

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA

FACULTATEA DE MECANICĂ

Departamentul Mecatronică

# Lucrare de licență

Automatizarea standului de măsurare a cuplului unui actuator  
de uz general

**Conducători științifici:**

Ș.I. Dr. Ing. Cristian MOLDOVAN

Drd. Ing. Daniel MAXIM

**Autor:**

Gabriel FAZECAȘ

Timișoara 2017

## Cuprins

1. Tema.....	3
2. Metode de măsurare a cuplului .....	4
2.1 Metoda cu senzor si conectare directă la PC .....	4
2.2 Soluția oferită de National Instruments.....	7
3. Soluția constructivă.....	9
3.1 Alegerea pieselor componente .....	9
3.2 Partea mecanică.....	12
3.3 Electronica sistemului .....	25
4. Programele de automatizare și control (Labview) .....	37
4.1 Interfața CAN, unitatea de control motor și actuatorul.....	39
4.2 Motorul Maxon și controlerul EPOS2.....	42
4.3 Senzorul de unghi și interfața externă de control.....	45
4.4 Senzorul de cuplu .....	51
4.5 Automatizarea sistemului .....	52
4.6 Modul de operare a sistemului .....	56
5. Concluzii. ....	59
6. Bibliografie. ....	60

# 1. Tema

Tema constă în realizarea unui sistem automatizat cu scopul măsurării cuplului în funcție de unghi, dezvoltat de un actuator. Sistemul are în componență elemente de mecanică, electronică și software. Partea mecanică are ca elemente: un motor cu reductor Maxon ECmax40 ce are rolul de frână datorită raportului 936:1, un ambreiaj Kendrion 86 011, arbori, pene, elemente de fixare, și un actuator produs de Continental Automotive România S.R.L.

Pentru partea electrică, de alimentare, măsură și colectare a datelor, s-au folosit doi senzori de tip Lorenz DR2M250 – cuplu; și Heidenhain ERN 480 – unghi, împreună cu unitatea de comandă și control EIB 741, o unitate de control motor, un controler EPOS2, o sursă de tensiune Tracopower TXL 350-48s, o sursă de tensiune EX354RD, și un CAN Sys Tec USB-CANmodul1.

Partea de software a fost realizată în mediul de programare grafică LabView, aceasta având posibilitatea atât de citire a datelor cât și de control a elementelor din ansamblu. Ea înglobează programele de citire și control ale sensorului de unghi, motorului, sensorului de moment și a actuatorului.

Testarea actualelor este dorită în cadrul unui asemenea sistem, pentru analiza completă în condiții de funcționare continue, astfel văzându-se dacă actuatorul respectă cerințele de calitate și în același timp, cerințele clientului.

## 2. Metode de măsurare a cuplului

### 2.1 Metoda cu senzor și conectare directă la PC

Un senzor este un dispozitiv care colectează date ce reprezintă, în general, starea exterioară a unui sistem. Aceste date reprezintă un semnal, care este transmis către un dispozitiv de citire și afișare, spre exemplu un calculator.

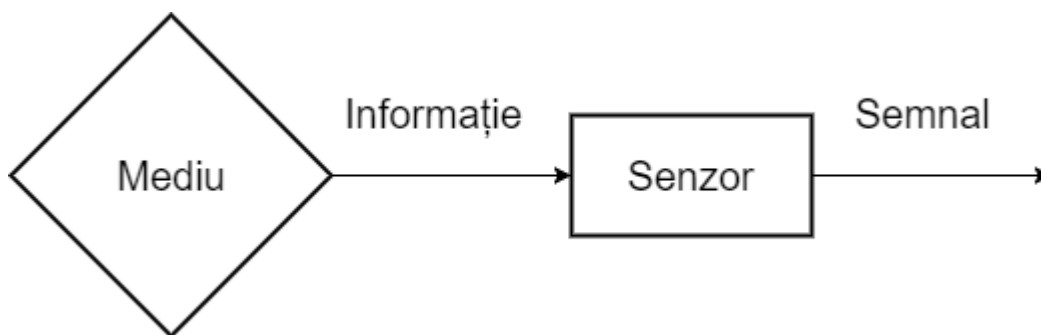


Figura 2.1-Schema principală a unui senzor

Informația se poate defini ca o reprezentare a mediului, a lumii reale, printr-un set de simboluri ce pot fi înțelese de om. Conform Figurii 2.1, informația poate exista ca semnal, o tensiune, un curent, sau material, o reprezentare, un text. De asemenea, se poate spune că un semnal se poate caracteriza ca un purtător de informație.

Metoda aleasă pentru măsurarea cuplului este cu ajutorul unui senzor de cuplu alcătuit dintr-un element elastic, un efector, o carcasă, o placă de referință și un traductor inductiv.

În majoritatea cazurilor, elementul elastic al senzorilor de cuplu este o bară circulară, prin care se transmite momentul dorit a se măsura, și pe care sunt așezate TER (traductoare electric rezistive), Figura 2.2, ce formează o punte Wheatstone. Sunt necesare, de obicei, patru TER care măsoară deformația specifică indusă în axul solicitat. Astfel, semnalul este proporțional cu cuplul dat de actuator. De asemenea, mai sunt senzori cu arbore tip inel, cruciform sau pătrat. Cel pătrat oferă avantaje față de cel circular, mai ales în capacități de peste 55N/m. Astfel, oferă rezistență la încovoiere și integrare ușoară în sistemele de măsurare.

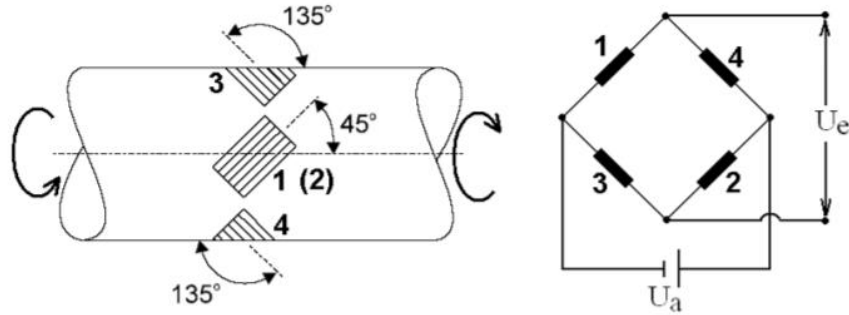


Figura 2.1-Așezarea traductoarelor electric rezistive

Această metodă are câteva avantaje: sensibilitate redusă la efectele apărute în timpul rotațiilor ridicate din timpul funcționării, opțiunea demontării sau înlocuirii dispozitivului. De asemenea, montajul este relativ simplu.

Semnalul dat de sensor este o tensiune, de ordinul mV, transmis prin inele (contacte) de alunecare. Inelele de alunecare sunt de obicei folosite pentru măsuratori de cuplu la viteze mici. O măsurătoare integrată viteză/unghi este standardizată la majoritatea senzorilor de acest tip.

Un inel de alunecare este o componentă electromecanică ce permite transferul de semnal și tensiune între un element staționar și unul rotativ. Acesta simplifică operarea sistemului și elimină firele ce atârână și se pot defecta, fiind folosit în diverse sisteme electromecanice care au nevoie să se rotească în timp ce transmit un semnal sau o tensiune.

Senzorul de unghi (encoder), altfel spus, senzor de poziție rotativă, este un dispozitiv electro-mecanic care transformă o deplasare liniară sau de rotație într-un semnal digital sau de tip impuls. Cel mai des întâlnit tip este encoderul optic, care constă într-un disc rotativ, o sursă de lumină, și un detector foto, adică un senzor de lumină. Discul, care este montat pe arborele de rotație, are două trasee cu sectoare tipizate, opace și transparente.

La rotirea discului, aceste sectoare întrerup lumina emisă către detectorul de lumină, generând la ieșire un semnal de tip digital sau impuls.

Un encoder incremental generează un impuls pentru fiecare pas incremental din propria rotație. Totuși, chiar dacă encoderul incremental nu afișează poziția absolută, acesta permite o rezoluție mare, adică un număr mare și precis de măsurători la un preț bun. Ca

exemplu, un encoder mai simplu, cu un singur canal, de tip tahometru, generează un semnal impuls al cărui frecvență indică viteza de deplasare. Semnalul dat de acest encoder cu un singur canal nu indică și direcția. Pentru a determina direcția, un senzor cu două canale, folosește două detectoare și două trasee separate.

Cel mai întâlnit tip de encoder incremental folosește două ieșiri (canale), A și B, pentru a detecta poziția- Figura 2.3. Folosind două trasee poziționate cu un defazaj de  $90^\circ$ , cele două canale de ieșire indică atât poziția cât și direcția rotației. Dacă A este în fața lui B, de exemplu, discul se rotește în sensul acelor de ceasornic. Dacă B este în fața lui A, discul se rotește în sens contrar acelor de ceasornic. În plus, există senzori cu trei canale, numite zero sau de referință, care transmit un singur impuls pe rotație. Acesta poate fi folosit pentru determinarea cu precizie a unei poziții de referință.

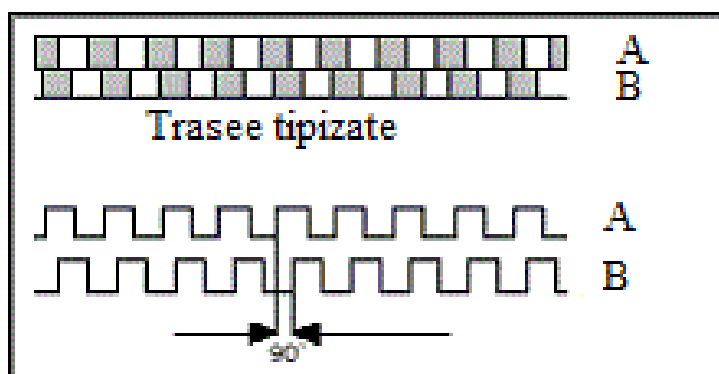


Figura 2.2-Senzor (encoder) cu două canale

Sistemul a fost conceput pentru măsurarea cuplului dezvoltat de un actuator, datorită cerințelor din industria automotive în ce privește actuatorile din cadrul motoarelor și a altor sisteme ale mașinii. Astfel, va fi folosit în cadrul laboratorului pentru testarea actuatorilor de diverse tipuri.

## 2.2 Soluția oferită de National Instruments

Deși nu există altă metodă de măsurare a cuplului pentru cazul acesta, în laborator, există posibilitatea utilizării unei alte soluții constructive din punct de vedere al colectării datelor. Aceasta a fost oferită de National Instruments, fiind o configurație complexă de module care preiau și analizează datele de la senzori. Ea conține un număr ridicat de elemente, printre care NI 9218 (Figura 2.4), un modul universal cu două canale, de 24 biți, care preia un număr de 51200 de eșantioane pe secundă/canal, cu suport pentru accelerometre, senzori, măsurători de voltaj. Un alt modul oferit este NI 9263



Figura 2.4-Modul universal de colectare a datelor



Figura 2.3-Modul de ieșiri analogice



Figura 2.6-Modul Digital



Figura 2.7-Modul interfață CAN/LIN

(Figura 2.5), folosit pentru utilizarea ieșirilor sub formă de tensiune, analogic, ce permite fixarea firului cu șurub. Acesta permite 100 000 de eșantioane pe secundă/canal, tensiuni de până la 10 V, 4 canale, și este izolat împotriva zgomotului. NI 9402 (Figura 2.6) este un modul cu 4 canale, intrări și ieșiri Digitale, de tip TTL (Transistor-transistor logic), ce se pot configura individual, pe orice direcție. Modulul cu două porturi CAN/LIN (Figura 2.7), permite sincronizarea cu alte dispozitive specifice National Instruments și conține un driver de dezvoltare a aplicațiilor în LabVIEW, LabWindows, C sau C++. Acesta permite manipularea semnalelor și datelor cu mare viteză în timp ce are loc o altă achiziție de date ori un control sau monitorizare a altor elemente în același cadru (șasiu) specific National Instruments.



*Figura 2.8-Şasiu achiziție date*

Şasiul de achiziție date (Figura 2.8), cDAQ-9184 este creat pentru măsurători cu senzori, de anvergură redusă. Acesta controlează temporizarea, sincronizarea, și transferul de date între module și o gazdă externă. Se poate folosi o combinație de module, analogice, digitale sau de contorizare.

Totuși, datorită costurilor și complexității sistemului, s-a preferat soluția simplă, prezentată în capitolul următor.



### 3. Soluția constructivă

#### 3.1 Alegerea pieselor componente

Pentru realizarea achiziției datelor este folosit un PC Hewlett-Packard cu configurație Intel. Pentru o achiziție de date precisă este necesară o viteză de calcul foarte mare deoarece aceasta influențează performanța sistemului de achiziție (DAQ).

PC-ul este dotat cu multiple intrări și ieșiri, transferul de date se realizează între acesta și elementele componente ale sistemului cu ajutorul instrucțiunilor de intrare și ieșire, respectiv interfața LabVIEW.

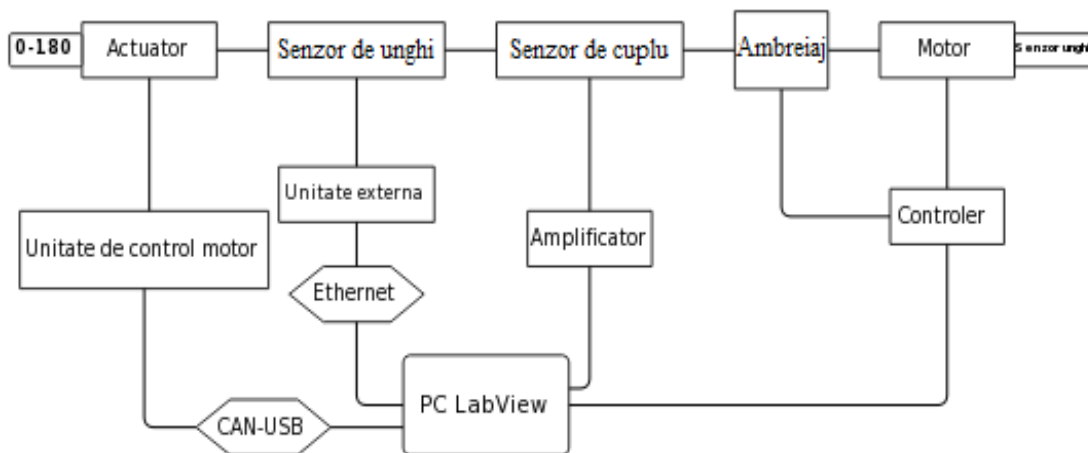


Figura 3.1- Schema de principiu a ansamblului

-În schema de componență (Figura 3.1) sunt așezate la nivelul de sus al ansamblului propriu-zis actuatorul, senzorul de unghi, senzorul de cuplu, ambreiajul și motorul. Între senzorul de unghi și cel de cuplu, respectiv între senzorul de cuplu și ambreiaj, există câte un cuplaj mecanic. La nivelul intermediar (de legătură) sunt elementele electronice care au rolul de a analiza, respectiv transfera datele de stare, comenzile, ș.a.m.d. .De la stanga la dreapta, Unitatea de control motor (ECU- Engine Control Unit), o interfața CAN-USB; o unitate externă de comandă și un cablu Ethernet normal; un amplificator și un controler.

-Actuatorul este produs de Continental S.R.L. și funcționează pe baza unui semnal PWM (Pulse Width Modulation), care înseamnă practic că, cu cât lățimea semnalului este mai mare, cu atât viteza de mișcare (rotație) a actuatorului este mai mare. Acesta a fost controlat prin intermediul unui ECU (Engine Control Unit), adică o unitate de control motor, care se poate găsi în orice mașină modernă. Informația este transmisă prin intermediul unei interfețe CAN-USB, care comunică direct cu pc-ul prin intermediul unui driver pus la dispoziție, public. Cu ajutorul aceluși driver, interfața Labview poate să comunice cu acesta prin intermediul unei adrese de tip Communication Port (COM). Unitatea de control motor primește comenzile sub formă de mulțimi de numere prestabilite în software-ul din ea, analizând datele primite și trimițând mai departe un semnal, dacă este cazul, și un răspuns către PC, în cazul unei erori, sub forma unui cod.

-Senzorul de unghi a fost ales datorită specificațiilor sale foarte bune, fiind foarte precis și permițând un afișaj la nivel de miime de grad, fiind sensibil la orice mișcare. Acesta are o rată de eșantionare de 4096 de valori pe secundă, transmițând un set de impulsuri specifice. Senzorul de unghi funcționează împreună cu o unitate externă de control de tip Heidenhain EIB 700 care permite citirea datelor și conexiunea cu un PC. Conexiunea cu PC-ul se realizează printr-un port Ethernet (fibră optică), ce permite un transfer practic instantaneu al informației către utilizator. Acesta funcționează ca o rețea LAN și are o adresă IP (Internet Protocol) specifică.

-Senzorul de cuplu este de tip Lorenz și funcționează pe principiul descris în capitolul 2. Acesta are o tijă de care se prind cuplajele mecanice și, datorită momentului de torsiune datorat forței date de actuator și frânării motorului din partea opusă, se poate măsura deformarea tijei, și astfel determina cuplul.

-Ambreiajul (Clutch-ul) este electromagnetic, produs de Kendrion, cu plaja de lucru între 0.2 și 150 Nm. Acesta are rolul de a face legătura între motor și restul sistemului, cu scopul de a îl putea cupla și decupla la nevoie. Acest lucru este necesar datorită prezenței penelor și actuatorului care are o cursă limitată și bine definită. Astfel, trebuie permisă rotirea arborelui pentru poziționarea actuatorului, manual, lucru care nu s-ar putea sub acțiunea motorului (frânei).

-Motorul Maxon ECmax40 este folosit ca frână pentru actuator, permițând măsurarea cuplului motor produs, la nivelul senzorului de moment. Acesta are un reductor 936:1, turația maximă fiind de 10100 rpm, respectiv, la ieșire de 936 ori mai puțin, adică aproximativ 10 rpm. Motorul este acționat prin intermediul unui controler de tip Epos 2, ce permite inițializarea unor module de funcționare, printre care rotația la o valoare de destinație (care prin intermediul unui calculator implementat în LabVIEW este transformată în unghi) dorită; rotația cu o viteză dorită, rotația la o valoare dorită cu o accelerație selectată de utilizator, ș.a.m.d. . Acesta este conectat la PC printr-o interfață USB 2.0. Motorul este dotat și cu un senzor de unghi (encoder) intern, care însă va fi neglijat și pur informativ, pentru scopul final al aplicației.

Această soluție constructivă a fost aleasă deoarece oferă o măsurare suficient de precisă și se pot controla sau citi toți parametri doriti. Elementele individuale au fost sugerate de către experții Hardware din Continental. Pozițiile actuatorului sunt de o parte și de alta a ansamblului, între ele sunt poziționate restul elementelor. Senzorul de unghi este folosit și așezat astfel pentru a măsura poziția reală a arborelui și nu s-a folosit senzorul din motor datorită jocurilor și frecărilor care pot apărea la trecerea prin ambreiaj, arbori, rulmenți, senzorul de moment și cuplaje. Poziția optimă pentru senzorul de moment este în mijlocul sistemului, la distanță egală față de motor și actuator.

### 3.2 Partea mecanică

Sistemul mecanic, adică piesele fixe și cele care produc mișcarea, este alcătuit din:

1. Ansamblul mecanic, fixare, elemente intermediare;
2. actuator, care produce mișcarea;
3. ambreiaj, care face legătura între frână și ansamblu;
4. motor, care realizează frânarea;
5. cuplajele mecanice;
6. senzorul de cuplu;
7. senzorul de unghi;
8. suporturile de fixare;

1. Ansamblul, placa de fixare, elemente intermediare.

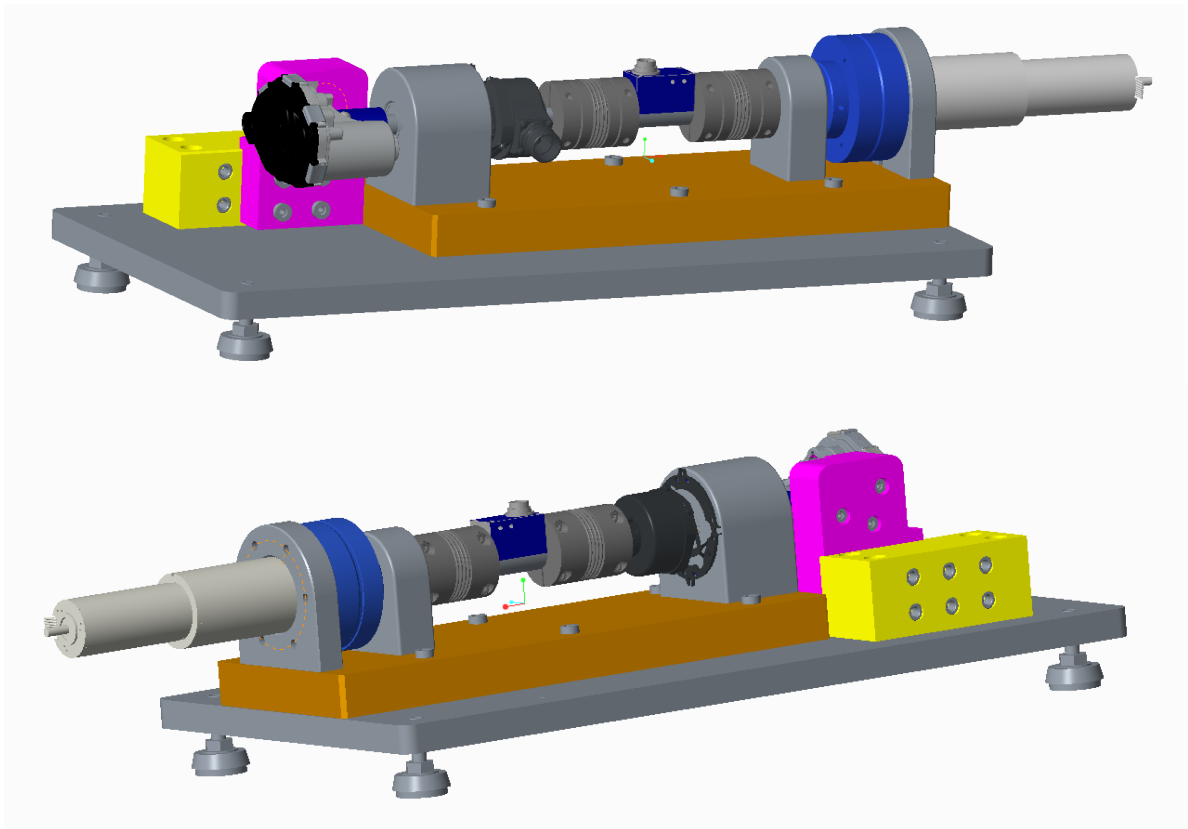


Figura 3.2-Imagine de ansamblu a sistemului, CAD

Rulmenții folosiți sunt de tip SKF E2.6001-2Z și SKF E2.6002-2Z (Figura 3.3), încapsulați. Principial, aceștia sunt identici, diferă dimensiunea și caracteristicile fizice. Printre specificațiile lor se enumeră:

Rulment	E2.6001-2Z	E2.6002-2Z
Diametru interior d	12 mm	15 mm
Diametru exterior D	28 mm	32 mm
Lățime W	8 mm	9 mm
Viteză limită	33000 rpm	28 000 rpm

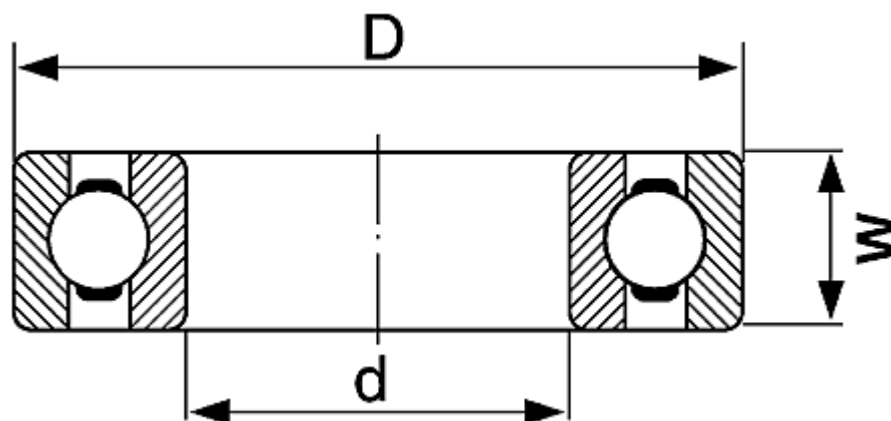


Figura 3.3-Rulment cu bile E2.XXXX-2Z

Așa cum se cunoaște deja, forța de frecare rezultată în urma alunecării este mult mai mare decât cea rezultată în urma rostogolirii. Pentru utilizarea obișnuită, puterea pierdută prin frecarea în rulment în diferite mecanisme, se neglijează. Totuși, este necesară cunoașterea coeficientului de frecare datorată rulmentului în cazul în care se dorește un anumit moment de frecare.

Acest moment de frecare se poate calcula cu relația :

$$M = 0.5 * \mu * P * Dm$$

Unde :

M- moment de frecare [Nmm];

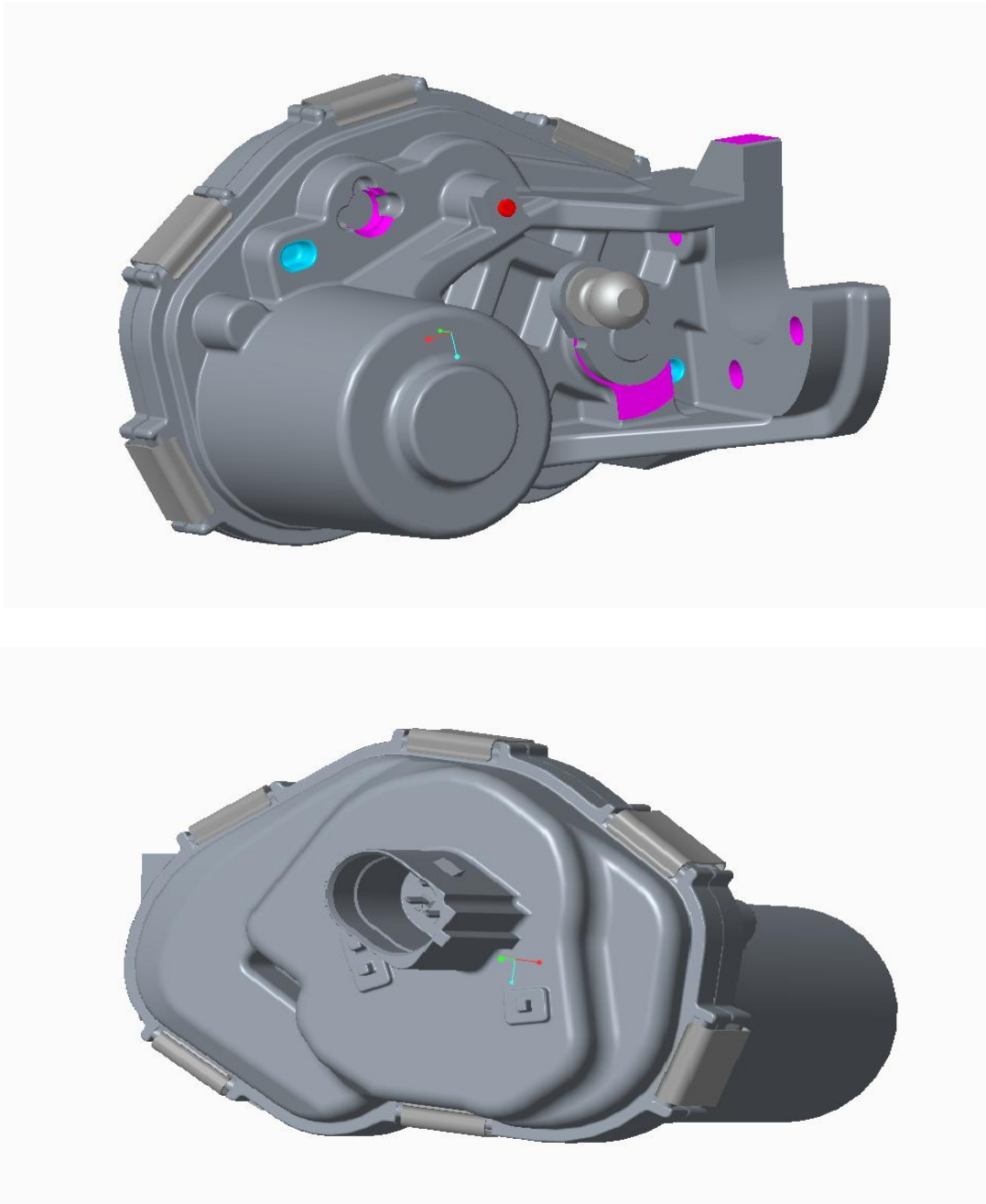
$\mu$ - Coeficient de frecare;

P- Sarcina;

Dm- Diametrul mediu al rulmenților axiali,  $(d+D)/2$ .

Arborii sunt din oțel, prevăzuți cu canale de pană, ambii cu diametru de 12mm la un capăt și 15mm la celălalt. Aceștia au fost dimensionați astfel datorită pieselor, respectiv 12 mm în sensorul de unghi și cuplaje, și 15 mm la ambreiaj, respectiv actuator.

## 2. Actuatorul



*Figura 3.4-Actuator de uz general*

Actuatoarele sunt dispozitive mecanice sau electro-mecanice care permit mișcări și poziționări controlate sau uneori limitate, operate electric, manual, sau prin diverse fluide precum aer, ulei, etc. Mișcările tipice actuatoarelor sunt de translație și de rotație.

Actuatoarele liniare transformă energia în mișcări de translație, liniare, în general pentru aplicații de poziționare, care au de obicei o funcție de tragere și împingere. Unele actuatoare liniare nu sunt acționate automat, ci manual prin folosirea unui mâner rotativ sau a unei roți manuale. Actuatoarele de rotație, așa cum le spune și numele, transformă energia pentru a obține o mișcare de rotație. O utilizare întâlnită des este controlul diverselor valve. Fiecare tip de actuator are configurații diferite de putere, și poate exista în multe dimensiuni sau forme, depinzând de aplicație și de proiectant. Actuatoarele mai pot fi și pe lanț, pentru o mișcare de tragere sau împingere.

Actuatoarele electrice de rotație sunt dispozitive mecanice, care funcționează pe baza curentului electric. Acestea au în componență mecanisme motoare și arbori de transmisie, cu o cursă de rotație limitată. Specificațiile de bază includ aplicația pentru care se folosește, metoda de antrenare, numărul de poziții, configurația de montaj și de transmitere a mișcării, dimensiunile fizice și caracteristicile electrice. Actuatoarele electrice de rotație sunt folosite în principiu în aplicațiile automatizate în care o poartă, valvă sau alte elemente necesită o mișcare controlată pentru a ajunge la niște poziții unghiulare specific definite. Deci, sunt folosite în multe industrii, unde este necesară poziționarea și au diverse tipuri de motoare. Printre aplicațiile de bază se află robotica, ferestrele automate, și valvele din diverse domenii.

Actuatorul (Figura 3.4) are o cursă limitată, teoretic de 112 de grade, practic între 109 și 115 grade. Această limită o reprezintă defapt două opritoare mecanice din aluminiu, respectiv roțile dințate din plastic care se lovesc de opritoare la capătul cursei, acestea fiind de o anumită dimensiune, calculată pentru a obține unghiul și funcționalitatea dorită.



### 3. Ambreiajul

Ambreiajul activ marca Kendrion este compus din ambreiaje cu un singur disc, alimentate de un curent continuu de 24V. În reprezentarea 2D (Figura 3.5) sunt descrise dimensiunile, și armătura fără butuc cu flanșă (mijloc), respectiv armătura cu butuc cu flanșă (dreapta).

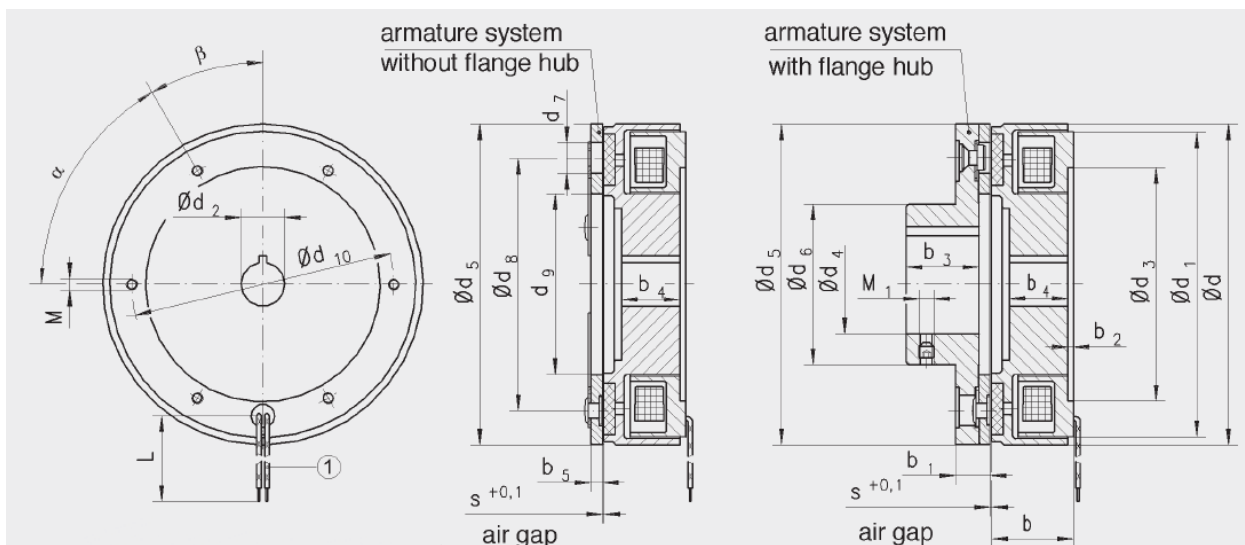


Figura 3.5-Ambreiaj, reprezentare 2D (Clutch)

Acesta face legătura între motor și restul sistemului, datorită necesității deconectării frânei pentru a putea fi roțiți arborii, deoarece datorită raportului foarte mare, de 936:1 efortul rotirii arborelui este prea mare pentru o utilizare rapidă și ușoară. În funcție de curentul cu care este alimentat, dezvoltă un cuplu mai mare sau mai mic, limita inferioară fiind de 0.2 Nm iar cea superioară fiind de circa 150 Nm.

În cadrul sistemului, forța maximă va fi totuși de până la 15 Nm, datorat faptului că actuatorul nu este unul de putere foarte mare. Totuși, pentru teste, ambreiajul nu va primi un curent mare pentru a se preveni o eventuală defectare a actuatorului sau a senzorilor. Acest lucru s-ar putea datora unor probleme mecanice sau de software.

#### 4. Motorul (frâna)

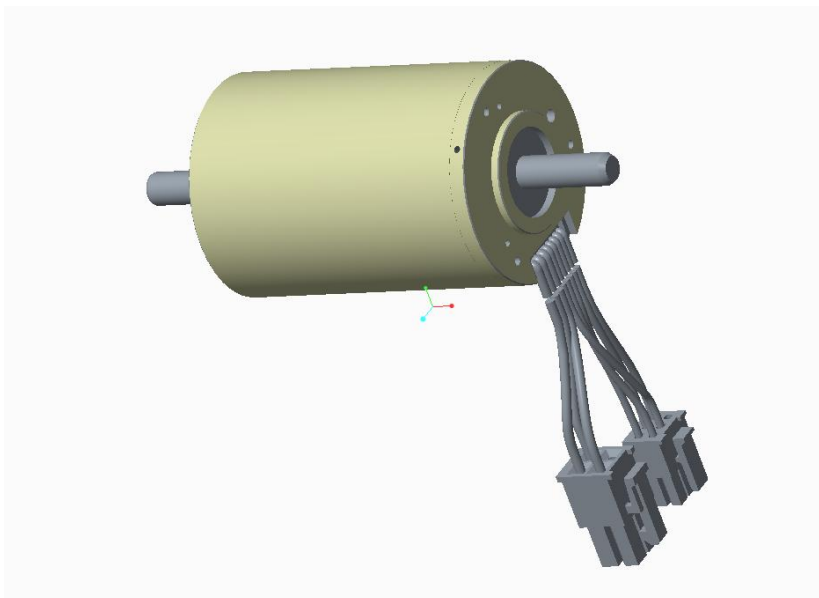


Figura 3.6-Motor Maxon EC-max 40, 3D CAD

Motorul are un reductor cu ajutorul căreia se obține raportul de transmisie de 936:1. Încărcarea radială maximă este de 80 N, viteza maximă (teoretică) este de 12000 rpm. Motorul are rulmenți cu bilă, și un joc axial de maxim 0.14 mm.

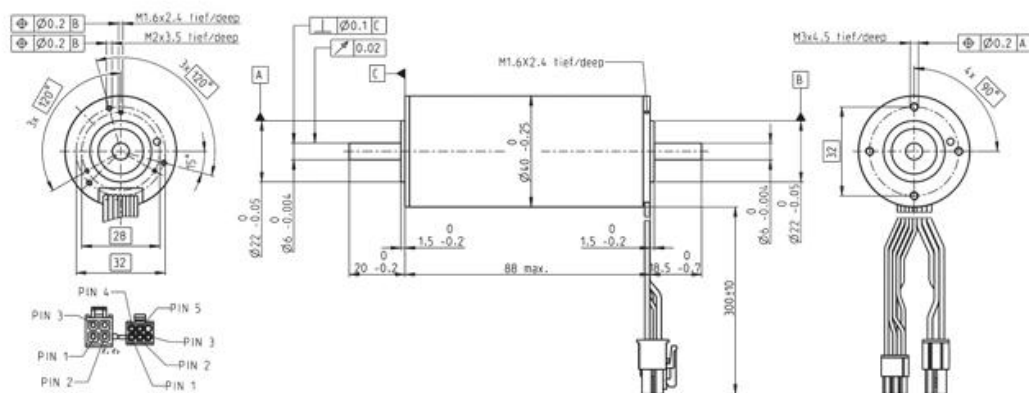


Figura 3.7-Motor, reprezentare 2D

## 5. Cuplajele mecanice

Cuplajele mecanice sunt de la RW Couplings, BKH-15, ele fiind făcute pentru un cuplu de până la 15 Nm.

Specificații:

- Lungime: 59mm;
- Diametru exterior: 49mm;
- Diametru interior posibil: 8-28mm;
- Se fixează cu șuruburi M5;
- Material: Aluminiu;
- Deplasare axială: maxim 1 mm;
- Deplasare laterală: maxim 0.15 mm;
- Deplasare unghiulară: maxim 1°;

Cuplajele (Figura 3.8) sunt compuse din două bucăți complet separabile, și se strâng cu două șuruburi radiale. Acestea suportă viteze de până la 10000 rpm. S-au ales aceste cuplaje care se pot desface complet pentru a putea scoate senzorul de cuplu din sistem fără o deschidere a mai multor elemente componente.

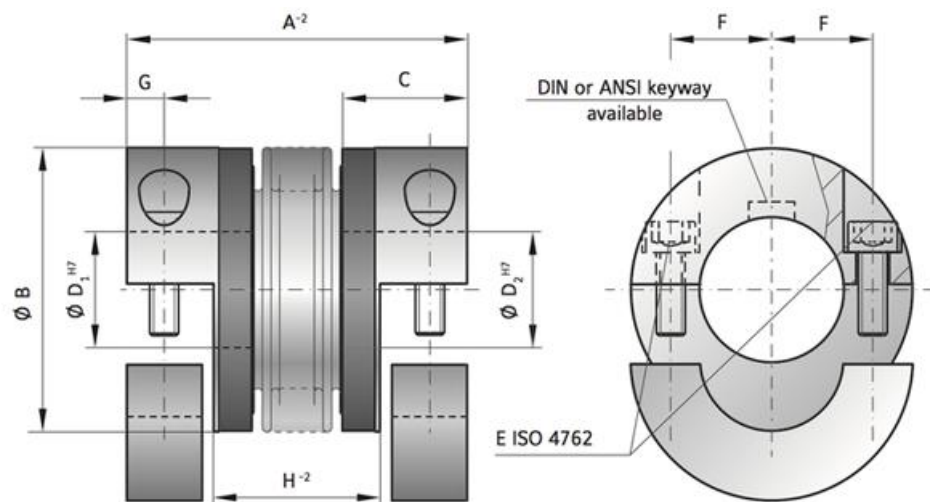


Figura 3.8-Cuplaj mecanic

## 6. Senzorul de cuplu

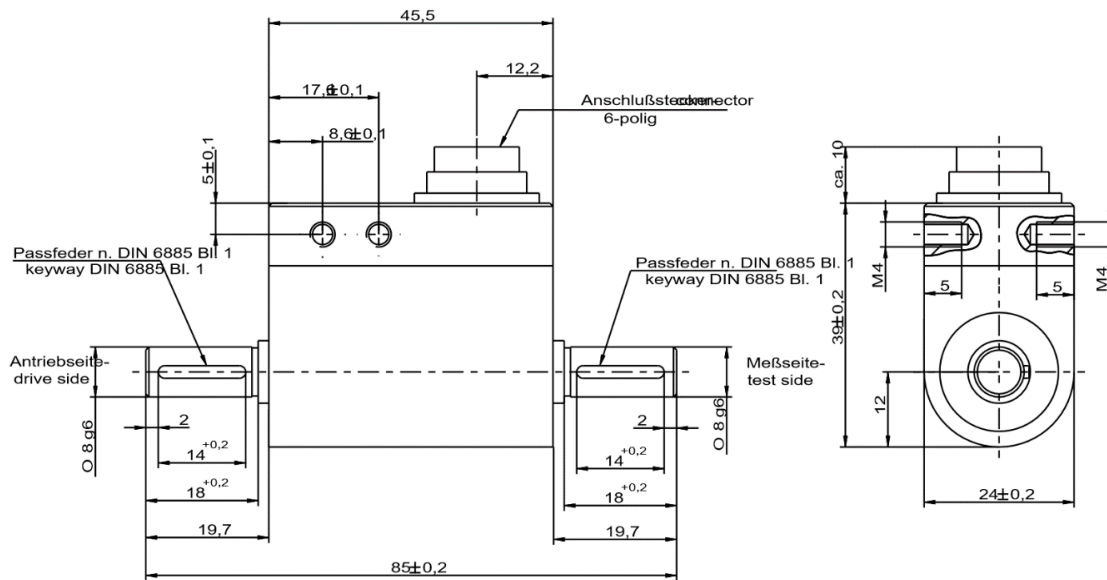


Figura 3.9-Reprezentare 2D a senzorului de cuplu

După cum se vede în Figura 3.9 și cum s-a descris în capitolul 2, senzorul de cuplu conține o tijă interioară, folosită pentru măsurare. Aceasta este conectată în stânga și dreapta cu ansamblul mecanic prin intermediul penelor, de tip DIN 6885, standardizate, și care pot fi găsite în catalogul producătorilor specifici. În partea de sus se poate observa o interfață cu 6 pini, de conectare cu instrumentul de calcul.

## 7. Senzorul de unghi

Senzorul de unghi (Figura 3.10) este incremental, el nu are o limită maximă de măsurare, ci poate ajunge în teorie la orice valoare. Acesta are, din punct de vedere mecanic:

- viteză maximă de rotație de 12000 rpm;
- o deplasare axială maximă a arborelui de măsurat de  $\pm 1$  mm;
- temperatură maximă de exploatare de 80 ° Celsius;
- temperatură minimă de exploatare de 10 ° Celsius;
- masă proprie de aproximativ 300 grame.

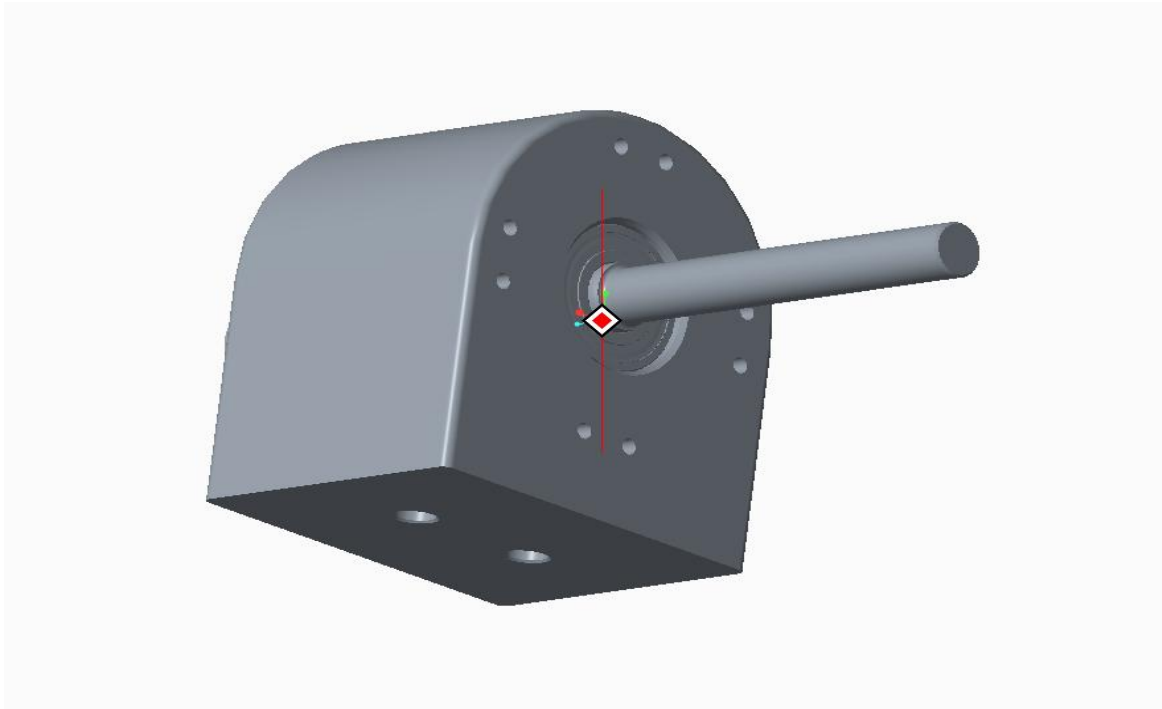


*Figura 3.10-Senzor de unghi incremental ERN 480*

Principala problemă a sistemului este păstrarea coaxialității întregului ansamblului, adică a arborilor și componentelor acestuia. Aceasta se datorează faptului că atât cuplajele, cât și senzorul de unghi permit o deplasare radială de până la un grad. Astfel, în proiectare s-a ținut cont de acțiunea și reacțiunea stânga-dreapta, folosindu-se mai multe seturi de rulmenți și de elemente de fixare.

## 8. Suporturile mecanice

În două din suporturi au fost așezați doi rulmenți pentru o mai bună preluare a forțelor din sistem, și pentru a reduce deplasările radiale ale arborilor, iar în celălalt suport nu a fost pus niciun rulment datorită faptului că reductorul are propriul său rulment. Senzorul de unghi este poziționat cât mai aproape de actuator pentru a avea o deviație unghiulară foarte mică.



*Figura 3.11-Suport cu 2 rulmenți*

Pentru fixarea acestor suporturi pe placă s-au folosit șuruburi speciale, de păsuire (Figura 3.12), cu cap cilindric și locaș hexagonal, toleranță h8. S-a folosit această variantă pentru centrare, șuruburile au diametrul M6.



*Figura 3.12-Șurub de păsuire*

Măsurarea coaxialității se poate face prin mai multe procedee, cele la îndemână sunt cu ajutorul unui comparator sau măsurarea 3d cu o mașină automată. Pentru măsurarea cu un comparator, se folosește un suport magnetic, sub formă de braț, care are ca rol fixarea acestuia pe una din piese, în cazul de față pe un arbore. Brațul are ca efector final comparatorul, care se

așează pe arborele alăturat, de măsurat. Astfel, se încep măsurătorile pentru o poziție, apoi se continuă cu rotirea arborilor, colectarea datelor, și așa mai departe, pentru a se observa orice modificare ce poate apărea odată cu rotirea, adică orice modificare apărută ca urmare a acțiunii actuatorului asupra ansamblului mecanic și electric.

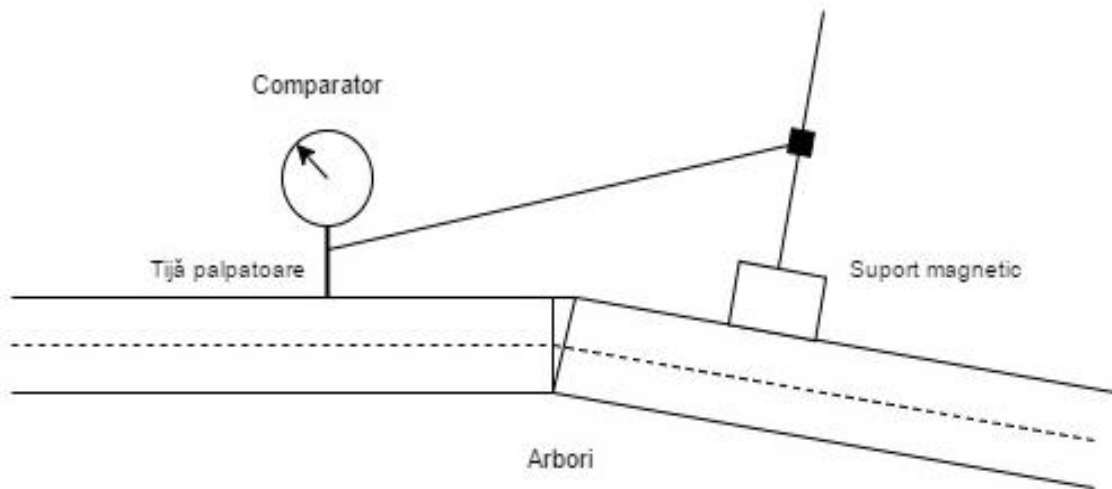


Figura 3.13-Măsurare cu comparatorul

În Figura 3.13 se observă metoda de măsurare cu comparatorul în cazul de față, a sistemului de măsurare a cuplului, reprezentată grosolan, pentru o mai bună vizualizare. Un comparator are o tijă palatoare, un cadran gradat și un ac indicator, și un șurub de blocare. Acesta indică valoarea deplasării palpatorului la contactul dintre acesta și suprafețele arborilor de măsurat.

Pentru calculul și dimensionarea arborilor, a fost făcut un program de calcul ale abaterilor unghiulare în arbori dar și în întregul sistem. Acesta folosește formule din rezistența materialelor pentru calculul abaterii, pentru fiecare arbore în parte dar și pentru fiecare dintre cele două cuplaje mecanice, în funcție de rigiditatea lor, adică rezistența la deformări unghiulare.

În cazul arborilor, materialul este oțel, și este folosit modulul lui Young pentru oțel și coeficientul lui Poisson.

Pe lângă acestea, cuplul maxim considerat a fost de 15 Nm, deși sistemul, mai exact actuatorul nu va avea această forță. Formula folosită pentru calculul torsiunii în arbori este:

$$IpD1 = \frac{\pi(d^4)}{32}, \text{ unde:}$$

d – diametrul arborelui și IpD1- moment de inerție polar pentru diametrul l.

Pentru calculul deformării unghiulare în cazul arborilor s-a folosit formula :

$$\Delta\varphi 1 = \frac{L*1000*l1}{G*IpD1},$$

$\Delta\varphi = 1.062^\circ$  unde:

$\Delta\varphi$  –deformare unghiulară;

L - cuplu maxim;

l1 – lungimea arborelui;

G – modulul elastic transversal;

IpD1 – torsiunea din arbori;

La cuplaje, deformarea unghiulară este egală cu valoarea maximă a cuplului adică 15 Nm împărțită la rigiditatea de torsiune, 20000 Nm/rad.

Din rezultate, se poate observa că deformarea unghiulară în arbori este mult mai mare decât cea din cuplajele mecanice, care sunt folosite pentru păstrarea coaxialității și centrarea arborilor. Astfel, deformarea arborilor va fi de  $0.976^\circ$  iar cea a cuplajelor de  $0.08^\circ$ .



Deformarea unghiulară totală maximă a sistemului (Figura 3.14) va fi astfel de  $1.06^\circ$ . Aceasta este o valoare acceptabilă pentru această aplicație și reprezintă eroarea mecanică maximă, care alături de erorile electronice și de software, va ajuta în calculul erorii totale de

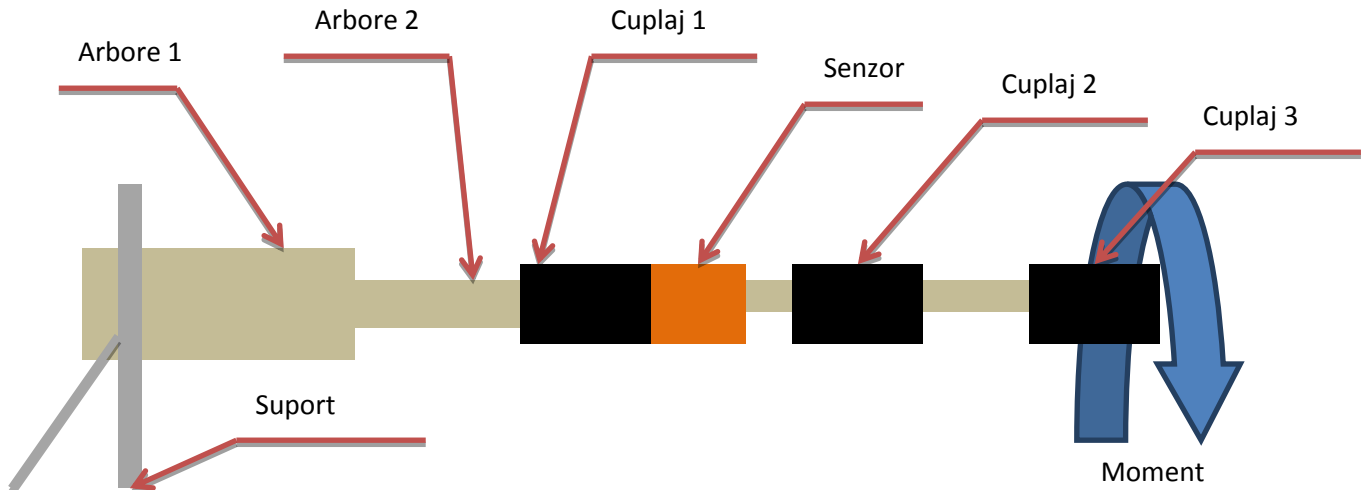


Figura 3.14-Reprezentare generală a sistemului în vederea calculului deformației unghiulare

măsurare.

### 3.3 Partea electronică a sistemului

Din punct de vedere electric, ansamblul este format din:

1. Motor și controlerul acestuia, de tip EPOS2;
2. Ambreiaj;
3. Actuator, controlerul său, unitatea de control motor (ECU) și interfața CAN-usb ;
4. Senzorul de unghi și unitatea externă de control;
5. Senzorul de cuplu și amplificator.

## 1. Motorul Maxon EC-Max și controlerul EPOS2 (Figura 3.15).

Specificații electrice:

- Putere 120 wați;
- Alimentare nominală la 48 V;
- Viteză reală fără încărcare de 10100 rpm;
- Curent la staționare 310mA;
- Curent maxim 4.06 A;
- Eficiență maximă 85%;
- Constantă de viteză 213rpm/V;



Figura 3.15-Controlerul EPOS2

Motorul este fără perii, cu alimentare la curent continuu, de tip EC, adică este controlat

electronic. Asta înseamnă că motorul are magneți permanenți pe rotor și este folosită electronica pentru controlul voltajului și curentului aplicat motorului. Ele funcționează pe baza interacțiunii câmpurilor magnetice, unul din ele fiind creat de rotor și unul de stator. Specific, motoarele EC folosesc magneții permanenți pentru a crea câmpul rotorului, și o serie de bobine controlate de un comutator (controler) electronic pentru a crea câmpul magnetic al statorului.

Datorită lipsei periilor, durata de viață a motorului crește, și riscul de scurt-circuit dispare. Pentru că statorul este controlat electronic, și nu este nevoie de o irosire a curentului electric pentru inducerea câmpului pe stator, are o performanță și un control mai bun, și de asemenea, emană mai puțină căldură deci au pierderi mai mici decât motoarele obișnuite. Din aceste motive sunt folosite în multe aplicații de puteri mici unde eficiența și controlul precis sunt dorite.

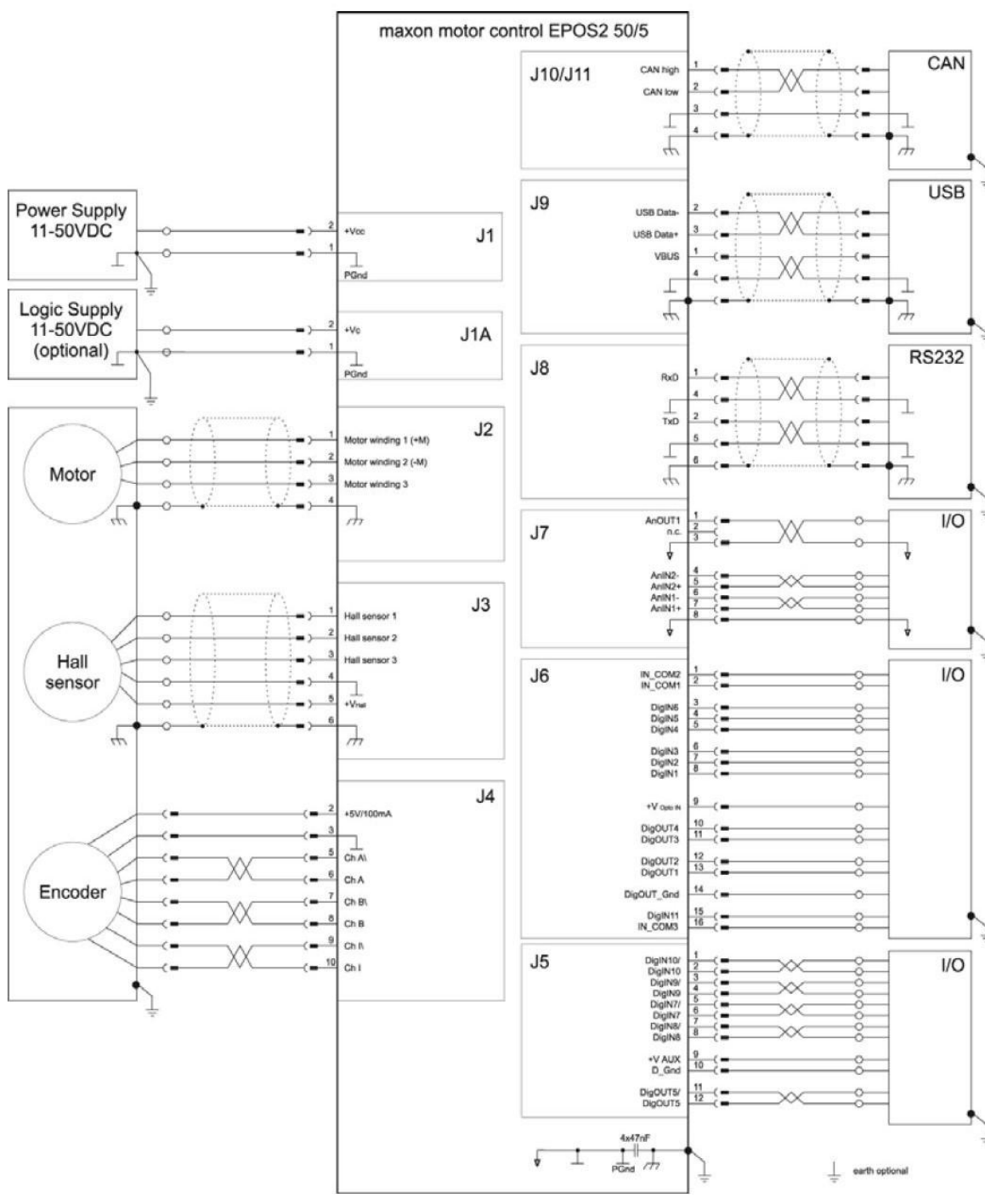


Figura 3.16-Controller motor de tip EPOS2

În Figura 3.16 se poate observa schema electrică a controllerului EPOS2, cu ajutorul căreia se comandă și se citesc datele de stare ale motorului. Acesta vine cu un software de

comandă, cu care se face o setare inițială a motorului, permițând funcționarea acestuia în mai multe moduri. Din reprezentare, se vede felul în care se conectează controlerul, și anume: sursă de tensiune standard sau logică, pe poziția J1, respectiv J1A. Motorul se conectează pe poziția J2, iar dacă acesta este dotat cu un senzor Hall, există poziția J3, în timp ce pe J4 este conectat encoder-ul motorului Maxon.

Controlerul mai permite conectarea diverselor interfețe de comunicare, dar și a unor dispozitive care pot fi citite sau controlate. Acestea sunt interfața CAN pe J10/J11, USB pe J9, interfața serială RS232 pe J8, iar diversele tipuri de dispozitive se pot conecta la J5, J6 și J7.

## 2. Ambreiaj Kendrion 86 011



*Figura 3.17-Ambreiaj Kendrion*

Acesta este alimentat la o tensiune continuă de 24 de V, și la un curent de maxim 0.7A. Pentru utilizarea normală și testarea inițială însă, acesta va fi alimentat cu aproximativ 0.1A pentru a permite o alunecare, care să prevină distrugerea componentelor în cazul unei erori de citire, de software, ș.a.m.d. . Ambreiajul poate fi controlat prin controlerul EPOS2 sau direct de la sursa de alimentare, prin pornirea sau oprirea alimentării.

El suportă un cuplu maxim de 150 Nm, la curentul maxim de 0.7A, fiind făcut din mai multe ambreiaje cu un singur disc fără inel de alunecare. Se caracterizează prin faptul că efectul dinamic al câmpului electromagnetic este folosit pentru transmiterea cuplului (ambreiajele în sine vin în contact datorită acestui câmp electromagnetic). Tipul acesta de ambreiaj asigură o eliberare în siguranță, fără probleme de fiabilitate, respectiv fără cuplu rezidual în nicio poziție în care este montat. Pentru acest ambreiaj nu este nevoie de mentenanță pe parcursul duratei lui de viață.

Aplicațiile lui pot fi în diverse domenii:

- industria automotive;
- industria de fabricat echipamente;
- tehnologiile de manipulare de obiecte;
- instalații ale clădirilor;
- tehnologii medicale;
- mașini de împachetat.

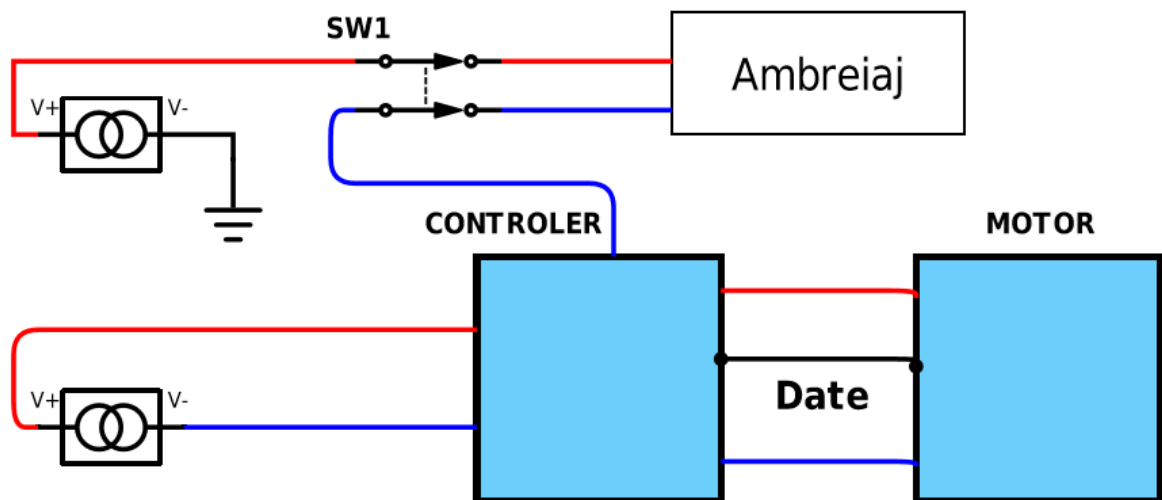


Figura 3.18-Ansamblul și conexiunile electrice dintre sursele de alimentare și motor, controler și ambreiaj

Din figura 3.18 se poate observa cu roșu alimentarea, adică borna pozitivă și cu albastru borna negativă. Atât controlerul cât și ambreiajul sunt conectate la surse de tensiune, alimentarea motorului făcându-se prin intermediul controlerului. Între alimentarea pozitivă și cea negativă a ambreiajului a fost poziționată o diodă pentru a limita tensiunea apărută la bornele bobinei ambreiajului odată cu deschiderea circuitului (oprirea). La nivelul comunicării dintre motor și controler există cablurile de alimentare, respectiv cablul de transfer date.

### 3. Actuator, unitatea de control motor și interfața CAN – USB

Timpul de răspuns al actuatorului este de sub 100ms chiar și la 140 de grade Celsius. Viteza de rotație maximă fără încărcare este de 6000 rpm, iar curentul în cazul acesta este de 0.5 A. Acesta se alimentează la 12 V curent continuu, de la o sursă externă. În timpul funcționării, motorul de curent continuu actuează arborele de ieșire prin intermediul unei roți dințate cilindrice către un arc de resetare. În modul normal de operare, actuatorul funcționează pe baza semnalului PWM descris în capitolul 3. Arcul de resetare readuce arborele la poziția normală, dacă motorul nu este alimentat. Astfel, arcul de resetare trebuie să aibă o forță mai mare decât frecarea din motor.

Actuatorul conține un senzor magneto-rezistiv KMA210 (Figura 3.19), care poate măsura un unghi între 0 și 180 de grade. Acesta poate fi folosit pentru citirea poziției actuatorului, prin intermediul unității de control motor.

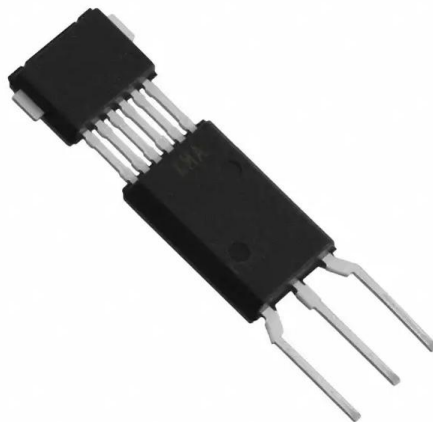


Figura 3.19-Senzor KMA210

### Specificații:

- Temperaturi de funcționare de până la 160 °C.
- Protecție la supratensiuni de până la 16 V.
- Poate fi programat de utilizator.
- Calibrat din fabrică.

Cei trei pini care se pot observa în Figura 3.19 reprezintă, de la stânga la dreapta, Vdd, alimentarea, GND, masa, și OUT/DATA, pinul prin care se transmite informația de la senzor.

Senzorul amplifică două semnale diferențiale, care sunt mai apoi transformate într-un domeniu digital. Unghiul se calculează folosind un algoritm specific, iar semnalul analogic este transmis către ieșire. Asta se întâmplă după conversia digital-analogic, valoarea efectivă fiind reprezentată liniar.

Senzorul KMA210 mai face o verificare constantă de redundanță, alături de o verificare a erorilor, precum și o detecție a firelor rupte. Un circuit de detecție a întreruperii alimentării trimite semnalul analogic către pinul rămas, dacă alimentarea sau masa sunt întrerupte. Parametri de configurare se salvează în memoria non-volatilă, la care poate avea acces utilizatorul prin pinul OUT/DATA. Memoria mai are o funcție de blocare, dacă este folosită, conținutul acesteia nu mai poate fi schimbat.

Interfața USB-CANmodul1, este folosită la conectarea unui bus CAN la PC prin intermediul conexiunii USB. Tehnologia CAN (Controller Area Network) a fost dezvoltată în 1985 de Bosch pentru rețelele din interiorul autovehiculelor. Înainte de aceasta, producătorii automotive foloseau conexiuni simple, directe, între diverse elemente electronice din mașini. Acestea, odată cu apariția diverselor tehnologii și funcții de confort au început să ocupe prea mult spațiu și să adauge greutate mașinii. Astfel, tehnologia CAN, adoptată și devenită standard internațional imediat, a înlocuit o mare parte din fire, creând o rețea în autovehicul.

CAN oferă posibilitatea comunicării diverselor dispozitive între ele. Un avantaj este chiar la unitatea de control motor (ECU), care folosește o singură interfață CAN în locul intrărilor analogice sau digitale separate pentru fiecare dispozitiv din sistem. Fiecare dispozitiv este inteligent, ele pot vedea toate mesajele transmise și gestiona importanța și relevanța

acestora individual. Aceste mesaje au o prioritate, fiind transmise in funcție de aceasta, cele care nu sunt prioritare fiind întârziate.

În Figura 3.20 este reprezentată o comparație între un sistem de dimensiuni reduse cu interfața CAN și fără interfața CAN.

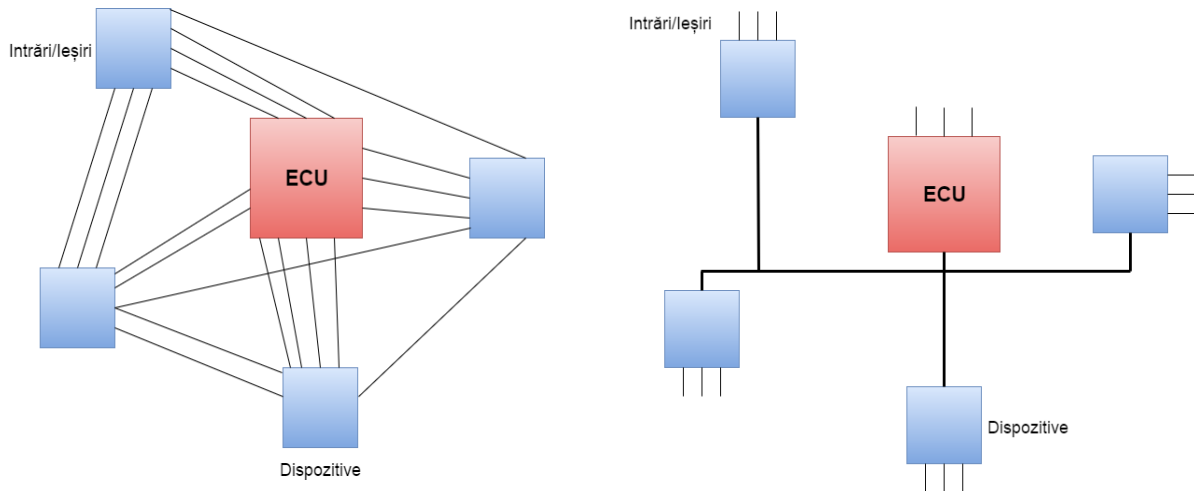


Figura 3.20-Sistem fără CAN (stânga) și cu CAN (dreapta)

Principalul tip de CAN folosit este cel de viteză mare, care permite un transfer de până la 1 Mbit/s. Acestea sunt folosite pentru sistemele ABS (Antilock Brake System), care nu permite blocarea roților la frânare, module de control motor și sisteme de emisii. Un tip modern de interfață CAN este cea cu rată flexibilă de transfer a datelor. Anumiți producători, pe baza unor drivere specializate, au optimizat transferul de date obținând astfel viteze de până la 8Mbit/s.

O unitate de control motor (ECU), denumit de unii creierul mașinii, este folosit pentru controlul și monitorizarea funcțiilor motorului, precum determinarea poziției pedalei de accelerație la ralanti. Asta face ca mașina să știe cât combustibil să dea motorului bazat pe apăsarea accelerației. Unitatea de control motor mai controlează transmisia, spunându-I mașinii când să schimbe vitezele, în cazul unei cutii automate. De asemenea, unele unități ECU, denumite module de confort sau de control, gestionează geamurile, închiderea, senzorii și alte accesorii din mașină.



Înainte de apariția ECU, singurul dispozitiv nemecanic din mașină era radioul. Astfel, închiderea automată, geamurile automate, și toate funcțiile pe care majoritatea le consideră normale erau manuale. Printre principalele funcții ale ECU este monitorizarea acțiunilor mașinii, pentru înregistrarea erorilor, și, în funcție de problemă apare un martor de avertizare în bordul mașinii, în general martorul de verificare motor.

Dezavantajul este că în cazul unei defecțiuni, ECU-ul trebuie reparat sau schimbat, dacă placa de bază din acesta este corodată sau arsă.

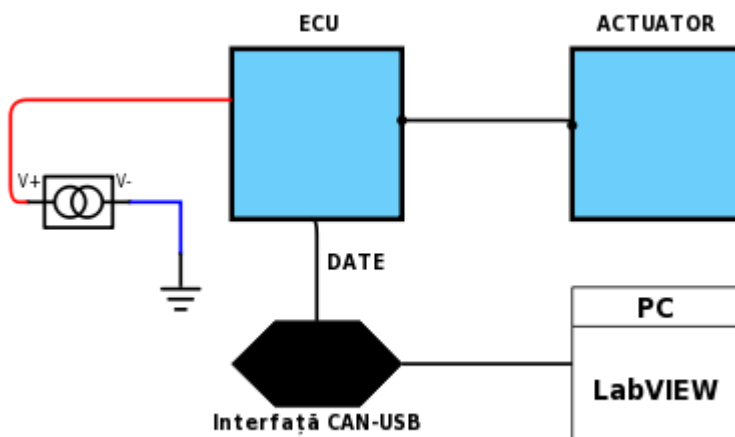


Figura 3.21-Schema de conectare a unității de control motor, actuatorului și a interfeței CAN

În Figura 3.21 este reprezentată o diagramă de conectare a componentelor în cazul sistemului de măsurare a cuplului. Alimentarea se face de la o sursă de curent continuu, doar la ECU. Acesta face legătura între interfața CAN și actuator, fiind cel ce transmite instrucțiunile primite de la PC către acesta.

#### 4. Senzorul de unghi și unitatea externă de control EIB 741

Senzorul de unghi Heidenhain ERN 480 este un senzor incremental, numit și encoder, și funcționează prin procedeul deja explicat în capitolul 2, cu specificația că măsoară fiecare incrementare (pas) de la un anumit punct de origine. Acesta, având nevoie de o referință absolută, are un traseu în plus pe discul de rotație, care conține un marcaj de referință. Acesta are un singur pas de măsurare, și trebuie scanat pentru a stabili o referință sau a găsi o poziție selectată. Numărul de măsurări pe o rotație este de 1000 de valori.

Acestea operează pe principiul fără contact, deci fără uzură, a scanării fotoelectrice explicat în capitolul 2. Senzorul conține celule fotovoltaice care convertesc variațiile luminii în semnale aproape sinusoidale. Dimensiunea celulelor este de 10  $\mu\text{m}$ .



Figura 3.22- Unitatea externă EIB 741

Unitatea de control (Figura 3.22) are rolul de a facilita citirea datelor de la senzor și transferul lor către un calculator sau alt dispozitiv cu port Ethernet. Pe lângă aceasta, mai permite utilizarea unui “trăgaci”, adică a unui dispozitiv extern tip generator de semnal care să activeze citirea senzorului la un interval dorit de timp.

Se permite conectarea simultană a patru senzori de unghi, și a unui singur dispozitiv de activare a citirii. Totuși, interfața are integrat un astfel de “trăgaci” care se poate selecta din programul făcut în LabVIEW.

Funcționarea unității se realizează prin crearea unei noi rețele, similară cu cea de internet dar cu datele oferite de producător, prin care se stabilește portul de comunicare între aceasta și PC. Din punct de vedere funcțional, este prevăzută cu un buton de on/off și trei leduri, unul care indică dacă este alimentată sau nu, unul care indică dacă există o comunicare

LAN între aceasta și un dispozitiv (PC), și unul de status care arată dacă aceasta primește date de la senzor sau nu.

Specificații:

- Intrare de tip D-sub, cu 15 pini, mamă, pentru 4 senzori.
- Alimentare pentru senzori :  $5.12 \text{ V} \pm 0.15 \text{ V}$ , maxim 450mA per senzor, cu protecție la supracurenți, la 550 mA.
- Lungime maximă a cablului de 150m.
- Frecvență a datelor de intrare de maxim 500kHz.
- Interfață de comunicare Ethernet IEE 802.3 (maxim 1Gbit).
- Temperatură de funcționare între 0 și 45 grade Celsius.
- Intrare de tip D-sub, 9 pini, tată.
- Memorie de 250000 de valori per canal.

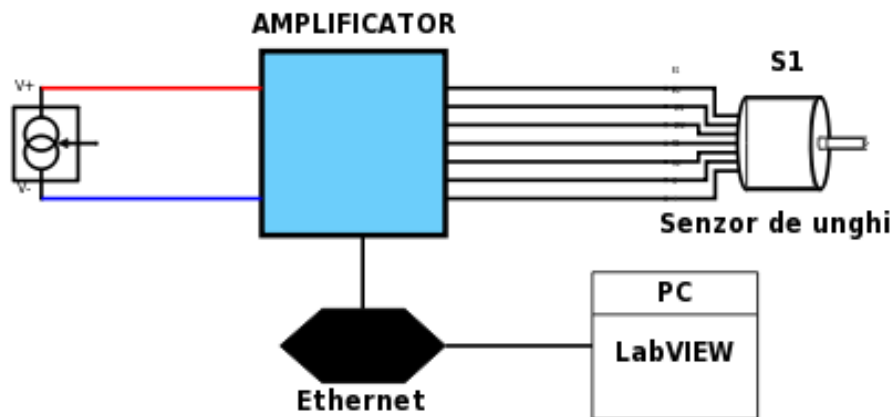


Figura 3.23-schema de conectare a senzorului de unghi

În Figura 3.23 se poate observa conectarea senzorului prin intermediul elementelor intermediare, la PC, și anume la interfața LabVIEW. Senzorul de unghi se conectează direct la amplificator, adică la unitatea EIB 741, oferită de producătorul senzorului, Heidenhain. Aceasta la rândul ei este alimentată de la rețea, fără alte intervenții. Prin intermediul portului Ethernet se realizează comunicarea cu PC-ul, cu ajutorul unei conexiuni automate de tip Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) sau a unei conexiuni stabilite manual.

## 5. Senzorul de cuplu



*Figura 3.24-senzor de cuplu Lorenz*

Specificațiile senzorului de cuplu (Figura 3.24):

- Cuplu nominal de 10 Nm;
- Viteză limită de
- Forță de apăsare limită 780 N;
- Repetabilitatea rezultatului de  $\pm 0,05$ ;
- Conexiune electrică tip 6-pini, serie 723;
- Sensibilitate: 1 mV/V.

## 4. Programele de automatizare și control (Labview)

LabVIEW, sau Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, este un mediu de programare prin care se creează programe folosind simboluri grafice conectate între ele cu fire prin care trec datele. Astfel, diferă de limbajele de programare clasice precum Java sau C++, în care se programează text (cod). Totuși, LabVIEW nu este doar un mediu de programare ci un sistem de execuție și dezvoltare creat pentru persoane din diverse domenii, precum ingineri sau cercetători, care au nevoie să programeze ca parte din activitatea lor.

LabVIEW funcționează pe calculatoare cu Windows, Mac OS, sau Linux și poate crea aplicații pentru acestea sau multe alte sisteme de operare, precum Microsoft Pocket PC, sau platforme dedicate, inclusiv procesoare de semnal (DSP) sau microprocesoare.

Folosește un limbaj de programare foarte versatil și potent, numit de mulți utilizatori “G” de la grafic, și poate crește productivitatea foarte rapid. Programele ce pot fi scrise în LabVIEW în doar câteva ore durează, în scrierea sub formă de cod, chiar și câteva zile sau săptămâni. Aceasta se datorează faptului că LabVIEW a fost creat special pentru simulări, măsurători și afișarea rezultatelor experimentale, se folosește des pentru prezentare de noi idei, prezentarea unor concepte de programare, ș.a.

De asemenea, datorită faptului ca LabVIEW e bazat pe software, utilizatorul decide funcționalitatea instrumentului. Astfel, se poate crea instrumentul virtual (programul) dorită și/sau necesară în funcție de aplicație, la un cost mult redus față de soluțiile tradiționale. Când nevoile se schimbă, se poate schimba foarte ușor și instrumentul virtual.

LabVIEW are biblioteci de funcții și subprograme care realizează mare parte din funcțiile obișnuite ale programării fără problemele și dificultățile apărute în programarea scrisă. De asemenea, există funcții prestabilite pentru achiziția de date (DAQ), interfața GPIB (General purpose interface bus), interfețe seriale și comunicarea pe internet. Bibliotecile conțin diverse funcții, cum ar fi generatoare de semnal, filtre, statistică, algebră liniară și operații cu mulțimi de numere.

Datorită naturii grafice a LabVIEW, acesta este practic o formă de prezentare a datelor. Ieșirea poate fi sub orice formă, inclusiv grafice sau alte tipuri de reprezentări. Programele LabVIEW sunt portabile între platformele de operare (sisteme de operare precum Microsoft Windows, Macintosh, ș.a.), deci pot rula între ele fără vreo modificare a aplicației. În felul ăsta, LabVIEW este folosit în inginerie, controlul proceselor, chimie, fizică, învățământ, etc.

Fluxul de date din LabVIEW este diferit de dezvoltarea standard a sistemelor precum C sau Java prin crearea unor diagrame bloc, adică programe grafice, față de liniile de cod bazate pe text. Acesta elimină detaliile sintactice ale mediilor de programare precum prezența punctului și virgulei, sau a poziției parantezelor de diferite tipuri.

Astfel, se permite concentrarea pe fluxul de date, care se bazează pe principiul că o funcție nu se execută până când nu primește datele necesare. De asemenea, chiar dacă LabVIEW nu este bazat pe linii de cod text, principiile programării sunt aceleași, fiind folosite structuri specifice, precum cele repetitive.

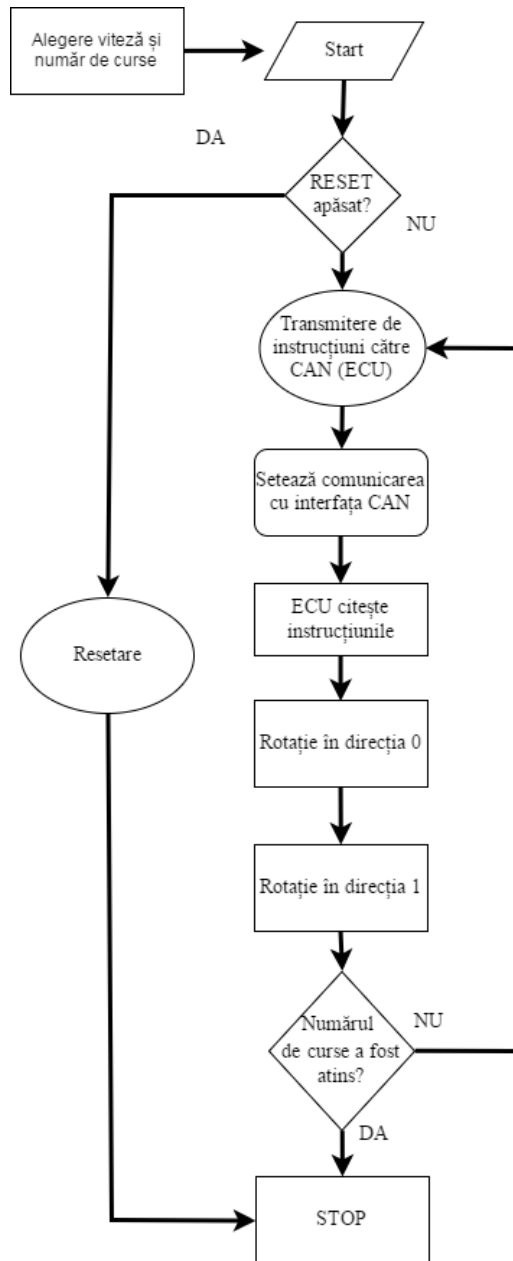
Un program în LabVIEW constă într-unul sau mai multe instrumente virtuale (VI-virtual instrument), fiind numite astfel deoarece aspectul lor (interfața) arată deseori precum un instrument fizic.

Panoul frontal este o interfață interactivă cu utilizatorul, și poate conține butoane simple, butoane radio, grafice, controale, și indicatori, adică ieșirile din program. Diagrama bloc este codul sursă a programului făcut în LabVIEW, reprezentând actualmente programul ce se execută. Componentele diagramei bloc sunt alte diagrame bloc, numite subVI, funcții prestabilite, constante, și structuri de control a execuției. Pentru conectarea obiectelor din diagrama bloc și definirea fluxului de date, se trag fire virtuale între acestea. Panoul frontal are terminale corespondente celor din diagrama bloc pentru transferul datelor între utilizator, program și retur.

Pentru folosirea unei subrutine (subprogram-subVI), care reprezintă un alt program de sine stătător, acesta trebuie să prezinte o imagine cu un conector. Reprezentarea vizuală a unui subprogram este folosită ca bloc în programul în care este refolosit acesta.

## 4.1 Interfața CAN, unitatea de control motor și actuatorul

În programul pentru controlul actuatorului s-a urmărit controlul acestuia cu viteza dorită și automat, fără intervenția umană pe durata procesului, cu scopul de a realiza un număr finit de curse, pentru testare.



Actuatorul se rotește odată cu primirea impulsurilor electrice de la ECU. ECU-ul funcționează pe baza unor instrucțiuni sub formă de mulțimi de numere de până la 8 biți fiecare număr. Asta înseamnă, valori între 0 și 255. Aceste numere semnifică valorile zecimale a unor instrucțiuni sub formă hexadecimale. Aceste instrucțiuni înseamnă totul pentru actuator, de la activare și la transmiterea unui semnal de tip PWM (pulse width modulation), a cărui caracteristici se vor traduce în viteza de rotație a actuatorului.

În schema bloc (Figura 4.1) se poate observa felul în care funcționează actuatorul, cu ajutorul LabVIEW. În panoul frontal (Figura 34) se poate vedea butonul de RESET, numărul de curse (number of runs), și 3 mulțimi de numere. Aceste mulțimi reprezintă instrucțiunile transmise pentru fiecare cursă dar și răspunsul ECU-ului. ECU-ul transmite un răspuns după fiecare instrucțiune primită, care poate însemna diverse lucruri, precum reușită, eșec, eroare

de comunicare, comandă greșită, etc. Există și un timp de așteptare între instrucțiuni, care

Figura 4.1-Schema bloc de funcționare a actuatorului prin ECU și CAN

permite actuatorului să termine rotația într-un sens, înainte de a se roti în celălalt.

Astfel, înainte de rularea programului, se alege o viteză, un număr de curse, și în funcție de butonul Reset se pornește sau se resetează comunicația cu ECU-ul. Programul funcționează până la atingerea numărului de curse, asta înseamnă o rotație de tip 0-112, 112-0 grade.

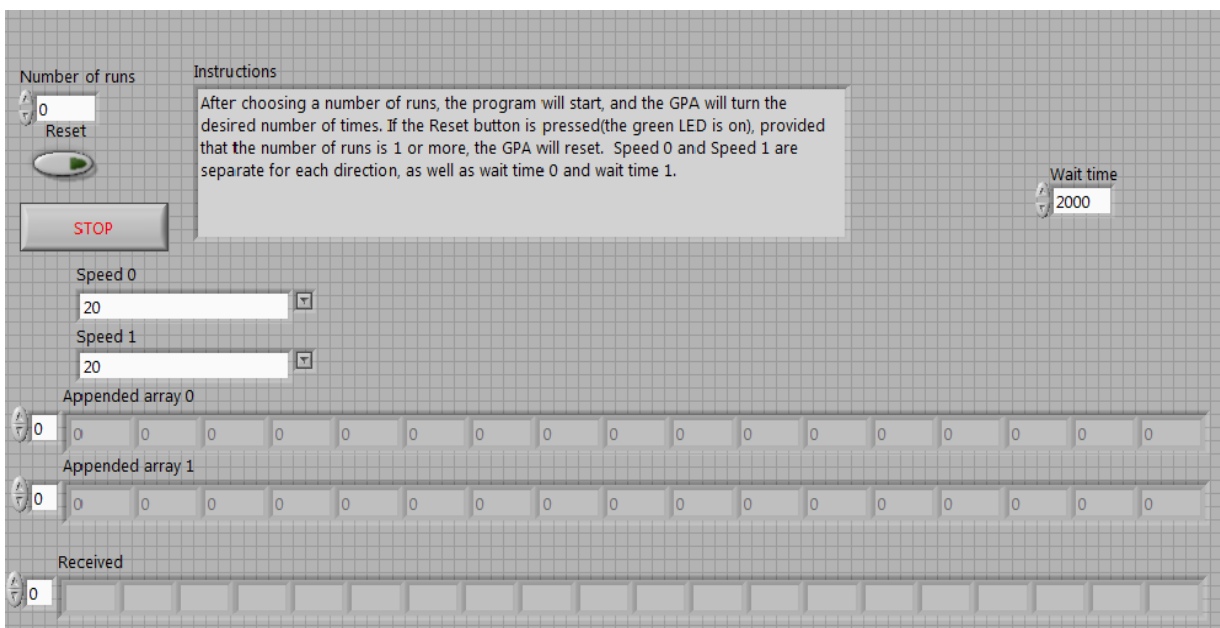


Figura 4.2-Panou frontal de control al actuatorului

Comunicarea se realizează inițial prin instalarea unui driver al interfeței CAN, transferul de date mai apoi se face în LabVIEW prin inițializarea unei conexiuni în funcție de numărul de port, setarea unei stări a interfeței CAN, o rată de eșantionare a datelor și multe altele. Această inițializare complexă a fost creată de programatorii din Germania care au realizat și o parte din software-ul pentru ECU.

Datele numerice de control, menționate mai devreme, sunt transmise, după cum se poate observa în Figura 4.2, către blocul de inițializare a interfeței CAN, care permite transferul datelor. Acest lucru se întâmplă concomitent, iar după răspunsul actuatorului, conexiunea se închide. Pentru o singură cursă au loc patru transferuri de date, în Figura 4.3 este reprezentat programul descris. În program, mai există în fundal o secvență aproape în totalitate identică, diferind doar aranjamentul blocurilor și comanda direcției de rotație a actuatorului. Astfel, au





## 4.2 Motorul Maxon și controlerul EPOS2

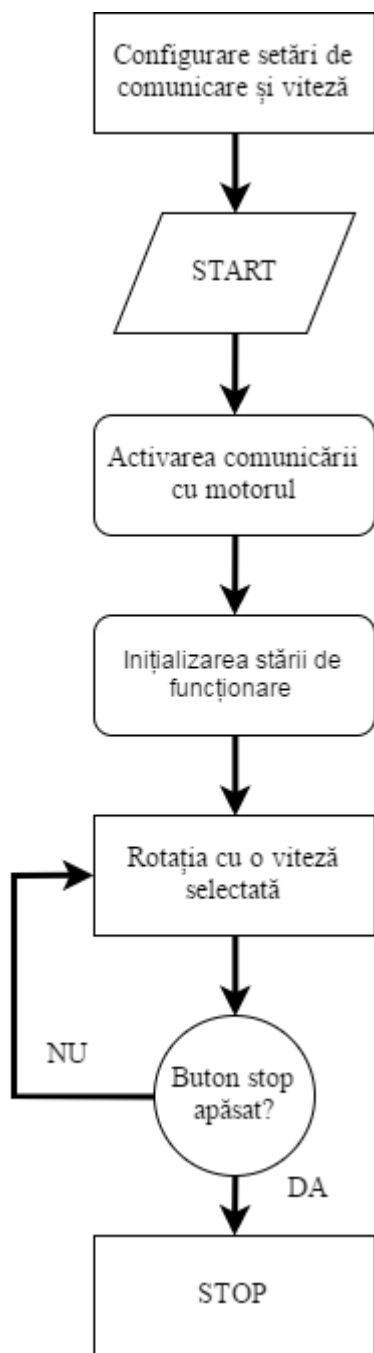


Figura 4.4-Schema bloc de funcționare a motorului

Pentru motor (frână), programul a fost oferit de către producător, cu mențiunea că deși acesta permitea selectarea modului de lucru, software-ul în sine a trebuit ajustat în mare măsură pentru funcționarea în felul în care s-a dorit. În schema bloc (Figura 4.4), asta a însemnat blocul 5, rotația cu o viteză selectată.

Configurarea setărilor este primul pas, și anume setările de comunicare, interfața, în cazul de față USB, numele controlerului, viteza de rotație, cu un sens sau altul, și accelerația, respectiv frânarea. Motorul nu permite accelerații sau frânări diferite. De asemenea, pe partea de software a trebuit implementată o funcție de setare a vitezei maxime de accelerare/decelerare la fiecare rulare a programului, datorită faptului că la oprire, motorul se reseta pe o viteză maximă sub 4000 de rotații pe minut. De asemenea, controlerul nu acceptă decât rata de eșantionare standard, de 1Mbit/s, adică un milion de valori pe secundă.

La rulare, software-ul activează portul de comunicare, identifică dispozitivul și apoi îl activează pe starea de funcționare. Următorul eveniment îl reprezintă accelerarea arborelui motorului până la viteza dorită.

Aceasta poate fi controlată pe parcursul rulării, la fel și accelerarea, decelerarea și schimbarea sensului.

Motorul continuă să fie activ până la oprirea rulării programului. Viteza controlată din software este cea de la motor, de până la 10100 rpm, nu cea de la arbore, de 936 ori mai mică.

În Figura 4.5, pe panoul frontal de control al motorului Maxon se poate observa blocul de control a comunicării dintre PC (LabVIEW) și motor, prin intermediul controlerului, viteza de rotație 1 și viteza de rotație 2, care este cea folosită în rularea obișnuită a programului. Cu “Velocity” s-a notat controlul numeric al vitezei pentru aplicația de față.

Butonul de delay este folosit pentru încetinirea rulării programului, el reprezintă o funcție de așteptare, și oprește programul timp de un număr de milisecunde selectat de utilizator, pentru eliberarea procesorului, având un efect considerabil în reducerea puterii de calcul folosite. NodeID este o identificare a poziției pe care o ia dispozitivul cand este citit de PC.

Controalele de timeout controlează oprirea programului, urmată de o eroare, în cazul în care acesta nu mai are activitate timp de un anumit timp.

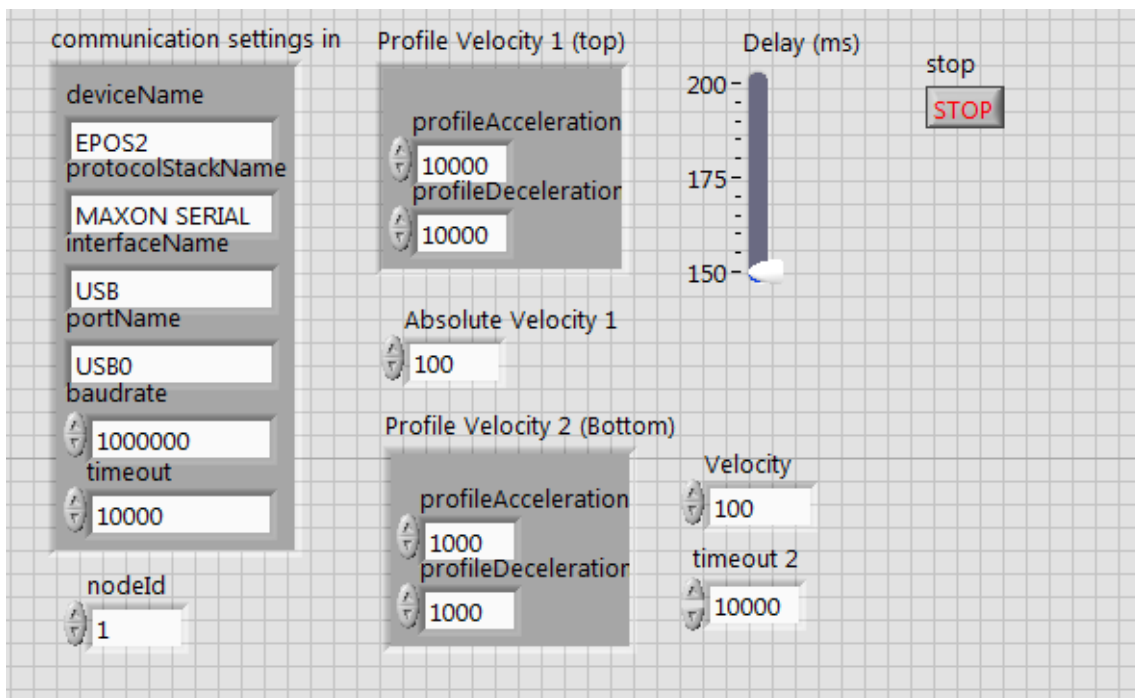


Figura 4.5-Panoul frontal de control al motorului

În Figura 4.6 este reprezentat programul de control al motorului, și reprezintă “codul” propriu-zis din LabVIEW. Blocul (chenarul) mare, gri, este un Loop, o secvență repetitivă, care funcționează până este apăsat butonul Stop. Blocurile de sus sunt cele de inițializare, iar în interior se petrece rularea continuă a programului, deci este transmisă viteza selectată, accelerarea, decelerarea și alte informații și setări.

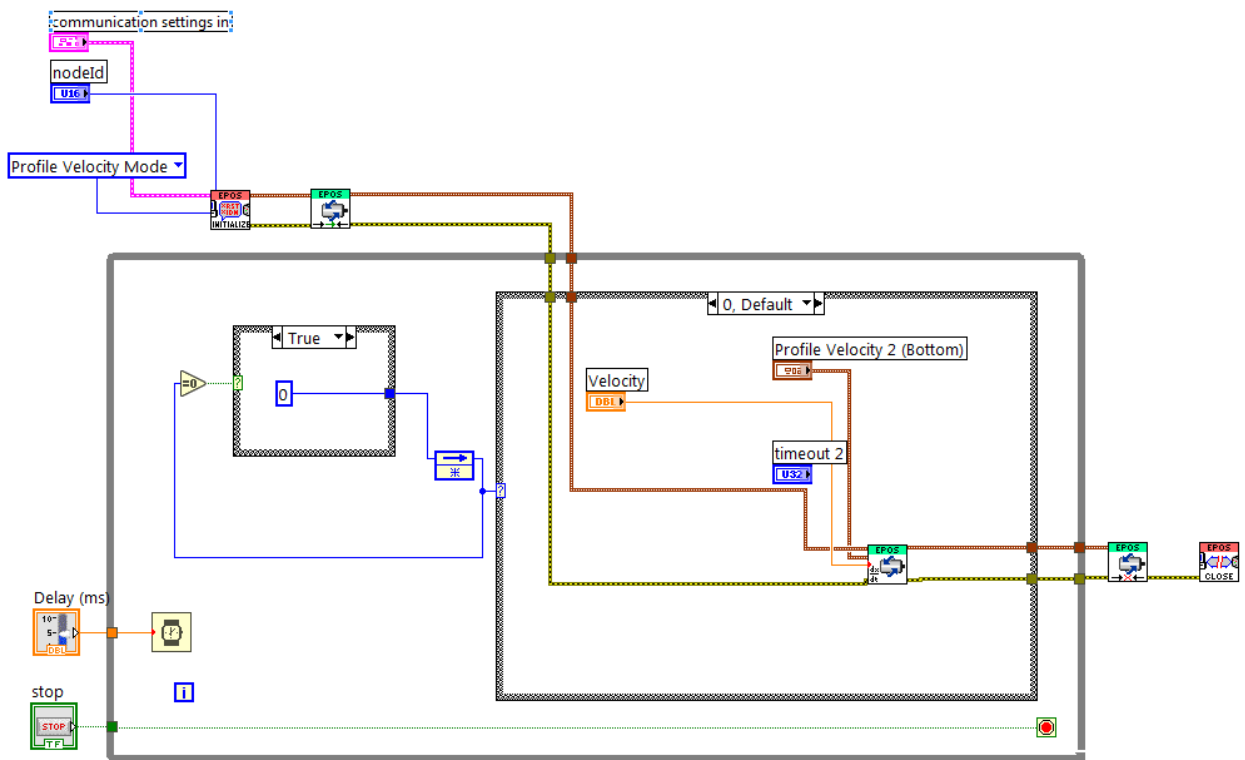


Figura 4.6-Programul din LabVIEW de control al motorului

În Figura 4.7 este reprezentat un subprogram (SubVI) al motorului, și anume cel de control al vitezei. Funcțiile din interiorul blocurilor au fost incluse în biblioteca oferită de producător. De asemenea, trebuie respectată o ordine de activare a funcțiilor motorului, fără aceasta el nu poate funcționa. Mai mult decât atât, motorul nu funcționează nici fără funcțiile care nu ajută activ la vreuna din acțiunile sale, ele fiind “catalogate” ca necesare de producător, pentru informare și/sau siguranță.

Cele trei blocuri din interior reprezintă setarea vitezei cu care dorim să se rotească acesta, răspunsul motorului care afișează viteza țintă, el nefiind necesar la funcționare, respectiv pornirea fizică a rotației motorului, până la viteza dorită.

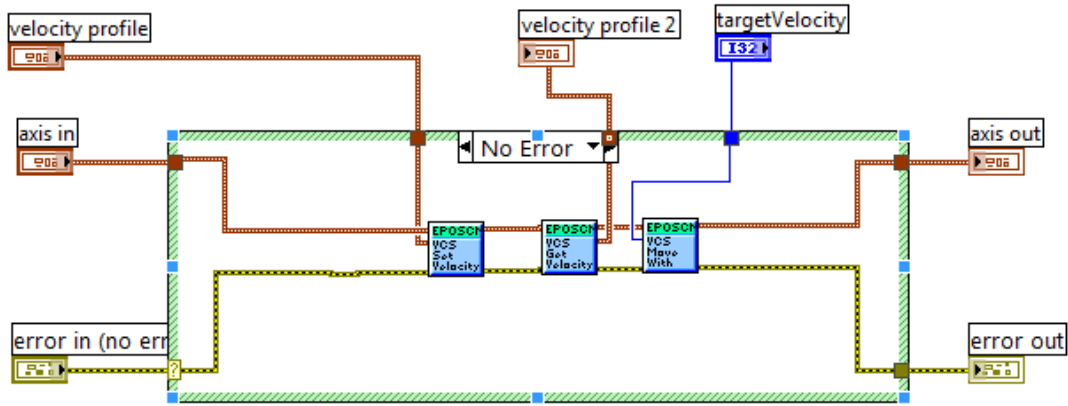


Figura 4.7-Subprogramul de control al modului de lucru

### 4.3 Senzorul de unghi și interfața externă de control

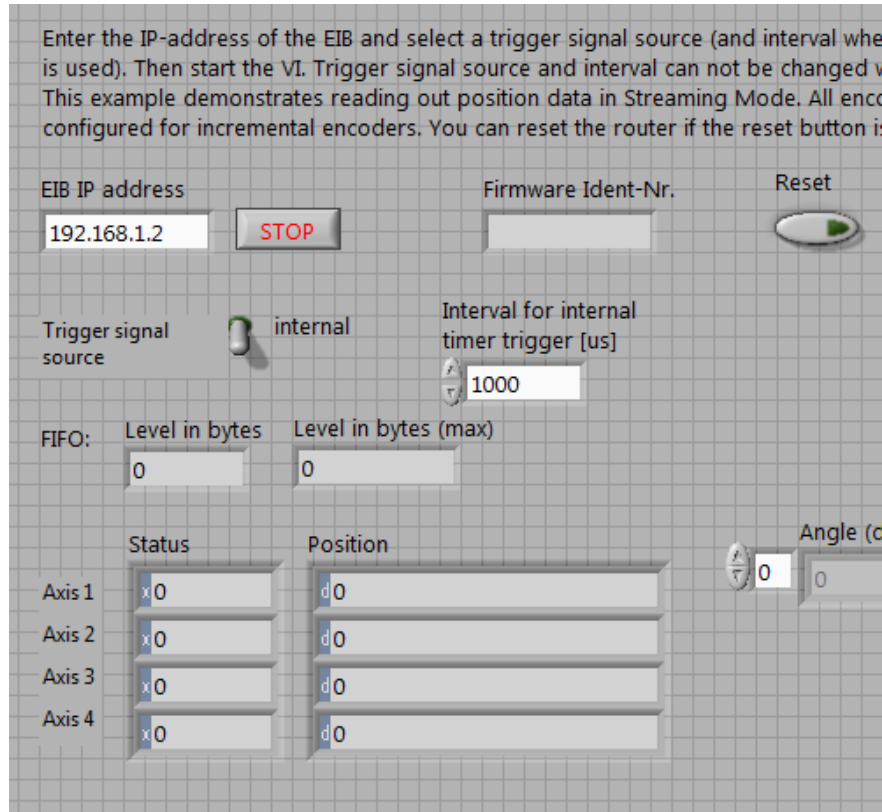
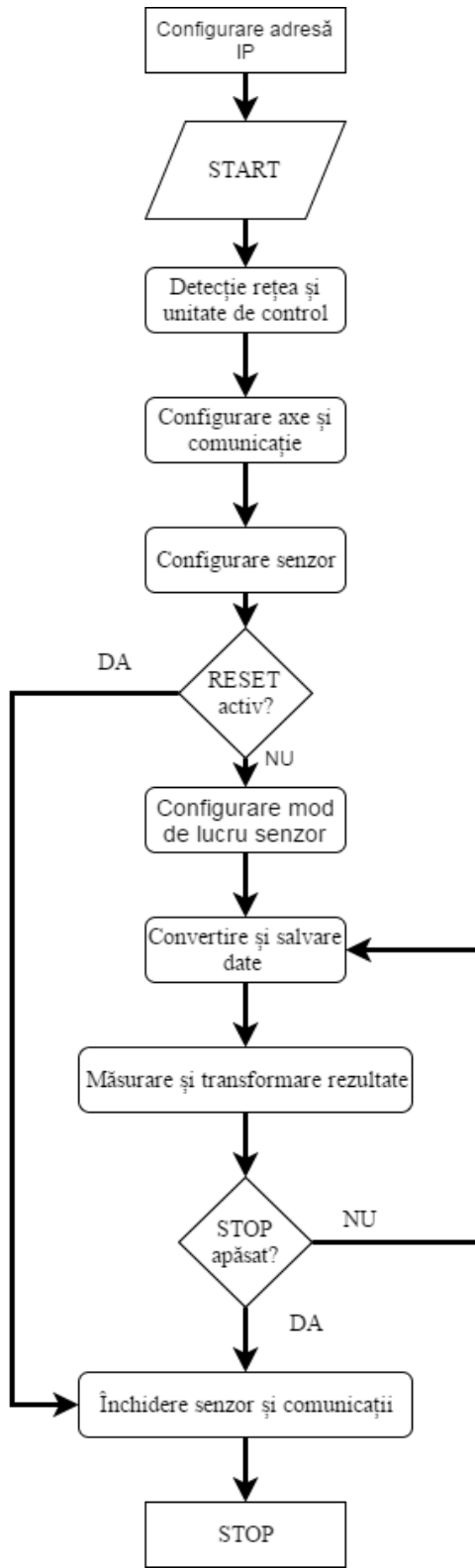


Figura 4.8-Panoul frontal al senzorului

În Figura 4.8 se poate observa panoul frontal din LabVIEW, în care sunt afișate valorile citite. Există un buton de reset a cărui funcție se poate vedea în schema bloc de funcționare (Figura 4.9) și care repornește unitatea de control externă, resetând întreaga configurație, inclusiv comunicarea cu PC-ul. De aceea, după resetare, senzorul are nevoie de 30-45 de secunde pentru a putea afișa valori din nou.

Există un control al adresei IP a rețelei și un buton de control a declanșatorului pentru senzor. Acesta controlează numărul de valori măsurate pe secundă, și poate fi intern sau extern, în funcție de un

dispozitiv separat, pentru măsura doar la apariția unor evenimente.

Cele 4 axe reprezintă intrările în unitatea de control, adică cele 4 poziții pe care se pot pune senzori.

Level in bytes reprezintă cantitatea de date în format binar analizată, și unghiul propriu-zis se afișează la indicatorul Angle.

Acest program a fost pus integral la dispoziție de către producător însă datorită compatibilităților cu LabVIEW și rețeaua, a trebuit adăugată o funcție de reset deoarece la oprirea defectuoasă a programului, senzorul rămâne activ și nu mai poate fi citit.

Programul propriu-zis începe cu configurarea adresei IP, dacă nu este făcută deja, iar la rulare are loc detecția și deschiderea comunicării cu unitatea de control și configurarea axelor (citește pe ce poziție este fiecare senzor). Starea butonului de reset decide continuarea programului, acesta rulează până este oprit de către utilizator.

La final, este extrem de importantă funcția de închidere a senzorului și a comunicării dintre PC și unitate. În caz contrar, la o a doua rulare a programului, senzorul nu va mai putea

Figura 4.9-Schema bloc a programului de control și citire a senzorului

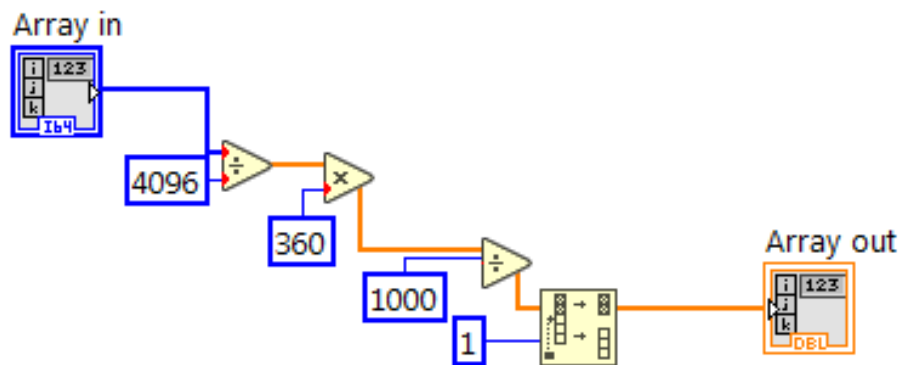


Figura 4.10-Programul de conversie a valorii numerice afișate de senzor în unghi

În Figura 4.10 este reprezentat subprogramul realizat pentru conversia valorii primite de la senzor în unghiul real. Acesta este situat în programul final sub formă de bloc reprezentat vizual ca un calculator, cu același titlu.

Funcționarea acestuia se bazează pe faptul că senzorul nu prezintă valorile în grade, ci doar o unitate proprie, care nu semnifică nimic pentru utilizator. Acesta are 1000 de linii, adică 1000 de valori ON-OFF a luminii. Altfel spus, la o rotație completă, în teorie, senzorul poate face 1000 de măsurători, de acolo și înmulțirea cu 360, respectiv împărțirea cu 1000. De asemenea, senzorul are un factor de subdiviziune de 4096, ceea ce înseamnă că pentru fiecare din cele 1000 de linii, senzorul de lumină poate reprezenta intensitatea luminii în alte 4096 de valori diferite. Deci, este nevoie de încă o împărțire, cu 4096 pentru afișarea unghiului real, în grade.

După efectuarea acestor operații este necesară condiționarea valorilor, respectiv alegerea fiecărui prim număr din mulțimea de numere transmisă de la senzor, care reprezintă poziția propriu-zisă. De asemenea, precizia senzorului este de  $\sim 360/(4096 \cdot 1000)$  adică aproximativ  $0.0001^\circ$ .

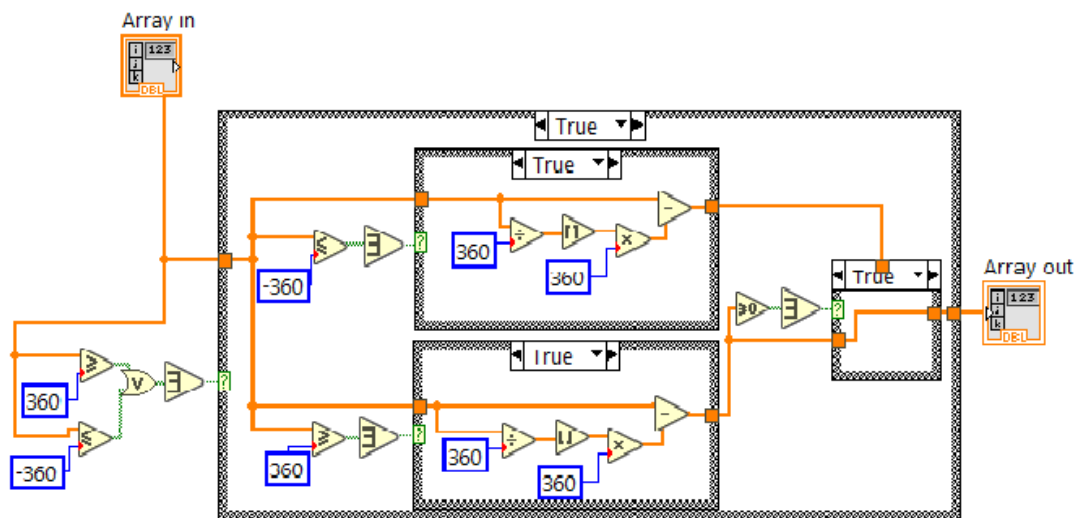


Figura 4.11-Programul de resetare a valorilor unghiului

În Figura 4.11, se poate vedea un program de resetare a unghiului la atingerea valorii de  $360^\circ$ . Datorită faptului că encoderul este incremental și valoarea măsurată poate ajunge până la o valoare de zeci de mii de grade, a fost necesară integrarea unui subprogram de



readucere a unghiului la valoarea 0 odată ce senzorul măsoară  $360^\circ$ . Pentru asta au loc multiple operații de verificare, împărțire, scădere și rotunjire. Dacă valoarea netransformată este între 360 și -360, nu are loc nicio operație suplimentară.

În Figura 4.12, se află o imagine a programului complex de citire a encoderului (senzorului) de unghi Heidenhain ERN 480 prin intermediul unității de control Eib 741, a cărei funcționare a fost descrisă pe scurt mai sus, cu ajutorul schemei bloc.



## 4.4 Senzorul de cuplu

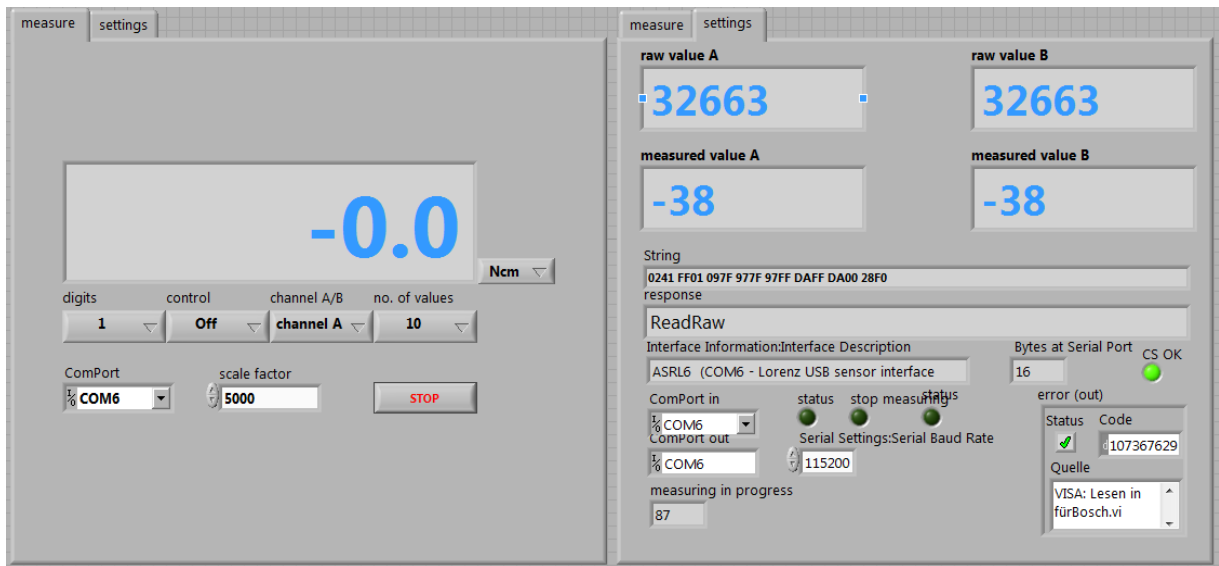


Figura 4.13-Panoul frontal al senzorului de cupru

Senzorul de cuplu comunică cu interfața LabVIEW prin intermediul unui amplificator, conectat direct la un USB. Acesta funcționează ca un instrument serial, conexiunea făcându-se rapid. Este necesar un driver oferit de producător pentru detecție, și specificat portul la care este conectat senzorul.

În panoul frontal (Figura 4.13) se poate observa o secțiune de setări și una de măsurări. În partea setărilor se observă datele de intrare, portul de comunicare, numărul de măsurători efectuate, statusul și ale setări. Acestea permit controlul atât înainte cât și în timpul rulării programului. În secțiunea de măsurători este afișată valoarea măsurată, care poate fi un cuplu sau o forță. Factorul de scalare trebuie schimbat pentru reprezentarea reală a valorilor, în funcție de unitatea de măsură. Se poate face o medie a valorilor citite, și selecta numărul de zecimale afișate.

Pentru funcționare trebuie configurat un număr ridicat de setări și astfel pregătit transferul de date, caracterele transferate, fluxul de date, ș.a.m.d. Acestea se pot observa și în Figura 4.14, fiind reprezentat întreg codul de funcționare a acestuia.

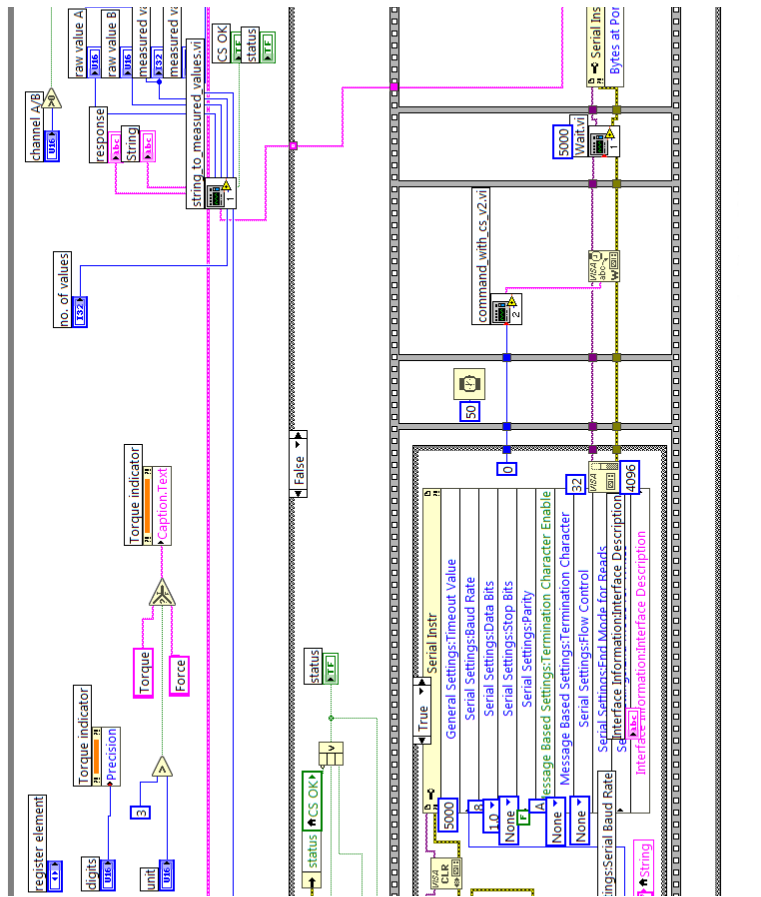


Figura 4.14-Programul de citire a senzorului de cuplu

#### 4.5 Automatizarea sistemului

Pentru realizarea automatizării trebuie creat un program final, de control a tuturor elementelor prezentate până acum. Astfel, trebuie integrate: interfața de control a actuatorului, prin CAN și unitatea de control motor, motorul și controlerul său, senzorul de unghi și interfața de control, respectiv senzorul de lucru.

Programul de automatizare a fost anexat și alăturat lucrării. În acesta am adăugat numeroase funcționalități, pentru controlul și rularea programului în felul dorit.

Astfel, am adăugat un buton de resetare a senzorului de unghi, care oprește rularea întregului program. De asemenea, am creat o buclă repetitivă în care am integrat aproape tot, cu excepția: setarea și deschiderea comunicării a senzorului de unghi, setarea și activarea funcțiilor motorului, alegerea portului pentru senzorul de cuplu și inițializarea unui control a

erorilor respectiv după rulare, resetarea interfeței CAN și închiderea funcțiilor și comunicării cu motorul.

Prima parte a buclei o reprezintă rularea și activarea funcțiilor motorului și ale actuatorului. Pentru început, are loc citirea poziției și vitezei motorului, urmată de transformarea în valoare reală (unghi) și comparată cu pozițiile (unghiurile) dorite a se atinge. Acestea sunt incluse într-o serie de casete booleene (cu valoare de adevăr), și în funcție de poziția motorului și unghiurile selectate, minim și maxim, între cele  $\sim 112^\circ$  de rotație ale motorului, are loc rotația motorului către unul din unghiuri, și rotația actuatorului, care este însă frânat de motor.

Viteza poate fi controlată distinct pe fiecare direcție la motor, dar și la actuator (puterea), prin semnalul PWM. La fel, accelerația și frânarea motorului sunt controlate de utilizator. La rularea acestor casete, adică la rotațiile propriu-zise, am implementat un numărător, care afișează stadiul măsurării, comparat cu un număr de curse selectat de utilizator. De reamintit, o cursă reprezintă un drum complet  $\sim 0^\circ-112^\circ$ ,  $\sim 112^\circ-0^\circ$ . La atingerea numărului de curse selectat, are loc oprirea programului și închiderea comunicației cu dispozitivele.

Pentru obținerea valorii unghiulare minime și maxime pe care o poate avea actuatorul, măsurate la nivelul senzorului de unghi, am creat un afișaj, tip mulțime de numere, care analizează toate valorile măsurate și selectează doar minimumul și maximumul.

Senzorul de unghi are integrate în buclă citirea continuă, și calculatorul, respectiv programul de resetare prezentate în subcapitolul 4.3, precum și un status care oprește rularea programului.

Programul senzorului de cuplu nu are funcții în plus față de cele prezentate anterior, și a putut fi implementat rapid, doar printr-o restructurare a transferului de date și eliminarea buclei proprii.

Datele intră într-un subprogram (Figura 4.15) care transformă datele în informație de tip grafic, și calculează derivata unghiului în funcție de timp, adică viteza, de la senzorul de unghi, bazat pe un algoritm de calcul și formulei de transformare în radiani. Pentru a putea

calcula eficient derivata la nivelul senzorului de unghi, trebuie ținută o numărătoare a valorilor citite de acesta. Astfel, timp de o secundă, are loc împărțirea a 1000 de milisecunde la numărul de valori citite, proces care se repetă continuu. Deși derivata nu este de interes pentru măsurătoarea finală, aceasta a fost folosită pentru verificarea funcționării optime și observarea fluctuațiilor în măsurătoare datorate diverselor erori dar și a deformațiilor mecanice, rezultatul (viteza) fiind în final foarte apropiat de viteza măsurată la motor.

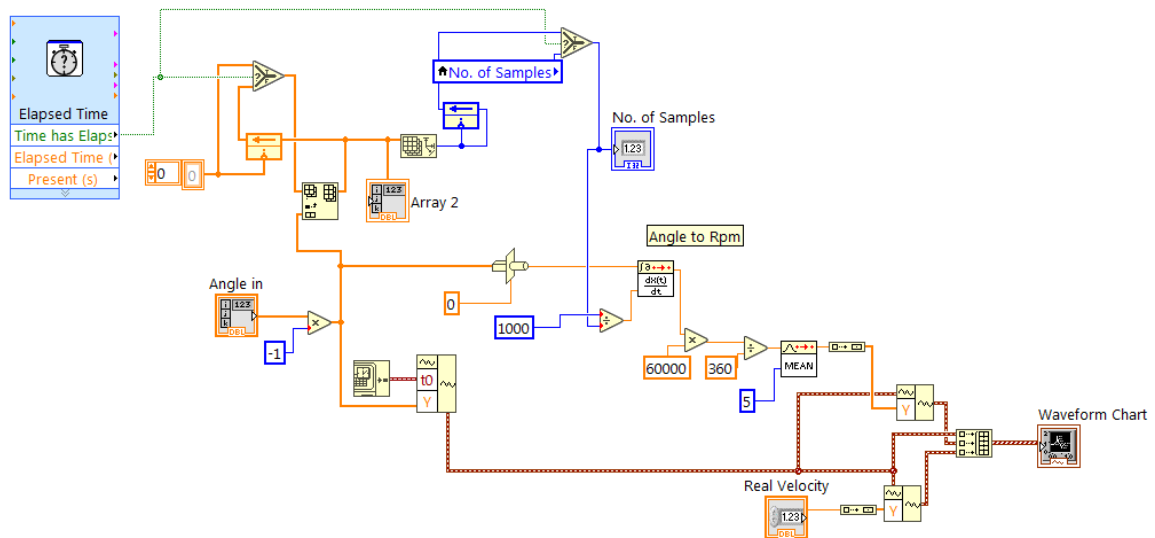


Figura 4.15-Subprogramul de transformare a datelor în reprezentare grafică

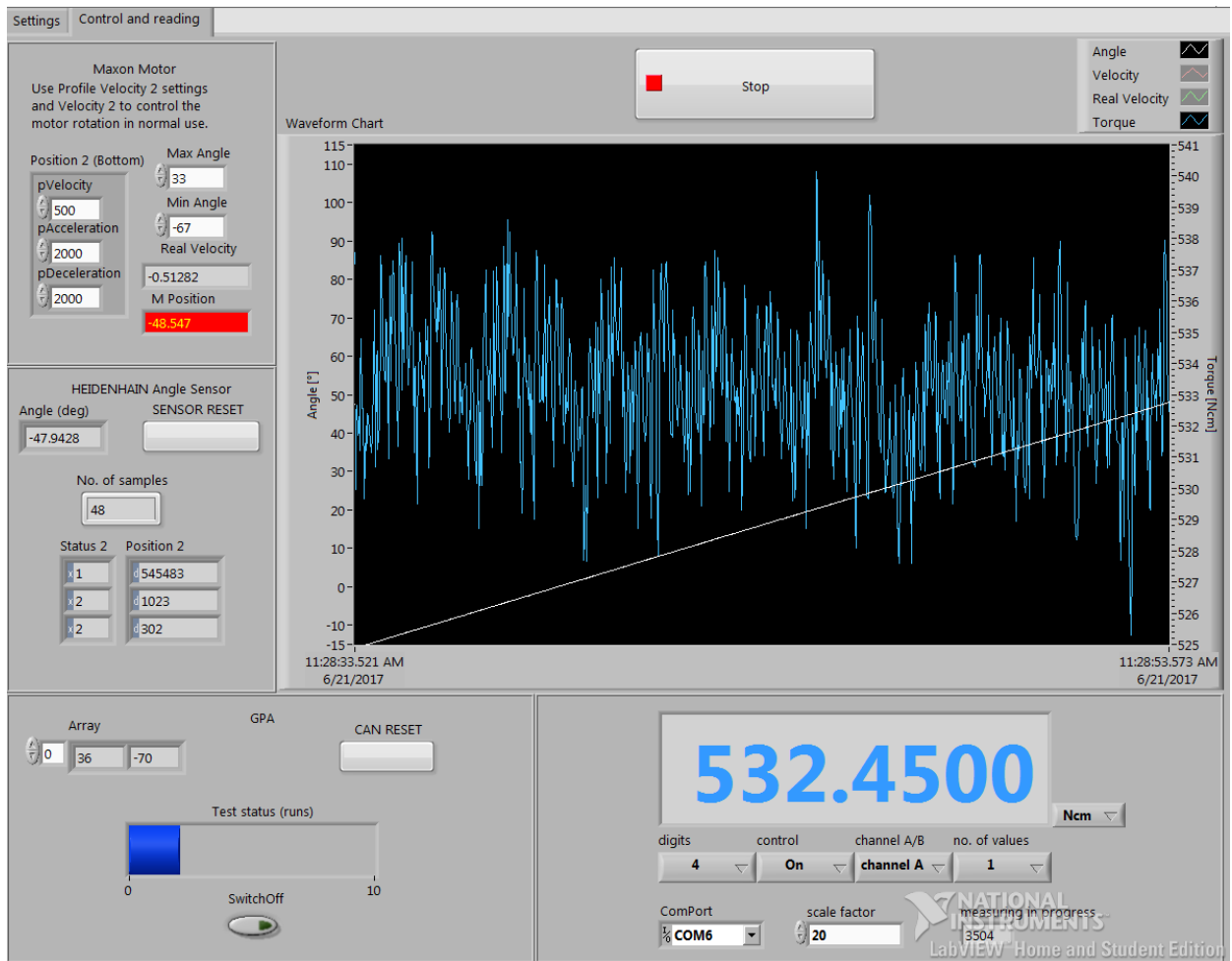


Figura 4.16-Panoul frontal al aplicației finale

În panoul frontal al aplicației finale (Figura 4.16) se pot vedea elementele și funcționalitățile descrise în paginile anterioare. Fiecare dispozitiv este poziționat în propria secțiune, controlul motorului în stânga sus, controlul și afișajul sensorului de unghi în stânga-mijloc, actuatorul și starea testului în stânga jos, și afișajul și controlul sensorului de cuplu în dreapta-jos. Pentru testul din imagine, atât unghiul cât și cuplul au fost afișate în funcție de timp.

## 4.6 Modul de operare a sistemului

GPA-ul (*General Purpose Actuator*) produce mișcarea ca urmare a instrucțiunilor primite de la ECU (*Engine Control Unit*). Acesta este controlat din calculator prin intermediul unei interfețe CAN (*Controller Area Network*), prin USB. Fluxul de date se realizează atât dinspre calculator către GPA cât și invers, actuatorul având un senzor de poziție care oferă informații despre unghiul arborelui de ieșire din actuator. De asemenea, ECU-ul oferă informații despre erorile apărute sub formă de coduri hexazecimale. Aceste coduri pot fi din diverse cauze, de la lipsa unui răspuns, la erori de scriere a comenzilor.

Sistemul mecanic are o parte motoare (GPA-ul) și o parte de frânare (motorul cu reductorul). Frânarea este folosită pentru măsurarea momentului produs de GPA, ca și reacțiune. Pentru a putea poziționa arborele GPA-ului în interfața mecanică, este nevoie de un ambreiaj, care poate decupla frâna atunci când se montează GPA-ul în ansamblu. Aceasta se datorează raportului de transmisie mare, de 936:1, care nu permite rotirea manuală a arborilor (ansamblului) pentru fixarea actuatorului.

Între GPA și frână sunt poziționați senzorii de unghi și de moment, care măsoară precis unghiul și momentul dat de GPA. Pe frână (motor) mai este poziționat un senzor de unghi, care are rolul de a controla poziția și viteza frânei. Atât ambreiajul cât și motorul sunt legate de un controler, care primește instrucțiuni de la calculator prin interfața software.

Senzorul de moment trimite date calculatorului după ce semnalul este amplificat de către un amplificator integrat pe cablul USB. Acesta funcționează pe principiul acțiunii și reacțiunii din arborele propriu, având o precizie de  $10^{-3}$  N.

Senzorul de unghi a fost poziționat cât mai aproape de actuator, pentru determinarea unghiului cu erori cât mai mici. Din acest motiv, nu s-a folosit senzorul de unghi de la motor, forțele cu direcții opuse produc o deformare unghiulară a arborilor și a cuplajelor, fiind astfel una din cauzele apariției erorilor.

Pentru fiecare componentă există o alimentare electrică de la sursele menționate anterior, și cablaj pentru transferul semnalului, care poate fi o tensiune sau un curent. Interfața software din LabView realizează automatizarea acestui proces, urmărindu-se o citire a datelor cât mai precisă. Ea integrează atât semnalele primite de la senzori cât și



instrucțiunile de comandă trimise către elementele intermediare de control. Aceasta va putea fi reutilizată pentru produse de același tip, sau cu mici modificări, pentru alte produse (ACV-uri, ETC-uri, ECV-uri).

ACV- Air Controlled Valve ; ETC- Electronic Throttle Control ; ECV- Exhaust Control Valve.

Programul din LabVIEW pentru comanda actuatorului a fost conceput pentru transmisia directă a unui flux de comenzi numerice, adică a unor mulțimi de numere, fiecare cu un caracter și o dimensiune bine stabilite de programul intern al unității de control motor (ECU). Legătura dintre ECU și LabVIEW (PC) este realizată cu ajutorul interfeței CAN, care trebuie găsită și folosită în software pentru transmiterea de date. Fiind USB, trebuie selectat portul pe care aceasta se află.

Acesta se bazează pe transmisia instrucțiunilor, adică a mulțimilor de numere secvențial, pentru efectuarea unei mișcări de tip  $\sim 0^\circ-112^\circ$ ,  $\sim 112^\circ-0^\circ$ , ceea ce reprezintă o cursă completă. Programul mai permite transmisia semnalului PWM (Pulse Width Modulation) care controlează durata impulsului și puterea, deci viteza cu care actuatorul face cursa.

Senzorul de unghi are o unitate de control, care comunică, așa cum s-a menționat, printr-o interfață Ethernet cu PC-ul. Ca și în cazul CAN, această interfață trebuie găsită și folosită programatic pentru utilizare. Pentru funcționare, trebuie setată poziția fizică de citire senzorului, fiind disponibile patru intrări, stările interfeței iar apoi setarea propriu-zisă a senzorului și modul în care acesta funcționează. Rezultatul afișat este transformat în unghi tot în software, cu ajutorul unor operații matematice și a unor condiții logice.

Motorul primește instrucțiunile prin intermediul controlerului EPOS, și se permit diverse moduri de funcționare, care trebuie setate din software. Acesta primește instrucțiunile numeric, fără transformări vizibile în LabVIEW, spre deosebire de actuator, care primește comenzile în format hexazecimal. Pentru acest sistem s-a folosit modul de viteză cu profil de accelerație, în care motorului i se dă o viteză țintă și o anumită accelerație.

De asemenea, motorul a mai fost testat și pe modul de rotație la un anumit unghi, cu profil de accelerație. Datorită naturii aplicației însă, motorul va fi controlat doar în funcție de poziția măsurată de senzorul de unghi.

Toate aceste programe din LabVIEW au fost puse împreună pentru controlul și citirea simultană a dispozitivelor, și au fost făcute legăturile între ele.

De asemenea, a fost implementat un grafic care să calculeze derivata unghiului în funcție de timp, care folosește atât date din motor cât și senzorul de unghi. Aceasta este comparată cu viteza reală a motorului, afișată de senzorul acestuia, și face disponibilă observarea erorii și oscilațiilor datorate deformărilor unghiulare și preciziei programelor de citire și control.

În cele din urmă, odată cu implementarea senzorului de cuplu, se citește cuplul produs în urma acțiunii și reacțiunii date de actuator, respectiv de motor.

## 5. Concluzii.

- Am realizat asamblarea sistemului;
- Am realizat programele software în Labview pentru :
  - a) Setarea și controlul actuatorului;
  - b) Setarea și citirea senzorului de unghi;
  - c) Setarea și citirea senzorului de cuplu;
  - d) Setarea și controlul motorului;
- Am alimentat ambreiajul cu un curent foarte mic pentru teste, pentru a exista o alunecare în cazul în care se produce o eroare de software, citire, ș.a.
- Am făcut două variante ale programului de control pentru motor, unul de control a poziției pe baza senzorului unghiular din acesta, și unul de control al vitezei, fără controlul poziției;
- Pe viitor se va folosi exclusiv senzorul de unghi pentru controlul poziției motorului;
- Se va finisa interfața finală și calculul erorilor;
- Se vor putea testa diverse tipuri de actuatoare, cu un număr mare de curse făcute.

## 6. Bibliografie.

1. [http://www.resist.pub.ro/Cursuri\\_master/MEVSM/curs\\_8.pdf](http://www.resist.pub.ro/Cursuri_master/MEVSM/curs_8.pdf)
2. Dolga, V., Senzori și traductoare, Editura Eurobit, Timișoara, 1999
3. <http://www.ti.com/> - Texas Instruments
4. <https://www.pc-control.co.uk>
5. <http://www.thomasnet.com/articles/pumps-valves-accessories/types-of-actuators>
6. <http://www.wdtl.com/>
7. [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/KMA210.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/KMA210.pdf)
8. <http://www.ni.com/white-paper/2732/en/>
9. Urbgroup – Curs electronic despre frecarea în rulmenți
10. Travis, J., Kring, J., LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun, 3rd Edition, 2006
11. TRIPA, P., Rezistența Materialelor – Solicitări simple și teoria elasticității, Editura Mirton, Timișoara, 1999
12. <http://www.maxonmotor.com/maxon/view/product/283870>
13. [http://www.lorenz-sensors.com/english/products/rotating\\_slipring/dr-2.php](http://www.lorenz-sensors.com/english/products/rotating_slipring/dr-2.php)
14. [http://www.heidenhain.de/de\\_EN/products/subsequent-electronics/evaluation-electronics/eib-700/](http://www.heidenhain.de/de_EN/products/subsequent-electronics/evaluation-electronics/eib-700/)