

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI**

**Facultatea de Inginerie Electrică, Energetică și
Informatică Aplicată**



CONTRIBUȚII ÎN DOMENIUL SISTEMELOR HIBRIDE EMG & MECATRONIC PENTRU REABILITAREA MÂINII

- REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT -

Fiziokinetoterapeut specialist: Teodora BONDAR (căsătorită PISERU)

Conducător de doctorat: Prof. dr. ing. Marian-Silviu POBORONIUC

IAȘI, 2024

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI
R E C T O R A T U L

Către

Vă facem cunoscut că, în ziua de **25.09.2024** la ora **11:00** în **Sala Hurmuzescu (IEEIA)*** , va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

"CONTRIBUȚII ÎN DOMENIUL SISTEMELOR HIBRIDE EMG & MECATRONIC PENTRU REABILITAREA MÂINII"

elaborate de doamna / domnul **TEODORA BONDAR (căsătorită PISERU)** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Prof. Univ. Dr. Ing. LUCACHE Dorin-Dumitru
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | Președinte |
| 2. Prof. Univ. Dr. Ing. POBORONIUC Marian-Silviu
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | Conducător de doctorat |
| 3. Prof. Univ. Dr. Ing. MÂNDRU Silviu-Dan
Universitatea Tehnică din Cluj- Napoca | Referent oficial |
| 4. Prof. Univ. Dr. MATEI Daniela Viorelia
Universitatea de Medicină și Farmacie "Grigore T. Popa" din Iași | Referent oficial |
| 5. Prof. Univ. Dr. Ing. DAVID
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | Referent oficial |

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

RECTOR,

Prof.univ.dr.ing. Dan Cascaval

Secretar universitate,

Ing. Cristina Nagit

*pentru susținerile online se va preciza link-ul și soluția de software

Cuprins

CUPRINS.....	3
1 INTRODUCERE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
1.1. Oportunitatea și importanța temei de cercetare	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
1.2. Concluzii.....	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
2 ASPECTE ANATOMICE, FIZIOLOGICE ȘI BIOMECANICE ALE CORPULUI UMAN.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
2.1 Sistemul osos – interacțiunea asupra corpului uman.....	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
2.2 Biomecanica și anatomia sistemului articular.....	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
2.3 Sistemul muscular - Noțiuni generale	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
2.4 Forțele care intervin asupra mișcării corpului uman	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
2.5 Musculatura care acționează asupra articulației pumnului și a degetelor	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
2.6 Sistemul nervos central – anatomie, fiziologie și patologie	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
2.7 Concluzii.....	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
3 COMPARAȚIE ÎNTRE SISTEMELE DIN LITERATURA DE SPECIALITATE.....	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
3.1 Stadiul actual al sistemelor controlate de EMG	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
3.2 Stadiul actual al sistemelor hibride FES și mecatronice	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
3.3 Stadiul actual în cazul dispozitivelor utilizate pentru evaluarea gradului de recuperare	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
3.4 Concluzii.....	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
4 PROIECTAREA ȘI REALIZAREA DISPOZITIVULUI HIBRID MECATRONIC MANUTEX–EMG ...	EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.
4.1 Structura generală a modului EMG.....	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
4.1.1 Amplificator de instrumentație	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
4.1.2 Zgomotul electric și factorii care afectează semnalul EMG	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
4.1.3 Redresare de precizie	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
4.1.4 Detector de vârf	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
4.2 Structura generală a sistemului MANUTEX-EMG	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
4.2.1 Aspecte Software ale Sistemului MANUTEX EMG	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
4.2.2 Componente Hardware ale Sistemului MANUTEX EMG	Eroare! Marcaj în document nedefinit.

4.3 Concluzii.....Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5 DEZVOLTAREA ȘI IMPLEMENTAREA DISPOZITIVELOR INOVATIVE ÎNTR-O ECHIPA

INTERDISCIPLINARĂ.....EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.

5.1 Sistem mecatronic de recuperare MANUTEX.....Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.1 Soluția hardware Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.2 Proiectarea și realizarea mănușii textile cu electrozi încorporați Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.3 Descrierea soluției software pentru mănușa mecatronică Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.4 Testarea modelului funcțional al mănușii mecatronice..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.5 Stimularea electrică funcțională și integrarea în sistem..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.5.1 Echipamente necesare unui dispozitiv FES Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.5.2 Obiectivele terapiei FES includ Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.5.3 Parametrii de stimulare..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.1.6 Concluzii Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.2 GFTSN- sistem mecatronic pentru evaluareEroare! Marcaj în document nedefinit.

5.2.1 Scale de evaluare folosite în practica clinică Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.2.2 Descrierea sistemului GFTSN..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

5.3 Concluzii:.....Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6 ELEMENTE DE EVALUARE CLINICĂ.....EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.

6.1 Testarea clinică MANUTEX-EMGEroare! Marcaj în document nedefinit.

6.1.1 Evaluarea MANUTEX-EMG pe cadre medicale Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.1.2 Aplicarea MANUTEX-EMG pe un eșantion de pacienți..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.1.2.1 Evoluția fiecărui pacienților Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.1.2.2 Compararea rezultatelor în funcție de deficit..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.1.2.3 Analiza rezultatelor în funcție de vechimea AVC 40

6.1.3 Concluzii testare MANUTEX-EMG..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.2 Testarea clinica MANUTEXEroare! Marcaj în document nedefinit.

6.2.1 Evaluarea MANUTEX cu personal medical Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.2.2 Evaluarea MANUTEX pe pacienți..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.2.2.1 Analiza demografică și clinică a pacienților introduși în studiu ... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.2.2.2 Analiza evoluției pacienților în urma terapiei cu dispozitivul MANUTEX Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.2.2.3 Analiza comparativă a evoluției pacienților cu hemipareză pe partea stângă și dreaptă...Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.2.3 Concluzii testare MANUTEX Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.3 Testare clinica GFTSNEroare! Marcaj în document nedefinit.

6.3.1 Testarea GFTSN pe cadre medicale Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.3.2 Testarea GFTSN pe lot de pacienți..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.3.2.1 Diferența între unda sinusoidală și unda dreptunghiulară Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.3.2.2 Diferența între pacienți cu hemipareză pe partea dreaptă și cei cu hemipareză pe partea stângă Eroare! Marcaj în document nedefinit.

6.3.3 Concluzii testare GFTSN..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

7 CONCLUZII GENERALEEROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.

7.1 Contribuții originaleEroare! Marcaj în document nedefinit.

7.1.1 Contributii aduse in cadrul realizarii sistemului MANUTEX- EMG..... Eroare! Marcaj în document nedefinit.

7.1.2	Contribuții aduse sistemelor MANUTEX și GFTSN	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
7.2	Valorificarea rezultatelor	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
7.2.1	Lucrări Publicate	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
7.2.2	Proiecte	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
7.2.3	Premii	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
7.3	Direcții viitoare de cercetare	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
BIBLIOGRAFIE		EROARE! MARCAJ ÎN DOCUMENT NEDEFINIT.

Mulțumiri,

Doresc să adresez mulțumiri sincere tuturor celor care au contribuit la realizarea acestei teze de doctorat.

În primul rând, îi mulțumesc domnului profesor doctor inginer Marian Silviu Poboroniuc pentru ajutorul acordat și pentru îndrumarea valoroasă pe parcursul întregii cercetări. Sprijinul său neconținut și expertiza sa au fost fundamentale în atingerea acestui obiectiv.

Mulțumesc, de asemenea, membrilor comisiei de examinare pentru timpul, efortul și expertiza lor acordate în evaluarea riguroasă a tezei mele. Ultimele sfaturi pe care mi le-ați oferit pentru forma finală au fost deosebit de valoroase și m-au ajutat să îmi îmbunătățesc munca în mod semnificativ.

De asemenea, îi mulțumesc din suflet soțului meu, Piseru Andrei Emanuel, pentru încrederea și susținerea oferită. Fără sprijinul său constant și încurajările sale, această lucrare nu ar fi fost posibilă.

Familiei mele și fiului meu drag le sunt profund recunoscătoare pentru motivația și iubirea care mi-au oferit energia necesară pentru a depăși toate provocările întâmpinate pe parcursul acestui drum.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc dr. ing. Iulian Andrei Roman pentru ajutorul prețios acordat în deslușirea aspectelor uneori misterioase ale domeniului ingineriei. Sfaturile și cunoștințele sale au avut un impact semnificativ asupra succesului acestei teze.

Teodora Piseru

Iași, 2024

1.Introducere

Capitolul de introducere subliniază importanța și oportunitatea studierii tehnologiilor avansate în domeniul dispozitivelor medicale, relevând impactul semnificativ pe care acestea îl au asupra sănătății globale și asupra economiei. Analiza evidențiază mai multe tendințe și factori care influențează piața dispozitivelor medicale, cum ar fi îmbătrânirea populației, prevalența crescută a bolilor cronice și progresele tehnologice continue.

Progresele tehnologice din domeniul dispozitivelor medicale au dus la creșterea pieței globale, estimată să ajungă la 799,67 miliarde USD până în 2030, cu o rată de creștere anuală compusă de 5,9%. Statele Unite domină această piață, contribuind semnificativ la exporturile globale de tehnologie medicală și înregistrând un excedent comercial constant. Aceste progrese au contribuit la creșterea speranței de viață și la reducerea perioadelor de spitalizare datorită intervențiilor și tratamentelor medicale mai eficiente.

Investițiile în cercetare și dezvoltare, alături de un cadru de reglementare favorabil, stimulează inovațiile în acest sector. Tehnologii precum AI, robotică, telemedicină și imprimare 3D transformă peisajul medical, oferind noi posibilități de diagnosticare și tratament.

Accidentul vascular cerebral (AVC) și alte afecțiuni neuromusculare reprezintă o provocare majoră pentru sistemele de sănătate la nivel global. AVC este a doua cea mai frecventă cauză de mortalitate și a treia cauză de dizabilitate. Gestionarea și prevenirea factorilor de risc, precum hipertensiunea arterială și diabetul, sunt esențiale pentru reducerea incidenței AVC. Tratamentul AVC ischemic acut prin tromboliză intravenoasă și trombectomie mecanică demonstrează importanța intervențiilor rapide și eficiente.

Scleroza multiplă și leziunile măduvei spinării sunt alte două afecțiuni majore care afectează calitatea vieții și au un impact economic semnificativ. Managementul acestor afecțiuni necesită abordări complexe și multidisciplinare, implicând tehnologii avansate și strategii de reabilitare personalizate.

1.2 Motivația cercetării

Motivația alegerii acestei teme de doctorat este profund ancorată în necesitatea urgentă de a dezvolta și implementa dispozitive inovatoare de recuperare pentru pacienții cu afecțiuni neurologice, un domeniu în care cererea este în continuă creștere, ca urmare a incidenței alarmante a acestor boli. Într-un context în care numărul cazurilor de afecțiuni neurologice, cum ar fi accidentele vasculare cerebrale, scleroza multiplă și leziunile măduvei spinării, este în continuă creștere, sistemele de sănătate se confruntă cu o presiune din ce în ce mai mare, manifestată prin prelungirea perioadelor de spitalizare și creșterea costurilor asociate tratamentului și recuperării. Aceste afecțiuni nu doar afectează direct pacienții, dar generează și un impact semnificativ asupra familiilor acestora și asupra societății în ansamblu, provocând o povară socială și economică considerabilă.

În acest context, devine evidentă necesitatea medicală de a dezvolta soluții de recuperare mai eficiente și accesibile, care să răspundă deficiențelor existente în practica clinică. Soluțiile actuale de reabilitare, deși utile, nu reușesc întotdeauna să ofere rezultate optime, lăsând astfel un spațiu semnificativ pentru inovație tehnologică. Prin integrarea tehnologiei avansate în reabilitare, această cercetare își propune să contribuie la îmbunătățirea calității vieții pacienților, la reducerea costurilor și a duratei de spitalizare și, totodată, să aducă o contribuție valoroasă la literatura de specialitate.

Această cercetare nu doar că vizează să umple lacunele tehnologice din domeniul reabilitării medicale, ci și să extindă cunoștințele existente, oferind soluții inovatoare care pot fi implementate în practică și care au potențialul de a transforma fundamental abordările tradiționale ale recuperării neurologice.

1.2 Obiectivele cercetării

Obiectivul principal al tezei constă în dezvoltarea unui prototip funcțional, eficient, accesibil și adaptabil la nevoile specifice ale pacienților cu afecțiuni neurologice, având ca scop optimizarea performanțelor dispozitivului prin integrarea de tehnologii avansate. Aceasta urmărește maximizarea eficienței și a confortului utilizatorului în procesul de reabilitare, asigurându-se că dispozitivul nu doar îmbunătățește rezultatele clinice, dar și facilitează o experiență pozitivă pentru pacient.

Evaluarea eficienței clinice a prototipului va fi realizată prin teste riguroase, menite să evalueze atât procesul de recuperare, cât și impactul asupra calității vieții pacienților. În același timp, se va explora acceptabilitatea și ușurința de utilizare a dispozitivului, asigurându-se că acesta este intuitiv și practic pentru utilizatori. Pe baza rezultatelor obținute, teza își propune să identifice și să formuleze noi concepte teoretice în reabilitarea neurologică, oferind astfel contribuții valoroase pentru viitoare recomandări și direcții de dezvoltare în domeniul reabilitării medicale.

2. Prezentarea sistematizată a capitolelor tezei de doctorat

Teza de doctorat intitulată „Contribuții în domeniul sistemelor hibride EMG și mecatronice pentru reabilitarea mâinii” este elaborată într-o structură riguroasă și echilibrată, cuprinzând șapte capitole interconectate. Primele două capitole au un caracter preponderent teoretic, furnizând baza conceptuală și contextul necesar pentru înțelegerea aprofundată a domeniului studiat. Capitolul al III-lea este dedicat unui studiu comparativ amplu al literaturii de specialitate, evidențiind stadiul actual al cercetărilor și poziționând contribuțiile proprii în acest context. Capitolele al IV-lea și al V-lea au un caracter aplicativ, fiind axate pe proiectarea și realizarea dispozitivului mecatronic MANUTEX-EMG, precum și pe implementarea altor dispozitive inovatoare, cum ar fi MANUTEX și GFTSN, în cadrul unei colaborări interdisciplinare. În aceste capitole se detaliază procesele de proiectare, optimizare și integrare ale acestor dispozitive, subliniind inovarea tehnologică și impactul lor potențial în reabilitarea medicală. Capitolul al VI-lea se concentrează pe aspectele practice, incluzând o evaluare clinică detaliată, care validează eficiența dispozitivelor dezvoltate și contribuie la înțelegerea aplicabilității lor în practică. În final, capitolul al VII-lea sintetizează concluziile principale ale cercetării, evidențiază valorificarea rezultatelor obținute și propune direcții viitoare de cercetare, subliniind potențialul de dezvoltare și extindere a acestui domeniu inovator.

Obiectivul general al primului capitol este de a oferi o analiză detaliată a dimensiunii și cererii pieței dispozitivelor medicale, o industrie în continuă expansiune, susținută de o serie de

factori determinanți. În cadrul acestei industrii, inovațiile tehnologice joacă un rol esențial în modelarea tendințelor de piață și în stimularea cererii pentru soluții avansate de reabilitare. Un accent deosebit este pus pe recuperarea membrelor superioare, în special a mâinii, datorită complexității funcționale a acesteia și a impactului semnificativ asupra calității vieții pacienților. Necesitatea acestor dispozitive devine și mai evidentă în contextul incidenței crescute a bolilor neurologice, cum ar fi accidentul vascular cerebral (AVC), scleroza multiplă și leziunile măduvei spinării, care afectează semnificativ capacitatea motorie a membrelor superioare. Astfel, capitolul explorează intersecția dintre inovația tehnologică și cerințele clinice specifice, evidențiind modul în care dispozitivele medicale avansate pot răspunde eficient nevoilor tot mai mari ale pieței și pot contribui la îmbunătățirea proceselor de recuperare.

Obiectivul general al capitolului al II-lea

Capitolul al II-lea al tezei are ca obiectiv general explorarea detaliată a aspectelor anatomice, fiziologice și biomecanice ale corpului uman, fundamentale pentru înțelegerea complexității funcționării acestuia și pentru dezvoltarea soluțiilor mecatronice avansate în reabilitare. Structurat în șase subcapitole, acest capitol abordează în mod cuprinzător componentele esențiale ale sistemului osos, articular, muscular și nervos. Fiecare subcapitol examinează în detaliu structura și funcționarea acestor sisteme, evidențiind rolul lor în mișcarea și stabilitatea corpului. Sistemul osos este analizat în contextul său de suport structural, în timp ce sistemul articular este discutat din perspectiva mobilității și flexibilității pe care o conferă. Sistemul muscular este descris prin prisma forțelor generate de diferitele grupuri musculare, iar sistemul nervos este abordat în contextul controlului motor și al coordonării mișcărilor. În ansamblu, acest capitol furnizează o bază teoretică esențială, care sprijină înțelegerea interacțiunii complexe dintre aceste sisteme și care este crucială pentru dezvoltarea și aplicarea tehnologiilor inovative în domeniul reabilitării medicale.

Obiectivul general al capitolului al III-lea

Capitolul al III-lea al tezei își propune ca obiectiv general realizarea unei analize comparative detaliate între sistemele prezentate în literatura de specialitate, cu accent pe evaluarea stadiului actual al tehnologiilor de control bazate pe EMG (electromiografie), FES (stimulare electrică funcțională) și a dispozitivelor utilizate pentru evaluarea gradului de recuperare a pacienților. În cadrul acestui capitol, sunt analizate critic progresele și limitările fiecărui tip de sistem, evidențiind modul în care acestea contribuie la îmbunătățirea reabilitării funcționale a membrelor superioare. Comparând aceste sisteme, capitolul examinează parametrii cheie de performanță, fiabilitatea, ușurința de utilizare, precum și capacitatea lor de a oferi feedback în timp real privind progresul pacientului. De asemenea, se explorează potențialul de integrare al acestor tehnologii inovatoare în practică, identificând direcțiile de dezvoltare viitoare și provocările care trebuie depășite pentru a optimiza rezultatele clinice. Acest capitol joacă un rol crucial în fundamentarea cercetării, oferind un cadru clar pentru înțelegerea peisajului actual al tehnologiilor de reabilitare și a modului în care acestea pot fi îmbunătățite pentru a răspunde mai eficient nevoilor pacienților.

Obiectivul general al capitolului al IV-lea

Capitolul al IV-lea reprezintă nucleul principal al tezei și are ca obiectiv general prezentarea în detaliu a procesului de proiectare și realizare a dispozitivului hibrid mecatronic MANUTEX–EMG. Acest capitol este esențial pentru înțelegerea complexității și inovativității dispozitivului, fiind structurat în două subcapitole majore. Primul subcapitol se concentrează pe descrierea detaliată a

structurii generale a modului EMG, explicând principiile de funcționare, componentele cheie și integrarea acestuia în sistemul mecatronic. Al doilea subcapitol explorează arhitectura întregului sistem MANUTEX-EMG, evidențiind interacțiunea dintre diversele subsisteme și modul în care acestea lucrează împreună pentru a oferi o soluție eficientă de reabilitare. Capitolul subliniază provocările întâmpinate în procesul de proiectare, soluțiile tehnice adoptate și inovațiile implementate pentru a depăși aceste provocări, oferind o imagine clară asupra modului în care dispozitivul a fost dezvoltat pentru a răspunde nevoilor specifice de reabilitare a pacienților. În ansamblu, acest capitol nu doar că detaliază aspectele tehnice ale proiectului, dar evidențiază și contribuția semnificativă a acestui dispozitiv în domeniul reabilitării medicale, subliniind potențialul său de a transforma modul în care se abordează recuperarea funcțională a mâinii.

Proiectarea și realizarea dispozitivului hibrid mecatronic MANUTEX–EMG

Un circuit EMG (Electrocardiogramă) este utilizat pentru a înregistra activitatea electrică a mușchilor în timpul contracțiilor. Un sistem complet EMG include diverse componente hardware, fiecare având un rol specific în captarea și prelucrarea semnalelor electromiografice. Iată o descriere detaliată a principalelor componente hardware ale unui astfel de circuit:

1. **Electrozi** Electrozii sunt dispozitive care captează semnalele electrice generate de mușchi. Există două tipuri principale de electrozi utilizați în EMG:
 - **Electrozi de suprafață:** Aceștia sunt plasați pe piele deasupra mușchilor și sunt folosiți pentru a măsura activitatea mușchilor mari și superficiali.
 - **Electrozi cu ac:** Aceștia sunt inserați în mușchi pentru a înregistra activitatea mușchilor mai adânci și specifici. Ei oferă o rezoluție mai mare, dar sunt mai invazivi.
2. **Amplificator** Semnalele EMG captate de electrozi sunt foarte slabe, de ordinul microvolților. Amplificatorul amplifică aceste semnale pentru a putea fi analizate ulterior. Amplificatorul trebuie să aibă următoarele caracteristici:
 - **Câștig (amplificare):** Trebuie să fie suficient de mare pentru a face semnalul detectabil, dar să evite saturația.
 - **Raportul semnal-zgomot (SNR):** Amplificatorul trebuie să reducă zgomotul pentru a păstra claritatea semnalului EMG.
3. **Filtrul** Filtrele sunt utilizate pentru a elimina zgomotul și artefactele din semnalul EMG. Tipurile de filtre utilizate includ:
 - **Filtre trece-jos:** Elimină frecvențele înalte considerate zgomot.
 - **Filtre trece-sus:** Elimină frecvențele joase, cum ar fi zgomotul de la mișcările corpului.
 - **Filtre de bandă:** Permit trecerea unei benzi specifice de frecvențe, corespunzătoare semnalelor EMG tipice.
4. **Convertorul Analog-Digital (ADC)** Semnalele EMG amplificate și filtrate sunt în formă analogică. ADC-ul le convertește în formă digitală pentru a fi procesate de un computer sau microcontroler. Caracteristicile cheie ale ADC-ului includ:
 - **Rezoluție:** Numărul de biți, care determină precizia conversiei.

- **Rată de eşantionare:** Frecvența la care semnalul analogic este eşantionat, necesară pentru a captura toate detaliile relevante ale semnalului EMG.
5. **Microcontroller/Procesor** Microcontrollerul sau procesorul primește date digitale de la ADC și le procesează, efectuând operațiuni precum:
 - **Analiză în timp real:** Detectarea și cuantificarea evenimentelor electromiografice.
 - **Stocare:** Salvarea datelor pentru analiza ulterioară.
 - **Transmitere:** Trimiterea datelor către alte dispozitive pentru vizualizare sau analiză suplimentară.
 6. **Interfața cu utilizatorul** Această interfață permite operatorului să interacționeze cu sistemul EMG. Aceasta poate include:
 - **Afișaj:** Pentru vizualizarea semnalelor EMG în timp real.
 - **Butoane/Comenzi:** Pentru ajustarea setărilor sistemului, cum ar fi amplificarea sau parametrul de filtrare.
 - **Software:** Interfața grafică de utilizator (GUI) care rulează pe un computer pentru vizualizarea și analiza detaliată a datelor.
 7. **Sursă de alimentare** Toate componentele hardware necesită energie electrică pentru a funcționa. Sursele de alimentare pot varia:
 - **Baterii:** Pentru dispozitivele portabile.
 - **Alimentare de la rețea:** Pentru echipamente fixe sau de laborator.
 8. **Carcasă/Carcasă de protecție** Carcasa protejează componentele electronice delicate și asigură integritatea și durabilitatea sistemului EMG. Carcasa trebuie să fie robustă și să ofere protecție împotriva interferențelor electromagnetice externe.

Versiunea inițială a acestui proiect MANUTEX a fost dezvoltată pentru a integra stimularea electrică funcțională și componentele părții mecanice în reabilitarea membrelor superioare pentru persoanele care au suferit un atac vascular cerebral. Ideea principală a dispozitivului este de a realiza un control echilibrat și coordonat între FES și mânușa mecanică exoscheletică prin punerea în valoare a mâinii sănătoase a pacientului, cu ajutorul unei mănuși cu senzori care asistă mâna afectată și îi ajută în sesiunile de reabilitare. Versiunea precedentă de MANUTEX nu avea încorporat senzorul EMG. Când semnalul EMG ajunge la un anumit nivel, mânușa mecatronică va mișca mâna afectată și apoi va reveni la poziția inițială. Semnalul EMG este afișat pe o interfață grafică simultan, iar datele sunt salvate într-un fișier Excel pentru a putea fi prelucrate ulterior[168].

Un sistem EMG eficient necesită o combinație bine proiectată de electrozi, amplificatoare, filtre, convertori analog-digital, microcontrolere și interfețe utilizator, toate integrate într-o carcasă protectoare și alimentate corespunzător. Fiecare componentă joacă un rol crucial în captarea și procesarea corectă a semnalelor electromiografice, permițând utilizatorilor să analizeze activitatea musculară în detaliu.

Structura generală a modului EMG

MANUTEX EMG cuprinde două componente: primul element este mânășă mecatronică, care facilitează mișcarea mecanică a mâinii afectate. A doua componentă constă în senzorul EMG, care măsoară semnalul de la mușchi și îl trimite către microcontroller[168].

Semnalul analogic este prelucrat și transformat într-un semnal digital și este permanent comparat cu un prag prestabilit. Odată ce pragul a fost atins, microcontroller-ul încetează monitorizarea conversiei din analogic în digital și începe să trimită comenzi către actuatoarele liniare folosind tehnici cu semnale PWM.

Pe parcursul acestui proces de comparare, microcontroller-ul transmite valoarea EMG către interfața cu utilizatorul prin USB. O reprezentare grafică este afișată în timp real și, simultan, valorile citite sunt transcrise într-un fișier Excel pentru a fi analizate ulterior.

Diagrama bloc a sistemului MANUTEX EMG este prezentată mai jos:

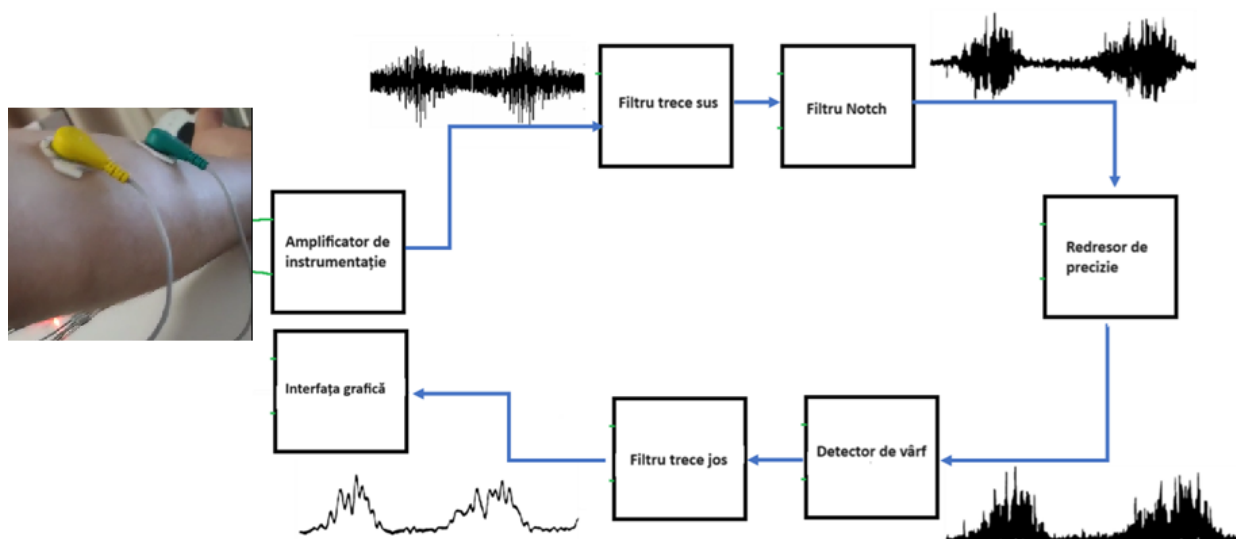


Figura 0.1 Diagrama bloc a circuitului MANUTEX-EMG.

Mișcarea mecanică este efectuată cu ajutorul celor cinci actuatori liniari de la Actuonix, care se pot extinde până la 100 mm cu o forță de 100 N, cu o viteză de 12 mm/s la funcționarea fără sarcină. Tensiunea de alimentare a acestor actuatori liniari este de 12 V, iar consumul lor este cuprins între 100-200 mA, în funcție de sarcina pe care o operează. Cei cinci actuatori liniari sunt atașați unei mânășă cu ajutorul unor cabluri metalice și acționează fiecare deget în parte (vezi Figura 4.1).

Circuitul EMG este alcătuit din mai multe etaje (vezi Figura 4.1), începând de la electrozii care se pun pe mână pentru a prelua semnalul EMG brut. Acesta este apoi citit de un amplificator de instrumentație, care are ca scop extragerea semnalului util și atenuarea zgomotului de mod comun. Imediat după, semnalul va trece prin două blocuri de filtrare: un filtru trece-sus pentru a filtra banda de frecvențe joase care pot veni, de exemplu, de la mișcarea pacientului, și un filtru Notch pentru filtrarea frecvenței de la rețea (50 Hz). Semnalul acum filtrat trebuie redresat cu ajutorul unui redresor de precizie pentru a avea doar semnal pozitiv, nu și negativ. Un detector de vârf ne oferă doar semnalele cele mai proeminente, care apoi sunt din nou filtrate de un filtru trece-jos, care nu permite semnalelor cu o bandă de peste 150 Hz să afecteze măsurătoarea. Acest filtru trece-jos conține și partea de amplificare a semnalului pentru a putea fi descifrabil de către utilizatorul dispozitivului.

Un amplificator de diferență este un circuit electronic care amplifică diferența de potențial dintre două semnale aflate la intrarea lui; în același timp, el elimină zgomotul de mod comun. Aceste caracteristici ale acestui amplificator îl fac ideal pentru folosirea lui în aplicații precum EMG, unde este foarte utilă eliminarea acestui zgomot de mod comun și amplificarea semnalului util pentru a vedea cât mai clar semnalul provenit de la musculatură.

Amplificator de instrumentație

Tensiunile de intrare $V1_EMG$ și $V2_EMG$ provin de la electrozi care sunt montați pe suprafața pielii pacientului pentru a capta semnalul muscular vezi Figura 4.2. Tensiunea $V1_EMG$ va fi referința, amplificatorul de diferență va face diferența între $V2_EMG$ și $V1_EMG$ (referința). Rezistențele din circuit sunt folosite pentru ajustarea câștigului (amplificării) circuitului deoarece semnalul EMG este de o amplitudine foarte mică 0-10mV (între +5mV și -5mV) înainte de amplificare. Cu ajutorul teoremei suprapunerii efectelor putem deduce formula de ieșire a amplificatorului diferențial:

$$V_{out} = -V_{1_EMG} \left(\frac{R_3}{R_1} \right) + V_{2_EMG} \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1} \right) \quad (4.1)$$

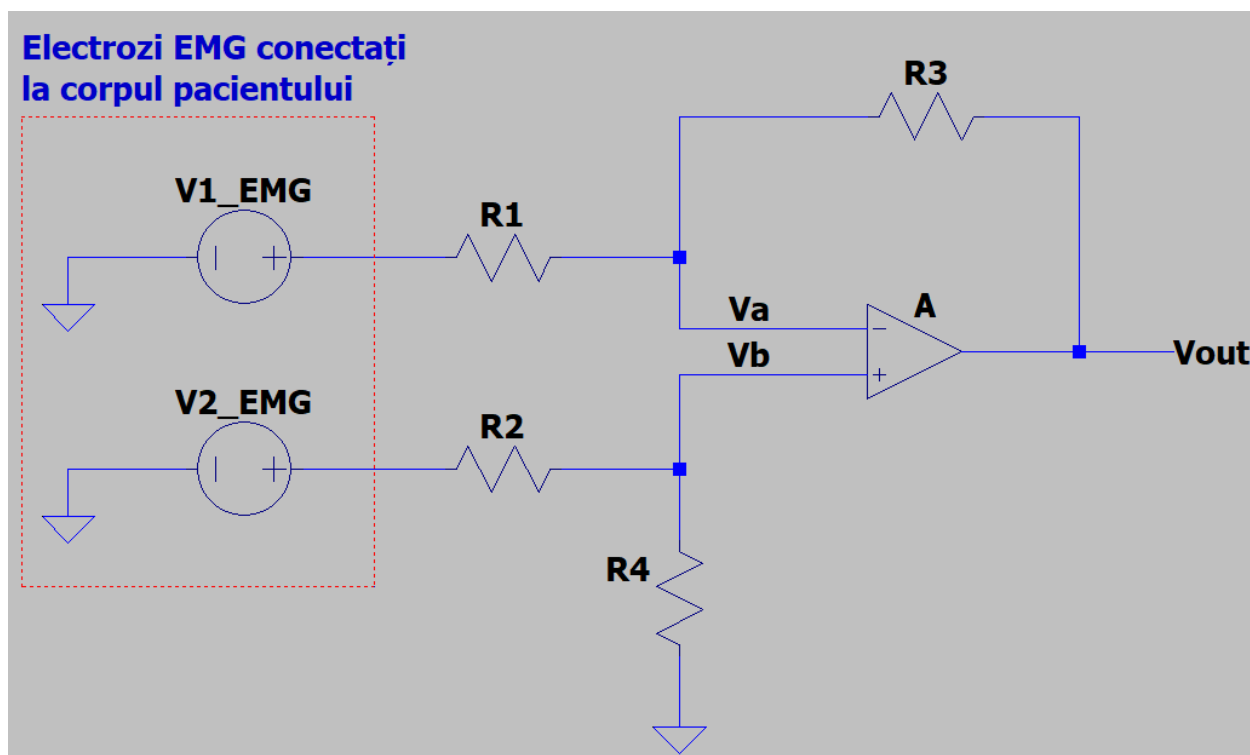


Figura 0.2 Amplificatorul diferențial

Pentru aplicațiile medicale care citesc semnale de la electrozi cu o amplitudine foarte mică de ordinul milivolților se folosesc amplificatoarele de instrumentație, aceste sunt de fapt amplificatoare de diferență cu un câștig foarte mare, care au o impedanță mare de intrare și o ieșire unitară cu o impedanță mică. Amplificatorul de instrumentație se folosește în general pentru amplificarea tensiunilor foarte mici ca și amplitudine ca semnalele EKG, EMG, EEG.

Amplificatorul de instrumentație are o rejecție de mod comun (CMRR) foarte ridicată peste 100dB pe DC (ideal este atunci când cele două tensiuni de intrare sunt egale $V1_EMG = V2_EMG$ tensiunea de ieșire este 0V).

Exemplu general a unui amplificator de instrumentație este prezentat în Figura 4.3.

Primul etaj din amplificatorul de instrumentație este format din două amplificatoare ne-inversoare care au rolul de a crea o impedanță mare de intrare și o impedanță mică de ieșire (amplificator repetor buffer). Semnalele de intrare diferențiale vor avea un câștig $1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_1}$, iar câștigul pentru semnalele de mod comun va fi unitar. Deoarece amplificatorul A1 și A2 sunt cu feedback negativ în buclă închisă, tensiunea V_a va fi egală cu tensiunea $V1_EMG$, iar tensiunea V_b va fi egală cu tensiunea $V2_EMG$. Astfel se va produce o cădere de tensiune pe rezistența $R1$ care este egală cu diferența de tensiune între cei 2 electrozi $V2_EMG$ și $V1_EMG$.

Dacă se aplică o tensiune de mod comun pe fiecare parte a rezistenței $R1$ atunci nu va mai circula nici un curent prin rezistor, nici prin rezistențele $R2$ ceea ce înseamnă ca cele două amplificatoare vor funcționa ca amplificatoare unitate. Prin modificarea rezistenței $R1$ se poate schimba câștigul amplificatorului de instrumentație.

Ieșirea este un amplificator diferențial, face diferența între semnalele de la borna + și cel de la borna -. Ecuația amplificatorului de instrumentație, vezi ecuația 4.2.

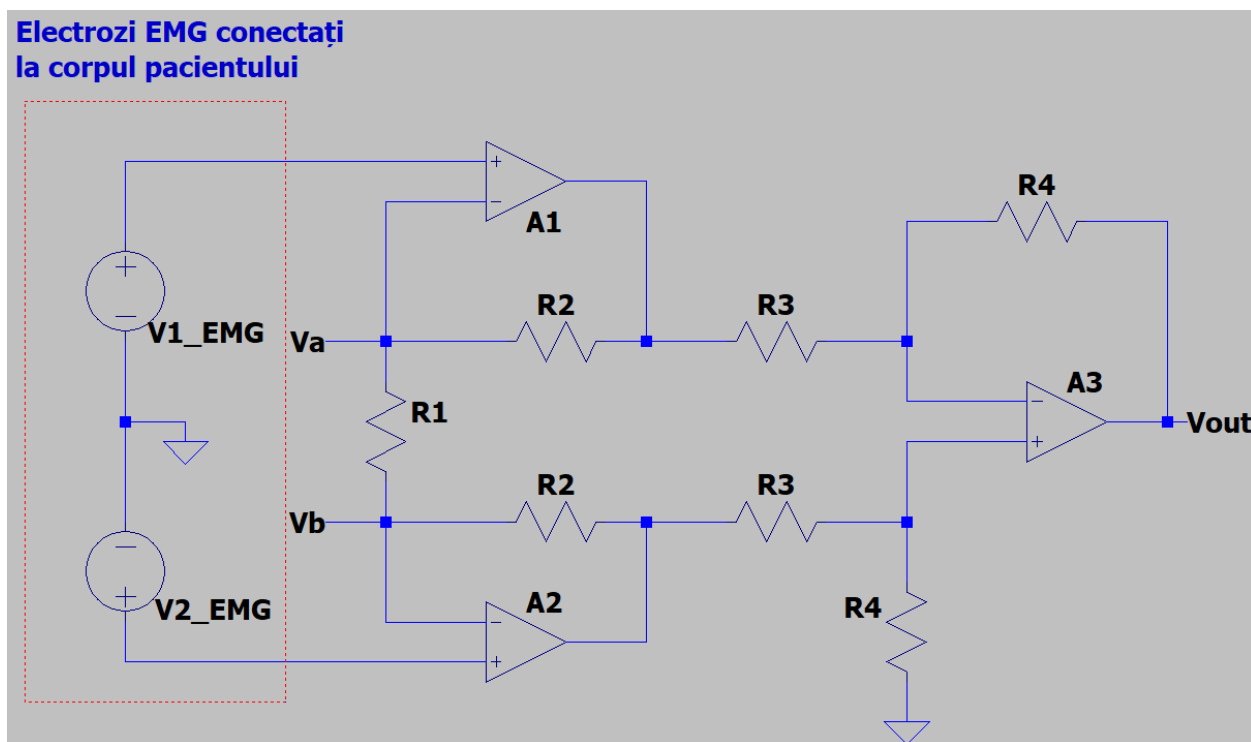


Figura 0.3 Amplificatorul de instrumentație

$$V_{out} = (V_{2_EMG} - V_{1_EMG}) \left[1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_1} \right] \left(\frac{R_4}{R_3} \right) \quad (4.2)$$

Zgomotul electric și factorii care afectează semnalul EMG

Semnalele EMG dobândesc zgomot în timpul călătoriei prin țesuturi, de aceea este foarte important de înțeles zgomotul electric care afectează semnalul EMG pentru a îl filtra corespunzător

în așa fel încât să avem cu semnal curat, ușor de prelucrat și interpretat. Tipurile de zgomote care pot afecta semnalul EMG:

1. **Câmpul magnetic al pământului**- Acest tip de zgomot vine de la radiația electromagnetică, acest tip de zgomot este imposibil de îndepărtat deoarece el este cauzat de suprafața planetei Terra și are o magnitudine cuprinsă între $22\mu\text{T}$ și $67\mu\text{T}$ în dependență de locație și orientarea. Astfel corpurile noastre sunt supuse acestor radiații electromagnetice constant.
2. **Zgomotul de la rețea și zgomotul de instrumentație generat de componentele electronice utilizate în procesarea de semnale**- Artefactele generate de alte dispozitive electronice în sistemul de instrumentație nu pot fi corectate prin algoritmi de detecție. De asemenea trebuie folosit un filtru trece jos de tip Notch sau oprește bandă pentru frecvența de 50Hz și 60Hz de la rețeaua electrică.
3. **Artefacte de mișcare**- Când sunt introduse în sistem artefacte de mișcare, informațiile sunt alterate. Aceste artefacte sunt tranzitorii datorate impedanței electrod-piele odată cu mișcarea electrodului. Alta cauză ar putea fi mișcarea pacientului, tremuraturul. De ex. la EKG se pune o soluție de contact pentru a elimina o parte din aceste zgomote și a face suprafața cât mai puțin rezistivă între pacient și electrod.

În concluzie maximizarea calității semnalului EMG se poate face prin diferite moduri și anume raportul semnal zgomot trebuie să conțină mai mult semnal util decât artefacte zgomotoase pentru a putea fi prelucrat corect și trebuie păstrat cât mai curat semnalul provenit de la EMG fără a îl distorsiona cu alte cuvinte, nu trebuie filtrat excesiv deoarece e posibil să filtrăm și o parte din semnalul util.

Filtru trece sus

Filtrul trece sus este esențial în aplicațiile de electromiografie (EMG) pentru a filtra componentele de frecvență joasă cum ar fi de exemplu unele interferențe de mișcare, tremur natural sau boli cu tremur (Parkinson) care au o bandă de frecvențe predictibilă și alte artefacte lente. Acest filtru permite trecerea semnalelor de frecvență mare care sunt relevante pentru EMG și blochează frecvențele joase.

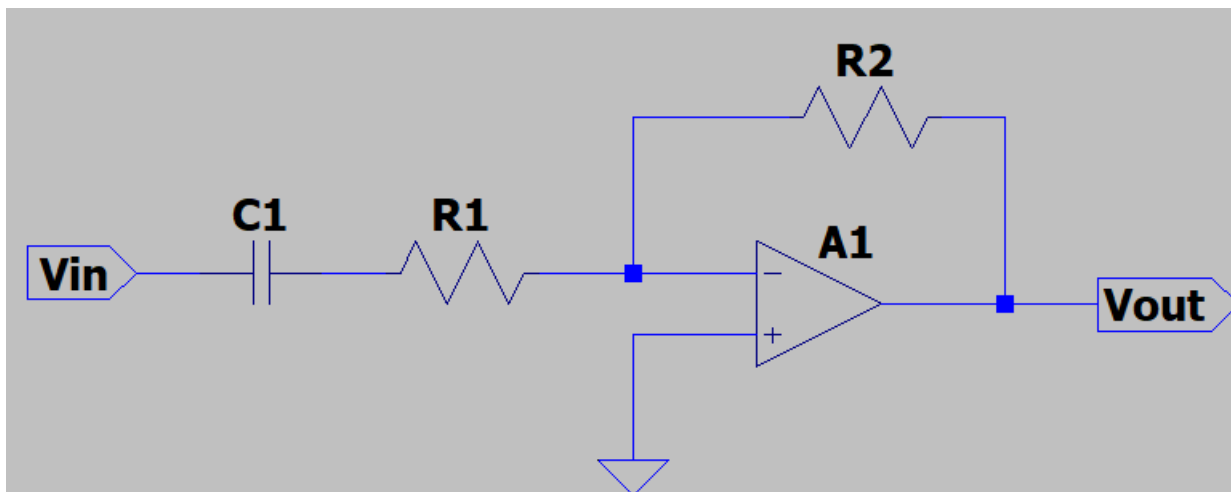


Figura 0.4 Filtru activ trece sus

Pentru acest filtru se poate calcula frecvența de tăiere conform Formulei 4.3 și câștigul maxim(amplificarea) folosind ecuația 4.4.

$$f_{tăiere} = \frac{1}{2 * \pi * R_1 * C_1} \quad (4.3)$$

$$G = \frac{R_2}{R_1} \quad (4.4)$$

Frecvențele EMG sunt generate de activitatea electrică a mușchilor și au o gamă specifică de frecvențe în funcție de tipul de mușchi, de condițiile musculare de condițiile de măsurare. În general frecvențele EMG de suprafață au un spectru de frecvențe cuprins între 10Hz și 500Hz, iar cele intramusculare pot avea o limită maximă de până la 1kHz sau chiar mai mult. În general frecvențele dominante pentru EMG-ul de suprafață se găsesc în intervalul 20Hz-150Hz, iar în mare parte sub 20Hz sunt considerate zgomote de mișcare sau alte tipuri de interferențe.

În concluzie pentru a filtra semnalul EMG este recomandat de folosit un filtru trece sus de o frecvență între 10-20Hz.

Filtrul Notch cunoscut și ca filtru oprește bandă este un tip special de filtru care atenuează semnalul doar într-o anumită bandă de frecvență, lăsând neafectate frecvențele apropiate. În acest caz a fost folosit acest filtru Notch pentru a reduce zgomotul care vine de la rețeaua electrică și anume zgomotul de 50Hz. Dezavantajul acestei topologii ar fi prețul componentelor deoarece este nevoie de toleranță cât mai mică ca banda de frecvență filtrată să fie cât mai aproape de 50Hz [170]. Un exemplu de Filtru Notch activ a fost simulat în LTspice, vezi Figura 4.5.

$$f_o = \frac{1}{2 * \pi * R_4 * C_3} = \frac{1}{2 * \pi * 47k\Omega * 68nF} = 49.7Hz \quad (4.5)$$

$$Q = \frac{R_3}{4 * R_2} = \frac{1k\Omega}{4 * 1\Omega} = 250 \quad (4.6)$$

În acest context, factorul de calitate Q, este o măsură a selectivității a ascuțimii filtrului. Cu cât Q este mai mare cu atât filtrul este mai selectiv, afectând o bandă mai îngustă în jurul frecvenței centrale.

Se poate vedea că în urma simulării filtru permite trecerea oricărei frecvențe până la 50Hz (pe axa X) unde filtru are o atenuare de -15dB, după ce trece de această frecvență filtru nu mai atenuează nimic.

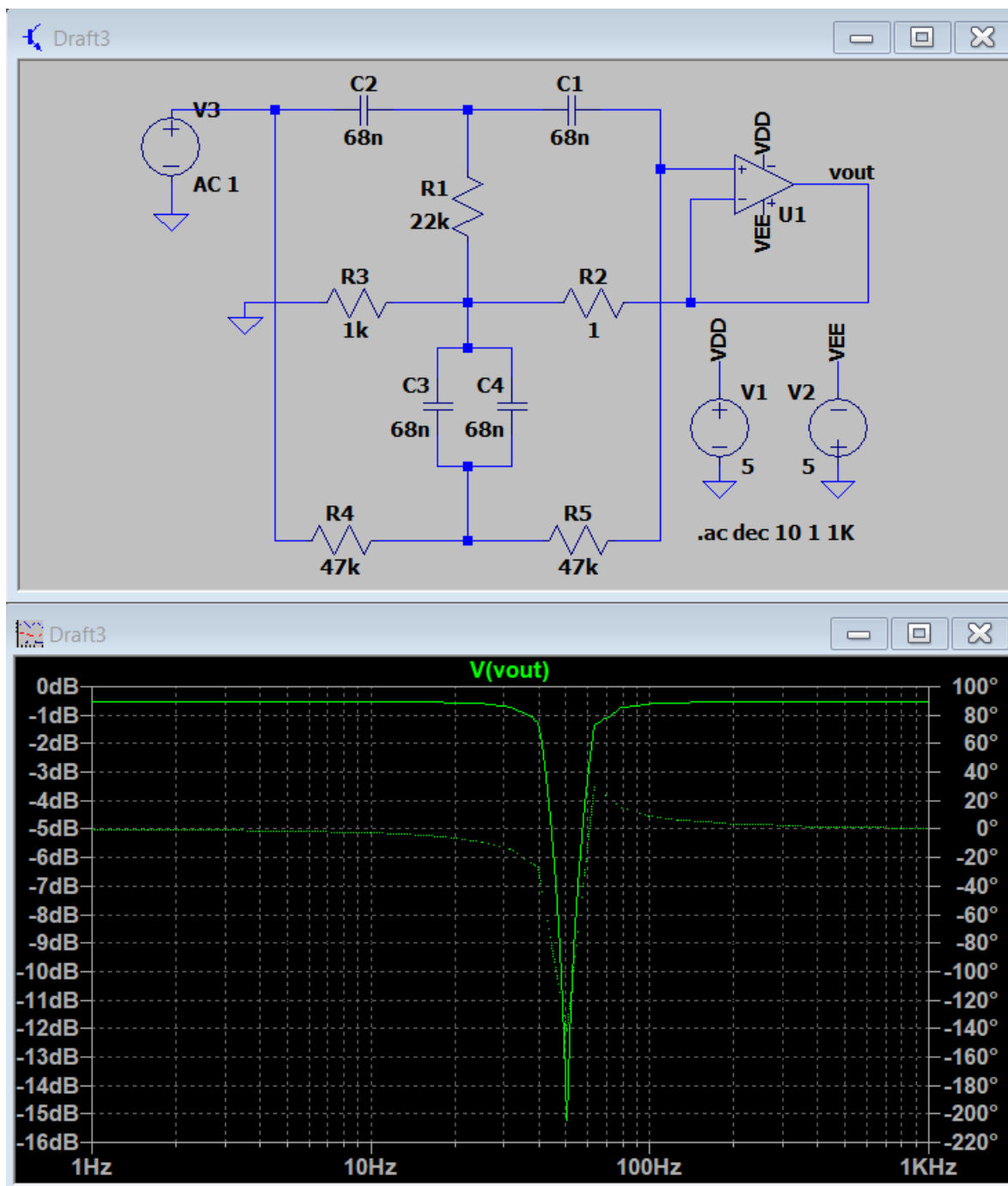


Figura 0.5 Atenuare filtru Notch la 50Hz simulat în LTspice

Redresare de precizie

Semnalul util EMG este un semnal bipolar care este cuprins între $\pm 5\text{mV}$, chiar și după amplificare el v-a varia față de punctul 0V. Pentru a face acest semnal să fie doar pozitiv este nevoie de o punte redresoare de precizie.

Redresorul de precizie este un circuit care permite redresarea semnalelor de mică amplitudine cu o acuratețe mare, folosind amplificatoare operaționale și diode, vezi Figura 4.6.

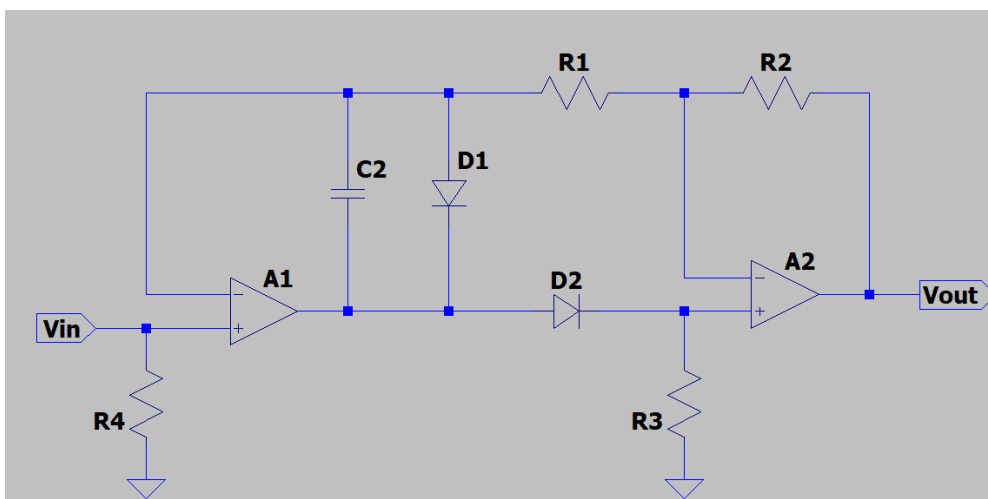


Figura 0.6 Redresor de precizie cu amplificatoare

Atunci când V_{in} este pe alternanța pozitivă dioda $D1$ nu v-a conduce (circuit deschis), dioda $D2$ v-a conduce (circuit închis). În această configurație amplificatorul $A2$ va fi folosit ca și amplificator ne-inversor, intrarea inversoare a amplificatorului $A1$ va fi egală cu tensiunea V_{in} . Având în vedere ca intrarea inversoare a amplificatorului $A1$ este de impedanță ridicată atunci niciun curent nu v-a trece prin rezistențele $R1$ și $R2$, iar amplificatorul $A2$ devine doar un buffer (amplificator repetor). Ceea ce rezultă că $V_{in} = V_{out}$.

În al doilea caz când V_{in} se află pe alternanța negativă, dioda $D1$ v-a conduce (circuit închis), iar dioda $D2$ nu v-a conduce (circuit deschis). Din această cauză amplificatorul $A2$ v-a avea funcția de inversor, intrarea pozitivă fiind conectată la masă prin rezistența $R3$. În acest caz pentru semnalele negative din pinul negativ al amplificatorului $A2$ ieșirea va fi complementară.

$$\text{Pentru } R2 = R1, V_{out} = \frac{R_2}{R_1} = -1 \quad (4.7)$$

Detector de vârf

Detectorul de vârf captează vârfurile de semnal de la intrarea circuitului. Deoarece semnalul EMG variază foarte tare ne dorim să păstrăm forma de undă cât mai stabilă, interesându-ne doar amplitudinea semnalului. Pentru a capta doar amplitudinile maxime a semnalului venit de la mușchi avem nevoie de acest circuit.

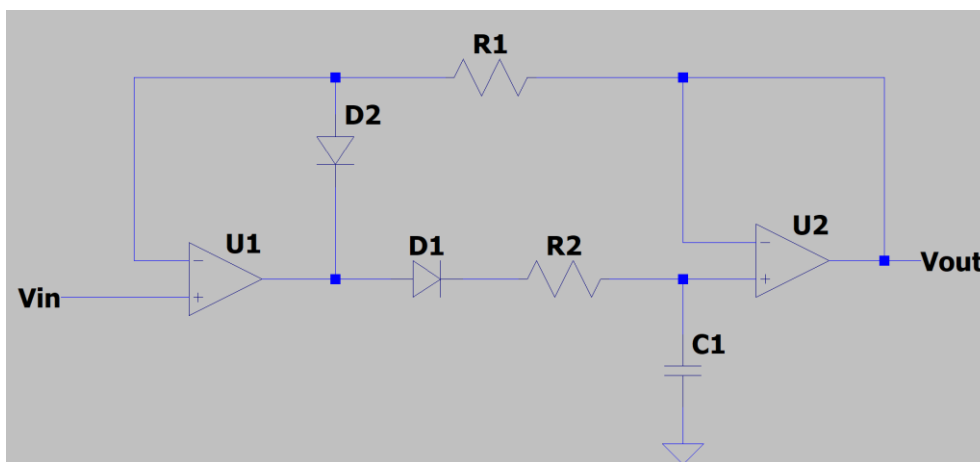


Figura 0.7 Detector de vârf

Acest circuit captează valoarea de vârf a semnalului de la intrarea V_{in} . Când semnalul este pozitiv dioda D1 conduce, iar dioda D2 este închisă, nu trece nici un curent prin rezistența R1. Capacitorul C1 se încarcă cu tensiunea V_{in} prin rezistența R2 care are scopul de a limita curentul prin capacitor. La ieșirea V_{out} o să avem tensiunea V_{in} care este stocată în capacitor, deoarece amplificatorul operațional U2 este un repetor cu câștig unitar.

Când semnalul la intrarea amplificatorului U1 este negativ atunci dioda D1 este blocată deoarece în capacitatea C1 avem stocată tensiunea de la semnalul precedent, iar pe anodul diodei avem tensiune negativă, D2 se va deschide deoarece avem tensiune negativă și va oferi feedback amplificatorului operațional. Circuitul va rămâne în această stare până când un alt semnal pozitiv mai mare în amplitudine decât cel stocat în C1 va fi aplicat și va deschide dioda D1. Capacitatea C1 joacă un rol foarte important deoarece în funcție de valoarea aleasă ea va stoca pe un termen mai lung sau mai scurt tensiunea la amplitudinea maximă. Un exemplu din simularea circuitului se poate vedea în Figura 4.8.

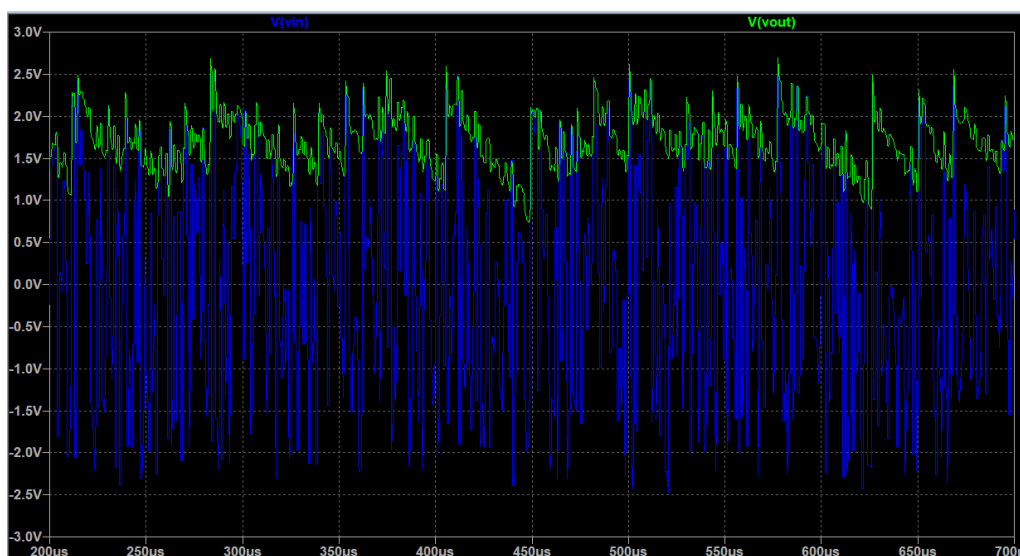


Figura 0.8 Rezultat simulare circuit de detectare vârf

Filtru trece jos. Pentru a elimina semnalele de frecvențe mari este necesară folosirea unui filtru trece jos activ. Știind că semnalul util al unui EMG este între 20Hz – 150Hz acest filtru trebuie calculat în așa fel încât să atenueze toate semnalele cu frecvențe mai mari de 150Hz.

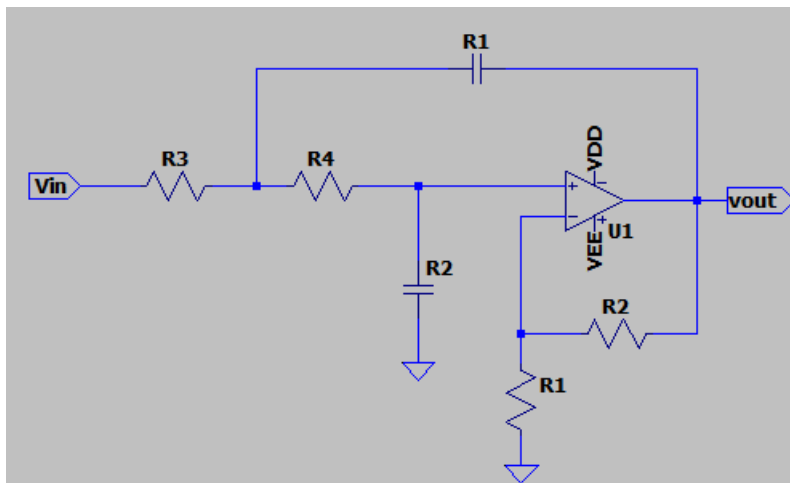


Figura 0.9 Filtru trece jos cu amplificare

Cu acest filtru de ordin 2 atenuarea va fi făcută la -40dB/decadă față de un filtru de ordin unu, unde atenuarea este de -20dB/decadă. Formulele pentru frecvența de tăiere adică frecvența de la care filtrul va începe atenuarea se poate vedea în expresia 4.8 și ecuația pentru câștigul acestui circuit (amplificarea) se poate vedea în expresia 4.9.

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{R_3 * R_4 * C_1 * C_2}} \quad (4.8)$$

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (4.9)$$

Structura generală a sistemului MANUTEX-EMG

Dispozitivul MANUTEX-EMG (vezi Figura 4.10) este compus din două componente principale: o mânășă mecatronică, care facilitează mișcarea mâinii afectate, și un sistem de citire a semnalelor de la electrozii EMG de pe mâna afectată și transmiterea lor către microcontroler. Semnalul EMG este un semnal analogic care este prelucrat (filtrat și amplificat) și apoi transformat în semnal digital de către microcontrolerul ESP32, fiind comparat cu o limită setată de către medicul curant. Când această limită este atinsă, microcontrolerul trimite semnal PWM către actuatorii liniari pentru a ajuta mâna să se miște în concordanță cu semnalul EMG primit. Practic, pacientul încearcă să efectueze o mișcare a mâinii, modulul EMG surprinde acest semnal electric de la mușchiul pacientului, iar dispozitivul MANUTEX EMG îl ajută pe pacient să efectueze mișcarea.

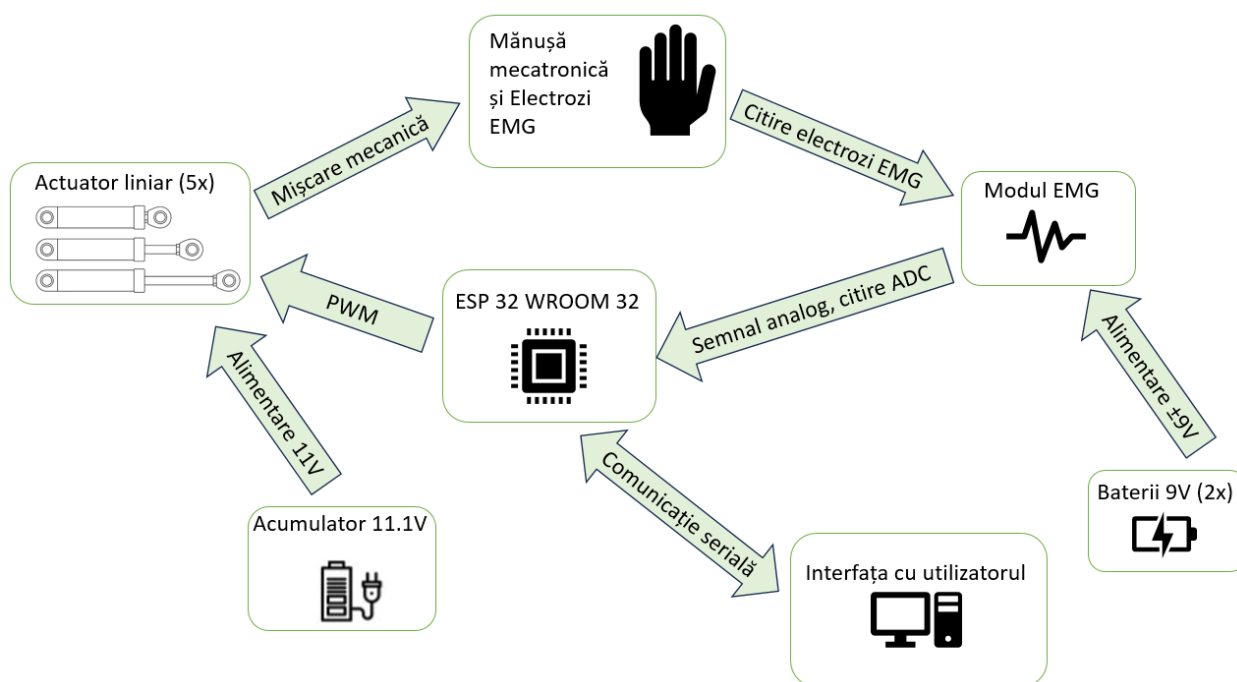


Figura 0.10 Schema bloc a dispozitivului MANUTEX EMG.

Semnalul EMG este transmis către interfața cu utilizatorul prin intermediul microcontrolerului. Mișcarea mecanică a mâinii este efectuată cu ajutorul a cinci motoare liniare,

fiecare controlând câte un deget cu ajutorul unui fir metalic atașat între mână și fiecare motor. Programul scris în microcontroler controlează semnalele de PWM, practic fiind un circuit de control în buclă închisă. Modulul EMG este alimentat cu două baterii de 9V deoarece avem nevoie de tensiune pozitivă cât și negativă pentru amplificatorul de instrumentație. Se folosesc baterii pentru a elimina zgomotul de comutație al unei surse, având în vedere că semnalul EMG este predispus la zgomote.

Semnalul EMG este măsurat cu ajutorul unui modul specializat H124SG care trece semnalul prin mai multe etape de procesare, incluzând preluarea semnalului de la electrozi printr-un amplificator de instrumentație, filtrarea semnalului, amplificarea, redresarea etc.

Mănușa robotică este controlată prin semnale EMG citite de la un senzor conectat la un microcontroler ESP32. Aceasta utilizează biblioteca BluetoothSerial pentru comunicarea Bluetooth și controlează cinci motoare liniare corespunzătoare policelui și degetelor mânușii.

Aspecte Software ale Sistemului MANUTEX EMG

Biblioteca BluetoothSerial.h este inclusă pentru funcționalitatea Bluetooth. Directiva `#if` verifică dacă Bluetooth și Bluedroid sunt activate, altfel aruncă o eroare de compilare. O instanță a BluetoothSerial numită SerialBT este creată pentru a gestiona comunicarea Bluetooth. Pinul 34 al ESP32 este utilizat pentru a citi valoarea semnalului EMG. Pinii ESP32 16, 17, 18, 19 și 21 sunt selectați pentru motoarele liniare care controlează degetele mânușii. Valorile de pași ale degetelor pentru mișcarea mânușii cu o întârziere a comenzii sunt declarate. Valorile maxime și minime pentru motoare sunt definite (mot1Max - mot5Max, mot1Min - mot5Min). Variabilele pentru pragul EMG, valoarea citită analog și valoarea degetelor mânușii sunt declarate.

Funcția `setup()` inițializează comunicarea serială la 115200 baud și începe comunicarea Bluetooth cu numele dispozitivului "ESP32test". Motoarele pentru fiecare deget sunt setate la pozițiile lor minime, cu o scurtă întârziere între fiecare comandă pentru a se asigura că sunt setate corect. O întârziere de 7 secunde este dată pentru a se asigura că mâna se deschide complet.

Funcția `motorCommand()` calculează valorile PWM pentru fiecare motor pe baza procentului de intrare (`localGloveFingerValue`) și trimite aceste valori motoarelor corespunzătoare, controlând mișcarea fiecărui deget.

Funcția `loop()` citește continuu semnalul EMG și verifică noile valori de prag de la portul serial. Dacă semnalul EMG depășește valoarea de prag, motoarele mânușii sunt comandate să se miște de la poziția maximă la cea minimă și înapoi (simulând o mișcare de prindere și eliberare). Funcția `motorCommand()` este apelată pentru a gestiona mișcările reale ale motoarelor. Loop-ul gestionează, de asemenea, comunicarea Bluetooth, trimițând valoarea EMG prin Bluetooth, dacă este disponibilă.

Acest cod controlează o mână robotică folosind semnale EMG (Electromiografie) citite de la un senzor conectat la un microcontroler ESP32. Folosește biblioteca BluetoothSerial pentru comunicarea Bluetooth și controlează cinci motoare liniare corespunzătoare policelui și degetelor mânușii (vezi Figura 4.11):

- Comunicarea Bluetooth și serială sunt inițializate.
- Semnalele EMG sunt citite continuu de la un senzor.
- Dacă semnalul EMG depășește un anumit prag, mișcă degetele mânușii într-un model specific.

- Mișcările motoarelor sunt controlate folosind semnale PWM către actuatori.
- Bluetooth este folosit pentru a comunica valoarea semnalului EMG (de asemenea, prin comunicare serială).

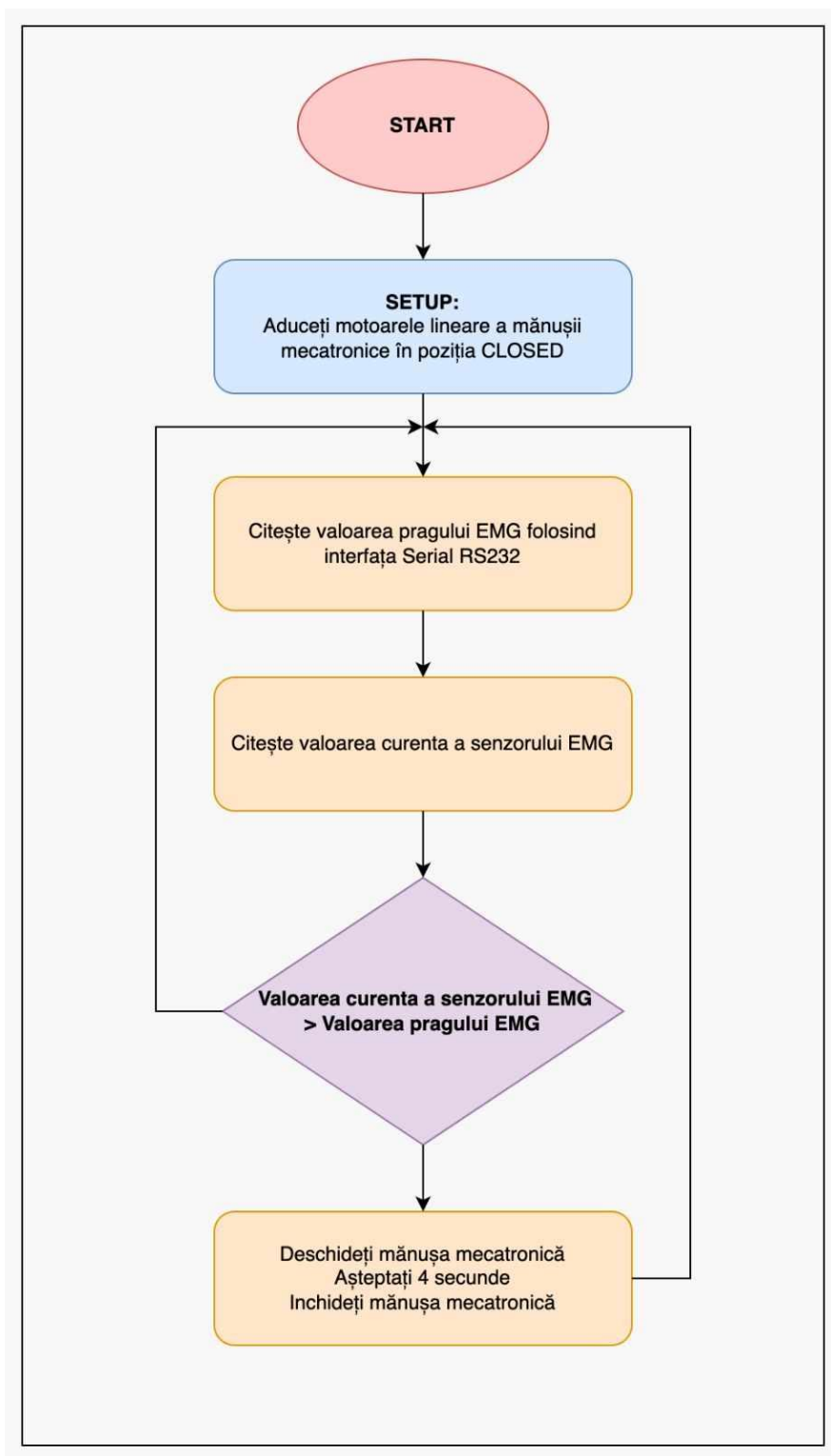


Figura 0.11 Diagrama logică a sistemului MANUTEX-EMG.

Interfața cu utilizatorul este realizată în LabView, unde semnalul EMG trimis de către microcontroler este afișat grafic. Interfața este concepută astfel încât să ofere cât mai multe detalii

utile pentru pacient și pentru medic (vezi Figura 4.12). Rezultatul va fi salvat în format Excel pentru a se observa evoluția pacientului pe tot parcursul ședințelor de recuperare.

The figure displays the MANUTEX EMG user interface, which consists of several panels:

- (A)** Port selection panel: Shows a dropdown menu set to 'COM3' and two buttons, 'Start' (with a green checkmark icon) and 'Stop' (with a red square icon).
- (B)** Patient information panel: Includes fields for 'Name', 'Age', 'Gender' (set to 'Female'), and 'Hemiparesis' (set to 'Right'). There is also a large text area for 'Observation'.
- (C)** Task settings panel: Features three dropdown menus for 'Task Type' (set to 'EMG'), 'Time' (set to '50'), and 'Amplitude' (set to '4500').
- (D)** Elapsed Time panel: A small panel showing the elapsed time as '0'.
- (E)** EMG signal graph: A plot showing the EMG signal (Y-axis, ranging from 0 to 750) over time (X-axis, ranging from 02:00:00 to 02:01:00).

Figura 0.12 Interfața cu utilizatorul MANUTEX EMG.

În interfața cu utilizatorul trebuie setat portul pentru comunicația serială la care este conectat dispozitivul MANUTEX EMG (punctul A din Figura 4.12). Informațiile despre pacient sunt esențiale: nume, vârstă, sex, partea afectată de hemipareză și o rubrică de observații pentru alte detalii (punctul B din Figura 4.12). La punctul C putem selecta limita pentru semnalul EMG de la care vor acționa motoarele liniare. În timpul acestui proces, semnalul EMG poate fi observat în LabVIEW (punctul E din Figura 4.12).

Din spatele interfeței cu utilizatorul: Schema LabVIEW (vezi Figura 4.12).

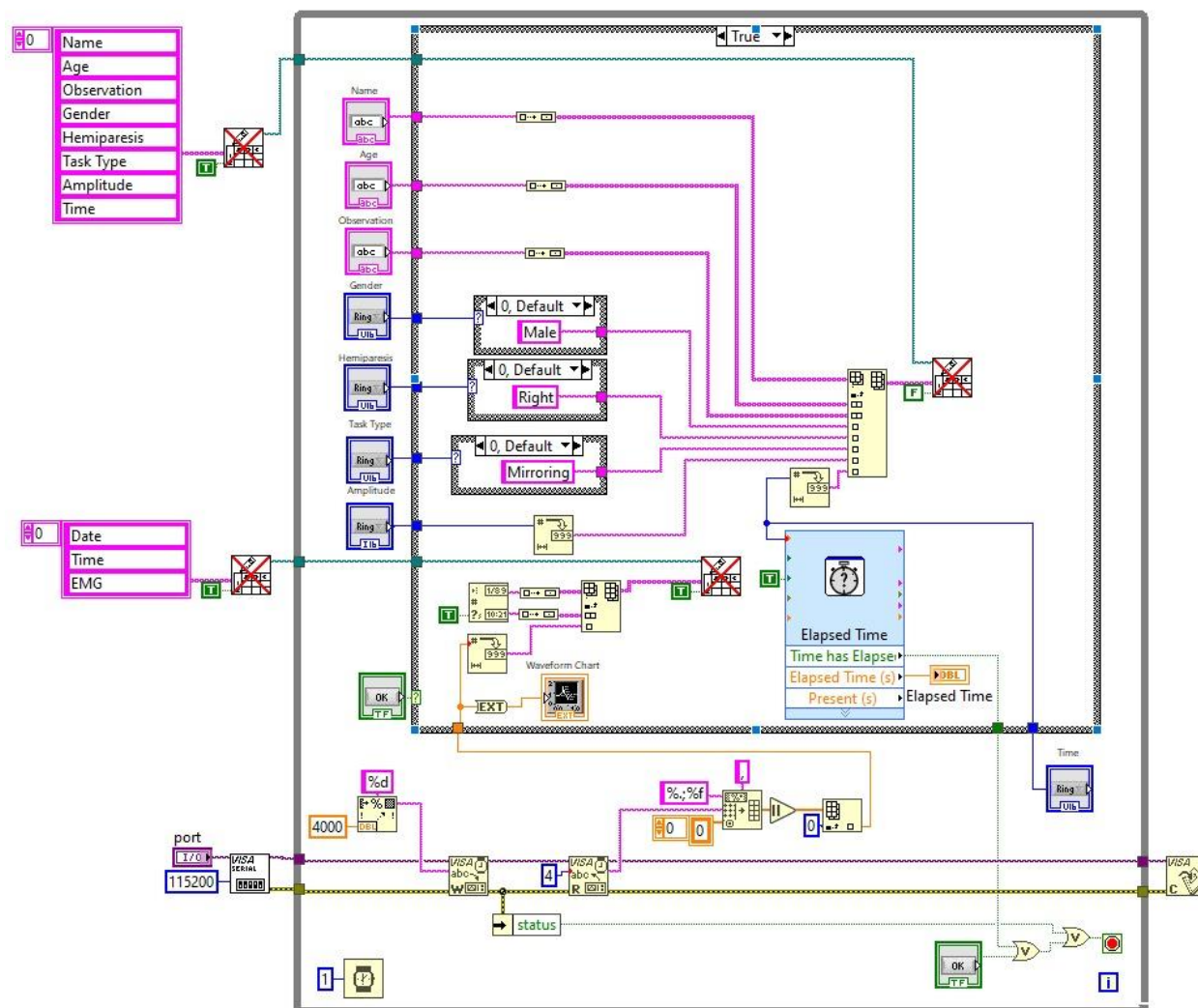


Figura 0.13 Schema LabVIEW.

Intrări și Controale

- **Cluster de date #0:** Acest cluster conține câmpuri de introducere pentru:
 - Name (Nume)
 - Age (Vârsta)
 - Observation (Observație)
 - Gender (Gen)
 - Hemiparesis (Hemipareză)
 - Task Type (Tipul sarcinii)
 - Amplitude (Amplitudine)
 - Time (Timp)

Aceste date sunt introduse de utilizator și sunt esențiale pentru personalizarea și identificarea fiecărui subiect sau pacient.

- **Cluster de date #1:** Acesta conține câmpuri pentru:
 - Date (Dată)
 - Time (Timp)
 - EMG (Semnal EMG)

Structură și Prelucrare

- **Structură de cazuri (Case Structure):** Este plasată într-o buclă (probabil o buclă While), ceea ce permite funcționarea continuă a sistemului. Fiecare caz din această structură poate gestiona diferite etape de procesare a datelor, în funcție de condițiile specifice ale iterației buclei sau de declanșatori externi.
- **Sub-diagrama pentru intrări:**
 - Controalele pentru `Gender (Gen)`, `Hemiparesis (Hemipareză)` și `Task Type (Tipul sarcinii)` sunt conectate la controale de tip ring, permițând selectarea unor valori predefinite (de exemplu, Masculin/Feminin, Dreapta/Stânga, etc.).
 - Datele introduse sunt conectate la indicatori pentru afișare și la alte blocuri pentru procesare ulterioară.

Funcții de Timp:

- **Elapsed Time (Timp scurs):** Acest bloc măsoară timpul scurs de la începutul achiziției și este utilizat pentru monitorizarea duratei experimentului. Este conectat la alte părți ale sistemului pentru a sincroniza procesele sau a declanșa anumite acțiuni după un timp specific.

Ieșiri și Vizualizare

- **Port serial (Serial Communication):** Configurat la 115200 baud rate, indică faptul că există o comunicare serială configurată pentru a primi sau trimite date. Aceasta este esențială pentru conectarea cu dispozitive externe care colectează sau trimit date.
- **Graficul de unde (Waveform Chart):** Acesta este utilizat pentru vizualizarea în timp real a semnalelor EMG sau a altor date analogice colectate. Este conectat la diferite puncte ale sistemului pentru a afișa datele procesate.
- **Bloc de status:** Acesta monitorizează starea generală a sistemului, indicând dacă datele sunt colectate corect și dacă toate funcțiile rulează așa cum trebuie.

Această schemă LabVIEW reprezintă un sistem bine organizat și robust pentru achiziția și monitorizarea datelor biometrice. Combină introducerea manuală a datelor, procesarea automată, monitorizarea timpului și vizualizarea în timp real, fiind ideală pentru aplicații clinice sau de cercetare medicală, în special pentru analiza semnalelor EMG și corelarea acestora cu datele pacientului.

Componente Hardware ale Sistemului MANUTEX EMG

Pacientul încearcă să miște mâna afectată, în timp ce ea este monitorizată EMG, semnalul EMG va ajunge la valoarea limită setată, iar atunci mânușa mecatronică va ajuta mișcarea mâinii pentru un ciclu de închis-deschis (vezi Figura 4.14).

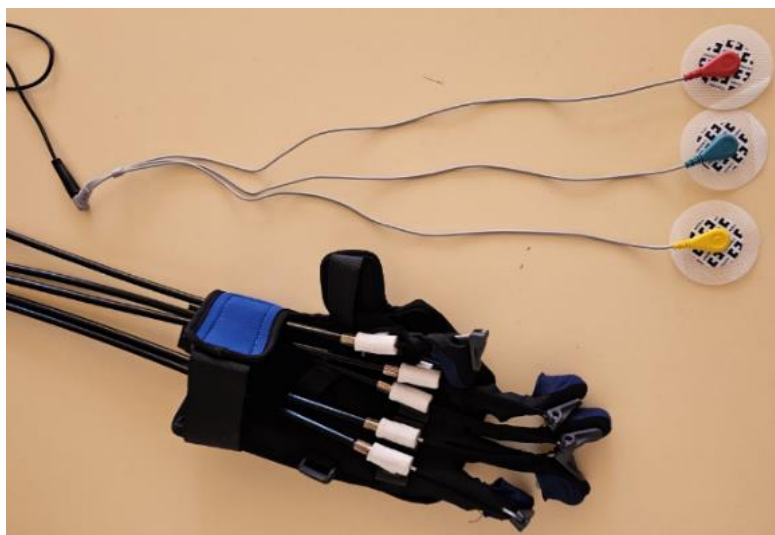


Figura 0.14 Mănușă mecatronică și electrozii EMG.

Mănușa mecatronică este alcătuită dintr-o parte textilă care se atașează pe mâna pacientului și se prinde cu ajutorul unor benzi de velcro. Fiecare deget are un mecanism mobil atașat la un actuator care facilitează mobilitatea acestuia.

Actuatorii liniari folosiți pentru acest proiect sunt de la firma Actuonix, model L12 (vezi Figura 4.15).



Figura 0.15 Actuatori liniar Actuonix (pentru fiecare deget).

Actuonix L12 este o serie de actuatoare liniare proiectate pentru diverse aplicații care necesită control precis asupra mișcării liniare. Aceste actuatoare sunt cunoscute pentru dimensiunea lor compactă, fiabilitate și versatilitate. Iată o prezentare generală a caracteristicilor și specificațiilor cheie (tabel 4-1):

1. **Design compact:** Actuatoarele din seria L12 sunt mici și ușoare, făcându-le potrivite pentru aplicații în care spațiul este limitat.
2. **Operațiuni variate de control:** Sunt disponibile cu diferite opțiuni de control, inclusiv:
 - **RC (control de la distanță):** Potrivit pentru aplicații care necesită control la distanță prin semnale radio, utilizat frecvent în hobby-uri de robotică.
 - **P (control al poziției):** Permite controlul direct al poziției actuatorului folosind un potențiomtru.
 - **I (controler intern):** Controler integrat pentru operare ușoară cu cablaj simplu.
 - **S (feedback):** Oferă feedback asupra poziției actuatorului pentru sisteme de control în buclă închisă.
3. **Diferite lungimi de cursă:** Seria L12 oferă multiple lungimi de cursă, variind de la 30 mm la 100 mm, pentru a satisface diferite nevoi de aplicație.
4. **Durabilitate:** Construită cu materiale robuste pentru a asigura longevitatea și performanța fiabilă în diverse medii.
5. **Opțiuni versatile de montare:** Multiple opțiuni de montare pentru instalare flexibilă.

Specificații tehnice:

Tabel 0-1 Specificații tehnice

Punctul maxim de putere	62 N @ 3.2 mm/s
Opțiunea cursei	100mm
Greutate	56 g
Acuratețea poziționării	0.5 mm
Potențiomtru	11 k Ω /mm $\pm$ 50%, 2% linearitate
Factor de umplere	20 %
Durata de viață	1000 ore la factorul de umplere nominal
Temperatura de funcționare	-10°C până la +50°C
Temperatura acumulata	-30°C până la +70°C
Clasificarea protecției de intrare	IP-54
Zgomotul produs	55 dB la 45 cm
Curentul maxim (blocaj)	460 mA la 6 V & 246 mA la 12 V

Motoarele liniare sunt alimentate cu ajutorul acumulatorului LiPo Gens Ace Bashing 5000mAh 14.8V 4S1P 60C XT90 (vezi Figura 4.16).



Figura 0.16 Acumulator 14.8V 5000mAh

Influența forței de acționare asupra vitezei de mișcare este ilustrată în următoarea caracteristică (vezi Figura 4.17).

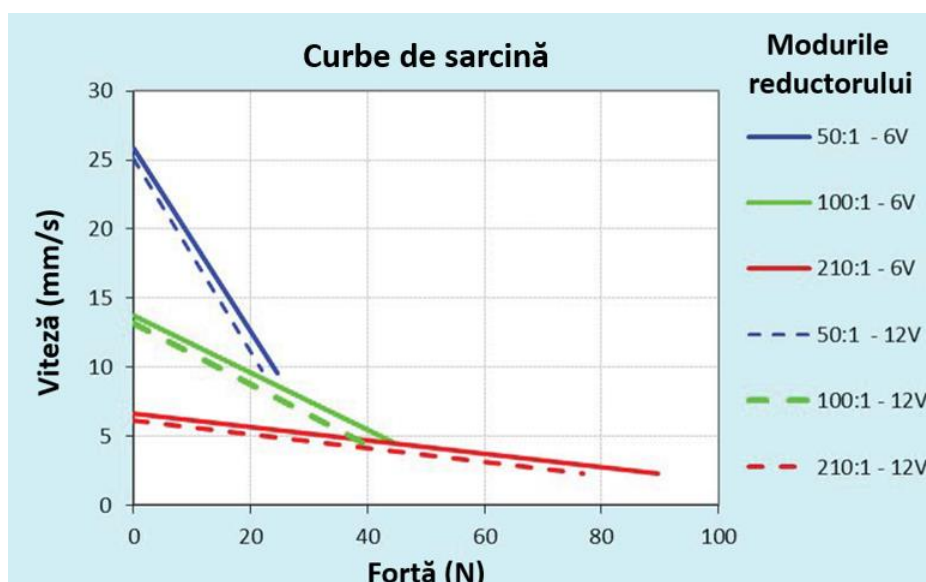


Figura 0.17 Caracteristicile forței.

Curentul consumat de către actuator este direct proporțional cu forța necesară motorului pentru a acționa elementul mecanic, iar acest aspect poate fi observat în următoarea caracteristică (vezi Figura 4.18).

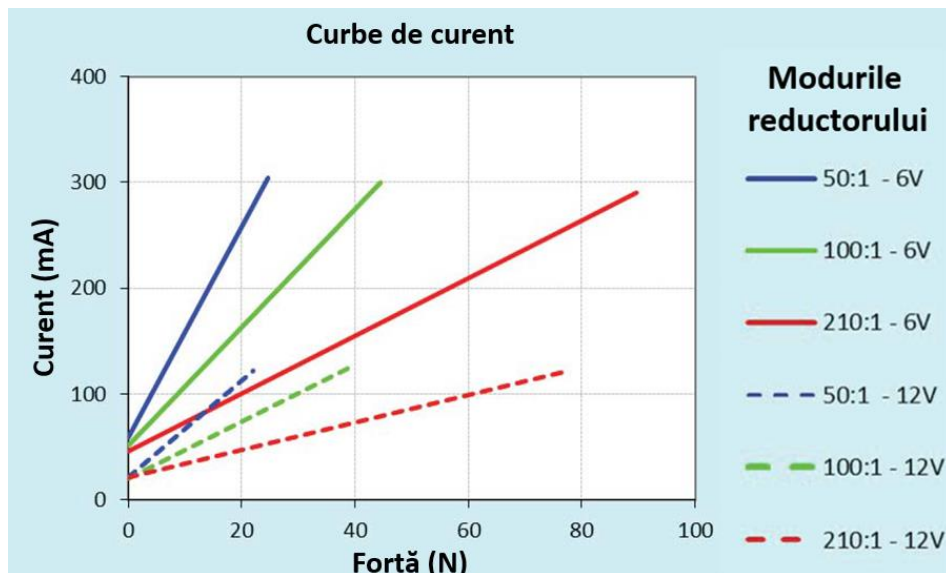


Figura 0.18 Caracteristicile curentului.

Actuatoarele liniare sunt controlate de modulul ESP32-WROOM-32, care este un modul Wi-Fi și Bluetooth integrat dezvoltat de Espressif Systems. Acest modul este foarte popular în comunitatea dezvoltatorilor datorită versatilității și puterii sale de procesare. Modulul ESP32 face legătura între toate componentele dispozitivului MANUTEX EMG.



Figura 0.19 Interiorul dispozitivului MANUTEX-EMG.

În Figura 4.19 se poate vedea în interiorul carcasei dispozitivului MANUTEX EMG. Sub placajul de aluminiu se află actuatoarele liniare care controlează cele cinci degete ale mâinii individuale, (vezi Figura 4.15). Figura 4.21 prezintă schema bloc detaliată a dispozitivului menționat. Modulul ESP32 comunică cu modulul EMG pentru a citi datele despre activitatea musculară a mâinii. Atunci când semnalul muscular depășește pragul setat în aplicație, motoarele liniare sunt acționate pentru a efectua mișcarea degetelor. Toate datele și măsurătorile sunt vizibile pe interfața cu utilizatorul din LabVIEW, care este intermediată printr-o comunicare serială, (vezi Figura 4.20).

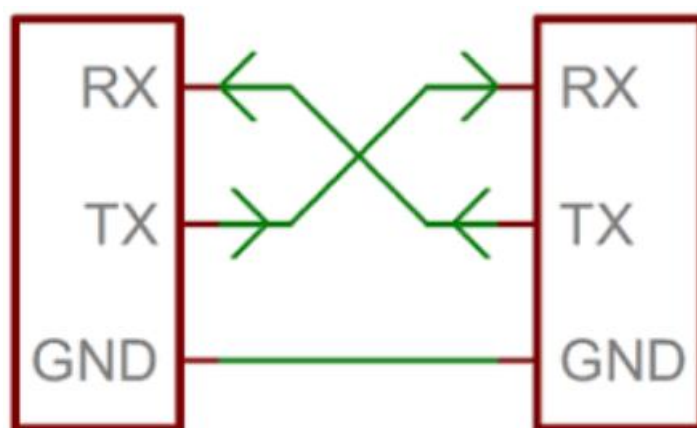


Figura 0.20 Transmisie de date serială (adaptare după [174]).

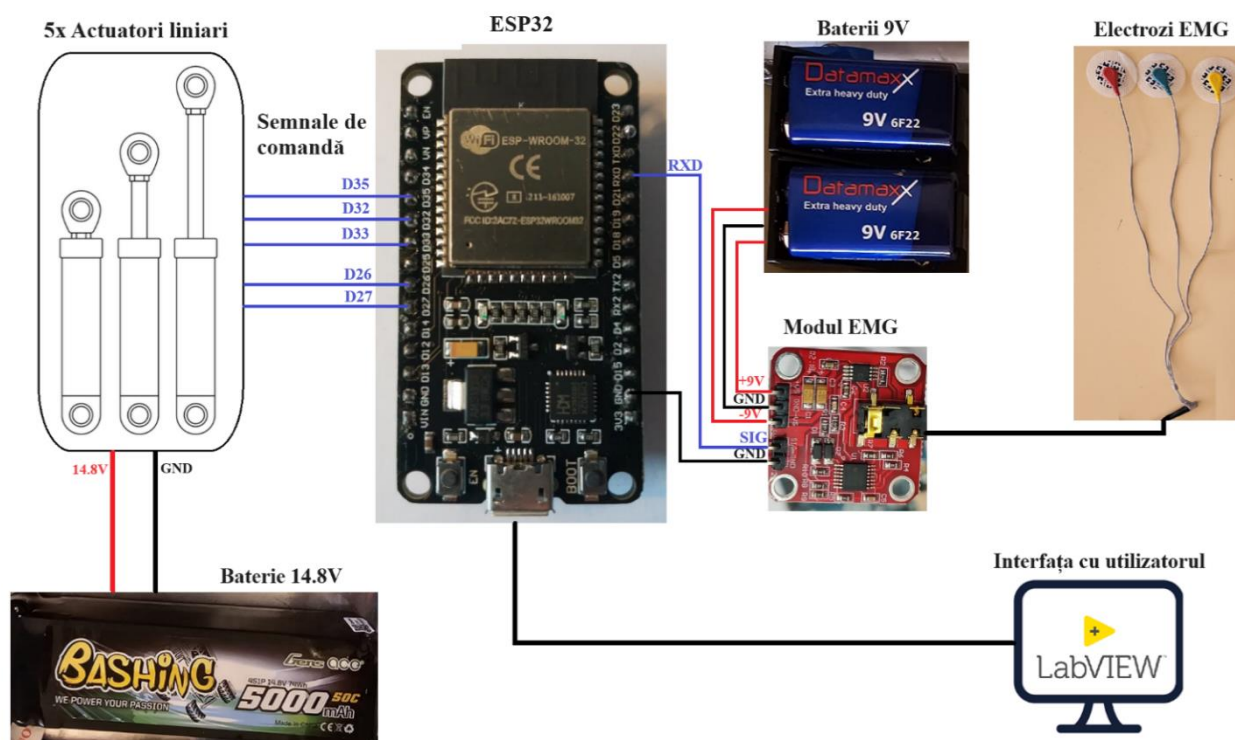


Figura 0.21 Schema bloc MANUTEX-EMG.

Aplicația software pentru controlul și conversia datelor include mai multe etape. În primul rând, rutina de configurare reglează motoarele liniare pentru a închide degetele mâinii mecatronice. Urmează rutina care preia valoarea pragului, setată manual de utilizator prin interfața serială RS232 a interfeței cu utilizatorul. Valoarea actuală a senzorului EMG, digitalizată printr-un ADC, este apoi comparată cu pragul EMG stabilit. Dacă valoarea curentă depășește pragul, mâna mecatronică efectuează un ciclu complet de extensie și flexie, cu o pauză de patru secunde între mișcări. După deschiderea și închiderea degetelor, software-ul continuă monitorizarea valorii senzorului EMG, atâta timp cât aceasta rămâne sub prag[.

Obiectivul general al capitolului al V-lea

Capitolul al V-lea, intitulat „Dezvoltarea și implementarea dispozitivelor inovative într-o echipă interdisciplinară”, are ca obiectiv general prezentarea procesului de concepție și integrare a două dispozitive importante în domeniul reabilitării medicale: MANUTEX și GFTSN. Acest capitol detaliază atât soluțiile hardware cât și cele software dezvoltate în cadrul unei colaborări interdisciplinare, subliniind complexitatea și eficiența abordării adoptate. În prima parte a capitolului, se prezintă structura și funcționalitatea dispozitivului MANUTEX, destinat reabilitării mâinii, punând accent pe implementarea terapiei FES (stimulare electrică funcțională) ca metodă centrală de stimulare neuromusculară pentru a facilita recuperarea funcțională. Descrierea detaliată a componentelor hardware și software ale MANUTEX oferă o perspectivă completă asupra modului în care acest dispozitiv a fost proiectat pentru a interacționa eficient cu utilizatorul și pentru a răspunde nevoilor specifice de reabilitare.

În cadrul programului de studii doctorale, cercetarea s-a concentrat pe dezvoltarea și implementarea dispozitivelor inovative de recuperare, realizate într-o echipă interdisciplinară formată din profesori, doctori, ingineri și doctoranzi. Parteneriatul esențial dintre Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași și Spitalul Clinic de Recuperare, facilitat de grantul 25PTE/2020, a susținut sinergia necesară pentru succesul acestor proiecte.

Unul dintre principalele sisteme dezvoltate este MANUTEX (figura 5.1 și 5.2), un sistem mecatronic destinat recuperării mâinii afectate a pacienților. Acest dispozitiv integrează o mânășă mecatronică și o soluție hardware avansată, incluzând o placă STM32 Nucleo-F030R8, actuatori liniari Firgelli L12 și o mânășă senzorială 5DT. Sistemul utilizează stimularea electrică funcțională (FES) pentru tonifierea mușchilor și facilitarea mișcărilor funcționale, oferind o abordare completă pentru reabilitarea neuromotorie.



Figura 5.1 Prezentarea generală a dispozitivului MANUTEX



Figura 0.2 Sistemul MANUTEX – vedere în interior.

Dezvoltarea hardware și software a fost realizată cu atenție, incluzând proiectarea unei mănuși textile (figura 5.3) cu electrozi încorporați, compatibilă cu sistemul MANUTEX. Mănușa a fost testată cu succes, confirmând fezabilitatea utilizării sale în practica medicală. Sistemul a demonstrat eficiență în testele inițiale, pregătindu-se pentru testări clinice ulterioare.

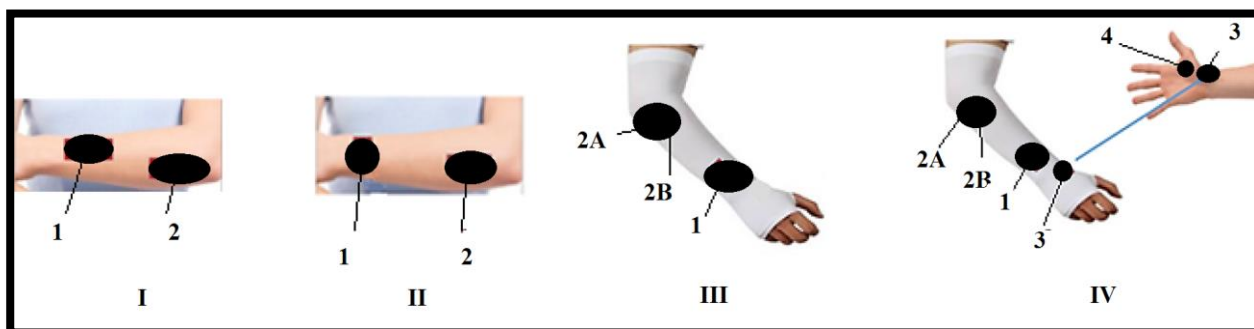


Figura 0.3 Amplasarea electrozilor pe suprafața textilă.

- **I și II** – poziționările electrozilor pentru extensia mâinii la diferite grade de activare;
- **III** – ajută la o selectivitate mai bună a mușchilor, deoarece electrodul 2 este împărțit în doi electrozi mai mici (2A și 2B);
- **IV** – activează extensia mâinii și a policelui, cu ajutorul altor doi electrozi, 3 și 4.

Electrozii sunt construiți folosind structuri tricotate (interiorul - a) și exteriorul - b)), configurate pentru a stimula grupurile musculare specifice ale mâinii, folosindu-se fir de elastan și fir conductiv de curent electric (vezi Figura 5.4).

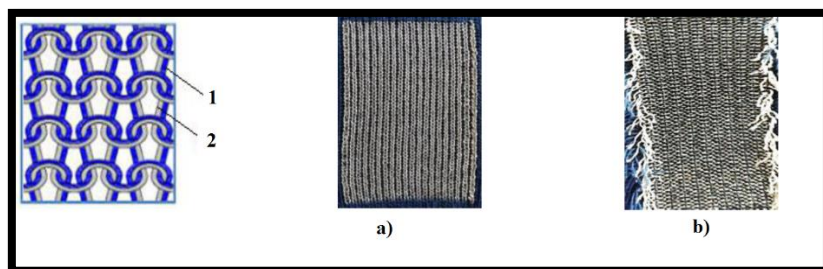


Figura 0.4 Modul de realizare a electrozilor a) Interior și b) exterior electrod.

În etapa de testare, conectorii cablurilor neurostimulatorului sunt fixați pe electrozi cu ajutorul unei soluții conductive electrice (vezi Figura 5.5).



Figura 0.5 Lipirea cablurilor pe suprafața textiă a electrodului.

Integrarea stimulării electrice funcționale (FES) în sistemul MANUTEX a fost esențială pentru îmbunătățirea mișcărilor pacienților. Parametrii de stimulare, cum ar fi amplitudinea curentului, durata impulsului și frecvența stimulării, au fost ajustați pentru a maximiza contracția musculară și a preveni deteriorarea pielii. Studiul detaliat al electrozilor și al tehnicilor de stimulare a contribuit la optimizarea beneficiilor terapeutice, oferind o soluție inovatoare și eficientă pentru reabilitarea pacienților cu afecțiuni neurologice.

A doua parte a capitolului este dedicată sistemului GFTSN, care a fost dezvoltat pentru a evalua și monitoriza progresul recuperării mâinii în timpul terapiei. Structura acestui sistem de evaluare este analizată în profunzime, evidențiind modul în care componentele sale contribuie la o monitorizare precisă și continuă a evoluției pacienților. Capitolul subliniază sinergia dintre MANUTEX și GFTSN, evidențiind cum aceste dispozitive, integrate într-un sistem coerent, asigură nu doar reabilitarea efectivă a mâinii, ci și o evaluare riguroasă a progresului recuperator. În ansamblu, capitolul al V-lea nu doar descrie aspectele tehnice ale dezvoltării acestor dispozitive inovative, dar

și importanța unei abordări interdisciplinare în realizarea unor soluții complete și eficiente pentru reabilitarea medicală. Acesta evidențiază modul în care colaborarea între diverse domenii de expertiză a permis depășirea provocărilor tehnice și clinice, contribuind semnificativ la avansarea tehnologiilor de reabilitare și îmbunătățirea calității vieții pacienților.

Evaluarea propriu-zisă folosind GFTSN se desfășoară în fața unui monitor, unde interfața cu utilizatorul arată două semnale. Aceasta implică necesitatea unui computer în proximitatea monitorului. Din acest motiv, conexiunea fără fir cu placa electronică nu este necesară. În lumina acestei considerații și renunțând la alimentatorul separat, s-a implementat transferul de informații prin portul USB, iar alimentarea plăcii electronice se realizează cu o tensiune de 5V furnizată de laptop. Indiferent de posibilele viitoare îmbunătățiri, placa de dezvoltare ESP32 WROOM 32 oferă numeroase opțiuni de implementare, inclusiv capacitatea de a realiza transferuri de informații fără fir.

Următoarea componentă se bazează pe o tehnologie brevetată de către Avia Semiconductor. HX711 (vezi Figura 5.6) este un convertor analog-digital (ADC) de precizie, cu o rezoluție de 24 de biți, special conceput pentru utilizarea cu celule de forță, fiind extrem de utilizat în aplicații de cântărire. Acest modul dispune de două canale de intrare, însă rezoluția lor de citire nu este uniformă. Canalul A poate funcționa la rezoluții de 128 sau 64, în timp ce canalul B are o rezoluție fixă de 32, care este semnificativ mai mică decât cea a canalului A [193].

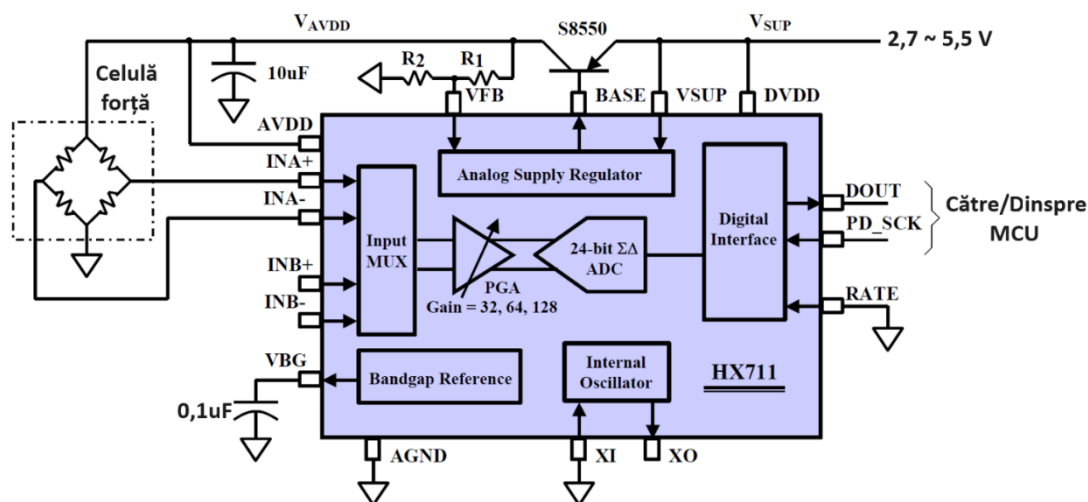


Figura 0.6 Schema bloc HX711 (adaptare după [193]).

Pentru a măsura forța de priză palmară și prehensiunea degetelor, s-a utilizat o celulă de forță PW6C, fabricată de HBM (vezi Figura 5.7). Aceste celule de forță sunt echipate cu o punte Wheatstone (vezi Figura 5.8), care permite măsurarea unei rezistențe electrice necunoscute prin echilibrarea a două ramuri ale unui circuit de punte, una dintre ele conținând componenta necunoscută.



Figura 0.7 Celula de forță PW6C (adaptare după [194])

Unul dintre avantajele majore ale acestui tip de circuit este capacitatea sa de a oferi precizie în măsurători.

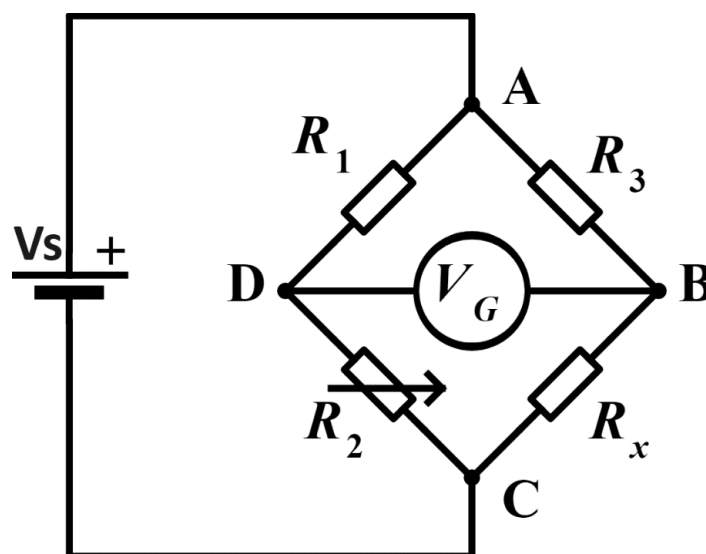


Figura 0.8 Puntea Wheatstone (adaptare după [195])

În Figura 5.14 este ilustrată schema electrică a punții Wheatstone. În această configurare, R_x reprezintă rezistența necunoscută, a cărei valoare este de obicei cea care trebuie determinată. R_1 , R_2 și R_3 sunt rezistențe cu valori cunoscute. Rezistența R_2 poate fi ajustată pentru a echilibra puntea astfel încât să nu circule curent prin galvanometru, moment în care diferența de potențial între punctele B și D este zero. Dacă diferența de potențial este diferită de zero, direcția curentului prin galvanometru va indica dacă R_2 este prea mare sau prea mic în raport cu R_x [195].

Inițial, au fost executate componentele auxiliare ale senzorului folosit pentru măsurarea forței prizei palmare. În total, există patru elemente: baza principală, baza secundară, elementul de susținere 1 și elementul de susținere 2. Aceste componente sunt asamblate pentru a susține celula de forță.

Pentru evaluarea abilității, coordonării și forței în prehensiunea degetelor, celula de forță a fost echipată cu trei elemente auxiliare: o bază și două elemente de susținere. Baza susține primul element de susținere al senzorului, proiectat pentru a facilita modularea forței în prehensiunea dintre degetul arătător și policlei. În partea superioară a senzorului, un element mecanic permite poziționarea precisă a degetului arătător și a policlei, astfel încât să aplice forțe opuse pe aceeași axă.

Lista de materiale include un modul ESP32-WROOM-32, două module HX711, doi conectori DB9 la 90 de grade și două socluri pentru pini mamă.

Realizarea schemei electrice (vezi Figura 5.8) și a cablajului imprimat s-a efectuat cu ajutorul platformei EasyEDA. Deși s-au utilizat module preexistente, a fost necesară crearea unei plăci pentru a integra toate componentele, eliminând astfel nevoia de fire electrice suplimentare.

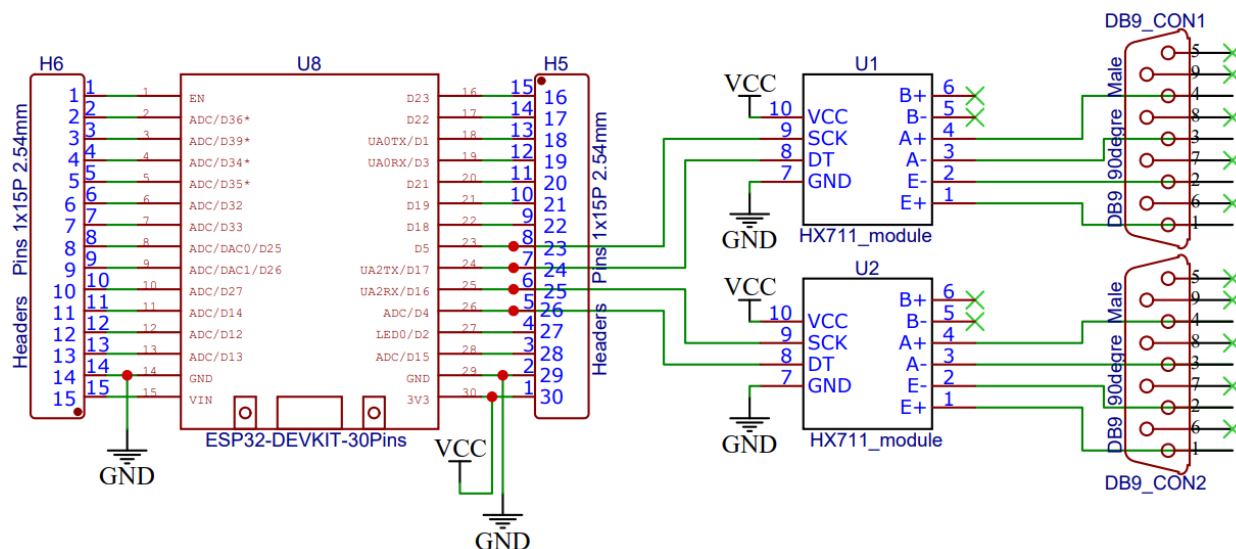


Figura 0.8 Schema electrică a dispozitivului GFTSN

Implementarea programului

Utilizând programul Arduino IDE, s-a realizat implementarea programului în interiorul ESP32. Structura programului este prezentată în Figura 5.9. Protocolul de comunicare a fost schimbat din Bluetooth în serial, ceea ce a necesitat și o modificare a interfeței cu utilizatorul.

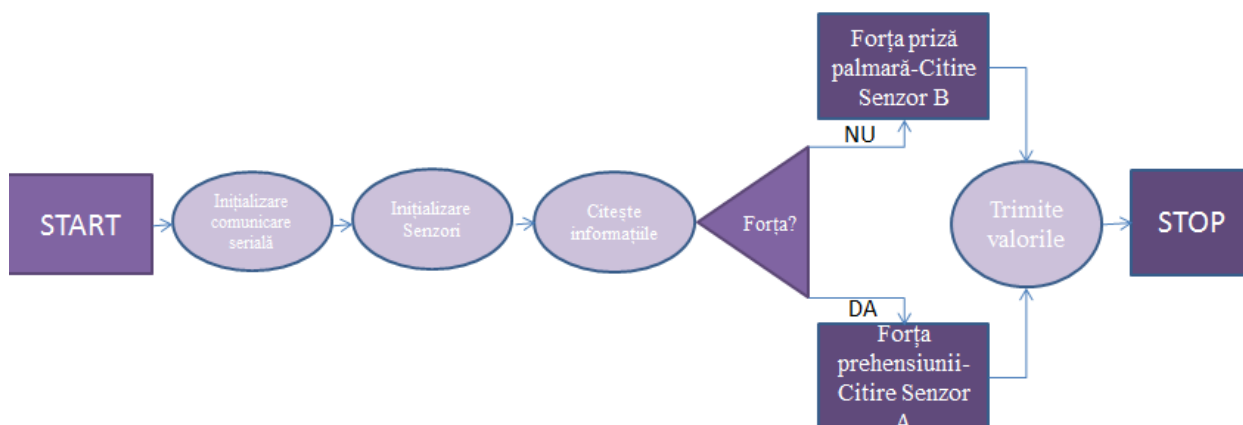


Figura 0.9 Structura programului

Interfața cu utilizatorul a proiectului GFTSN, dezvoltată în LabVIEW, este structurată în șase module principale(vezi Figura 5.10 și 5.11):

Realizarea mecanică a sistemului GFTSN

Circuitul imprimat a fost inițial creat manual, însă pentru o producție în masă se va colabora cu un furnizor specializat în cablaje imprimate pentru a asigura un standard profesional.

Pentru realizarea manuală a cablajului, am folosit metoda termo-transferului, urmând pași preciși de decupare, curățare, imprimare și corodare. Componentele au fost apoi montate pe cablaj.

Ultima etapă a implicat asamblarea elementelor mecanice proiectate anterior, finalizând astfel construcția sistemului GFTSN (vezi Figura 5.12). Aceste etape au permis atingerea tuturor obiectivelor propuse pentru îmbunătățirea și optimizarea sistemului GFTS.



Figura 0.12 Asamblarea plăcii electronice în carcasă

Obiectivul general al capitolului al VI-lea

Capitolul al VI-lea al tezei are ca obiectiv general prezentarea și analiza elementelor de evaluare clinică ale sistemelor MANUTEX-EMG, MANUTEX și GFTSN, punând accent pe validarea acestor tehnologii inovative în contextul real al reabilitării medicale. Evaluarea a fost concepută și realizată în două etape distincte, având ca scop optimizarea funcționalității dispozitivelor și asigurarea eficienței lor în practica clinică. În prima etapă, testările au fost efectuate pe cadre medicale, incluzând doctori, rezidenți și fiziokinetoterapeuți, pentru a obține un feedback expert, esențial în ajustarea și perfecționarea dispozitivelor înainte de aplicarea lor pe pacienți. Această abordare a permis identificarea și remedierea eventualelor limitări tehnice și a contribuit la îmbunătățirea interfeței și a ușurinței de utilizare a sistemelor.

În a doua etapă, testările clinice au fost extinse la pacienți, oferind astfel o evaluare practică și directă a eficienței sistemelor MANUTEX-EMG, MANUTEX și GFTSN în procesul de recuperare. Aceste testări au fost realizate în cadrul Spitalului Clinic de Recuperare Iași, pe secțiile de recuperare Neuromotorie și Neurologie, asigurând astfel un cadru adecvat pentru observarea și monitorizarea progresului pacienților în timpul terapiei. Evaluarea clinică a acoperit o gamă largă de parametri, incluzând recuperarea funcțională, confortul pacientului și impactul asupra calității vieții, rezultatele obținute oferind o validare esențială a eficacității și aplicabilității acestor sisteme în tratamentul pacienților cu afecțiuni neurologice. În ansamblu, capitolul al VI-lea subliniază importanța unui proces riguros de evaluare clinică în integrarea și validarea noilor tehnologii de reabilitare, evidențiind modul în care aceste sisteme pot transforma practica medicală și pot îmbunătăți semnificativ rezultatele terapeutice ale pacienților.

Testarea clinica MANUTEX-EMG

În cadrul parteneriatului dintre Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași și Spitalul Clinic de Recuperare, susținut de grantul 25PTE/2020, a fost realizat un studiu pentru evaluarea sistemului de reabilitare MANUTEX-EMG, implicând 31 de cadre medicale specializate în recuperare neurologică și neuromotorie. Studiul a utilizat un chestionar structurat pentru a evalua siguranța, eficacitatea și utilizabilitatea dispozitivului.

Rezultatele au evidențiat performanța ridicată a sistemului, confirmată de 30 din 31 de respondenți care au apreciat înregistrarea eficientă a contracțiilor musculare. De asemenea, impresia generală a fost foarte pozitivă, majoritatea respondenților evaluând experiența ca fiind „foarte bună”. Procesul de montare și pornire a echipamentului a fost considerat ușor, iar utilizarea EMG-ului integrat a fost percepută ca fiind facilă și precisă. Funcționalitatea mânușii mecatronice a fost apreciată pentru reproducerea mișcărilor naturale ale mâinii, fără disconfort tegumentar, iar senzațiile proprioceptive au fost descrise ca fiind naturale și confortabile.

Evaluarea generală a utilizării mânușii și a exoscheletului a arătat rezultate foarte pozitive, cu respondenți care au remarcat eficiența sistemului în reabilitarea mâinii, contribuind la îmbunătățirea funcțiilor motorii și reducerea spasticității. Aceste rezultate indică un potențial ridicat al sistemului MANUTEX-EMG de a fi utilizat pe scară largă în mediile de reabilitare, datorită eficienței și confortului oferit. Analiza unui răspuns:

➔ *Secțiunea 7: Eficiența Sistemului Complet (EMG și Exoscheletul)*

Întrebarea 15: În privința extensiei mâinii sistemul (EMG cu exoscheletul) poate fi considerat:

- Foarte eficient: 30 persoane
- Satisfăcător: 1 persoană
- Acceptabil: 0 persoane
- Nu se poate folosi pentru o mobilizare acceptabilă a mâinii și degetelor: 0 persoane

Explicație: Extensia mâinii prin sistemul EMG cu exoschelet a fost considerată "foarte eficientă" de aproape toți respondenții, reflectând performanța excelentă a sistemului în această funcție specifică.

In privinta extensiei mainii sistemul (EMG cu exoscheletul) poate fi considerat

31 de răspunsuri

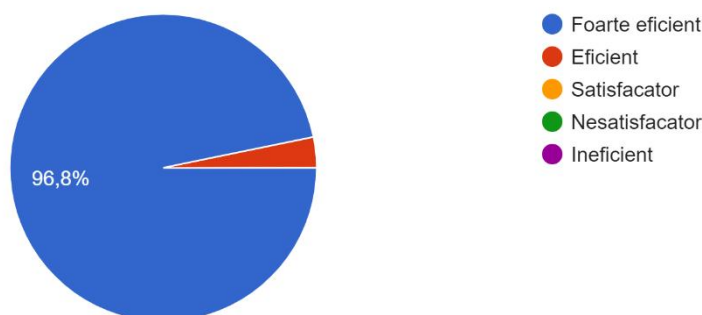


Figura 0.22 Eficiența Sistemului Complet (EMG și Exoscheletul) 1

În partea a doua a studiului s-a evaluat eficiența sistemului MANUTEX EMG în recuperarea funcțională a extremităților superioare la 8 pacienți cu hemipareză cauzată de accident vascular cerebral (AVC). Pacienții au participat la sesiuni zilnice de terapie de 60 de minute, combinând utilizarea sistemului MANUTEX EMG, care integrează exerciții de extensie a mâinii și stimulare electrică, cu terapia clasică de recuperare.

Progresul pacienților a fost monitorizat folosind scala Fugl-Meyer, care măsoară funcția motorie post-AVC. Toți pacienții au înregistrat îmbunătățiri semnificative în funcția motorie a extremităților superioare, funcția încheieturii mâinii și funcția mâinii. Pacienții cu hemipareză dreaptă au prezentat o recuperare ușor mai bună decât cei cu hemipareză stângă, iar cei cu AVC mai recent au arătat un progres mai rapid comparativ cu cei cu AVC mai vechi, evidențiind eficiența intervențiilor timpurii.

Analiza rezultatelor în funcție de vechimea AVC

- Pacienți cu vechime AVC de 2-4 luni** Acest grup include pacienții P1, P3, P4, P7 și P8, cu vechimea AVC variind între 2 și 4 luni.
- Pacienți cu vechime AVC de 5-8 luni** Acest grup include pacienții P2, P5 și P6, cu vechimea AVC variind între 5 și 8 luni.

Analiza comparativă

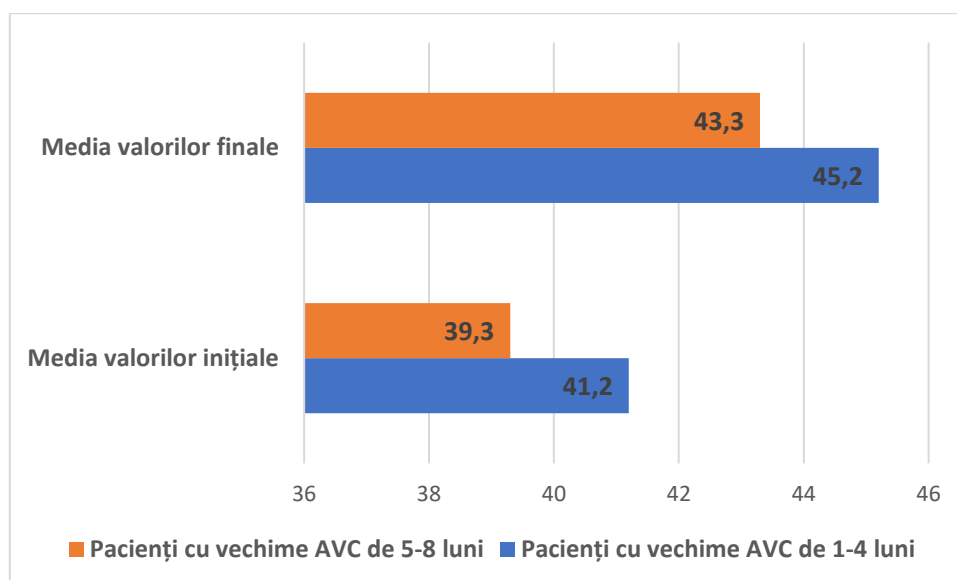


Figura 0.23 Analiza rezultatelor în funcție de vechimea AVC

Comparând pacienții în funcție de vechimea AVC, se observă câteva tendințe notabile. Pacienții cu vechimea AVC de 2-4 luni (P1, P3, P4, P7 și P8) au prezentat, în general, un progres mai rapid și scoruri inițiale ușor mai ridicate comparativ cu cei cu vechimea AVC de 5-8 luni (P2, P5 și P6). Acest lucru poate sugera că intervențiile timpurii post-AVC sunt mai eficiente în promovarea recuperării funcționale rapide.

Sistemul MANUTEX EMG a fost apreciat pentru detectarea eficientă a contracțiilor musculare, ușurința în utilizare și confortul oferit pacienților. Dispozitivul a fost bine tolerat, fără disconfort tegumentar, și a demonstrat eficacitate în extensia și flexia mâinii, contribuind la recuperarea funcțiilor motorii și oferind o soluție atractivă pentru utilizatori.

Testarea clinica MANUTEX

Studiul desfășurat în cadrul parteneriatului dintre Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași și Spitalul Clinic de Recuperare, susținut de grantul 25PTE/2020, a avut ca obiectiv evaluarea sistemului MANUTEX, un dispozitiv inovator destinat reabilitării pacienților cu afecțiuni neurologice, în special celor care au suferit un accident vascular cerebral (AVC). Evaluarea s-a realizat în două etape distincte, implicând atât voluntari sănătoși, cât și pacienți post-AVC, pentru a testa funcționalitatea, eficiența și siguranța sistemului.

În prima etapă, 12 voluntari sănătoși, incluzând fizioterapeuți și medici din departamentele de Recuperare Neurologică și Neuromotorie, au testat sistemul MANUTEX, completând un chestionar compus din 19 întrebări, majoritatea de tip Likert. Scopul acestui chestionar a fost de a evalua siguranța și eficacitatea dispozitivului, precum și ușurința de utilizare și confortul oferit. Rezultatele au indicat că sistemul MANUTEX a fost bine primit de voluntari, aceștia apreciind simplitatea procesului de montare și pornire, precum și eficiența stimulării electrice funcționale. Electrozii au fost ușor de poziționat și au permis obținerea mișcărilor dorite, iar componenta mecanică a mânușii a fost bine adaptată dimensiunii mâinii utilizatorilor, asigurând confort și o extensie adecvată a mâinii și degetelor. Sistemul de mișcare „în oglindă” a funcționat eficient, sincronizând bine mișcările între mâna stimulată și cea sănătoasă. Aceste rezultate sugerează că MANUTEX are un potențial ridicat de a fi un instrument valoros în recuperarea pacienților cu afecțiuni neurologice, fiind ușor de utilizat și confortabil.

În a doua etapă, sistemul MANUTEX a fost testat pe un lot de 21 de pacienți care au suferit un AVC ischemic, prezentând un deficit motor la nivelul membrului superior drept sau stâng, cu o vechime a accidentului vascular de mai puțin de 12 luni. Pacienții au fost incluși într-un program de 10 ședințe de terapie cu MANUTEX, fiecare sesiune având o durată de 60 de minute, în care sistemul a fost montat, utilizat și demontat. Pe parcursul acestor ședințe, pacienții au fost supravegheați de către fizioterapeuți specializați, asigurându-se că nu există contraindicații pentru utilizarea stimulării electrice funcționale. Evaluarea progresului pacienților s-a realizat utilizând scala Fugl-Meyer, un instrument standardizat pentru măsurarea funcționalității membrilor superioare post-AVC.

Rezultatele acestui studiu au arătat că sistemul MANUTEX a fost eficient în îmbunătățirea funcționalității membrilor superioare ale pacienților post-AVC, toate evaluările indicând îmbunătățiri în scorurile Fugl-Meyer, atât pentru funcția membrului superior în general, cât și pentru funcția mâinii și a încheieturii. Pacienții cu hemipareză pe partea dominantă au arătat o recuperare mai bună în comparație cu cei cu hemipareză pe partea non-dominantă, sugerând un impact potențial mai mare al terapiei MANUTEX în cazul hemiparezei pe partea dominantă. De asemenea, pacienții cu AVC mai recent au prezentat un progres mai rapid, subliniind importanța intervențiilor timpurii în reabilitarea post-AVC.

În concluzie, studiul a demonstrat că sistemul MANUTEX este bine tolerat, eficient și confortabil, având un potențial semnificativ de integrare în practica medicală pentru reabilitarea pacienților cu afecțiuni neurologice. Aceste rezultate încurajează adoptarea sistemului MANUTEX în programele de reabilitare, contribuind astfel la îmbunătățirea recuperării funcțiilor motorii și a calității vieții pacienților post-AVC. Studiile viitoare ar putea explora în detaliu impactul dominației laterale și al timpului scurs de la AVC asupra eficienței recuperării, oferind astfel oportunități pentru dezvoltarea unor programe de reabilitare mai personalizate și adaptate nevoilor individuale ale pacienților.

Testare clinica GFTSN

Testarea sistemului GFTSN a fost realizată în două etape, implicând atât cadre medicale, cât și pacienți cu hemipareză post-accident vascular cerebral (AVC). În prima etapă, 10 cadre medicale au evaluat dispozitivul, apreciind în mod deosebit ușurința de utilizare, confortul, precizia și eficiența în îmbunătățirea forței de prindere. Calitatea materialelor și suportul tehnic au fost, de asemenea, bine evaluate, iar toți participanții au recomandat utilizarea dispozitivului în practica terapeutică pentru pacienții cu afecțiuni neurologice.

În a doua etapă, 10 pacienți cu hemipareză cauzată de AVC au fost supuși testelor cu sistemul GFTSN, atât înainte cât și după un program de 10 ședințe de terapie intensivă. Sistemul a măsurat gradul de recuperare prin calcularea erorii medii pătratice relative (RRMSE) pentru unde sinusoidale și dreptunghiulare. Rezultatele au arătat o scădere semnificativă a valorilor RRMSE după terapie, indicând îmbunătățiri în controlul motor al pacienților.

Diferențele între pacienții cu hemipareză dreaptă și stângă au relevat că cei cu hemipareză dreaptă au înregistrat un procent mai mare de îmbunătățire, în special în testul cu unda dreptunghiulară. Aceasta sugerează că acești pacienți au beneficiat mai mult de pe urma terapiei, iar strategiile terapeutice ar putea necesita ajustări pentru pacienții cu hemipareză stângă, care au prezentat îmbunătățiri mai modeste.

În concluzie, sistemul GFTSN s-a dovedit a fi un instrument valoros pentru evaluarea și monitorizarea progresului recuperării pacienților cu afecțiuni neurologice. Datele obținute pot ghida

personalizarea tratamentelor și optimizarea rezultatelor clinice, contribuind la o reabilitare mai eficientă și adaptată nevoilor individuale ale pacienților.

Obiectivul general al capitolului al VII-lea

Capitolul al VII-lea al tezei reprezintă o sinteză finală a întregii cercetări, având ca obiectiv general formularea concluziilor generale și evidențierea contribuțiilor semnificative aduse prin dezvoltarea sistemelor MANUTEX-EMG, MANUTEX și GFTSN. Acest capitol nu doar recapitulează realizările tehnice și științifice obținute, ci subliniază și impactul pe care aceste sisteme inovative îl au asupra domeniului reabilitării medicale. În cadrul capitolului se valorifică rezultatele cercetării prin prezentarea articolelor publicate în reviste de specialitate și a premiilor obținute, reflectând recunoașterea contribuțiilor la nivel național și internațional. De asemenea, sunt menționate proiectele de cercetare în care ați fost implicată, evidențiind rolul activ și colaborativ în avansarea domeniului.

Capitolul se încheie cu un subcapitol dedicat direcțiilor viitoare de cercetare, oferind o perspectivă asupra modului în care aceste tehnologii pot fi extinse și perfecționate în viitor. Se propun noi linii de explorare care vizează atât îmbunătățirea funcționalității și eficienței sistemelor existente, cât și dezvoltarea unor noi abordări care să răspundă provocărilor emergente din reabilitarea medicală. Acest ultim capitol nu doar concluzionează munca depusă, ci deschide calea pentru noi inovații și contribuții în domeniul tehnologiilor de reabilitare, subliniind potențialul continuu de dezvoltare și impactul pe termen lung al cercetării realizate.

Concluzii finale

✓ Importanța și impactul tehnologiilor avansate în dispozitivele medicale:

Tehnologiile avansate în dispozitivele medicale au un impact semnificativ asupra sănătății globale și economiei. Tendințele precum îmbătrânirea populației și prevalența bolilor cronice, alături de progresele tehnologice, stimulează creșterea pieței dispozitivelor medicale. Investițiile în cercetare și dezvoltare, împreună cu un cadru de reglementare favorabil, sunt cruciale pentru inovațiile din acest sector.

✓ Creșterea pieței și dominanța SUA:

Piața globală a dispozitivelor medicale este în creștere, cu o rată anuală compusă de 5,9%, estimată să atingă 799,67 miliarde USD până în 2030. Statele Unite domină această piață, contribuind semnificativ la exporturile globale și înregistrând un excedent comercial constant. Progresele tehnologice contribuie la creșterea speranței de viață și la reducerea perioadelor de spitalizare.

✓ Rolul tehnologiilor inovatoare:

Tehnologii precum inteligența artificială, robotica, telemedicina și imprimarea 3D transformă domeniul medical, oferind noi posibilități de diagnosticare și tratament. Aceste inovații contribuie la îmbunătățirea îngrijirii medicale și a calității vieții pacienților.

✓ Provocările și gestionarea afecțiunilor neuromusculare:

Accidentul vascular cerebral (AVC) și alte afecțiuni neuromusculare reprezintă provocări majore pentru sistemele de sănătate. Gestionarea și prevenirea factorilor de risc sunt esențiale pentru reducerea incidenței AVC. Intervențiile rapide și eficiente, cum ar fi tromboliza intravenoasă și trombectomia mecanică, sunt cruciale în tratamentul AVC ischemic acut.

✓ **Managementul sclerozei multiple și al leziunilor măduvei spinării:**

Scleroza multiplă și leziunile măduvei spinării afectează semnificativ calitatea vieții și au un impact economic important. Managementul acestor afecțiuni necesită abordări complexe și multidisciplinare, implicând tehnologii avansate și strategii de reabilitare personalizate.

✓ **Integrarea biomecanicii și anatomiei în reabilitare:**

Înțelegerea complexă a biomecanicii și anatomiei sistemului osos și articular al membrului superior, precum și a sistemului muscular, este esențială pentru optimizarea performanței fizice și prevenirea leziunilor. Analiza mișcării corpului uman și interacțiunea forțelor externe și interne sunt fundamentale în dezvoltarea tehnologiilor medicale și strategiilor terapeutice.

✓ **Limitările dispozitivelor existente și necesitatea de soluții inovatoare:**

Deși diverse dispozitive pentru îmbunătățirea spasticității au fost dezvoltate, acestea prezintă adesea limitări legate de complexitate, greutate și costuri. Este necesară dezvoltarea unor soluții mai prietenoase cu utilizatorul, rentabile și accesibile pentru utilizare în afara mediilor clinice, pentru a îmbunătăți calitatea vieții pacienților cu spasticitate severă.

✓ **Beneficiile dispozitivelor mecatronice în reabilitarea mâinilor:**

Dispozitivele mecatronice care utilizează semnale electromiografice (EMG) s-au dovedit promițătoare în reabilitarea mâinilor afectate de AVC sau leziuni ale măduvei spinării. Aceste dispozitive oferă asistență și feedback precis, stimulând neuroplasticitatea și facilitând practica intensivă.

✓ **Avantajele sistemelor robotizate în reabilitare:**

Sistemele robotizate și dispozitivele moderne contribuie semnificativ la evaluarea obiectivă și continuă a progresului pacientului, oferind feedback în timp real și adaptând exercițiile la nevoile individuale. Aceste tehnologii îmbunătățesc precizia evaluării și accelerează procesul de recuperare, oferind oportunități mai mari pentru pacienți de a-și recăpăta funcționalitatea mâinii.

MANUTEX-EMG:

1. **Inovația în reabilitarea neurologică:** Integrarea dispozitivului mecatronic Manutex-EMG permite o monitorizare detaliată și control fin al mișcării, îmbunătățind reabilitarea pacienților cu tulburări neurologice.
2. **Fiabilitate și precizie:** Amplificatoarele de instrumentație și procesarea semnalelor EMG asigură extragerea precisă a semnalului util, reducând zgomotul de fond și asigurând o interpretare corectă a activității musculare.
3. **Beneficii clinice evidente:** Oferă nu doar asistență în mișcare, ci și monitorizare în timp real a progresului în reabilitare, facilitând ajustarea terapiei și evaluarea eficacității tratamentului.

MANUTEX:

1. **Eficiență și fiabilitate în teste clinice:** Sistemul MANUTEX a demonstrat eficiență și fiabilitate în teste, confirmându-și potențialul pentru tratarea recuperării neurologice.
2. **Performanță motoarelor liniare:** Motoarele liniare Firgelli L12 oferă o viteză adecvată și un consum eficient, susținând reorganizarea corticală și coordonarea mișcărilor voluntare.
3. **Precizie în monitorizarea mișcărilor:** Mănușa senzorială 5DT, integrată în sistem, asigură o monitorizare precisă a mișcărilor degetelor, facilitând replicarea mișcărilor sănătoase pe mâna afectată.

GFTSN:

1. **Inovație în evaluarea forței de prindere:** Sistemul GFTSN reprezintă o inovație în evaluarea capacității de prindere și coordonare a mâinii în reabilitarea neurologică.
2. **Utilitate clinică esențială:** Esențial în programele de reabilitare, oferind o evaluare detaliată și continuă a progresului recuperării.
3. **Tehnologie avansată de monitorizare:** Interfața grafică intuitivă și feedback-ul vizual contribuie la optimizarea exercițiilor de recuperare, asigurând date precise pentru evoluția pacienților.

În urma testării celor trei sisteme: MANUTEX-EMG, MANUTEX și GFTSN s-au constatat următoarele:

MANUTEX-EMG

1. **Performanță și Satisfacție Utilizator:** Sistemul MANUTEX-EMG a demonstrat o performanță eficientă în detectarea și monitorizarea contracțiilor musculare, facilitând intervenții terapeutice precise. Utilizatorii au exprimat o satisfacție ridicată, apreciind ușurința montării și utilizării la domiciliu fără necesitatea unei supervizări constante.
2. **Funcționalitatea Mănușii Mecatronice:** Mănușa mecatronică a fost apreciată pentru capacitatea de a genera mișcări naturale și confortabile, cu un design bine calibrat. Sistemul de electrozi a fost eficient în detectarea precisă a contracțiilor musculare, fără a provoca disconfort tegumentar.
3. **Rezultate Clinice:** Într-un studiu clinic, MANUTEX-EMG a fost eficient în recuperarea funcțională a pacienților cu hemipareză post-AVC, evidențiind îmbunătățiri semnificative în funcția motorie a mâinilor. Pacienții au avut progrese notabile, iar terapia combinată a fost benefică pentru toți participanții.

MANUTEX

1. **Acceptabilitate și Confort:** Studiul pe pacienți a indicat că MANUTEX a fost bine primit, ușor de montat și adaptat dimensiunilor mâinii, oferind o stimulare electrică funcțională confortabilă. Feedback-ul a fost pozitiv, cu menționarea unei adaptări bune la utilizare.
2. **Eficacitate și Recuperare:** MANUTEX a contribuit semnificativ la recuperarea post-AVC, facilitând extensia și flexia mâinii și degetelor. A fost apreciat pentru precizie și mișcări adecvate, susținând progresul clinic al pacienților într-un mod eficient și personalizat.

3. **Nevoia de Optimizare:** Îmbunătățiri mici în sistemul de mișcare "în oglindă" sunt indicate pentru a optimiza experiența utilizatorilor și rezultatele terapeutice. Studiile viitoare ar putea explora impactul dominației laterale în recuperarea post-AVC pentru a personaliza mai bine tratamentele.

GFTSN

1. **Feedback de la Cadrele Medicale:** Dispozitivul GFTSN a fost bine primit de către cadrele medicale, recunoscute pentru ușurința de utilizare, confortul și precizia măsurătorilor de forță de prindere. Suportul tehnic și calitatea materialelor au fost evaluate pozitiv, recomandându-se utilizarea acestuia pentru pacienții cu afecțiuni neurologice.
2. **Eficiență în Evaluare:** Testarea pe pacienți cu hemipareză post-AVC a demonstrat eficiența GFTSN în evaluarea progresului recuperării prin măsurarea erorii medii pătratice relative (RRMSE). Sistemul a evidențiat îmbunătățiri semnificative în controlul motor, cu diferențe notabile între pacienții cu hemipareză dreaptă și stângă.
3. **Implicații Clinice:** Utilizarea continuă a GFTSN în practica clinică poate îmbunătăți monitorizarea și ajustarea terapiilor de recuperare, oferind date obiective și detaliate despre performanța pacienților. Adaptarea strategiilor terapeutice în funcție de răspunsul individual poate optimiza rezultatele tratamentelor.

În concluzie, MANUTEX-EMG, MANUTEX și GFTSN reprezintă soluții inovatoare și eficiente în reabilitarea neurologică, contribuind semnificativ la îmbunătățirea funcției motorii și a calității vieții pacienților afectați de afecțiuni neurologice. Adaptarea continuă a acestor sisteme în funcție de feedback-ul clinic și îmbunătățirile tehnologice poate maximiza beneficiile pentru pacienți și cadrele medicale.

Contribuții originale

Contributii aduse in cadrul realizarii sistemului MANUTEX- EMG

Dezvoltarea sistemului MANUTEX-EMG, destinat recăpătării controlului motor voluntar după afecțiuni ale sistemului nervos central, a reprezentat un proiect complex și multidisciplinar. Acesta a necesitat contribuții substanțiale în diverse domenii, incluzând proiectarea mecanică și electronică, programarea software și testarea practică. În cadrul acestui proiect, am adus o serie de contribuții esențiale care au fost critice pentru succesul dispozitivului final. Aceste contribuții nu doar că au permis realizarea unui prototip funcțional, ci au oferit și o soluție inovatoare și eficientă pentru îmbunătățirea funcției motorii la pacienții afectați.

În cele ce urmează, voi detalia aceste contribuții pentru a ilustra amploarea și profunzimea implicării mele în acest proiect:

1. **Elaborarea conceptului și designul inițial;**
2. **Proiectarea mecanică, construcția structurii și integrarea mecanismelor de acționare;**
3. **Crearea, dezvoltarea (inclusiv interfațare și comunicare), integrarea și testarea componentelor electronice de control. Optimizare progresivă;**
4. **Testare și validare clinică.**

Contribuții aduse sistemelor MANUTEX și GFTSN

Proiectele MANUTEX și GFTSN au fost dezvoltate de o echipă interdisciplinară, care a inclus profesori, medici, ingineri și colegi doctoranzi, fiecare membru având responsabilități bine definite. În cadrul acestei colaborări, împreună cu fiziokinetoterapeutul specialist Piseru Emanuel Andrei, am fost responsabil pentru testarea clinică a sistemelor la Spitalul Clinic de Recuperare, aceasta desfășurându-se prin intermediul grantului 25PTE/2020. Această abordare sinergică a asigurat o integrare eficientă a cunoștințelor și competențelor diverse, esențiale pentru succesul proiectelor.

I. Descrierea condițiilor tehnice de utilizare, în vederea proiectării

II. Participarea la fazele iterative de testare în laborator și pregătirea pentru testare clinică

III. Coordonarea și Organizarea Studiului Clinic

1. Planificarea și organizarea etapei secundare a testării.

- Coordonarea și administrarea fazei ulterioare a testării.

2. Selectarea și recrutarea voluntarilor sănătoși și a pacienților, conform criteriilor de includere și excludere.

- Alegerea și înrolarea voluntarilor sănătoși și a pacienților în conformitate cu criteriile de eligibilitate.

IV. Evaluarea Inițială

1. Colectarea și analiza feedback-ului de la cadrele medicale prin chestionare structurate și scale de tip Likert.

- Obținerea și evaluarea opiniilor cadrelor medicale folosind chestionare structurate și scale Likert.

V. Testarea pe Voluntari Sănătoși

1. Implementarea protocoalelor de testare pe voluntari sănătoși.

- Executarea protocoalelor de testare pe voluntari sănătoși.

2. Optimizarea geometriei forțelor și programelor de stimulare pentru obținerea mișcărilor dorite.

- Ajustarea geometriei forțelor și a programelor de stimulare pentru a realiza mișcărilor dorite.

VI. Testarea pe Pacienți

1. Alcătuirea grupurilor de pacienți și supravegherea sesiunilor de terapie cu MANUTEX și GFTSN.

- Formarea grupurilor de pacienți și monitorizarea sesiunilor de terapie cu MANUTEX și GFTSN.

2. Colectarea datelor privind evoluția pacienților prin utilizarea Scalei Fugl-Meyer pentru membrul superior.

- Adunarea datelor privind progresul pacienților folosind Scala Fugl-Meyer pentru membrele superioare.

VII. Analiza și Interpretarea Rezultatelor

1. **Elaborarea graficelor și a rapoartelor de evaluare.**
 - Crearea graficelor și rapoartelor de evaluare.
2. **Analiza diferențelor de recuperare între pacienții cu hemipareză dreaptă versus hemipareză stângă și în funcție de vechimea accidentului vascular.**
 - Compararea recuperării pacienților cu hemipareză dreaptă și stângă, precum și în funcție de vechimea accidentului vascular.

Valorificarea rezultatelor

Lucrări Publicate

1. **Piseru, T.**, Piseru, E. A., Roman, A. I., Ionascu, R., Poboroniuc, M. S., & Miron, A. R. (2024, May). Revolutionizing upper limb motor control restoration: A novel EMG-based feedback system for individuals with neurological diseases. In *2024 International Conference on Development and Application Systems (DAS)* (pp. 160-167). IEEE.
2. **Piseru, T.**, Piseru, E. A., Roman, A. I., Ionascu, R., Poboroniuc, M. S., & Miron, A. R. (2024, May). Advancing Towards Clinical Validation of an Innovative System for Restoring Upper Limb Control in Individuals with Neurological Disorders. In *2024 International Conference on Development and Application Systems (DAS)* (pp. 168-175). IEEE.
3. Piseru, E. A., **Piseru, T.**, Poboroniuc, M. S., Ionascu, R., Roman, A. I., Ignat, B., & Grosu, C. (2022, November). Clinical Evaluation of a New Mechatronic Glove for Hand Rehabilitation. In *2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)* (pp. 1-4). IEEE.
4. Piseru, E. A., **Piseru, T.**, Poboroniuc, M. S. Development and Evaluation of MESPA: A Mechatronic Device for Reducing Post-Stroke Spasticity and Enhancing Motor Function Recovery. Buletinul Institutului Politehnic din Iași, acceptat, în curs de publicare (număr lucrare 1119).
5. Piseru, E. A., **Piseru, T.**, Miron, A. R., Poboroniuc, M. S. Fostering Upper Limb Recovery through Interdisciplinary Collaboration: A Review of Robotic Devices, Functional Electrical Stimulation, and Mirror Therapy. 13th IEEE International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPEI 2024; <https://www.epe.tuiasi.ro/>) 17-19 Octombrie 2024, Iași, Romania. Acceptat, în curs de publicare.
6. Poboroniuc, M. S., Roman, A. I., Ionașcu, R., **Piseru, T.**, Piseru, E. A., Irimia, D. C., Baci, A., Mitocaru, A., Ionescu, Ș. A. (2023, June). Hybrid FES&Mechatronic Devices Aiming to Assess and Support Rehabilitation in Stroke People. In 2023 The XXVII International Conference "INVENTICA 2023. Science of creativity". <https://doi.org/10.2478/9788367405201-009>
7. Roman, A. I., Poboroniuc, M. S., Irimia, D. C., **Piseru, T.**, & Piseru, E. A. (2022, November). Clinical Tests of a New Device Aiming to Assess and Rehabilitate the Hand in Stroke People. In *2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)* (pp. 1-4). IEEE.
8. Ionașcu, R., Poboroniuc, M. S., Roman, A. I., Mitocaru, A., **Piseru, T.**, Piseru, E. A., & Irimia, D. C. (2022, November). Hybrid FES & Mechatronic Hand Control Method for Upper Limb Rehabilitation Systems. In *2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)* (pp. 1-4). IEEE.

9. Poboroniuc, M. S., Irimia, D. C., Baciuc, A., **Bondar, T.**, Nițică, I. A., & Piseru, A. E. (2018, October). A fuzzy controller to support FES-based sitting-down in paraplegia. In *2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)* (pp. 0523-0528). IEEE

Proiecte

1. Proiect de tip PNIII nr. 25 PTE 2020 ”Mănuși mecatronice textile inteligente pentru recuperarea mâinii la persoanele cu accident vascular cerebral (MANUTEX)”, (cod proiect PN-III-P2-2.1-PTE-2019-0136),

Premii

- 1) **Cupa For the best project**, “A mechatronic system for spasticity reduction-Clinical trial results and user feedback”; Piseru E. A., Piseru T., Ionascu R., Miron A., Poboroniuc Marian. The VIII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV) - Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 31 Mai – 02 Iunie, 2024.
- 2) **Cupa Best Engineering Inovation**, “Hand rehabilitation and evaluation system”; Roaman A. I., Poboroniuc M. S., Piseru T., Piseru E. A. The VIII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV)- Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 7-9 Iulie, 2023.
- 3) **Medalie de Aur**, “Innovative system for motor control development in individuals with paralysis”; Piseru T., Piseru E. A., Roman A. I., Ionascu R., Miron A. R., Poboroniuc M. S. The VIII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV) - Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 31 Mai – 02 Iunie, 2024.
- 4) **Medalie de Aur**, “Mechatronic equipment for spasticity reduction (MESPA)”; Piseru E. A., Piseru T., Poboroniuc M. S. The 28 th International Exhibition of Inventions “INVENTICA 2024” Iasi, Romania- 3 iulie - 5 iulie 2024.
- 5) **Medalie de Aur**, “A mechatronic system for spasticity reduction- clinical trial results and user feedback”; Piseru E. A., Piseru T., Ionascu R., Roman A. I., Miron Alina- Roxana, Poboroniuc M. S. The VIII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV) - Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 31 Mai – 02 Iunie, 2024.
- 6) **Medalie de Aur**, “Enhancing hand recovery through MANUTEX EMG: a mechatronic approach ”; Piseru T., Piseru E. A., Poboroniuc M. S. The 28 th International Exhibition of Inventions “INVENTICA 2024” Iasi, Romania- 3 iulie - 5 iulie 2024.
- 7) **Medalie de Aur**, “Hand rehabilitation and evaluation system”; Roman A. I., Poboroniuc M. S. Piseru T., Piseru E. A. The VII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV) - Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 7-9 Iulie 2023.
- 8) **Medalie de Aur**, “Clinically tested mechatronic devices for hand rehabilitation”; Poboroniuc M. S. Ionascu R., Roman A. I., Piseru E. A., Piseru T., Mitocaru A., Baciuc A., Irimia D. The XVI-th European Exhibition of Creativity and Innovation - EUROINVENT”, 13 Mai 2023.
- 9) **Locul 2**, “Clinical tests of a new device aiming to assess and rehabilitate the hand in stroke people”; Roman A. I., Poboroniuc M. S., Irimia D., Piseru T., Piseru E. A. Ediția a X-a „IEEE

Direcții viitoare de cercetare

- 1. Îmbunătățirea controlului motoarelor și a sistemului senzorial:**
 - Implementarea unor noi motoare mai eficiente, silențioase și durabile.
 - Integrarea de senzori avansați pentru a oferi un feedback precis în timp real, astfel încât utilizatorii să poată simți forțele aplicate și poziția mâinii.
- 2. Interfețe cât mai intuitive:**
 - Proiectarea unor interfețe intuitive și ușor de utilizat, care să permită controlul precis al mânușii.
 - Implementarea de algoritmi avansați de recunoaștere a gesturilor pentru a îmbunătăți interacțiunea dintre utilizator și dispozitiv.
- 3. Posibilitatea de a lucra la distanță:**
 - Dezvoltarea de tehnologii de teleoperare care să permită utilizatorilor să controleze mânușile mecatronice de la distanță, facilitând astfel telemedicina și reabilitarea la domiciliu.
- 4. Auto-calibrare și adaptabilitate:**
 - Crearea de soluții personalizate pentru fiecare pacient, utilizând date biometrice și algoritmi de învățare automată pentru a adapta funcționalitatea mânușii la nevoile specifice ale utilizatorului.
 - Cercetarea vizând noi sisteme de auto-calibrare care să ajusteze automat parametrii mânușii pentru a se adapta la diverse condiții de utilizare și preferințe ale utilizatorului.
- 5. Compatibilitatea cu alte sisteme de monitorizare a semnelor vitale:**
 - Integrarea mânușilor mecatronice cu alte dispozitive medicale pentru monitorizarea semnelor vitale, cum ar fi tensiunea arterială, ritmul cardiac și nivelul de oxigen din sânge.
- 6. Reducerea greutății și a dimensiunii:**
 - Utilizarea de materiale și tehnologii avansate pentru a reduce greutatea și dimensiunea mânușilor, crescând astfel confortul și ușurința în utilizare.
- 7. Adaptarea sistemului pentru alte boli ortopedice:**
 - Extinderea utilizării mânușilor mecatronice pentru tratamentul altor afecțiuni ortopedice, cum ar fi recuperarea după fracturi sau intervenții chirurgicale la mâini și brațe.
- 8. Utilizarea altor materiale și tehnologii:**
 - Explorarea de noi materiale (de exemplu, materiale flexibile și biocompatibile) și tehnologii de fabricație, pentru a îmbunătăți performanța și durabilitatea mânușilor.
- 9. Validarea clinică extinsă:**

- Efectuarea de studii clinice pe scară largă pentru a valida eficacitatea și siguranța mânușilor mecatronice în diverse scenarii de utilizare.

10. Interacțiuni cu realitatea virtuală și jocuri pentru a motiva pacienții:

- Integrarea mânușilor cu platforme de realitate virtuală și jocuri interactive pentru a crea experiențe de reabilitare mai atractive și motivante pentru pacienți.

11. Energia regenerabilă:

- Investigarea posibilității de a alimenta mânușile cu surse de energie regenerabilă, cum ar fi panourile solare flexibile sau kinetica mișcărilor utilizatorului.

12. Reabilitare cognitivă și control vocal:

- Cercetare extinsă cu privire la utilizarea mânușilor mecatronice în terapii de reabilitare cognitivă pentru pacienții cu afecțiuni neurologice, combinând exercițiile fizice cu cele cognitive.
- Implementarea tehnologiei de recunoaștere vocală pentru a permite utilizatorilor să controleze mânușa prin comenzi verbale, facilitând utilizarea pentru persoanele cu mobilitate limitată.

13. Îmbunătățirea ergonomiei:

- Studiarea ergonomiei avansate pentru a optimiza confortul și reducerea oboselii utilizatorului în timpul utilizării prelungite.

14. Îmbunătățirea siguranței:

- Implementarea unui buton de panică care să permită utilizatorilor să întrerupă imediat funcționarea mânușii în caz de urgență sau disconfort, asigurând astfel o utilizare sigură.
- Cercetarea unor mecanisme de siguranță avansate pentru a preveni accidentările și utilizarea incorectă a mânușilor, inclusiv detectarea automată a mișcărilor periculoase.

Aceste direcții de cercetare ar putea conduce la dezvoltarea unor mânuși mecatronice mai avansate, eficiente și accesibile, cu aplicații extinse în domeniul medical și nu numai.

Bibliografie selectivă

1. Raportul pulsul industriei privind tehnologia medicală 2023, referință on-line: https://www.ey.com/en_us/life-sciences/pulse-of-medtech-industry-outlook, [accesat în data de 12 Iunie 2024].
2. Dimensiunea pieței dispozitivelor medicale, referință on-line: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/medical-devices-market-100085>, [accesat în data de 13 Iunie 2024].
3. Date despre industria dispozitivelor medicale, referință on-line: <https://www.advamed.org/medical-device-industry-facts/>, [accesat în data de 15 Iunie 2024].
4. Cererea actuală și tendințele emergente pe piața dispozitivelor medicale avansate prezentare generală 2024 -, referință on-line: <https://galendata.com/2024-overview->

- current-demand-and-emerging-trends-in-the-advanced-medical-device-market/, [accesat în data de 13 Iunie 2024].
5. Vergara M, Sancho-Bru JL, Gracia-Ibáñez V, et al. An introductory study of common grasps used by adults during performance of activities of daily living. *J Hand Ther.* 2014;27(3):225–234.
 6. Murray CJL, Barber RM, Foreman KJ, et al. Global, regional, and national disability-adjusted life years (DALYs) for 306 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 188 countries, 1990–2013: quantifying the epidemiological transition. *The Lancet.* 2015; 386(10009):2145–2191.
 7. AVC, referință on-line: <http://www.emro.who.int/health-topics/stroke-cerebrovascular-accident/index.html>, [accesat în data de 13 Iunie 2024].
 8. Lozano R, Naghavi M, Foreman K, Lim S, Shibuya K, Aboyans V, et al. Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010.
 9. Krishnamurthi RV, Feigin VL, Forouzanfar MH, Mensah GA, Connor M, Bennett DA, et al. Global and regional burden of first-ever ischaemic and hemorrhagic stroke during 1990-2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010.
 10. Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, Cushman M, Das SR, Deo R, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2017 Update: A Report From the American Heart Association.
 11. Mukherjee, D., & Patil, C. G. (2011). Epidemiology and the global burden of stroke. *World neurosurgery*, 76(6), S85-S90
 12. Asociația Americană a AVC, referință on-line: <https://www.stroke.org/en/about-stroke/stroke-symptoms>, [accesat în data de 1 Iunie 2024].
 13. AVC, referință on-line: <https://www.influglue.com/influencer/10817/pappu/instagram/post/2941249673542689731>, [accesat în data de 3 Iunie 2024].
 14. Anatomie AVC, referință on-line: https://www.facebook.com/anatomieisthaltso/posts/auf-diesem-bild-kann-man-sehr-gut-erkennen-was-f%C3%BCr-ein-ausma%C3%9F-eine-gehirnblutung/570401016925372/?locale=hu_HU, [accesat în data de 13 Iunie 2024].
 15. Chugh C. Acute Ischemic Stroke: Management Approach. *Indian J Crit Care Med.* 2019 Jun;23(Suppl 2):S140-S146. doi: 10.5005/jp-journals-10071-23192. PMID: 31485123; PMCID: PMC6707502.
 16. Saver, J. L. (2006). Time is brain—quantified. *Stroke*, 37(1), 263-266.
 17. McGinley MP, Goldschmidt CH, Rae-Grant AD. Diagnosis and Treatment of Multiple Sclerosis: A Review. *JAMA.* 2021;325(8):765–779. doi:10.1001/jama.2020.26858
 18. Lenehan B, Street J, Kwon B, K The epidemiology of traumatic spinal cord injury in British Columbia, Canada *Spine (Phila Pa 1976)* 2012;37(43):2132-2139. doi:10.1227/SPN.0b013e3182233707
 19. Imagini radiologice - coloana cervicală, referință on-line: <https://introductiontoradiology.net/courses/rad/cspine/fracture12.html>, [accesat în data de 5 mai 2024].
 20. Funcționarea sistemului osos, referință on-line: <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology>, [accesat în data de 6 mai 2024].
 21. Structura și sistemul osos, referință on-line: <https://www.nagwa.com/en/explainers/418179490595/>, [accesat în data de 24 mai 2024].

22. Sistemul osos a membrului superior, referință on-line: <https://teachmeanatomy.info/upper-limb/bones>, [accesat în data de 23 mai 2024].
23. Panchal-Kildare, S., & Malone, K. (2013). Skeletal anatomy of the hand.. Hand clinics, 29 4, 459-71 . <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2013.08.001>.
24. Daneshvar, P., Willing, R., Lapner, M., Pahuta, M., & King, G. (2020). Rotational Anatomy of the Radius and Ulna: Surgical Implications.. The Journal of hand surgery. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2020.04.018>
25. Hagert, C. (1992). The distal radioulnar joint in relation to the whole forearm.. Clinical orthopaedics and related research, 275, 56-64 . <https://doi.org/10.1097/00003086-199202000-00009>
26. Malone, P., Shaw, O., & Lees, V. (2016). Anatomic Relationships of the Distal and Proximal Radioulnar Joints Articulating Surface Areas and of the Radius and Ulna Bone Volumes – Implications for Biomechanical Studies of the Distal and Proximal Radioulnar Joints and Forearm Bones. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 4. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00061>
27. Shaaban, H., Giakas, G., Bolton, M., Williams, R., Scheker, L., & Lees, V. (2004). The distal radioulnar joint as a load-bearing mechanism--a biomechanical study.. The Journal of hand surgery, 29 1, 85-95 . <https://doi.org/10.1016/J.JHSA.2003.10.020>
28. Shin, Y., & Lee, Y. (2016). Biomechanics of the Wrist. Journal of the Korean Fracture Society, 29, 93-100. <https://doi.org/10.12671/JKFS.2016.29.1.93>
29. Panchal-Kildare, S., & Malone, K. (2013). Skeletal anatomy of the hand.. Hand clinics, 29 4, 459-71 . <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2013.08.001>.][White, T., & Folkens, P. (2005). HAND: CARPALS, METACARPALS, & PHALANGES. , 225-240. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-088467-4.50016-8>
30. Ricklan, D. (1987). Functional anatomy of the hand of Australopithecus africanus. Journal of Human Evolution, 16, 643-664. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(87\)90018-2](https://doi.org/10.1016/0047-2484(87)90018-2).
31. Sagrario Pérez-de la Cruz, Óscar Arellano de León, Néstor Pérez Mallada, Antonio Vargas Rodríguez, Validity and intra-examiner reliability of the Hawk goniometer versus the universal goniometer for the measurement of range of motion of the glenohumeral joint, Medical Engineering & Physics, Volume 89,2021.
32. McVeigh KH, Murray PM, Heckman MG, Rawal B, Peterson JJ. Accuracy and Validity of Goniometer and Visual Assessments of Angular Joint Positions of the Hand and Wrist. J Hand Surg Am. 2016 Apr;41(4):e21-35. doi: 10.1016/j.jhsa.2015.12.014. Epub 2016 Jan 20. PMID: 26810826.
33. Steven Milanese, Susan Gordon, Petra Buettner, Carol Flavell, Sally Ruston, Damien Coe, William O'Sullivan, Steven McCormack, Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: Smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians, Manual Therapy, Volume 19, Issue 6,2014.
34. Kasat, P., Pampi, R., & Muthiyan, G. (2023). A novel insight towards classification of joints. Indian Journal of Clinical Anatomy and Physiology. <https://doi.org/10.18231/j.ijcap.2023.027>.
35. Pataky, T., Latash, M., & Zatsiorsky, V. (2008). Multifinger ab- and adduction strength and coordination.. Journal of hand therapy : official journal of the American Society of Hand Therapists, 21 4, 377-85 . <https://doi.org/10.1197/j.jht.2008.02.002>.

36. Finzi, A., & Battistini, P. (2022). Partial persistent recovery of voluntary motility by auto-training in a clinical case of fingers paresis: A case report. *International Journal of Life Science Research Archive*. <https://doi.org/10.53771/ijlsra.2022.3.2.0147>.
37. Mișcările corpului, referință on-line: <https://mammothmemory.net/sports/joints/types-of-joint-movement/adduction.html>, [accesat în data de 6 mai 2024].
38. Mcpherson, L., & Dewald, J. (2019). Differences between flexion and extension synergy-driven coupling at the elbow, wrist, and fingers of individuals with chronic hemiparetic stroke. *Clinical Neurophysiology*, 130, 454-468. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.01.010>.
39. Fiziologia articulațiilor - volumul 1: Membrul Superior ediția a 7-a de Adalbert Kapandji, Carrie Owerko, Alexandra Anderson, Editura Monuzzi, 2020.
40. Anatomia funcțională a aparatului locomotor, Clement Baciuc, Editura Stadion, anul 1972
41. Gracia-Ibáñez, V., Sancho-Bru, J., Vergara, M., Roda-Sales, A., Jarque-Bou, N., & Bayarri-Porcar, V. (2020). Biomechanical function requirements of the wrist. Circumduction versus flexion/abduction range of motion.. *Journal of biomechanics*, 110, 109975. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.109975>.
42. Soubeyrand, M., Assabah, B., Bégin, M., Laemmel, E., Santos, A., & Creze, M. (2017). Pronation and supination of the hand: Anatomy and biomechanics.. *Hand surgery & rehabilitation*, 36 1, 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.hansur.2016.09.012>
43. Min Du, Richard J. McCormick, *Applied Muscle Biology and Meat Science*, NY, 2009
44. Frontera WR, Ochala J. Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcif Tissue Int*. 2015 Mar;96(3):183-95. doi: 10.1007/s00223-014-9915-y. Epub 2014 Oct 8. PMID: 25294644.
45. Heymsfield, S., Smith, B., Chung, E., Watts, K., Gonzalez, M., Yang, S., Heo, M., Thomas, D., Turner, D., Bosy-Westphal, A., & Müller, M. (2022). Phenotypic differences between people varying in muscularity. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 13, 1100 - 1112. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12959>.
46. Institute of Medicine (US) Committee to Revise Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium; Ross AC, Taylor CL, Yaktine AL, et al., editors. *Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. Washington (DC): National Academies Press (USA); 2011. 2, Calcium Overview. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK56060/>
47. Edwards D. A. (1946). The blood supply and lymphatic drainage of tendons. *J. Anat.* 80(Pt 3), 147–152.
48. Tempfer H, Traweger A. Tendon Vasculature in Health and Disease. *Front Physiol*. 2015 Nov 18;6:330. doi: 10.3389/fphys.2015.00330. PMID: 26635616; PMCID: PMC4650849.
49. Iyer SR, Shah SB, Lovering RM. The Neuromuscular Junction: Roles in Aging and Neuromuscular Disease. *Int J Mol Sci*. 2021 Jul 28;22(15):8058. doi: 10.3390/ijms22158058. PMID: 34360831; PMCID: PMC8347593.
50. Joyner MJ, Casey DP. Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs. *Physiol Rev*. 2015 Apr;95(2):549-601. doi: 10.1152/physrev.00035.2013. PMID: 25834232; PMCID: PMC4551211.
51. RaviChandran, N., Aw, K., & McDaid, A. (2020). Characterizing the Motor Points of Forearm Muscles for Dexterous Neuroprostheses. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 67, 50-59. <https://doi.org/10.1109/TBME.2019.2907926>