

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 621.37/.39

CAZAC VADIM

**ELABORAREA SISTEMELOR ELECTROMECHANICE
PENTRU INDUSTRIA FIRELOR METALICE**

SPECIALITATEA: 222.01 "DISPOZITIVE ȘI ECHIPAMENTE ELECTROTEHNICE"

Autoreferatul tezei de doctor în științe inginerești

Chișinău, 2021

A fost elaborată la departamentul ”*Inginerie electrică*”, Universitatea Tehnică a Moldovei

Conducător științific:

NUCA Ilie, d. ș. t., conf. univ., UTM.

Referenți oficiali:

1. **TÎRȘU Mihai**, d. ș. t., conf. univ., I.E. A.Ș.M.
2. **PENTIUC Radu Dumitru**, d. ș. t., prof. univ., Universitatea ”Ștefan cel Mare” din Suceava, România.

Componența Consiliului Științific Specializat:

1. **AMBROS Tudor, Președinte**, d. h. ș. t., prof. univ., UTM
2. **GUȚU-Chetrușca Corina, Secretar**, d. ș. t., lect. univ., UTM
3. **TODOS Petru**, d. ș. t., prof. univ., UTM
4. **LUCACHE Dorin-Dumitru**, d. ș. t., prof. univ., Universitatea Tehnică ”Gheorghe Asachi” din Iași, România
5. **COJUHARI Irina**, d. ș. t., conf. univ., UTM

Suținerea tezei va avea loc la **16 septembrie 2021, ora 14:00**, în ședința Consiliului Științific Specializat **D 221.01-51** din cadrul Universității Tehnice a Moldovei: str. 31 August 1989, nr. 78, blocul de studii nr. 2, sala 2-211.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Universității Tehnice și pe pagina web a ANACEC (www.anacec.md).

Autoreferatul a fost expediat la _____ **2021**.

Secretar științific al Consiliului științific

specializat, d. ș. t.

_____ **Corina Guțu-Chetrușca**

Conducător științific, conf. univ., d. ș. t.

_____ **NUCA Ilie**

Autor

_____ **CAZAC Vadim**

I. REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța problemei abordate: Problema de bază abordată se referă la sinteza parametrico-structurală a sistemelor electromecanice cu control avansat (vectorial, adaptiv) și cercetarea sistemelor electromecanice pentru automatizarea și eficientizarea proceselor industriale de fabricare a firelor și cablurilor electrice. În cazul sistemelor electromecanice reglabile clasice este bine-cunoscută importanța etapei de obținere a modelelor, a reprezentării matematice (dependenței) între diferite mărimi de intrare, intermediare și de ieșire. Modelele matematice ale mașinii de lucru, nu întotdeauna, redau cu precizie procesele care au loc și atunci devine importantă robustețea sistemului de reglare. De multe ori, în prezența incertitudinilor parametrice și structurale în caracterizarea proceselor reale, soluțiile clasice și chiar cele robuste de reglare nu fac față și nu pot satisface condițiile de performanță impuse SEM. În acest context apare necesitatea folosirii unor noi structuri, moderne, inteligente și adaptive. În plus, actualitatea temei rezidă în faptul că, în teoria reglării SEM moderne se încearcă evitarea liniarizării sistemelor neliniare, regulatoarele fiind implementate direct pe baza modelului neliniar al procesului folosind structuri paralele cu informație distribuită de tip fuzzy (mulțimi vagi) și/sau neuronal.

Un alt aspect important este evoluția producției de cabluri electrice în Republica Moldova este printre cele mai progresive ramuri industriale, care au determinat creșterea sectorului industrial în anul 2018 se numără: industria auto, în special, producerea de fire și cabluri electrice, de piese pentru autovehicule și motoare (cu o contribuție de circa +1,9 p.p. la IPI), producția și furnizarea de energie (+1.2 p.p.).

Producția de fire și cabluri electrice a crescut în primele 8 luni ale anului 2018 cu 25,1%. Creșterile înregistrate se datorează intensificării activităților economice ale investitorilor străini din cadrul Zonelor Economice Libere (ZEL), unde continuă să se dezvolte și să se extindă proiectele investiționale în domeniul industriei constructoare de mașini. Majoritatea producției fabricate în aceste ramuri este realizată pe piețele externe (circa 90%), ocupând o cotă de circa 18% din totalul exporturilor. În acest context, de o importanță deosebită este modernizarea sistemelor electromecanice ale echipamentelor tehnologice din industria producerii firelor și cablurilor electrice pentru a putea concura pe piața națională și internațională, problemă care este abordată în prezenta lucrare.

O condiție necesară pentru acest lucru este modernizarea sistemelor de acționare electrică a echipamentului, care necesită dezvoltarea și implimentarea de mijloace efective de reglare. Un instrument eficient pentru gestionarea parametrilor tehnologici ai echipamentelor industriale sunt sistemele electromecanice (SEM), care includ un convertor de putere, un motor, transmisia mecanică și organul de lucru a mașinii.

Astfel, analiza problemei sistemelor electromecanice pentru automatizarea și eficientizarea proceselor industriale de fabricare a firelor și cablurilor electrice rămâne a fi una actuală, atât pentru domeniul de cercetare tehnic, cât și pentru dezvoltarea industriei producerii firelor și cablurilor electrice în Republica Moldova.

Actualitatea problemei rezidă din faptul reducerii consumului de energie a proceselor tehnologice industriale și sporirea competitivității produselor naționale care este, în deplină, conformitate cu programul național pentru eficiență energetică 2011-2020 (H.G. a RM, nr. 833 din 10.11.2011), Lege nr. 139 din 19.07.2018 cu privire la eficiența energetică (Publicat: 17.08.2018 în Monitorul oficial Nr. 309-320), Planul național de acțiuni în domeniul eficienței energetice pentru anii 2013-2015 (HG nr. 113 din 07.02.2013) și pentru anii 2016-2018 (H.G. nr. 1471 din 30.12.2016) și în conformitate cu directiva 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului, din 25 octombrie 2012, privind eficiența energetică.

La fel, actualitatea temei rezultă și din faptul că problema propusă se încadrează în ***Prioritatea 5 – Competitivitate industrială și materiale inovative al Programului național în domeniile Cercetării și Inovării pentru anii 2020-2023*** și a Planului de acțiuni privind implementarea acestuia aprobat prin Hotărârea Guvernului nr. 381 din 01.08.2019.

În acest sens, utilizarea acționărilor electromecanice eficiente energetic în producerea firelor și cablurilor electrice este decisivă la obținerea unui produs competitiv pe piață.

Descrierea situației în domeniul de cercetare.

La momentul actual producerea firelor și cablurilor electrice se orientează spre elaborarea liniilor tehnologice cu un nivel avansat de automatizare și cu o productivitate ridicată. De exemplu, liniile tehnologice de izolare a firelor electrice pot conține în sine procese de trefilare, recoacere, izolare (într-un strat, două sau trei), răsucire, marcarea, controlul calității produsului finit (profil, diametru, excentricitate etc.). Liniile de producere a cablurilor electrice la moment sunt fabricate din module standarde (extruder, modul de recoacere, răcitor, bobinator). O deosebire importantă pentru liniile de producere a firelor electrice este faptul ca acestea au construcție repartizată care poate atinge lungimi de sute de metri ceea ce complică mult monitorizarea și controlul procesului tehnologic. Este evident că reglarea unei acționari electrice cu multe motoare la instalațiile de prelucrare și producere a firelor electrice în regim de arbore electric, trebuie nu numai să asigure concordanța dintre parametrii modulelor în regimuri statice și dinamice, dar și să asigure o eficiență energetică a întregului proces de producere.

Scopul lucrării constă în sinteza structurilor avansate de control și cercetarea sistemelor electromecanice pentru eficientizarea proceselor industriale de fabricare a firelor metalice.

Obiectivele lucrării realizarea unui studiu bibliografic privind procesul tehnologic de producere a firelor și cablurilor electrice; identificarea soluțiilor necesare pentru ridicarea eficienței procesului de trefilare; elaborarea conceptelor de control ale acționărilor electrice cu convertoare de frecvență pentru ridicarea eficienței mecanismului de bobinat; modelarea sistemului de acționare a bobinatorului cu motor asincron în MatLab SimPowerSistem; elaborarea unui sistem nou pe bază de PLC.

Metodologia cercetării științifice Pentru soluționarea problemelor identificate și realizarea obiectivelor propuse în lucrare s-a aplicat o abordare sistemică fiind utilizate teoria mașinilor și acționărilor electrice, teoria sistemelor de reglare automată, modelarea matematică a sistemelor electromecanice, mediul de programare MatLab Simulink, criteriile de acordare ale reguletoarelor sistemelor de control automat.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării: Noutatea lucrării consistă în elucidarea problemei implementării sistemelor electromecanice adaptive utilizabile în industria producerii firelor și cablurilor electrice. La fel, s-a efectuat studiul sistemelor de acționare a utilajului de producere a firelor electrice prin prisma problemelor de eficiență energetică, productivitate și fiabilitate.

Problema științifică importantă soluționată constă în sinteza sistemelor electromecanice speciale adaptabile pentru instalațiile industriale de producere a firelor metalice prin trefilare cu fiabilitate, productivitate și eficiență energetică majorată.

Veridicitatea modelelor noi propuse a fost demonstrată pe calea testării acestora pe linia tehnologică reală de trefilare și comparării rezultatelor obținute prin modelare cu cele ale modelelor dinamice.

Importanța teoretică. Teza aduce contribuții științifice importante în dezvoltarea domeniului sistemelor electromecanice adaptive pentru instalațiile de fabricare firelor metalice.

Valoarea aplicativă a tezei. În teză a fost determinat impactul vitezei liniare a firului la trefilare asupra forței de trefilare valoarea căreia determină consumul de energie pe unitate de produs și productivitatea procesului tehnologic.

Pentru mecanismul de bobinat au fost determinate vitezele optime de funcționare pentru toată gama de diametre a firului trefilat luând în considerație regimurile de lucru, cu și fără instalație de recoacere. Au fost elaborați doi algoritmi de setarea a parametrilor convertoarelor din SEM a bobinatorului pentru cazul când avem un convertor standard și pentru cazul când avem un convertor cu funcții prestabilite din fabrică pentru bobinator.

Rezultatele științifice principale înaintate spre susținere

1. A fost elaborat modelul MatLab/SimScape al sistemului de acționare a bobinatorului cu motor asincron și reglare vectorială;

2. În premieră, au fost calculate caracteristicile mecanice ale bobinatorului în funcție de mai multe legi de control a forței din fir;
3. A fost demonstrată necesitatea ridicării vitezei de trefilare cu scopul micșorării forței de tragere a firului prin filieră și respectiv eficientizarea întregului proces de trefilare;
4. A fost formulat și elaborat algoritmul de implementare a reguletoarelor hibride Fuzzy-PID în sistemele electromecanice ale bobinatoarelor;
5. A fost propus un nou concept al sistemului de control al trefilorului având la bază un PLC și tehnologiile *Profinet* și *IO-link*.

Implementarea rezultatelor științifice Rezultatele teoretice și practice obținute în cadrul acestei lucrări au fost utilizate în cadrul companiei producătoare de fire și cabluri electrice *Tehelectro-SV S.R.L* pentru ajustarea liniilor de trefilare grosă, medie și fină.

Aprobarea rezultatelor. Rezultatele de bază ale investigației realizate au fost expuse, discutate și aprobate în cadrul mai multor seminare, simpozioane și conferințe de nivel național și internațional (Conferințele tehnico-științifice a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM, SIELMEN, ICATE, AFASES, MPS)

Publicații științifice. Rezultatele obținute în cadrul tezei au fost publicate în 6 lucrări științifice, inclusiv 2 lucrări fără coautori.

Structura și volumul lucrării. Teza include introducerea, 4 capitole structurate în paragrafe, adnotarea în limbile română, engleză și rusă, lista abrevierilor utilizate, concluzii generale și recomandări, lista bibliografică în număr de 124 titluri, 7 anexe. Numărul total de pagini al lucrării este 117 (până la bibliografie), conținând 71 figuri și 10 tabele.

Cuvintele-cheie: sistem electromecanic, trefilor, bobinator, control vectorial, regulator Fuzzy.

II. CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** sunt prezentate aspectele generale privind actualitatea temei și necesitatea modernizării sistemelor electromecanice ale liniilor de producere a firelor și cablurilor electrice, argumentarea alegerii temei de cercetare, scopul și obiectivele tezei, problema științifică soluționată, metodologia cercetării, importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării, precum și sumarul compartimentelor tezei.

Capitolul 1. "**Aspecte generale privind liniile tehnologice de trefilare a firelor electrice**" este analizat procesul tehnologic de producere a firelor electrice unde se pune accent pe procesul de trefilare, analiza teoretică a acestui proces, analiza metodelor moderne de control în acționări electrice cu motoare asincrone.

Aici se analizează problemele care apar la exploatarea trefiloarelor și bobinatoarelor, SEM existente la această linie de producere, necesitatea de a controla viteza trefilării și recoacerii firului trefilat. La fel, au fost formulate cerințele față de sistemele electromecanice ale trefilorului

și mecanismului de bobinat, fiind formulat scopul și problemelor propuse spre rezolvare. Vedere generală a liniei tehnologice de trefilare medie cu alunecare este prezentată în figura următoare(fig.1):



Figura 1. Vedere generală a liniei tehnologice de trefilare medie cu instalație de tratare termică cu acțiune directă în flux continuu *Listrong 17DC+350T*

Motorul principal care acționează trefilorul funcționează la cuplu constant. Acțiunea trebuie să asigure un cuplu mare de pornire și la viteză redusă.

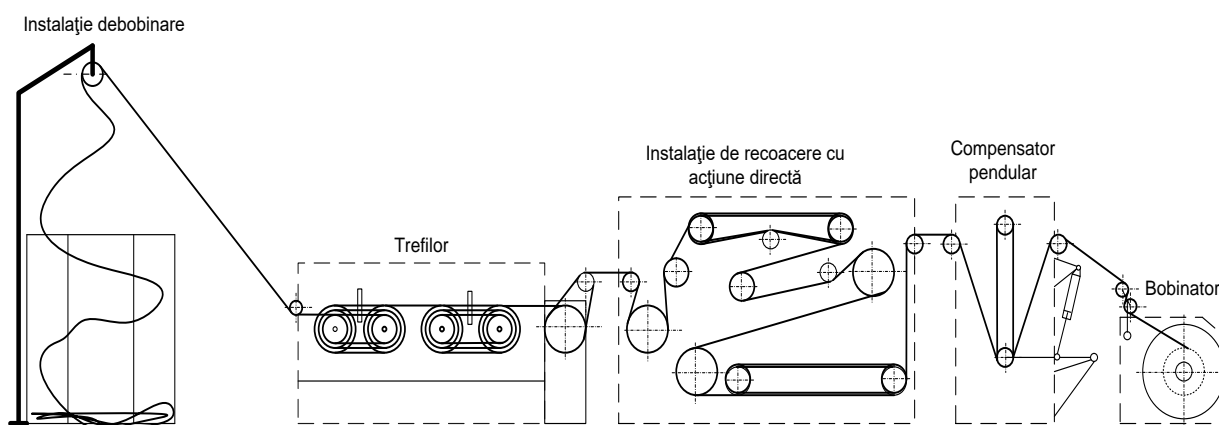


Figura 2. Traseul firului prin linia de trefilare

Structura actuală a sistemului de acționare a trefilorului cu convertizoare de frecvență

În figura 3 este reprezentată schema utilizată la acționarea trefilorului mediu cu alunecare cercetat. În sistemul dat ambele motoare de acționare sunt comandate vectorial, cu control de viteză. Prescrierea vitezei motorului care acționează trefilorul se realizează de către operator, de la pupitru, prin intermediul unui potențiomtru. Viteza motorului de acționare a bobinatorului este prescrisă de convertorul principal care acționează motorul trefilorului prin intermediul ieșirii analogice MO. Ajustarea ulterioară a vitezei de bobinare a firului se realizează cu potențiomtrul conectat la intrarea analogică IS, care indică poziția brațului de compensare, acest semnal se utilizează ca semnal de corecție. Procesul de tragere/trefilare este un proces tehnologic complex și dependent de o serie de factori care țin de natura, compoziția și structura materialului,

geometria, materialul și uzura sculelor de deformare, lubrifierea, temperatura și gradul de deformare, viteza de tragere etc.

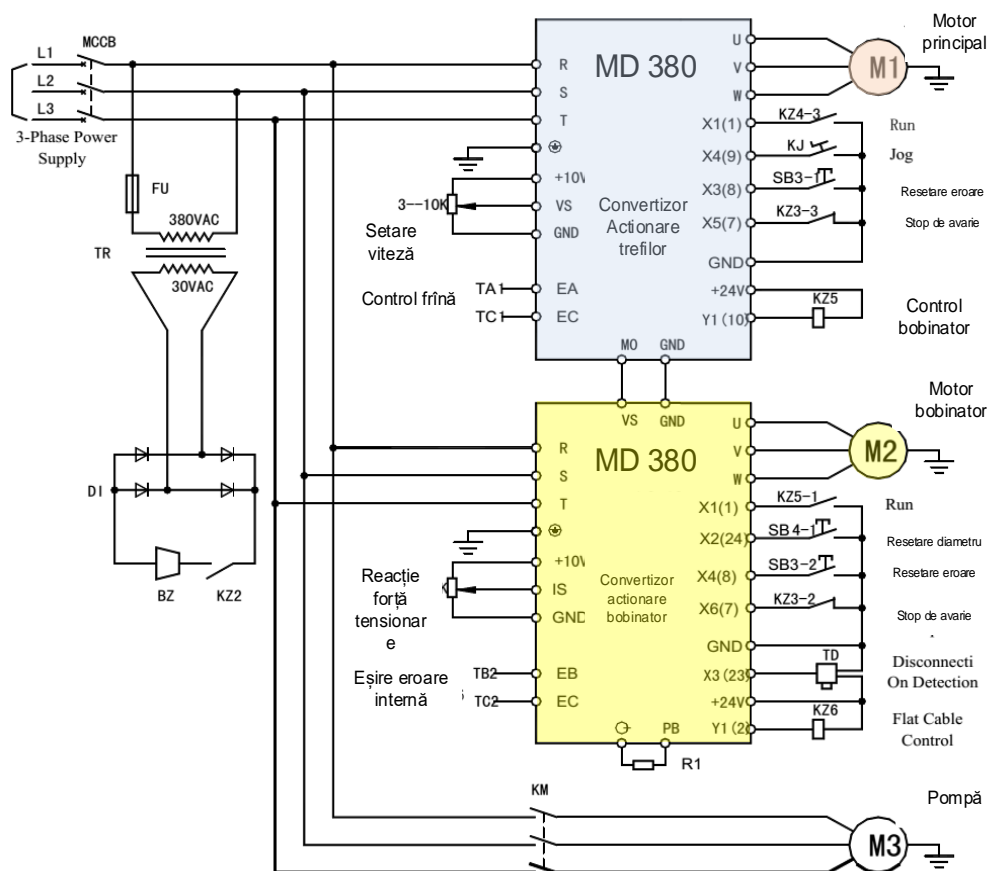


Figura 3. Schema de forță și comandă a liniei de trefilare cu convertoare de frecvență.

Diminuarea forței de tragere odată cu creșterea vitezei se explică, pe de o parte, printr-o lubrifiere mai bună în procesul tragerii și, pe de altă parte, prin creșterea temperaturii firului și a filierei. Lubrifierea se consideră mult mai bună la viteze mari de tragere, deoarece, odată, cu creșterea vitezei este antrenată și o cantitate mai mare de lubrifianț în conul de deformare al filierei. Anume din aceste considerente, în practică, se caută metode de creșterea vitezei de tragere în scopul măririi productivității. Viteza de tragere poate fi mărită numai dacă este asigurată o „rezervă” de plasticitate a metalului, calitate corespunzătoare a lubrifianțului la vitezele și temperaturile de tragere realizate și scule de tragere corespunzătoare. La anumiți parametri tehnologici impuși totdeauna există un maximum al vitezei procesului tehnologic, la depășirea acesteia procesul de trefilare devine instabil, care are drept rezultat ruperea firului. Odată cu creșterea vitezei de trefilare la strung crește și productivitatea muncii și scade cota salarială pe o unitate de producție.

Problema principală constă în faptul că în procesul de bobinare a firului se mărește raza bobinei, momentul de inerție a bobinatorului, se schimbă frecvența proprie de oscilație a

sistemului trefilor-bobinator, crește temperatura motoarelor de acționare ceea ce duce la următoarele consecințe:

- *oscilații a brațului compensator în tipul funcționării;*
- *ruperea firului în instalația de recoacere;*
- *micșorarea în secțiune a firului (crește prea mult forța din fir la bobinare);*
- *crește rebutul;*
- *viteze liniare de funcționare mici;*
- *dificultăți la pornirea și oprirea liniei de trefilare.*

În concluzii la capitolul 1 au fost elaborate o serie de cerințe impuse sistemului de acționare al liniei de trefilare s-au formulat obiectivele cercetării și s-a accentuat necesitatea soluționării problemei reglajului bobinatorului.

Capitolul 2 ”**Optimizarea sistemului electromecanic al liniei de trefilare**” abordează aspecte metodologice ce țin de elaborarea unor modele matematice a sistemelor electromecanice ale trefilorului necesare pentru modelarea acestora în regimuri statice și dinamice.

Este realizat calculul caracteristicilor mecanice ale trefilorului printr-o metodă care poate fi aplicată în practică. Sunt elaborate modelele matematice care descriu procesul de bobinare care ulterior sunt utilizate în modelare pe calculator. Este elaborat modelul matematic ce descrie comportamentul în regimuri dinamice a bobinatorului și al compensatorului pendular. Tot în acest capitol este realizat calculul de optimizare al tuturor buclelor sistemului de reglare al bobinatorului. Pentru analiza stabilității sistemului de reglare al forței din fir sistemul electromecanic al bobinatorului a fost redus la o funcție de transfer de ordinul doi.

La baza elaborării SEM a bobinatorului au fost puse următoarele cerințele principale:

- reglaj fin al vitezei;
- controlul tensiunii din fir la bobinare;

Caracteristica mecanică a trefilorului

Parametrii importanți întru realizarea unei alegere corecte a puterii motorului de acționare a trefilorului și a convertizorului de frecvență sunt momentul total de inerție al AE (acționării electrice), caracteristica mecanică a mecanismului și dependența momentului static de rezistență a mecanismului de viteza unghiulară a motorului.

În cazul valorilor prescrise a intensității accelerării și frânării calculul parametrilor prescriși se efectuează cu următoarele relații:

$$\left. \begin{aligned} J_{\Sigma} &= (M_p(\omega) - M_F(\omega)) / (\dot{\omega}_P + \dot{\omega}_F) \\ M_R(\omega) &= (M_p(\omega) + M_F(\omega) - J_{\Sigma}(\dot{\omega}_P + \dot{\omega}_F)) / 2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Unde: $M_p(\omega)$, $M_f(\omega)$ – valorile cuplului electromagnetic al motorului la valoarea vitezei unghiulare ω .

Metodologia de determinare a J_Σ și $M_R(\omega)$ se rezumă la următoarele:

- Cu ajutorul unei plăci de achiziții de date și a convertizorului de frecvență, care este componentă a acționării, se înregistrează procesele tranzitorii ale cuplului electromagnetic $M(t)$ și a vitezei unghiulare $\omega(t)$ la accelerare și frânare.
- La utilizarea unui element de prescriere al accelerării și frânării, în axele M, ω se construiește $M_p(\omega)$ și $M_f(\omega)$ și cu relațiile (1) pentru vitezele unghiulare date se determină J_Σ și $M_R(\omega)$;

Metodologia dată poate fi aplicată în practică. În Figura.3 sunt aduse caracteristicile mecanice $M / Mn = f(n)$ a unui strung mediu de trefilare cu alunecare. Obținerea dependenței $M_R(n)$ pentru strunguri de trefilat ne demonstrează existența unui cuplu de rezistență la pornire care poate ajunge la 120% în raport cu cuplul nominal (porțiunea BC Figura 3). Aceasta se explică prin lipsa contra tensionării și insuficiența emulsiei în filiere la viteze mici. Porțiunile înclinate ale caracteristicilor AB scăderea cuplului odată cu creșterea vitezei se explică prin îmbunătățirea condițiilor de ungere a filierelor, scăderea forței de trefilare și creșterea forței de frecare între tambururi și firul prelucrat. Metodica dată poate fi ușor utilizată în determinarea parametrilor $M_R(n)$ și J_Σ și poate fi aplicată în sistemele de acționare cu convertizor de frecvență și motor asincron.

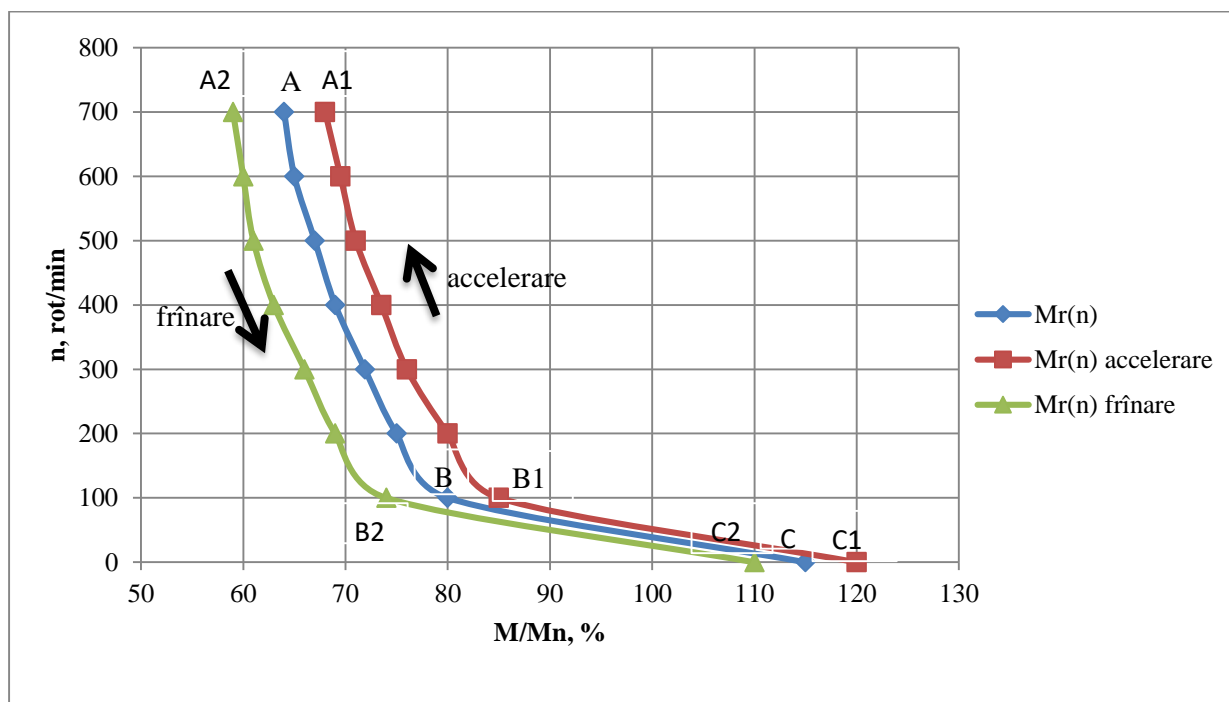


Figura 3. Caracteristica mecanică a unui strung de trefilare medie cu alunecare

Caracteristicile mecanice ale bobinatorului

Valoarea prescrisă a forței de tensionare se calculează reieșind din diametrul de ieșire a firului trefilat cu următoarea relație:

$$T_{b.p.} = 0,2 \cdot \sigma_{Cu} \cdot D_{fir} \quad (2)$$

Unde σ_{Cu} – limita de curgere a firului de Cupru.

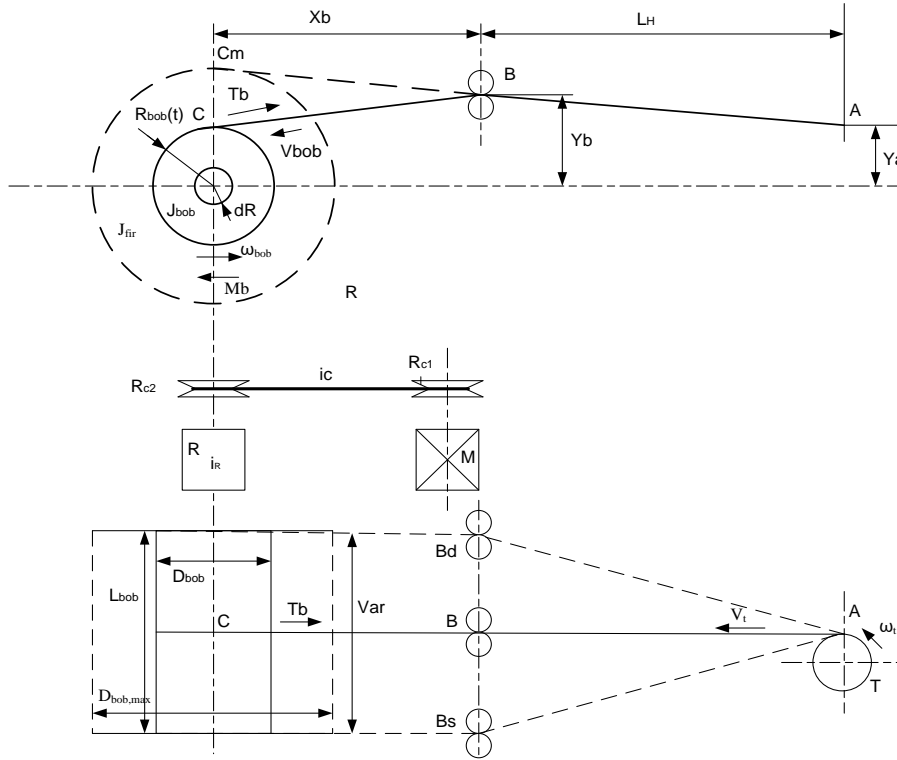


Figura 4. Schema cinematică a bobinatorului

Schema cinematică a MB (mecanismului de bobinare) reprezentată în Figura.4 și conține motorul de acționare M, două roți de curea Rc1 și Rc2, reductorul R, tamburul de tracțiune și bobina cu firul bobinat. Luând în considerare spirele relația raza bobinei se calculează cu relația:

$$R_{bob}(t) = -\frac{D_{fir}}{2} + \sqrt{(R_{bob.0} + D_{fir})^2 + \frac{D_{fir}^2 \cdot L_{fir}(t)}{4 \cdot L_{bob} \cdot k_u}} \quad (3)$$

Momentul total de inerție a mecanismului de bobinat raportat la arborele motorului este egal cu:

$$J_{\Sigma bob} = k_{arb.} J_M + (J_{bob.0} + J_{fir.bob.}(R_{bob.})) / (i_R \cdot i_C)^2 \quad (4)$$

Unde: $k_{arb.}$ – coeficient care ia în considerație inerția arborilor intermediari, cuple e.c.t.

Constanta de timp a acționării (la viteza nominală și cuplu nominal) este:

$$T_{bob} = J_{\Sigma bob} \omega_{bob.nom.} / M_n \quad (5)$$

Analiza rezultatelor demonstrează că inerția bobinei raportată la arborele motorului este mai mare de 7-8 ori decât momentul de inerție al motorului, iar momentul total de inerție în procesul de bobinare se mărește cu încă 8-9 ori.

Perturbațiile care apar asupra firului și determină alungirea firului în procesul de bobinare sunt:

- ✓ funcționarea mecanismului de aranjare a firului pe bobină;
- ✓ excentricitatea bobinei;
- ✓ variația razei bobinei pe durata procesului de bobinare;
- ✓ variația razei de bobinare la trecerea de la un strat la altul.

Sistemul electromecanic al bobinatorului trebuie efectiv să compenseze perturbațiile mecanice care apar în sistem. Mai mult ca atât, în regimuri dinamice de accelerare și frânare trebuie să mențină forța de tensionare din fir constantă, compensând componentele dinamice din sistem.

În figura 5 a) sunt reprezentate dependențele relative ale forței de tensionare în funcție de raza bobinei, unde T_0 – valoarea inițială a forței de tensionare când raza bobinei; $R_{bob.fir.}$ este egal cu raza bobinei goale $R_{bob.0}$.

Dependența reglării forței de tensionare: *Const* – forță constantă; *Linear* – micșorarea lineară a forței; *Fmax* – forța maximă la etapa inițială cu micșorarea treptată până la valoarea minimă; *Hiperbol* – micșorarea forței de tensionare invers proporțional razei de bobinare.

Preferabil din punct de vedere a duratei de exploatare și a calității înfășurării firului este reglarea Hiperbolică a forței din fir. Cuplul de tensionare raportat la arborele motorului este determinat de forța de tensionare din fir la bobinare și raza de bobinare.

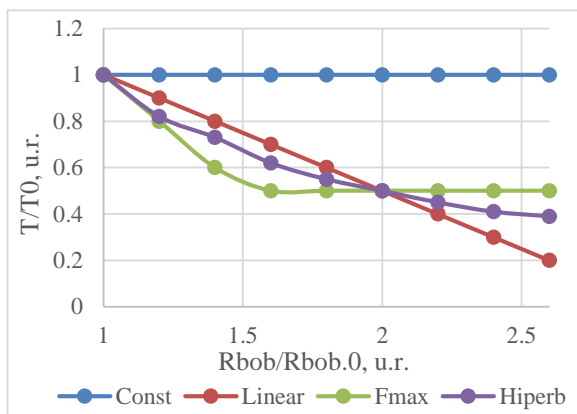
$$M_{bob.}(R_{bob.}) = T_{bob.}(R_{bob.})R_{bob.} / (i_C \cdot i_R) \quad (6)$$

Unde: i_C și i_R sunt aportul de transmisie prin curea și raportul de transmisie a reductorului. Unde $i_R=1$.

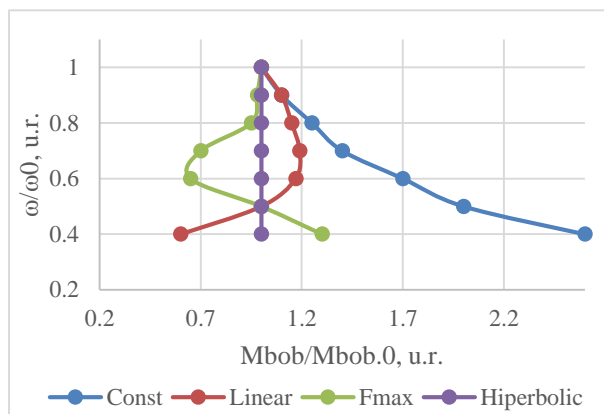
În figura 5. b) sunt reprezentate dependențele valorii relative a cuplului de tensionare în funcție de valoarea relativă a razei de bobinare, unde M_0 – este momentul inițial de tensionare la valoarea relativă a razei de bobinare $r_{bob}=R_{bob}/R_{bob.0}=1$.

Trebuie de menționat faptul că, pentru menținerea constantă a forței de tensionare cuplul de tensionare crește linear, dar la o micșorare hiperbolică a forței de tensionare cuplul rămâne constant. Viteza unghiulară a motorului este determinată de viteza lineară a firului la bobinare și raza bobinei.

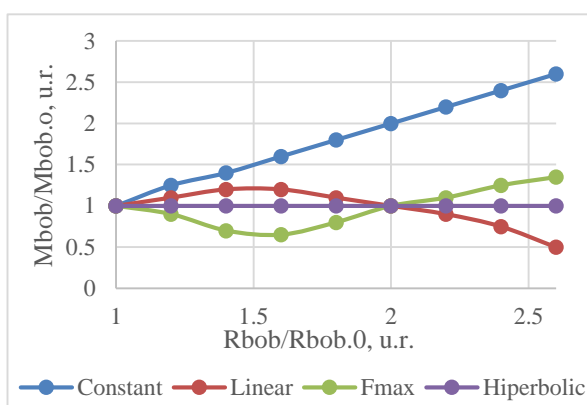
$$\omega = i_C \cdot i_R V_{bob} / R_{bob.} \quad (7)$$



a)



c)



b)

Figura 5. Dependentele

$T_{bob}/T_{bob.0}(R_{bob}/R_{bob.0}) - (a),$

$M_{bob}/M_{bob.0}(R_{bob}/R_{bob.0}) - (b),$ la diferite
raze de bobinare și caracteristica mecanică a
bobinatorului - (c)

În fig. 3 c) este reprezentată dependența valorii relative a vitezei unghiulare a motorului în funcție de valoarea relativă a momentului de tensionare. Trebuie să menționăm faptul că la descreșterea hiperbolică a forței din fir caracteristica mecanică a bobinatorului reprezintă o linie verticală. Rezultă că sarcina maximă asupra acționării este când se menține constant valoarea forței din fir și valoarea puterii, adică $R_{bob}=R_{bob.max}$. Parametrii nominali ai motorului de acționare trebuie aleși reieșind din condițiile:

$$\left. \begin{array}{l} \omega_n \geq \omega_0 \\ M_n \geq D_{bob} M_{bob.0} \end{array} \right\} \quad (8)$$

Unde: D_{bob} – diapazonul de variație a razei de bobinare ($D_{bob}=R_{bob.max}/R_{bob.0}$).

Sistemului de control al bobinatorului cu compensator pendular

Modelul studiat în cazul dat este un bobinator real utilizat în instalațiile industriale cu compensator pendular (figura. 6). Acest sistem conține un motor de acționare și un sistem de comandă cu două regulatoare. Raza bobinei R_w pe care se bobinează firul se schimbă în timp.

Firul bobinat trece prim mai multe role cu raze diferite care sunt fixate de carcasa instalației cu excepția rolei R_4 . Forța de tensionare dintre două role i și $i+1$ care are lungimea L_i este T_i .

Ecuția liniarizată ce descrie variația forței F_j din fir este:

$$\|\overline{F_j}\| = F_{jn} - \frac{F_{jn0}\gamma L_j \alpha}{L_c} \quad (9)$$

Forța F_{jn0} este calculată doar la începutul modelării sistemului și aceasta rămâne constantă, iar F_{jn} se poate modifica pe parcursul modelării.

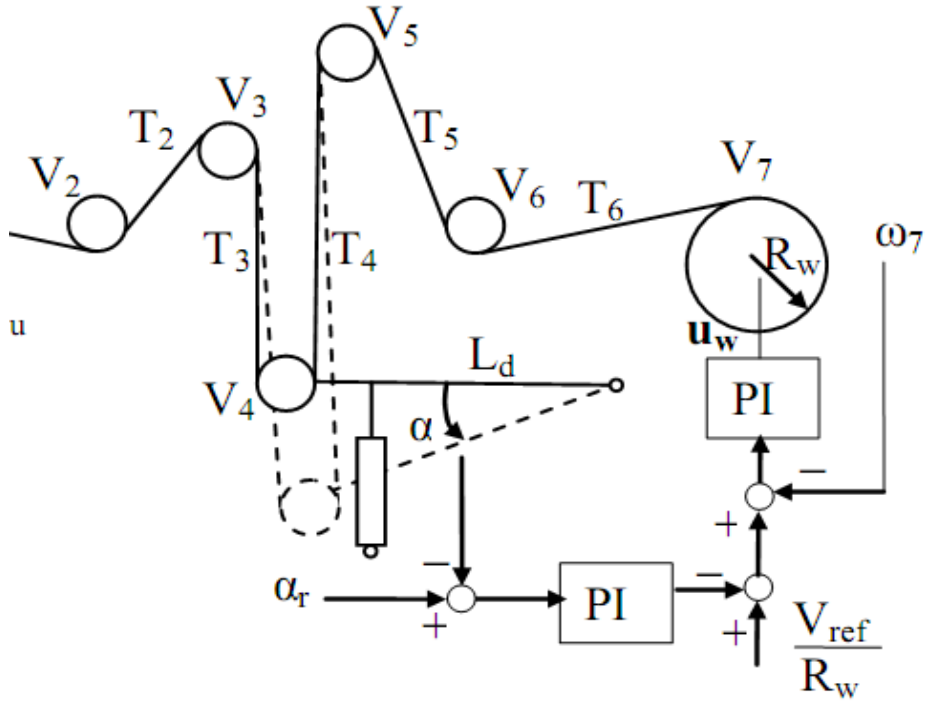


Figura 6. Schema de reglare a unui bobinator cu compensator pendular

În aceste condiții ecuația liniarizată care descrie compensatorul pendular în regim dinamic devine:

$$-T_3(L_d + R_4) - T_4(L_d - R_4) + M_d g L_{gd} + F_{jn} L_j - \frac{F_{jn0}\gamma L_j^2 \alpha}{L_c} = J_d \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \quad (10)$$

Analiza stabilității sistemului de reglare a acționării bobinatorului

Pentru simplificarea acordării regulatorului de proces al sistemului de comandă, toată SEM a mecanismului de bobinat se echivalează cu o funcție de transfer de gradul doi.

În urma acestei echivalări obținem următoarea schemă structurală (figura.7):

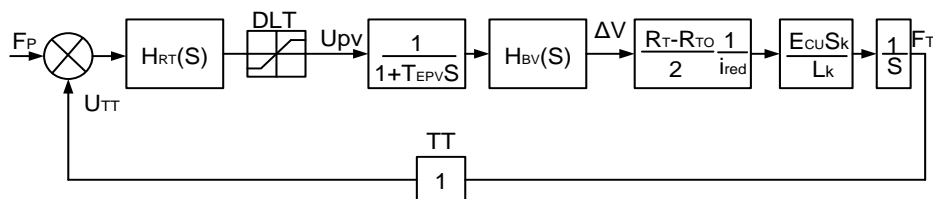


Figura 7. Schema structurală simplificată a sistemului de acționare

Funcția de transfer a buclei de viteză este:

$$H_{BV}(S) = \frac{k_{AE}}{2T_0^2 S^2 + 2T_0 S + 1} \quad (11)$$

Unde: $T_0 = 2T_{CF} = 0.01 \text{ s}$

Coeficientul de transfer al acționării este:

$$k_{AE} = k_{EPV} \frac{1}{k_{TV}} \frac{R_T - R_{T0}}{2} \frac{1}{i_r} \cdot \frac{E_{Cu} S_{fir.}}{L_k} = 1.25 \cdot \frac{1}{0.053} \cdot 0.1 \cdot 640 = 1509.43 \quad (12)$$

Coeficientul de transfer al regulatorului forței de tensionare este:

$$k_{RT} = \frac{1}{2k_{AE} T_{\mu T}}$$

Analiza stabilității sistemului în MatLab Simulink după Criteriul Bode și Nyquist simplificat

În baza schemei structurale simplificate din figura.7 este elaborat modelul Simulink al SEM. Utilizând acest model se realizează analiza stabilității sistemului conform *criteriilor Bode*, *Nyquist simplificat* și *diagramei poli-zero* cu ajutorul funcțiilor specializate din MatLab Simulink.

Analiza stabilității SEM conform criteriului Bode

Acest criteriu analizează stabilitatea SRA, evaluând rezerva de stabilitate a acestuia. Rezerva de stabilitate a unui SRA se evaluează prin două mărimi caracteristice din caracteristicile semilogaritmice ale lui $H_b(s)$:

- marginea de amplitudine (rezerva de stabilitate în modul): $m_{dB} = -|H_b(j\omega_t)|_{dB}$
- marginea de fază (rezerva de stabilitate în fază): $\gamma = 180^\circ + \varphi(\omega_t)$

unde ω_t este pulsația de tăiere, iar ω_π – pulsația la care sistemul $H_b(s)$ și are o fază egală cu $-\pi$. Conform criteriul Bode condiția necesară și suficientă ca un SRA să fie stabil este ca reprezentarea fază-pulsație să intersecteze axa ω într-un punct situat după intersecția cu aceeași axă a reprezentării amplitudine-pulsație (deci $\omega_\pi > \omega_t$). Din rezultatele modelării rezultă că $\omega_\pi > \omega_t$, deci în acest caz avem un sistem stabil.

Analiza stabilității conform criteriului Nyquist simplificat

Condiția necesară și suficientă ca un SRA să fie stabil este ca hodograful lui $H_O(s)$ să nu înconjoare punctul critic $(-1, j0)$ (se consideră $H_b(s)$ stabil) atunci când $(\omega \in -\infty, +\infty)$.

Conform rezultatelor obținute în lucrare hodograful lui $H_b(s)$, nu înconjoară punctul critic $(-1, j0)$, respectiv, rezultă, că conform criteriului de stabilitate *Nyquist Simplificat* sistemul este stabil.

Analiza stabilității SEM conform diagramei poli-zerouri

Criteriul de stabilitate conform *diagramei poli-zerouri* constă în faptul că polii să se găsească în semiplanul Laplace stâng. Polii din semiplanul drept produc instabilitate în sistem. Deci, polii care duc la o funcționare auto-oscilantă trebuie să se găsească pe axa $j\omega$. Din rezultatele obținute în lucrare observăm că ambii poli se află în semiplanul stâng ceea ce ne demonstrează că SEM este stabil.

Probleme ale implementării algoritmilor adaptivi în controlul SEM

La implementarea practică a unui SEM adaptiv apar multe dificultăți generate, atât de ipotezele în care s-a dezvoltat teoria, cât și de echipamentele pe care se implementează algoritmi.

Unele probleme specifice SEM adaptive trebuie luate în considerare la implementarea acestora și anume:

- informația inițială despre proces și modul de utilizare a acesteia;
- selectarea cerințelor de performanță pentru sistemul de reglare și realizabilitatea acestora;
- robustețea estimării parametrilor și considerarea incertitudinilor structurale prin neglijarea constantelor de timp mici și foarte mici;
- considerarea fenomenelor de comutare fără șocuri de la un regim de funcționare la alt regim de funcționare;
- considerarea neliniarităților introduse de elementele de mașina electrică și de procesul condus.

Multe dintre aceste probleme nu sunt specifice numai reglării adaptive și sunt importante pentru implementarea reguletoarelor în general.

Proiectarea regulatorului hibrid Fuzzy-PID pentru reglarea vectorială a mecanismului de bobinat cu parametri mecanici variabili

Regulator PID, convențional, nu oferă performanțe acceptabile pentru sistemele cu dinamica incertă și neliniare. Prin urmare, este necesar ajustarea automată a parametrilor regulatorului PID în scopul obținerii unui răspuns satisfăcător. Ajustare automată a controlerului PID este realizată cu ajutorul logicii fuzzy. Figura 12. reprezintă schema bloc a unui regulator PID-Fuzzy. Regulatorul hibrid PID-Fuzzy a fost implementat folosind logica fuzzy și un set de instrumente în mediul Matlab. Pentru ieșirile k_p , k_i și k_d scalarea gamei de mulțimi fuzzy a fost realizată cu ajutorul relațiilor prezentate mai jos:

$$k_p^1 = \frac{k_p - k_{p,\min}}{k_{p,\max} - k_{p,\min}}; \quad k_i^1 = \frac{k_i - k_{i,\min}}{k_{i,\max} - k_{i,\min}}; \quad k_d^1 = \frac{k_d - k_{d,\min}}{k_{d,\max} - k_{d,\min}} \quad (13)$$

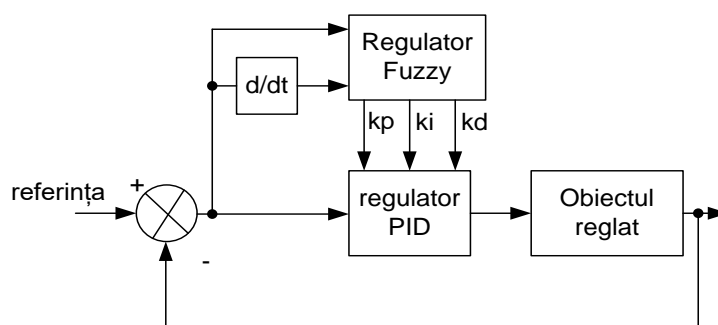


Figura 12. Schema bloc a unui regulator hibrid Fuzzy-PID.

Din analiza rezultatelor obținute se desprind următoarele constatări și concluzii:

1. Caracteristica mecanică a bobinatorului este neliniară și impune utilizare unui sistem de reglare al forței din fir adaptabil în funcție de parametrii bobinei și firului bobinat.
2. Analiza caracteristicilor mecanice ale trefilorului a demonstrat existența unui moment de rezistență mare la pornire, aproximativ egal cu 120%, la viteze mici de trefilare, determinat de coeficientul mic de alunecare la tambururile de tracțiune, lipsa forței de contratensionare din fir și insuficiența de lichid lubrifiant în filiere la viteze mici.
3. Pentru menținerea constantă a forței din fir cuplul motorului va crește liniar, iar viteza unghiulară va scădea linear.
4. Implementare a unui regulator adaptiv Fuzzy-PID pentru sistemul de reglare al forței din fir unde este necesară o strategie de conducere adaptabilă, necesită informație despre sistem mai redusă cât și informație despre modificarea parametrilor în timpul funcționării.

Capitolul 3 al tezei, "Modelarea sistemului electromecanic de acționare a bobinatorului în mediu MatLab" reprezintă partea aplicativă a lucrării. În acest capitol este modelat sistemul de reglarea al mecanismului de bobinat. Simularea sistemului de control al mecanismului de bobinat ne permite să observăm dependența forței de tensionare la diferite moduri de comandă ale motorului asincron, valoarea acestei forțe în regimuri dinamice, dependența puterii consumate de acționare pentru diferite valori a forței prescrise și influența asupra stabilității sistemului. Sunt realizate ambele moduri de comandă vectorială adaptivă a motorului asincron, cu control DTC și controlul de viteză pentru diferiți parametri mecanici ai bobinei (greutate, rază, viteză). Comanda vectorială a acestei acționări se realizează, din considerentul, că, bobinatorul necesită o acționare cu parametri dinamici ridicați, pentru menținerea cât mai constantă a valorii forței de tensionare din fir față de cea prescrisă. Totodată, prin menținerea acestei forțe cât mai aproape de valoarea minimă necesară la bobinarea firului se obține o creșterea a eficienței energetice a acestei acționări.

Modelul SimPowerSystem al sistemului electromecanic cu controlul direct al cuplului

În figura.13. este prezentat modelul SimPowerSystem al sistemului de acționare al mecanismului de bobinat cu control DTC care a fost elaborat în cadrul acestui capitol.

Modelul conține trei subsisteme:

- modulul de acționare al bobinatorului cu motor asincron și convertor de frecvență;
- modulul de control al acționării;
- modulul care conține modelul matematic al bobinatorului.

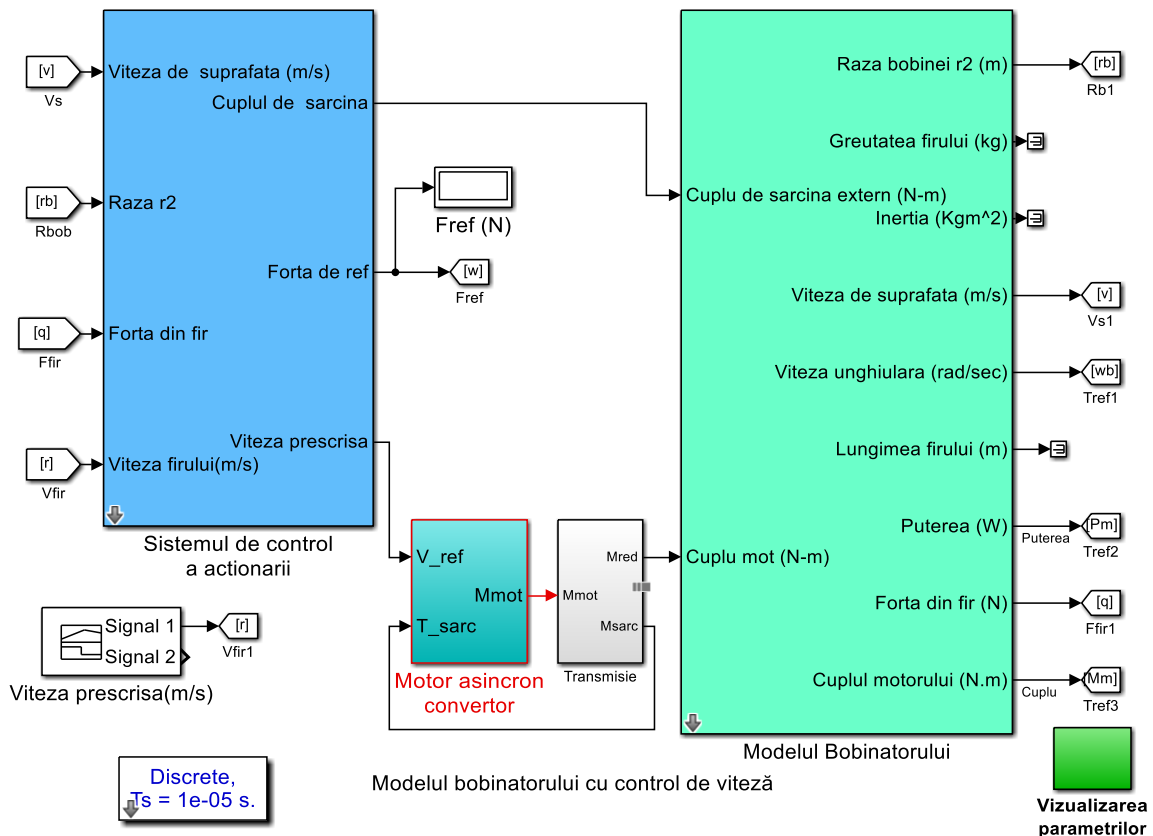


Figura 13. Modelul SimPower System al mecanismului de bobinat

Modelul Simulinc al modulului de control al firului la bobinare este alcătuită din regulatorul PI sau Fuzzy în bucla de reacție după forța de tensionare. Totodată, în acest subsistem se estimează și valoarea cuplului care trebuie să o dezvolte motorul pentru a menține constantă forța de tensionare din firul bobinat.

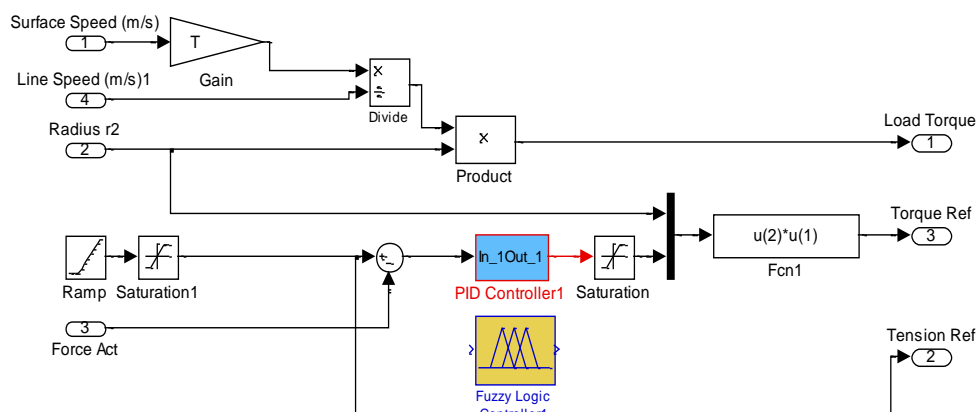


Figura 14. Modelul Simulink a modului de control a forței de tensionare a firului la bobinare
Rezultatele modelării mecanismului de bobinat la control DTC cu regulator PI

Conform modelului SimPowerSystem reprezentat în figura.13. au fost simulate procesele tranzitorii ale sistemului pentru cazul când controlăm cuplul motorului direct și utilizând un traductor de măsurare al forței din fir. În figura 15. este reprezentată variația forței de tensionare a firului față de cea prescrisă de 60 (N) și consumul de energie necesar pentru dezvoltarea acestei forțe la comanda DTC a motorului mecanismului de bobinat cu buclă de reacție în funcție de valoarea forței de tensionare.

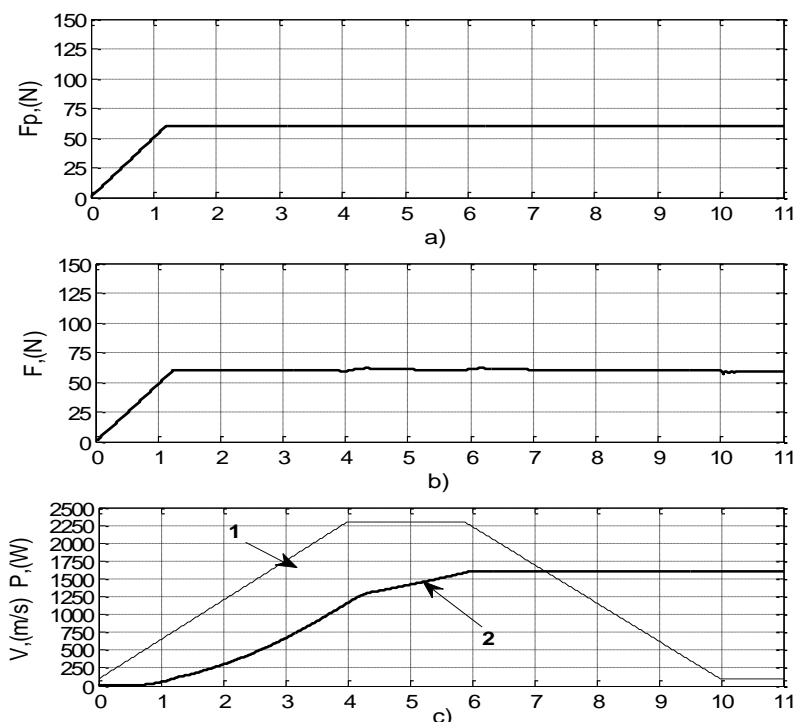


Figura 15. Valoarea prescrisă a forței de tensionare de 60 N –a), variația forței de tensionare din firul bobinat-b), variația vitezei liniare a firului, curba 1 consumul de energie necesar pentru a dezvolta forța prescrisă în fir curba 2 -c) pentru aceeași variație a vitezei liniare a firului cu control DTC

Modelul sistemului de control al mecanismului de bobinat cu control de viteză și reglatoare Fuzzy

Conform modelului SimPowerSystem reprezentat în fig.16 și efectuând modificări în blocul de control al bobinatorului s-au modelat procesele tranzitorii ale sistemului pentru cazul când controlăm viteza motorului și utilizăm un traductor de măsurare a poziției brațului compensator cu role și reglatoare Fuzzy.

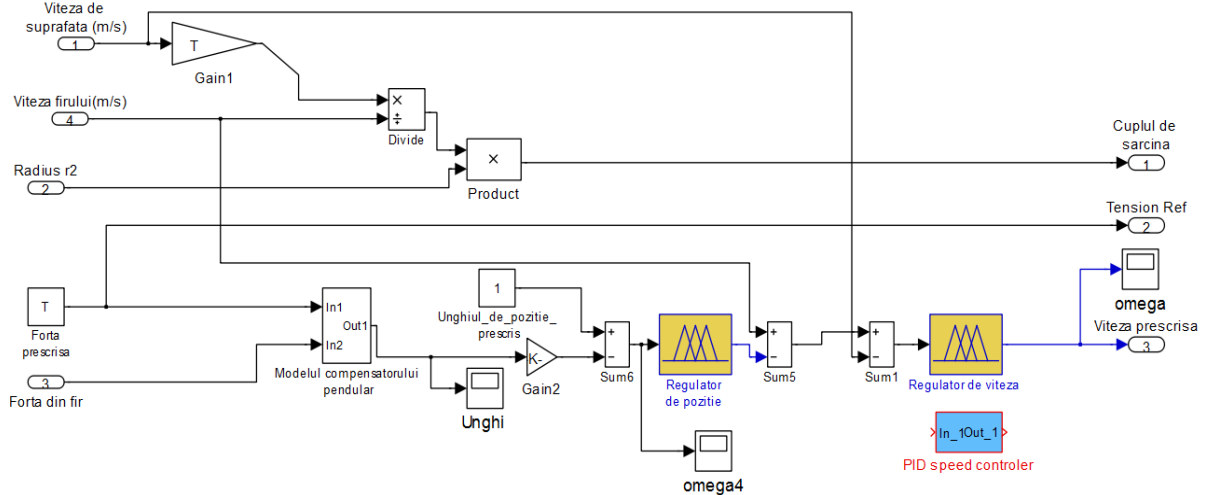


Figura 16. Modelul Simulink a blocului de control al acțiunii mecanismului de bobinat în cazul când controlăm viteza motorului cu reglatoare Fuzzy

Rezultatele modelării mecanismului de bobinat cu control de viteză și reglatoare Fuzzy

În figura 17 este reprezentată variația forței de tensionare a firului față de cea prescrisă de 70(N) la controlul vitezei motorului mecanismului de bobinat cu buclă de reacție în funcție de poziția brațului compensator.

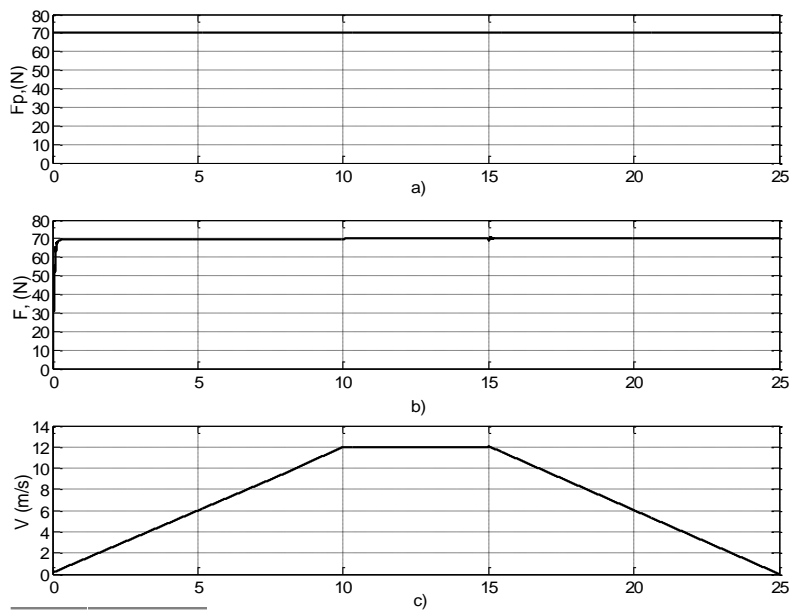


Figura 17. Forța prescrisă-a; variația forței din fir-b; variația vitezei liniare a firului bobinat-c.

Valoarea forței prescrise în cazul dat nu este în rampă deoarece aceasta este creată de brațul compensator. Valoarea acesteia este setată de către operator în funcție de secțiunea firului trefilat, prin intermediul unui regulator de presiune pneumatic. Forța este dezvoltată de către un cilindru pneumatic care se află sub presiunea prescrisă de la regulatorul pneumatic. Valoarea forței este zero în momentul inițial de timp deoarece brațul este jos, valoarea forței crește pînă la valoarea prescrisă îndată ce bobina începe să se rotească.

Modelul sistemului de control al mecanismului de bobinat cu control DTC și regulator hibrid Fuzzy-PID a forței din fir

Conform modelului Simulink, reprezentat în figura.13, se simulează procesele tranzitorii ale sistemului pentru cazul când controlăm cuplul motorului direct și utilizăm un traductor de măsurare al forței din fir. În bucla de reacție a sistemului de reglare după forța din fir avem un regulator hibrid Fuzzy-PID.

În figura 18. este reprezentată schema modulului de control a acționării bobinatorului cu control DTC și regulator hibrid Fuzzy-PID.

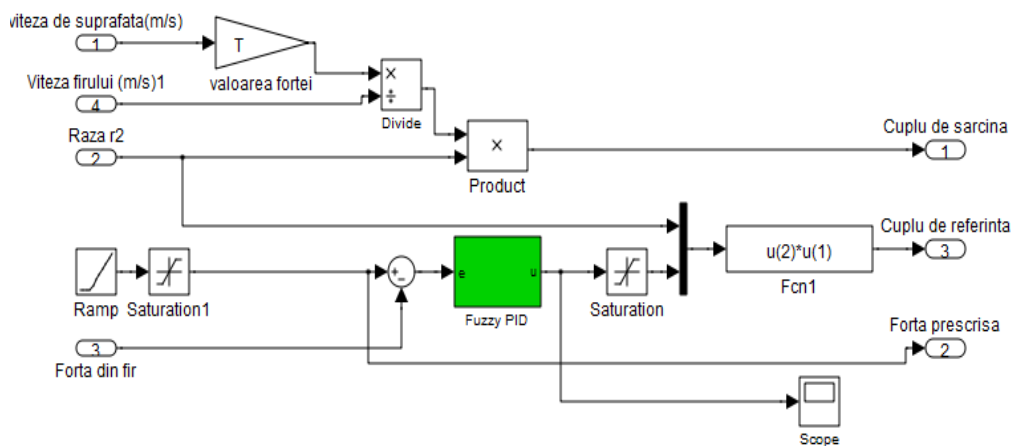


Figura 18. Schema modulului de control a acționării bobinatorului cu control DTC și regulator hibrid Fuzzy-PID.

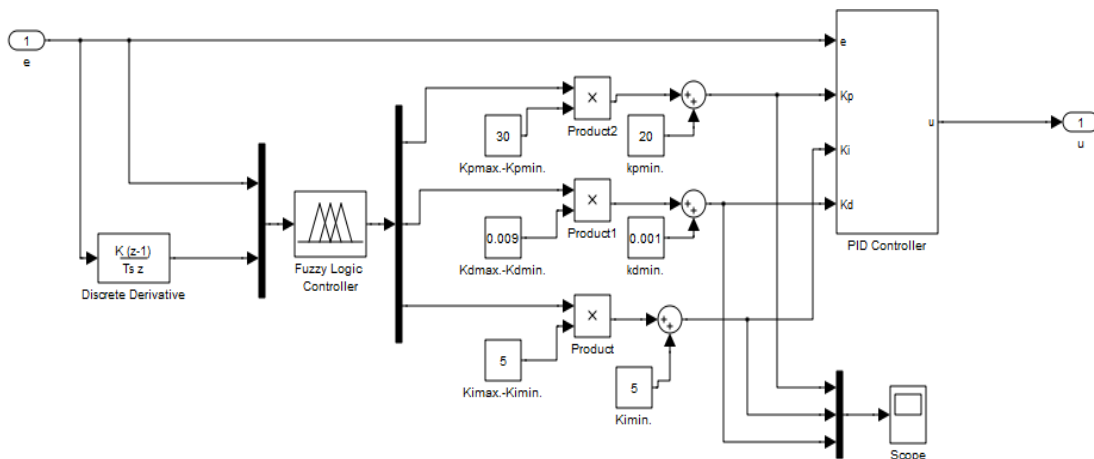


Figura 19. Schema Simulink a regulatorului hibrid Fuzzy-PID.

Modelul Simulink a regulatorului hibrid Fuzzy-PID este reprezentat în figura 19, compus din regulatorul Fuzzy, modelul Simulink al relațiilor de calcul (13) pentru coeficienții regulatorului PID respectiv k_p , k_i și k_d și modulul regulatorului PID.

În figura 20. este reprezentată variația forței de tensionare a firului față de cea prescrisă de 60 (N) și cuplul prescris de către regulatorul Fuzzy-PID, pentru a dezvolta această forță la comanda DTC a motorului mecanismului de bobinat cu buclă de reacție în funcție de valoarea forței de tensionare.

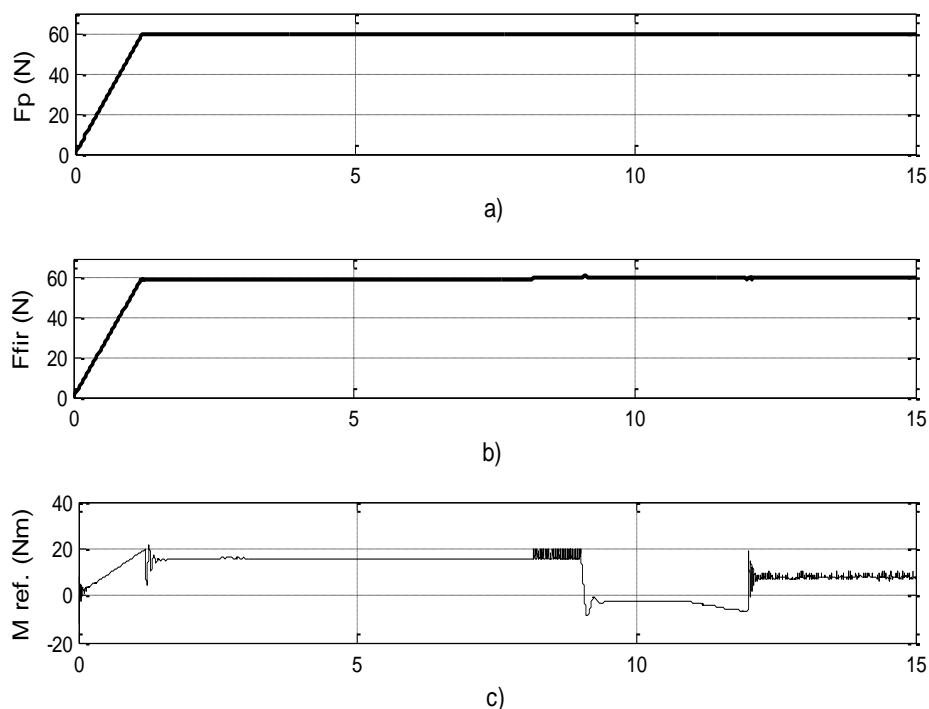


Figura 20. Forța prescrisă din fir-a), variația forței dezvoltate în firul bobinat-b) și variația cuplului prescris acționării de către regulatorul Fuzzy- PID pentru cazul când forța prescrisă este egală cu 60(N).

Din analiza rezultatelor obținute se desprind următoarele constatări și concluzii:

1. Ambele moduri de comandă vectorială a motorului asincron cu controlul DTC și controlul vitezei asigură stabilitate în funcționare pentru diferiți parametri mecanici ai bobinei (greutate, rază), dar în cazul regulatorului PI se necesită un calcul anevoios în determinarea parametrilor regulatorului din buclă, tot o dată trebuie de menționat că modelul este simplificat și nu ea în calcul toate perturbațiile care pot apărea într-un sistem real.
2. Pentru un sistem neliniar regulatorul hibrid Fuzzy-PID asigură performanțe foarte bune. Totodată, ajustarea unui astfel de regulator Fuzzy-PID este mult mai simplă și nu necesită un calcul matematic complicat.

Capitolul 4 al tezei- **”Implimentarea practică a rezultatelor cercetărilor teoretice din cadrul lucrării”** în cadrul căruia, în baza cerințelor de performanță impuse sistemului de control

a fost elaborată schema structurală a sistemului de control (Figura. 21.) care are la bază un PLC din seria S7-300 de la compania Siemens CPU319-3 PN/DP.

Arhitectura rețelei de comunicare între PLC și dispozitivele periferice a fost aleasă de tip inel în scopul asigurării fiabilității în funcționare în cazul când pe o porțiune de circuit apare o ruptură.

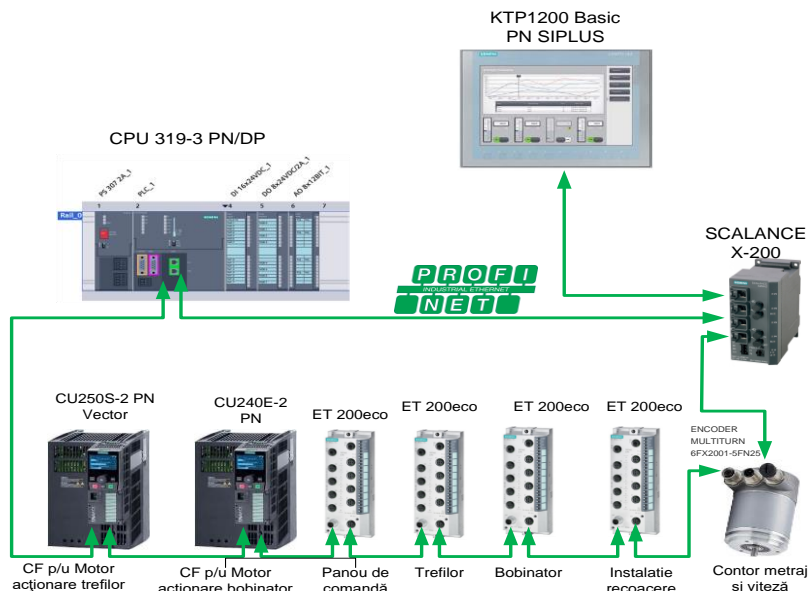
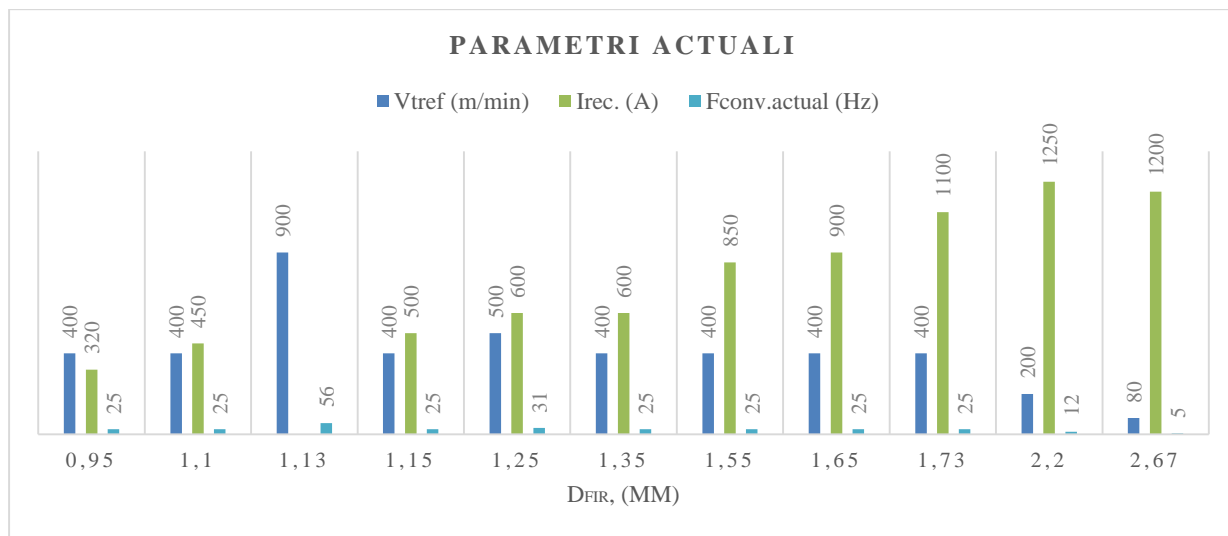


Figura 21. Schema structurală a sistemului de control propus pentru linia de trefilare

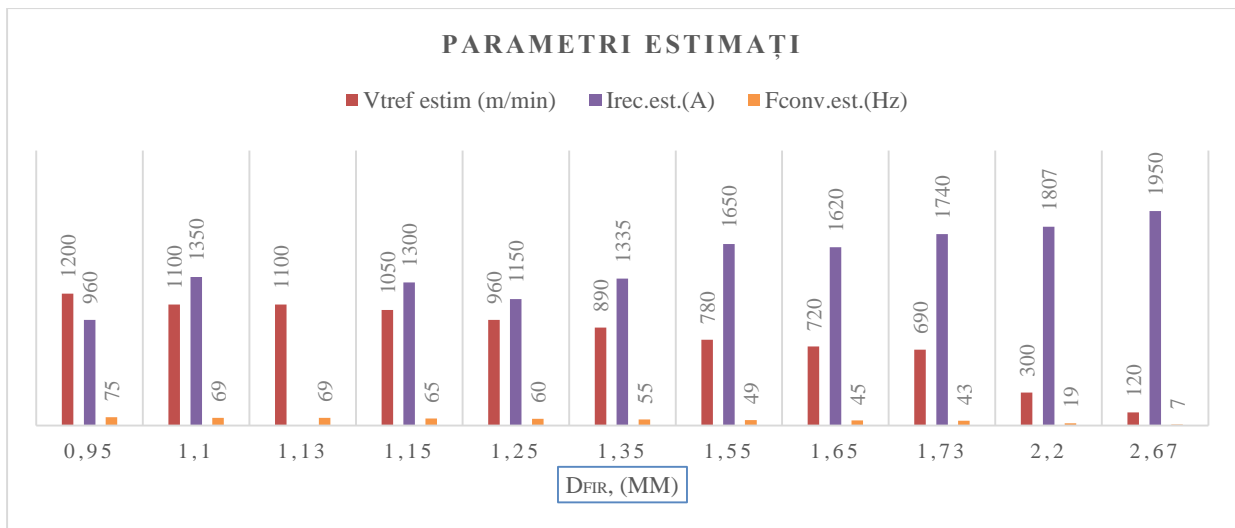
Partea de forță a sistemului reprezintă două convertizoare de frecvență SINAMICS G120 de puterile nominale respective. Conform acestui protocol de comunicare Profinet fiecare echipament comunică cu PLC-ul prin intermediul unui IP sau a unui nume de rețea.

Analiza rezultatelor privind productivitatea liniei de trefilare

În urma modernizării SEM a trifilului s-au estimat următoarele rezultate care țin de productivitatea liniei reprezentate în Fig.22.



a)



b)

Figura 22. Parametrii de funcționare ai liniei de trefilare actuali-a) și parametrii estimați după modernizare-b)

Analiza datelor din fig.22 b) ne permite să afirmăm faptul că linia atinge viteza maximă de funcționare de 1200 (m/min) pentru diametrul minim al firului trefilat de 0,95 (mm). Aceasta se datorează faptului că diametrul firului trefilat se micșorează cu 316 (%), de unde rezultă că și viteza liniară la ieșirea din trefililor (la bobinator) va fi mai mare ca cea la intrare cu aproximativ 316 (%). În aceste condiții motorul de acționare a trefilului funcționează la o frecvență de 75 (Hz). Totodată, în cazul dat, se atinge și viteza maximă de 400 (m/min) la care poate funcționa instalația de depanare a firului. Din analiza datelor reprezentate în Fig.22. putem evidenția nivelul de creștere al productivității liniei pe fiecare diametru de fir produs, exploatând linia împreună cu modulul de recoacere la parametri optimi. În rezultatul realizării analizei productivității liniei, în mediu, pe toate diametrele de fir care se produc s-a estimat o creștere a productivității de aproximativ 193(%). Pentru firul cu diametrul de 1.13(mm) nu este necesară recoacerea deoarece acest fir merge la o altă linie de trefilare pentru a obține fir cu diametru mai mic. În Figura.23. este reprezentată grafic productivitatea liniei de trefilare în funcție de diametrele firului prelucrat.

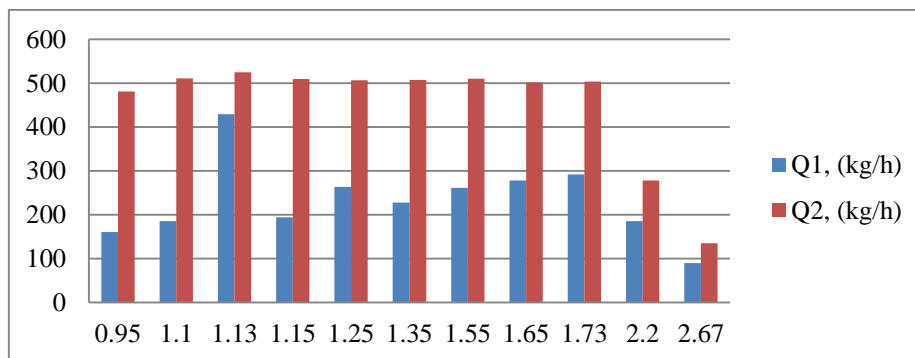


Figura 23. Productivitatea liniei de trefilare în funcție de diametrele firului prelucrat: Q1- înainte de modernizare, Q2- rezultate estimate după modernizare.

Din analiza rezultatelor obținute se desprind următoarele constatări și concluzii:

- În urma modernizării și ajustării sistemului de reglare al acționării trefilului-bobinatorului poate fi majorată productivitatea, în mediu, pentru toate diametrele de fir produs cu aproximativ 198(%)
- Viteza lineară medie estimată pe toată gama de diametre de fir trefilat poate fi majorată cu 199 (%).
- Viteza lineară maximă 1200(m/min) s-a obținut pentru diametrul firului trefilat 0,95(mm).
- Viteza lineară minimă 120(m/min) s-a obținut pentru diametrul firului trefilat 2.67(mm). Această viteză este limitată de puterea instalației de recoacere care poate asigura un curent maxim de 2000 (A).

III. CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. Problemele globale aferente protecției medului ambiant și consumului necontrolat a combustibililor fosili au impus statele lumii, inclusiv Republica Moldova, să se ocupe cu dezvoltarea și implementarea tehnologiilor performante industriale automatizate cu consum energetic redus. Procesele tehnologice de producere a firelor metalice sunt influențate de mai mulți factori variabili, iar unor erori în sistemele electromecanice de acționare ale instalațiilor de trefilare și bobinare conduce la creșterea excesivă a volumului de deșeuri metalice și a energiei electrice consumate. În acest sens, Republica Moldova a adoptat o serie programe în scopul promovării implementării tehnologiilor moderne de către antreprenorii autohtoni.
2. Performanțele sistemului electromecanic al liniei de trefilare și problemele legate de reglarea vitezei de trefilare, sunt determinate de caracteristicile mecanice neliniare ale acesteia. Analiza literaturii de specialitate constatăm că randamentul procesului de trefilare cu alunecare crește o dată cu viteza lineară a firului prelucrat.
3. Reieșind din caracteristicile neliniare ale bobinatorului apare necesitatea utilizării unui sistem de reglare al forței din fir adaptabil în funcție de parametrii bobinei și firului bobinat și rezultă faptul că comanda scalară a motorului asincron nu poate fi utilizată la SEM al bobinatorului.
4. A fost propusă o metodologie nouă de calcul a caracteristicile mecanice ale bobinatorului pentru diferite legi de control a forței din fir la bobinare. S-a demonstrat, că la viteze mici de trefilare, cuplul de rezistență al bobinatorului depășește aproape 60% valoarea nominală, fapt cauzat de lipsa forței de contra-tensionare din fir și insuficiența de lichid lubrifiant în filiere.
5. Valoarea forței din fir la bobinare este un parametru critic care determină eficiența energetică a acestui mecanism deoarece cuplul dezvoltat de motor este direct proporțional cu forța prescrisă și raza bobinei. O valoare prea mare a acestei forțe duce la supraîntinderea firului trefilat la etapa de recoacere, iar o valoare prea mică duce la creșterea pierderilor prin alunecare în trefilul (între tambururile de tracțiune și firul trefilat) și la scăderea calității bobinajului.

6. Pentru analiza stabilității sistemului, în teză s-au efectuat calcule pentru liniarizarea sistemului, s-a obținut o funcție de transfer de ordinul doi care descrie dinamica sistemului electromecanic a bobinatorului. În urma analizei conform criteriilor de stabilitate *Hurwitz*, *Bode*, *Nyquist Simplificat* **demonstrează faptul că sistemul este stabil**.
7. Au fost elaborate modelele Simulink ale sistemelor electromecanice reglabile cu motoare asincrone pentru mecanismele de trefilat și bobinat cu control vectorial și cu controlul direct al cuplului (DTC). A fost analizat SEM dinamic al bobinatorului cu control DTC și regulatoare PI, Fuzzy și Fuzzy-PID și a fost argumentată modalitatea principală de implementarea a regulatorului hibrid Fuzzy-PID. Pentru sistemul electromecanic nelinier al bobinatorului regulatorul hibrid Fuzzy-PID asigură performanțe foarte bune..
8. În cadrul acestei teze pentru ajustarea sistemului electromecanic existent au fost elaborate două metodologii de programare ale convertizorului care controlează motorul mecanismului de bobinat:
 - pe mașina reală cu regulator PID integrat fără corecții după diametrul și momentul de inerție al bobinei;
 - fără regulator PID cu corecții după diametrul și momentul de inerție al bobinei.
9. În cadrul acestei lucrări în urma modernizării sistemului de reglare al acționării trefilului-bobinatorului s-a estimat o majorare a productivității în mediu pentru toate diametrele de fir produs cu aproximativ 198(%), viteza lineară maximă 1200 (m/min) s-a obținut pentru diametrul firului trefilat 0,95(mm). Totodată, pentru diametrul maxim al firului trefilat 2.67 (mm) s-a obținut o viteză lineară 120(m/min), această viteză este limitată de putere a instalației de recoacere, în același timp la viteză redusă este necesară o răcire forțată pentru ambele motoare.
10. Au fost propuse metode de calcul ale vitezelor lineare minime și maxime de trefilare în funcție de diametrul firului trefilat și puterea instalației de recoacere.
11. Implementarea sistemelor electromecanice avansate la procesul de trefilare și bobinare a firelor sa estimat o reducere a rebutului de materie primă cu 20% și a consumului de energie electrică cu 40%.
12. În scopul ridicării fiabilității SEM și capacității de integrare ulterioară, într-un sistem SCADA, în teză este propus un sistem de control nou pentru linia de trefilare bazat pe PLC și tehnologiile PROFINET și IO-Link.

Problema științifică importantă soluționată

Prezenta teza de doctorat aduce contribuții științifico-practice într-o tematică de larg interes – *Sisteme electromecanice*. În urma cercetărilor realizate, în lucrare a fost soluționată problema stabilirii metodelor de modernizare ale sistemelor electromecanice în instalațiile de producere a firelor electrice, estimarea efectului asupra productivității în urma implementării

acestora. Din această lucrare derivă următoarele *sugestii*, privind cercetările de perspectivă, cu caracter științific și aplicativ:

- Dezvoltarea conceptului propus de modernizare a liniilor de trefilare și modelarea acestuia în scopul determinării parametrilor optimi.
- Modelarea în SimPowerSystem a trefilului cu bobinatorul și cu modulul de recoacere a firului în scopul determinării curentului optim de recoacere a firului
- Analiza prin modelare a sistemului de reglare al modulului de recoacere a firului în funcție de viteza și diametrul firului.

Lista lucrărilor publicate la tema tezei

Participări cu rapoarte la foruri științifice naționale și internaționale:

1. **Vadim Cazac** The drive System Optimization of Single screw Extruder to control Thickness of Insulation. In: *International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN) 2017* October 11-13, Iasi, Romania, Chisinau, Rep. Moldova pag.501-505, 0.23 c.t. ISBN 978-1-5386-1846-2, IEEE Part Number CFP17L58-ART IEEE Conference Publications. DOI: [10.1109/SIELMEN.2017.8123379](https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2017.8123379)
 2. **Vadim Cazac**, Ilie Nuca The Control System Modeling of Winder with Hybrid Fuzzy-PID Controller. In: *International conference and exposition on electrical and power engineering, EPE 2016*. 20-22 Octombrie, Iasi 2016. Pag. 492-497, 0.29c.t. IEEE Catalog Number: CFP1647S-ART, ISBN:978-1-5090-6129-7, DOI: [10.1109/ICEPE.2016.7781389](https://doi.org/10.1109/ICEPE.2016.7781389) <http://ieeexplore.ieee.org/document/7781389/>
 3. **Vadim Cazac**, Ilie Nuca, AC Drive Control System of the Winder with DTC control and Fuzzy controller, In: *13th International Conference on Development and Application Systems*. Suceava, Romania, May 19-21, 2016 IEEE Catalog number: CFP1665Y-ART ISBN: 978-1-5090-1993-9 pp. 126-129, 0.17c.t. IEEE Conference Publications. DOI: [10.1109/DAAS.2016.7492560](https://doi.org/10.1109/DAAS.2016.7492560), <http://ieeexplore.ieee.org/document/7492560/>.
 4. **Vadim Cazac**, Ilie Nuca, Todos Petru, Iurie Nuca, Control system of the wire drawing machine with annealing module. In: *Proceeding of the 8th International Conference on Electromechanical and Power Systems*. Chisinau 13-15 Octombrie 2011. pp. 81-88, 0.4 c.t.
 5. **Cazac Vadim**, Nuca Ilie. Adjusting the drawing control system of wire drawing machine and winding mechanism with asincronus motors, In: *10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power Systems SIELMEN 2015*. 6- Craiova, 8-9 Chișinău October 2015 pag. 282-285 0,17 c.t. ISBN 978-606-567-284-0, *Articole în culegeri naționale:*
1. **Cazac Vadim**, The Winder Control System with Alternative Current Drive of Wire Drawing Line. În: *Meridian Ingineresc*, nr. 2, 2016, pag. 68-75, 0,33 c.t. ISSN 1683-853X, categoria C, 0,33 c.t. Disponibil: <http://utm.md/meridian/2016/mi-nr2-2016.pdf>
 2. **Vadim Cazac**, Ilie Nuca. Modelarea sistemului de control al trefilului cu modul de recoacere a firului. În: *Conferința tehnico-științifică a colaboratorilor, doctoranzilor și studenților UTM*. Chisinau, 2011, Vol.1, pp. 308-311. 0.17c.t., ISBN:978-9975-45-208-3

ADNOTARE

Autor – CAZAC Vadim. **Titlul** – *Elaborarea sistemelor electromecanice pentru industria firelor metalice*. Teză de doctor în vederea conferirii titlului științific de doctor în științe inginerești la specialitatea 222.01 *Dispozitive și echipamente electrotehnice*.

Structura lucrării: Lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 124 titluri și include 7 anexe, 113 pagini, 71 figuri, 10 tabele. Rezultatele obținute în cadrul tezei au fost publicate în 6 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: sistem electromecanic, trefilor, bobinator, control vectorial, regulator Fuzzy.

Domeniul de cercetare se referă la științele ingineriei electrice, electrotehnică și electromecanică.

Scopul lucrării constă în sinteza structurilor avansate de control și cercetarea sistemelor electromecanice pentru eficientizarea proceselor industriale de fabricare a firelor și cablurilor electrice.

Obiectivele lucrării: Analiza și identificarea problemelor sistemului electromecanic al liniei de trefilare, dezvoltarea structurilor SEM pentru îmbunătățirea performanțelor procesului de bobinare al firului trefilat, elaborarea unui nou concept al sistemului de reglare, modelarea SEM al bobinatorului în scopul determinării performanțelor sistemului.

Metodologia cercetării științifice se bazează pe teoria sistemelor electromecanice, metodele de control vectorial și adaptiv a acționărilor electrice, modelare matematică.

Noutatea și originalitatea științifică a lucrării constă în identificarea particularităților proceselor industriale de producere a firelor și cablurilor electrice și elaborarea unor noi structuri ale sistemelor electromecanice adaptive bazate pe convertoare electronice de putere și mijloace programabile de control.

Problema științifică importantă soluționată constă în sinteza sistemelor electromecanice speciale adaptabile pentru instalațiile industriale de producere a firelor metalice prin trefilare cu fiabilitate, productivitate și eficiență energetică majorată.

Semnificația teoretică a lucrării consistă în contribuții științifice importante în dezvoltarea domeniului sistemelor electromecanice adaptive pentru instalațiile de fabricare firelor electrice.

Valoarea aplicativă a lucrării este determinată de faptul că, în lucrare au fost analizată și determinată performanța sistemelor electromecanice la trefilarea firelor, fiind identificați parametrii tehnologici cheie care determină eficiența procesului de trefilare.

Implementarea rezultatelor științifice: Rezultatele investigației de față au fost utilizate la ajustarea strungurilor de trefilare groasă, medie și fină în cadrul companiei *Tehelectro-SV S.R.L.* din mun. Chișinău.

ANNOTATION

Author – CAZAC Vadim. **Title:** *The electromechanical systems development of metal wires industry*. Doctoral thesis for PhD qualification in technical sciences, 222.01. *Dispozitive și echipamente electrotehnice*, specialty.

Thesis structure: The paper comprises an introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, 124 references, 7 annexes, 113 pages, 71 figures, 10 tables. The results are published in 6 scientific papers.

Keywords: electro-mechanical system, wiredrawing, winder, vector control, fuzzy controllers.

Field of study - refers to the electrical, electrotechnical and electromechanical engineering sciences.

The main goal consists of researching electromechanical systems, synthesis of advanced control structures for the automation and increasing the efficiency of industrial processes for the manufacture of electrical wires and cables.

The methodology of scientific research is based on the theory of electromechanical systems, the methods of vector control and adaptive control of electrical drives, mathematical modeling.

Objectives of the paper:

Analysis and identification of the problems of the electromechanical system of the wiredrawing line, development of the EMS structures for improving the performance of the process of winding of the drawn wire, elaboration a new concept of the control system, modeling the EMS of winder with scope to identifying the performance of the system.

The novelty and scientific originality of the paper consists in identifying the particularities of the industrial processes for the production of electric wires and cables and elaboration of new structures of specific adaptive electromechanical systems based on electronic power converters and programmable control means.

The important scientific problem solved consists in the synthesis of special electromechanical systems adaptable for industrial installations for the production of metal wires by wire drawing with reliability, productivity and increased energy efficiency.

The theoretical importance. The thesis brings specific scientific contributions to the adaptive electromechanical systems for the installations for the manufacture of electrical wires.

The practical value of the work. In thesis, the electromechanical systems of wiredrawing lines was analyzed and estimated the performance of them, the main technological parameter that determines the efficiency of the drawing process was identified.

Implementation of research results were used when were adjusted the thick, medium and fine wire drawing lines in the Tehelectro-SV S.R.L. company from mun. Chisinau.

АННОТАЦИЯ

Автор – КАЗАК Вадим. **Название**– *Разработка электромеханических систем для проволочной промышленности*. Диссертация о присвоение докторской степени в области технических наук, специальность 222.01. *Электротехнические устройства и оборудование*.

Структура работы: работа состоит из введения, четырёх глав, выводов и рекомендаций, библиографии из 124 наименований и включает 7 приложений, 113 страниц, 71 рисунков и 10 таблиц. Результаты исследования опубликованы в 6 научных работах.

Ключевые слова: волочение, обмотчик, векторное управление, Fuzzy регуляторы.

Область исследования: относится к электротехническим, электрическим и электромеханическим наукам.

Цели работы: состоит из исследования электромеханических систем, синтеза современных управляющих систем для автоматизации и повышение эффективности при производстве электрических проводов и кабелей.

Задачи диссертации: Анализ и выявление проблем электромеханической системы линии волочения, разработка структур электромеханических систем для улучшения характеристик процесса намотки тянутой проволоки, разработка новой концепции системы регулирование, моделирование электромеханической системы обмотка для определения качество регулирование системы.

Научная новизна работы: заключается в выявлении особенностей производственных процессов при производстве электрических проводов и кабелей и разработке новых структур адаптивных электромеханических систем на основе силовых преобразователей частоты и программируемых средств управления.

Решенная научная проблема: заключается в синтезе специальных электромеханических систем, адаптированных к промышленным установкам для производства металлической проволоки волочением с повышенной надежностью, производительностью и энергоэффективностью.

Теоретическая значимость. Диссертация вносит конкретный научный вклад в адаптивные электромеханические системы для линий производства электрических проводов.

Прикладное значение работы: В работе проанализированы и определены характеристики электромеханических систем при волочении проволоки, определены основные технологические параметры, определяющие эффективность процесса волочения.

Внедрение научных результатов: были использованы при наладке волочильных станов толстых, средних и тонких проволок в компании “Техэлектро-СВ” S.R.L. из мун. Кишинев.

CAZAC VADIM

**ELABORAREA SISTEMELOR ELECTROMECHANICE
PENTRU INDUSTRIA FIRELOR METALICE**

222.01- DISPOZITIVE ȘI ECHIPAMENTE ELECTROTEHNICE

Autoreferatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar 22.06.21

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Hârtie offset. Tipar RISO

Tirajul 35 ex.

Coli de tipar 2,0

Comanda nr. 55

U.T.M., MD-2004, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168.

Editura "Tehnica-UTM".

MD-2045, Chișinău, str. Studenților 9/9.

© U.T.M., 2021