
Date: 02/12/2016

**Phase current limits**  
Equipment, Controls and Electronics Section  
EN-STI Group



Figura 3-7 Testul automat - "Phase currents test"

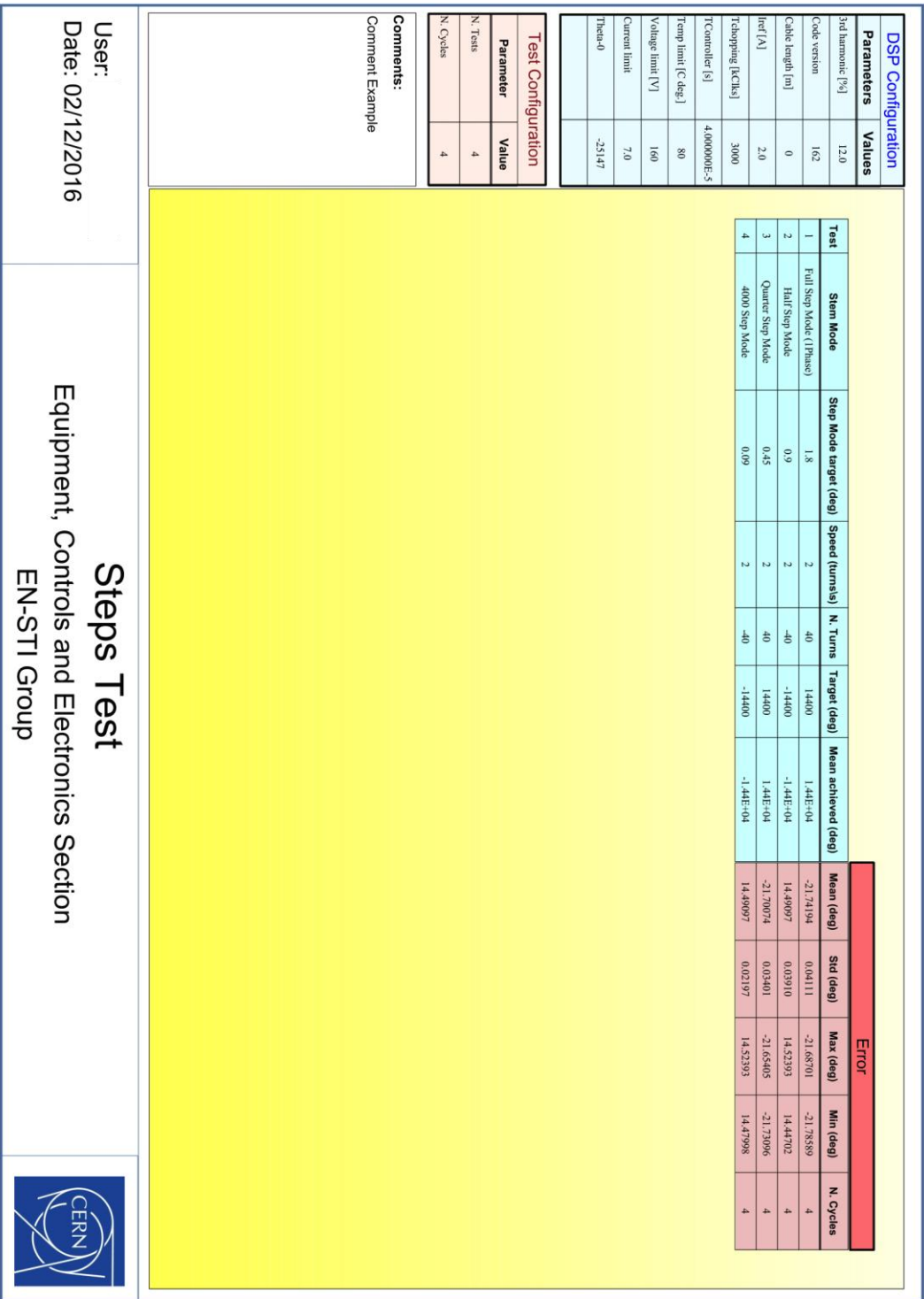


Figura 3-8 Testul automat - "Steps test alternating STD/FOC"



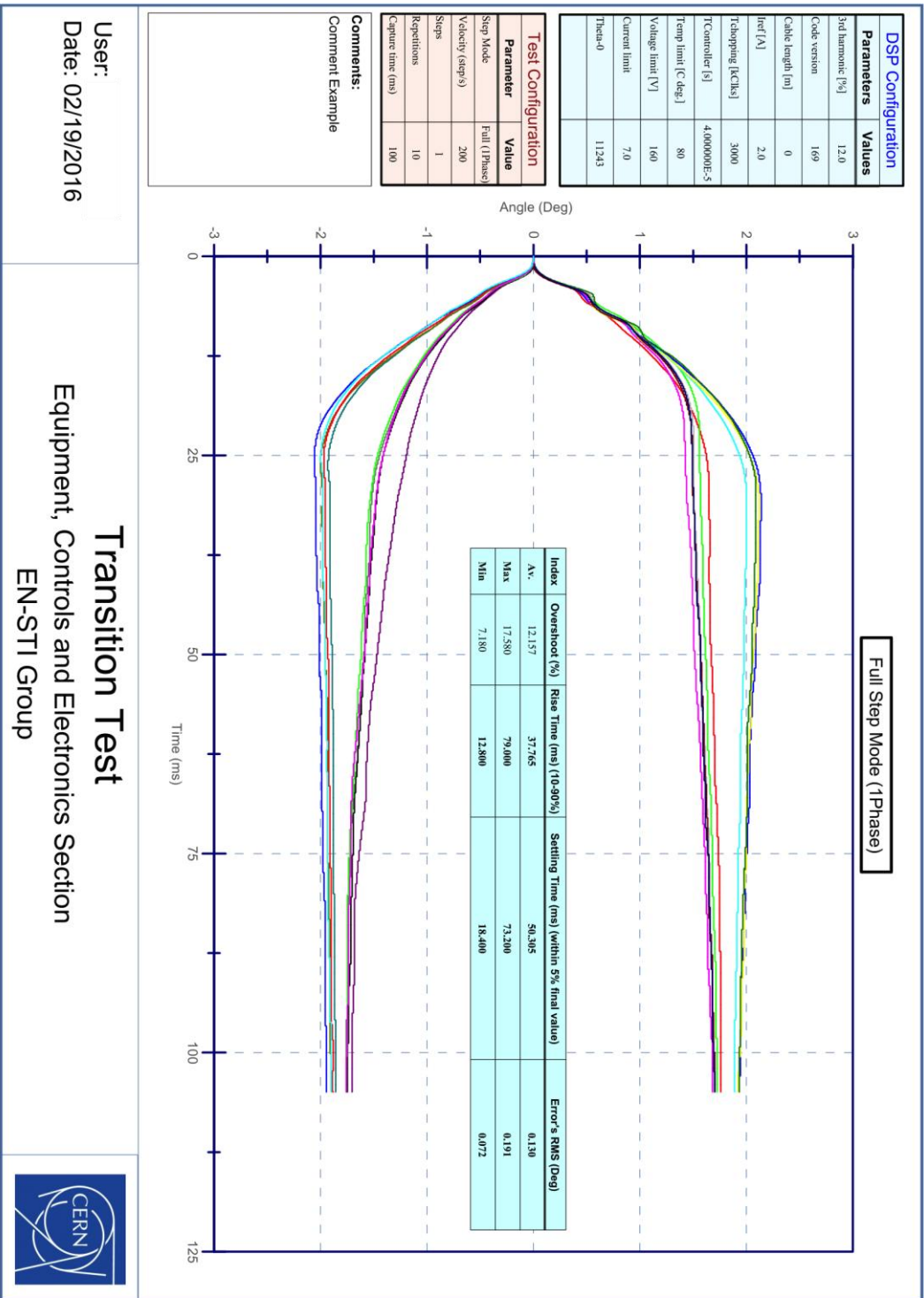


Figura 3-9 Testul automat - "Transient test"

## 4 Index al figurilor

FIGURA 1-1 - COMPLEXUL DE ACCELERATOARE DE LA CERN.....	8
FIGURA 1-2 SECTIUNE A UNUI COLIMATOR.....	10
FIGURA 1-3 MOTOR PAS CU PAS HIBRID.....	10
FIGURA 1-4 SCHEMA A UNUI MOTOR PAS CU PAS.....	11
FIGURA 2-1 MODULE LABVIEW.....	12
FIGURA 2-2 MODUL DE DOCUMENTARE AUTOMATĂ AL LIMBAJULUI.....	13
FIGURA 2-3 LABVIEW SE CONECTEAZA LA APROAPE ORICE DISPOZITIV.....	14
FIGURA 2-4 ORICE PROGRAM ÎN LABVIEW ARE ASOCIATĂ O INTERFAȚA GRAFICĂ.....	15
FIGURA 2-5 AUTOMATUL FINIT AL PROTOCOLULUI DE COMUNICARE.....	17
FIGURA 2-6 STAREA DE INIȚIALIZARE A AUTOMATULUI FINIT GENERAL.....	18
FIGURA 2-7 CONTINUARE A STĂRII DE INIȚIALIZARE.....	19
FIGURA 2-8 STAREA DEFAULT A AUTOMATULUI FINIT GENERAL.....	20
FIGURA 2-9 STAREA DE ALEGERE A TESTELOR DE EXECUTAT.....	21
FIGURA 2-10 AUTOMATUL FINIT AL PROCEDURII DE IDENTIFICARE AL POZIȚIEI 0 A ENCODERULUI.....	22
FIGURA 2-11 SCHEMA BLOC A STANDULUI DE TESTE.....	23
FIGURA 2-12 SCHEMA BLOC A PLĂCII DE COMANDĂ.....	23
FIGURA 2-13 PLACA DE COMANDĂ A MOTOARELOR PAS CU PAS.....	24
FIGURA 2-14 STRUCTURA DE DEMULTIPLEXARE A MESAJULUI STANDARD.....	25
FIGURA 2-15 ABSTRACTIZARE A ARHITECTURII INTERFEȚEI GRAFICE.....	26
FIGURA 2-16 PANOUL DE CONECTARE.....	28
FIGURA 2-17 PANOUL DE CONFIGURARE/CONTROL.....	31
FIGURA 2-18 PANOUL DE COMUNICARE CU DSP-UL.....	33
FIGURA 2-19 PANOUL "STEPS TEST".....	35
FIGURA 2-20 AUTOMATUL FINIT AL "STEPS TEST.VI" NIVELUL 1.....	36
FIGURA 2-21 AUTOMATUL FINIT AL "STEPS TEST.VI" NIVELUL 2.....	37
FIGURA 2-22 AUTOMATUL FINIT AL "STEPS TEST.VI" NIVELUL 3, STAREA "CONTINUE".....	38
FIGURA 2-23 PANOUL "CURRENTS TEST".....	40
FIGURA 2-24 PANOUL "GET STATISTICS" DIN CADRUL "CURRENTS TEST".....	42
FIGURA 2-25 REF!=0 ȘI REF=0.....	43
FIGURA 2-26 PANOUL "REPEATIBILITY TEST".....	45
FIGURA 2-27 PANOUL "TRANSIENT TEST".....	47
FIGURA 2-28 PANOUL DE SELECTARE A TESTELOR ÎN SECVENȚA AUTOMATĂ.....	54
FIGURA 2-29 ABSTRACTIZARE A AUTOMATULUI FINIT PENTRU AUTOMATIZAREA TESTELOR.....	55
FIGURA 3-1 TESTUL AUTOMAT - REZUMATUL TESTELOR.....	57
FIGURA 3-2 TESTUL AUTOMAT - "STEPS TEST".....	58
FIGURA 3-3 TESTUL AUTOMAT - "CURRENTS TEST".....	59
FIGURA 3-4 TESTUL AUTOMAT - "CURRENTS TEST".....	60
FIGURA 3-5 TESTUL AUTOMAT - "CURRENTS TEST".....	61
FIGURA 3-6 TESTUL AUTOMAT - "REPEATIBILITY TEST".....	62
FIGURA 3-7 TESTUL AUTOMAT - "PHASE CURRENTS TEST".....	63
FIGURA 3-8 TESTUL AUTOMAT - "STEPS TEST ALTERNATING STD/FOC".....	64
FIGURA 3-9 TESTUL AUTOMAT - "TRANSIENT TEST".....	65

## 5 Bibliografie

- CERN. Research at CERN: a gateway to the universe . Feb. 2016. url : <http://public.web.cern.ch/public/en/Research/Research-en.html>
- <https://cds.cern.ch/record/1165534>
- <http://tehnocultura.ro/2013/05/06/cele-patru-forțe-fundamentale-ale-universului-forțele-nucleare-tare-și-slabă-gravitația-și-electromagnetismul/>
- ATLAS Collaboration. "A Particle Consistent with the Higgs Boson Observed with the ATLAS Detector at the Large Hadron Collider". În: Science 338 (2012), pp. 1576{1582.
- CMS Collaboration. "A New Boson with a Mass of 125 GeV Observed with the CMS Experiment at the Large Hadron Collider". În: Science 338 (2012), pp. 1569{1575.
- [http://lhc-collimation-project.web.cern.ch/lhc-collimation-project/lhc\\_collimation\\_introduction.htm](http://lhc-collimation-project.web.cern.ch/lhc-collimation-project/lhc_collimation_introduction.htm)
- <http://www.nmbtc.com/step-motors/engineering/construction-and-operating-theory/>
- Labview Core1, Core2, Core3
- State Machines by David Thomas and Andy Hunt
- [http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/lhc\\_glossary.htm](http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/lhc_glossary.htm)