

Szervomotorok szinkronizálása egy fémszalag feldolgozó technológia PLC-alapú irányítórendszerében

Synchronization of servomotors in a PLC-based control system for metal strip processing technology

FORGÁCS Zsófia¹, MÉRAI Csaba²

¹Miskolci Egyetem Automatizálási és Infokommunikációs Intézet
3515 Miskolc-Egyetemváros, Tel.: +36 46 565-140, E-mail: zsofia.forgacs@uni-miskolc.hu

²Optimacsoport Kft.
3534 Miskolc Baráthegyalja utca 4., Tel.: +36 30 205-7825, E-mail: optimagroup@optimagroup.eu

Abstract

Industrial servo motors play a crucial role in metal strip processing technology, where precision and synchronization are of utmost importance. One of the main challenges in the presented technology is achieving synchronization between two servo motors that are controlled differently. One motor is controlled directly by pulse signals from the main controller to the driver, while the other motor is controlled using Modbus-RTU commands. This paper describes the control method and algorithm used for implementation.

Keywords: industrial automation, motion control, servo drive, PLC, Modbus

Kivonat

Az ipari szervomotorok meghatározó szerepet játszanak a fémszalag-feldolgozási technológiákban, ahol a precíz és szinkronizált vezérlés megvalósítása alapvető feladat. A cikkben ismertetett technológia egyik fő kihívása a szinkronizálás megvalósítása két eltérő vezérlésű szervomotor között. Az egyik motorvezérlőt közvetlenül a fő vezérlőegység által biztosított impulzusjelek, míg a másik egységet Modbus-RTU parancsok vezérlik. A cikk a megvalósított vezérlési módszert és algoritmust mutatja be.

Kulcsszavak: ipari automatizálás, hajtásvezérlés, szervohajtás, PLC, Modbus

1. BEVEZETÉS

A szervomotorok alapvető szerepet játszanak az ipari alkalmazásokban, elsődlegesen az automatizálási folyamatok megvalósításához szükséges hajtás- és pozícionálórendszerek precíz működtetésében. Ezeket a motorokat a cikkben ismertetett fémszalag tekercselési technológiákban egyaránt használják, ahol pontos és szinkronizált mozgás szükséges a hatékony és jó minőségű gyártáshoz. Az irányításuk során számos módszer alkalmazható a pontos pozíció-, fordulatszám- és nyomatékszabályozás biztosítására. A következőkben ezen irányítási módszerek kerülnek rövid bemutatásra.

Az egyik legszélesebb körben alkalmazott szabályozóalgoritmust a PID szabályozás nyújtja, amely visszacsatolt hibajeleket használ a motor viselkedésének beállításához, figyelembe véve az arányos, integrál és derivált összetevőket a szervomotor valamely jellemzőjének szabályozásához [1] [2].

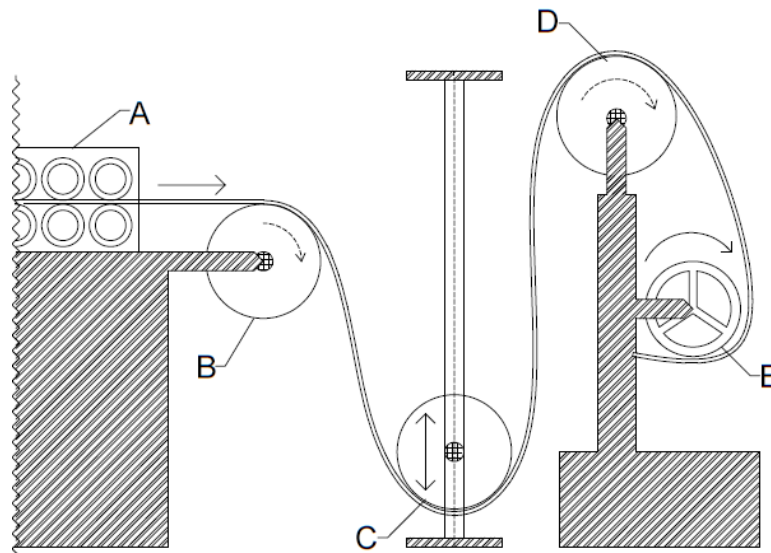
A modell alapú prediktív szabályozás egy előre meghatározott matematikai modellt használ a rendszer viselkedésének előrejelzésére, amely alapján meghozza a szabályozási döntéseket [3] a rendszer kívánt teljesítményének elérésére. Az algoritmus egy vizsgált tanulmányban beágyazott rendszeren került megvalósításra [4] szervomotorok szabályozására.

Hajtásvezérlési célokra egyaránt használható a fuzzy logika [5], amely halmazokat és nyelvi változókat használ a bizonytalan információk kezelésére, és a szigorú matematikai szabályok helyett az emberihez hasonló gondolkodás alapján hoz döntéseket. Még a nagy pontosságú pozíciókövető vezérlést megvalósító szervomotoros hajtásrendszerek is küzdenek bizonyos bizonytalanságokkal a bennük rejlő előre nem látható dinamikai változók miatt. Egy tanulmányban [6] egy adaptív fuzzy kompenzációval rendelkező kaszkádvezérlőt javasolnak ezen bizonytalanságok negatív hatásainak kiküszöbölésére.

Az adaptív szabályozási algoritmusok a rendszer érzékelőinek mérési adataira támaszkodva valós időben módosítják a folyamat paramétereit. Ennek eredményeképpen optimális működés érhető el abban a környezetben is, amelynek üzemelése során a rendszer dinamikájában előre nem látható változások következnek be. A mechanikai rendszerek ésszerű határon túli tökéletesítése, a bizonytalansági tényezők csökkentése érdekében, gazdaságtalan. Ennek a problémának a kiküszöbölésére kínál megoldást a megfelelően kivitelezett irányítórendszer. Egy tanulmányban [7] modellezési bizonytalanságokkal és ismeretlen holtjátékkal rendelkező szervorendszerek nagy pontosságú mozgásvezérlésének problémáját tárgyalták, amelyet folytonos nemlineáris adaptív hajtásvezérléssel kezeltek.

Ezek a szabályozási módszereken kívül a szervohajtásokhoz való hozzáférés elengedhetetlen szempont a szervomotorok vezérlésében. A szervohajtások különféle módszerekkel érhetők el és vezérelhetők, beleértve az impulzussorozat kimenetet és a kommunikációs protokoll-alapú irányításokat. Impulzussorozat kimenet esetén a szervohajtás digitális impulzusok sorozatát kapja, amelyek szabályozzák a szervomotor pozícióját, fordulatszámát és irányát, valamint a rendszer lehetőségeihez alkalmazkodó fel- és lefutási karakterisztikát. Kommunikációs vezérlés valósítható meg, amennyiben a servo vezérlő valamely kommunikációs protokollon (Ethernet, Modbus, CAN busz vagy EtherCAT), keresztül is elérhető és vezérelhető. Ezek a protokollok fejlettebb irányítási és kommunikációs képességeket tesznek lehetővé, köztük a valós idejű monitorozást, paraméter konfigurációt és rendszerintegrációt.

A cikkben ismertetett technológia két ipari szervomotort tartalmaz, az egyik a szalag adagolásáért (előtolásért), a másik a szalag csévéléséért felel egy erre a célra gyártott hordozótárcsába. A szalagfeldolgozó technológia elvi vázlatát mutatja be az 1. ábra.



1. ábra. Az előtolás és csévéelés elvi vázlata

Az 1. ábrán jelölt részegységek és azok funkciói a következők:

- A: Szervomotorral meghajtott előtoló görgősor. A szalag ettől az egységtől halad a tekercselőegység felé.
- B: Rögzített, nem hajtott szalagvezető tárcsa.
- C: Puffertárcsa. A rendszer dinamikai változásokhoz való alkalmazkodását segíti. A puffert a befűzött szalag vertikális tengely mentén mozgathatja a csévéelés során. Amennyiben az előtolási sebesség nagyobb, mint a csévéelési sebesség, a puffertárcsa ereszkedik. Ha a tekercselés sebessége nagyobb, mint az adagolásé, akkor a puffertárcsát folyamatosan emeli a szalag. A jól működő motorszinkronizálás onnan ismerhető fel egyértelműen, hogy a puffertárcsa az előre megadott műveleti tartományban tartózkodik a gyártási ciklus alatt.
- D: Rögzített, nem hajtott tárcsa, amely a szalag vezetését segíti. Ezen a tárcsán inkrementális enkóderrel vizsgáljuk a szalagcsévéelés valós sebességét. Az itt mért adatok visszacsatolásra kerülnek a szabályozórendszerbe.
- E: Feltekercselő tárcsa a csévéelőegységen. A szalag befűzése és rögzítése után a csévéelőegység hajtott tengelye végzi el a szalag feltekercselését.

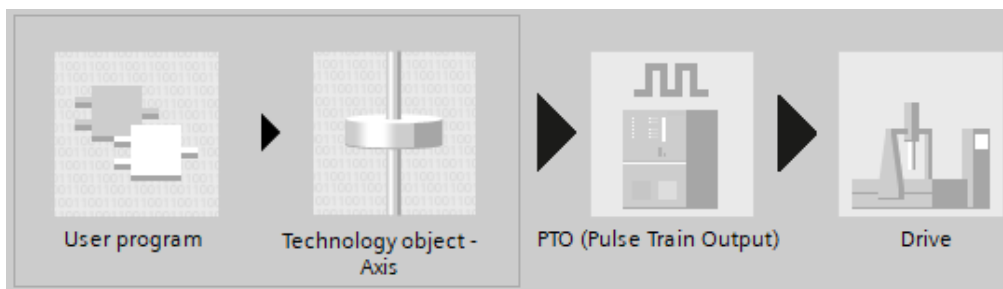
A gyártási ciklus során tehát a szalag az „A” egység felől érkezik és az „E” egységen történik a feltekercselése. Az előtoló- és a csévéelőegység hajtásáért egyaránt egy-egy szervomotor felel. A két egység

hajtásvezérlése a vezérlési módszer megoldásában különbözik. Az előtölő egységben működő szervomotor vezérlője impulzussorozat kimenettel, a PLC digitális kimeneteivel, míg a csévéológység szervomotorjának vezérlője Modbus kommunikációs interfészen keresztül érhető el az irányítórendszerben. A következőkben az irányítórendszer főbb komponensei és a motor fordulatszám alapjel meghatározására alkalmazott számítási módszer kerül bemutatásra.

2. AZ IRÁNYÍTÓRENDSZER FELÉPÍTÉSE

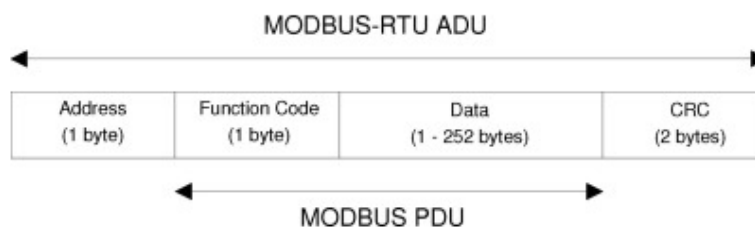
Az ismertett technológiában a szervomotorok szinkronizálásához egy összetett irányítórendszer megvalósítására volt szükség. Központi vezérlőegységként egy Siemens S7-1200 kompakt PLC (Programmable Logic Controller – programozható logikai vezérlő) működik, hozzá csatolt digitális I/O (Input/Output – bemeneti / kimeneti) modulokkal az érzékelők által szolgáltatott jelek detektálásához és a szükséges vezérlőjelek kiadásához. A PLC konfiguráció része továbbá egy RS-422/485 kommunikációs modul a Modbus RTU protokollon keresztüli adatcsere megvalósításához.

Az előtölő szervomotor hajtásvezérlése impulzussorozat kimenettel (PTO – Pulse Train Output) történik. Ebben a vezérlési módban a szervohajtás egy technológiai objektumként (Technology object) érhető el a vezérlőszoftverben, amely számára a felhasználói programban (User program) határozzuk meg a vezérelni kívánt sebességet (mm/s egységben). A technológiai objektumban beállított mechanikai és dinamikai paraméterek (pl. impulzusszám fordulatonként, sebességhatárok, gyorsulás- és lassulásértékek) alapján a vezérlőszoftver automatikusan előállítja az impulzussorozatot és kiadja a PLC megadott, impulzusgenerátorként beállított digitális kimenetén. Ez a digitális kimenet a szervohajtás (Drive) impulzusbemenete. Ezt a folyamatot szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. Az impulzussorozat kimenet vezérlési mód folyamata

A szalagcsévéelő szervomotor hajtásvezérlése Modbus RTU parancsokkal került megvalósításra. A PLC által generált felkérések a konfigurációban szereplő RS-422/485 kommunikációs modulon keresztül kerülnek továbbításra a Modbus szerverként működő szervovezérlő kommunikációs portjára. A protokoll master-slave közegelési eljárást használ és jellegzetessége, hogy négy különböző objektumcsoportot használ [8] az adatátvitelhez, amelyek adattípusukban és hozzáférésükben különböznek. Adattípusuk szerint kétállapotú és numerikus (16 bites) adatokat, hozzáférésük szerint csak olvasható és írható/olvasható adatokat különböztetünk meg. Bár a protokoll lehetővé teszi a négy különböző adatsóport használatát, elterjedt megoldás a Modbus kommunikációra alkalmas eszközöknél, így a technológiában lévő szervovezérlőnél is, hogy minden adatot 16 bites írható és olvasható regiszterként kezelnek. A Modbus-RTU keret 8 bites karakterként kerül továbbításra sorosan, amelyek mindegyike két 4 bites hexadecimális adatnak felel meg. A master felkérése és a slave egység válaszüzenete egyaránt a 3. ábrán látható keret [9] [10] szerint épül fel.



3. ábra. Modbus RTU keret felépítés [10]

A PDU (Protocol Data Unit – protokoll adategység) a hasznos adatokon (Data) túl tartalmaz egy funkciókódot (Function Code), amely az üzenet célját határozza meg (pl. FC5: diszkrét kimenet írása vagy

FC4: bemeneti regiszter olvasása [8]). A PDU emellett ki van egészítve egy címmezővel (Address) és egy ciklikus redundancia kóddal (CRC), hogy létrehozza az alkalmazásadat-egységet (ADU – Application Data Unit). Az alkalmazható funkciókódok eszközönként eltérők lehetnek, a szalagsévélő szervovezérlő az alábbi három funkciókódot támogatja:

- FC3: belső regiszter olvasása,
- FC6: egy regiszter írása,
- FC16: regisztercsoport írása.

Az adatkommunikáció során a hajtásvezérléshez szükséges paramétereket azok regisztercímein érhetjük el, a megfelelő funkciókódok használatával az írási és olvasási parancsokhoz. A Modbus üzenetekkel lehetőségünk van többek között a vezérlési mód és forgásirány kiválasztására vagy az egyes vezérlési módokhoz tartozó fordulatszámértékek beállítására. Az 1. táblázat ezen paraméterek beállítási lehetőségeire nyújt néhány példát.

Példák a szervohajtás Modbus protokollon keresztül elérhető paramétereire

1. táblázat

Regiszter	Paraméter	Értékek
100	Vezérlési mód	0: pozíció mód 1: sebesség mód 2: nyomaték mód
101	Forgásirány	0: óramutató járásával ellentétes 1: óramutató járásával megegyező
356	Fordulatszám pozíció módban [rpm]	0 – 6000
401	Fordulatszám alapjel sebességmódban [rpm]	-6000 – 6000
800	RS-485 kommunikációs cím	1 – 247
1203	Szervohajtás hiba alaphelyzetbe állítás	0 – 1

Az irányítórendszer további fontos feladata a technológiai folyamatba történő beavatkozás biztosítása, amely két szinten valósult meg. A berendezés működtetése során érintőképernyős panelon keresztül van lehetőség a kezelői beavatkozásokra és a gyártási alapbeállítások módosítására. A technológia teszteléséhez HTML-alapú webvizualizáció készült, amely a PLC integrált webszerverén fut. Ezen a felületen az egyes motorok működésének tesztelésére és a Modbus protokollon keresztül elérhető adatok megjelenítésére, illetve módosítására van lehetőség.

3. A CSÉVÉLŐ MOTOR FORDULATSZÁMÁNAK SZÁMÍTÁSA

Az irányítórendszer központi feladata az előtoló és a csévélő szervomotorok működésének szinkronizálása. Az előtoló szervomotor fordulatszáma a gyártási ciklus alatt állandó. Az előtolási sebesség értéke a kezelőpanelen elérhető gyártási paraméterek között állítható be. Mivel a felcsévélő szalagtekerics átmérője a gyártási ciklus alatt folyamatosan növekszik, a csévélő szervomotor fordulatszámának szabályozása a kulcsfeladat, amely jellemzően időben egyre alacsonyabb alapjelet igényel a szinkronizált működéshez. A megfelelő működés onnan ismerhető fel, hogy a szalag által mozgatott puffertárcsa a működési tartomány alsó- és felső határa között tartózkodik. A rendszer tervezése során kihívást jelentett továbbá a nagy, 1500 mm/s nagyságrendű adagolási sebesség.

A kitűzött cél elérése érdekében több szabályozási módszer vizsgálatra és tesztelésre került. Egy lehetséges megoldás volt a puffertárcsa elhelyezkedésének becslése a működési tartományok határain elhelyezett induktív közelítésérzékelők által szolgáltatott jelek figyelésével, majd a becsült elhelyezkedés alapján a fordulatszám alapjel szakaszos növelése vagy csökkentése. A módszer a gyakorlatban a feldolgozóegység és a Modbus parancsok átvitelének ciklusideje, illetve a technológiai elemek tehetetlensége miatt nem működött megfelelően, a rendszerhívásokra adott válaszok ugyanis olyan késleltetéssel érkeztek, amely a magas feldolgozási sebesség miatt, nem tette lehetővé a szinkronizált működést.

A szabályozási módszerek vizsgálata után a csévélőmotor fordulatszám alapjelenek egzakt meghatározása mellett döntöttünk a felcsévélő szalagtekerics aktuális átmérője alapján. A feltekericselt szalag aktuális hossza (l_{akt}) függ a tekericselő tárcsa magátmérőjétől (d_t), a szalag vastagságától (w) és a tekericselő tárcsa által megtett fordulatok számától (n). Az összefüggés kifejezhető az 1. egyenlet szerint:

$$l_{akt} = d_t \cdot \pi \cdot \left[\left(1 + 0 \cdot \frac{w}{d_t}\right) + \left(1 + 1 \cdot \frac{w}{d_t}\right) + \left(1 + 2 \cdot \frac{w}{d_t}\right) + \dots + \left(1 + (n-1) \cdot \frac{w}{d_t}\right) \right] \quad (1)$$

Rendezve az 1. egyenletet:

$$\frac{l_{akt}}{d_t \cdot \pi} = \sum_{i=0}^{n-1} \left(1 + i \cdot \frac{w}{d_t}\right) = 1 + 0 \cdot \frac{w}{d_t} + 1 + 1 \cdot \frac{w}{d_t} + 1 + 2 \cdot \frac{w}{d_t} + \dots + 1 + (n-1) \cdot \frac{w}{d_t} \quad (2)$$

Ez felírható a 3. egyenlet szerint, ahol bevezetjük a számtani sorozat összegét jelölő S tagot:

$$\frac{l_{akt}}{d_t \cdot \pi} = n + \frac{w}{d_t} \cdot (0 + 1 + 2 + \dots + (n-1)) = n + \frac{w}{d_t} \cdot S \quad (3)$$

Az S összeg kifejezhető a 4. összefüggéssel:

$$S = \frac{n}{2} \cdot (0 + (n-1)) = \frac{n^2 - n}{2} \quad (4)$$

Ezt behelyettesítve a 3. egyenletbe:

$$\frac{l_{akt}}{d_t \cdot \pi} = n + \frac{w}{d_t} \cdot \frac{n^2 - n}{2} = n + \frac{w}{d_t \cdot 2} \cdot (n^2 - n) \quad (5)$$

Az 5. egyenletet rendezve kapjuk a 6. másodfokú egyenletet:

$$0 = \frac{w}{d_t \cdot 2} \cdot n^2 + \left(1 - \frac{w}{d_t \cdot 2}\right) \cdot n - \frac{l_{akt}}{d_t \cdot \pi} \quad (6)$$

A megoldó képlet felírva:

$$n_{1,2} = \frac{-\left(1 - \frac{w}{d_t \cdot 2}\right) \pm \sqrt{\left(1 - \frac{w}{d_t \cdot 2}\right)^2 - 4 \cdot \frac{w}{d_t \cdot 2} \cdot \frac{l_{akt}}{d_t \cdot \pi}}}{2 \cdot \frac{w}{d_t \cdot 2}} \quad (7)$$

A technológiában lévő csévéelő tárcsa magátmérője állandó, 60 mm. A szalagvastagság változó értékű lehet, 0,5 mm és 1 mm között. Ezeket az értékeket behelyettesítve megállapítható, hogy a megtett fordulatok számának kifejezésére a 8. összefüggés használható:

$$n = \frac{-\left(1 - \frac{w}{d_t \cdot 2}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{w}{d_t \cdot 2}\right)^2 - 4 \cdot \frac{w}{d_t \cdot 2} \cdot \frac{l_{akt}}{d_t \cdot \pi}}}{2 \cdot \frac{w}{d_t \cdot 2}} \quad (8)$$

A csévéelő szervomotor beállítandó fordulatszámának (v_{cs} [1/s]) meghatározásához az ebből adódó előtolási sebességet (v_e [mm/s]), a csévélt szalagtekerics aktuális kerületét (K_{akt} [mm]) és a csévéelő hajtómű áttételét (i_{cs}) használjuk fel a 9. képlet szerint:

$$v_{cs} = \frac{v_e}{K_{akt}} \cdot i_{cs} \quad (9)$$

A felcsévélt szalagtekerics aktuális kerülete:

$$K_{akt} = (d_t + n \cdot w) \cdot \pi \quad (10)$$

Így a feltekerceselő szervomotor fordulatszám beállításához alkalmazandó összefüggés, behelyettesítve a megtett fordulatok számának kifejezésére alkalmazandó 8. egyenletet:

$$v_{cs} = \frac{v_e}{\left(d_t + \frac{-\left(1 - \frac{w}{d_t \cdot 2}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{w}{d_t \cdot 2}\right)^2 - 4 \cdot \frac{w}{d_t \cdot 2} \cdot \frac{l_{akt}}{d_t \cdot \pi}}}{2 \cdot \frac{w}{d_t \cdot 2}} \cdot w \right) \cdot \pi} \cdot i_{cs} \left[\frac{1}{s} \right] \quad (11)$$

A 11. összefüggést megvalósító algoritmusban szereplő konstans és változó mennyiségek funkciója és meghatározási módja összefoglalva:

- v_e : Az előtoló szervomotor által előállított aktuális előtolási sebesség mm/s egységben. Az előtoló hajtást reprezentáló technológiai objektum egyik lekérdezhető kimenete a vezérlőszoftverben.
- d_t : A csévéelő tárcsa magátmérője mm egységben. Értéke konstans.

- w : Szalagvastagság mm egységben. Értéke megadható a gyártási ciklus kezdetén. A kiválasztást követően az értéke konstans, amelyet a vezérlő szoftver a tesztelés során meghatározott értékkel korrigál.
- l_{akt} : A feltekereselt szalag aktuális hossza mm egységben. Értékét egy útmérésre alkalmazott inkrementális enkóder szolgáltatja a PLC digitális bemenetein (lásd 1. ábra „D” egység). Az impulzussorozat feldolgozását egy számláló funkcióblokk végzi a vezérlőprogramban.
- i_{cs} : A feltekereselő hajtómű áttétele. Értéke konstans.

Az algoritmus használata a PLC vezérlőprogramjában került megvalósításra. A fordulatszám alapjel kiszámítását követően a gyártási ciklus megfelelő állapotában, a szervovezérlő számára továbbított Modbus RTU lekérdezések (írási parancsok) segítségével módosítható a felcsévélő motor fordulatszáma. Az irányítórendszer tesztelésre és beüzemelésre került, a kitzűzött célokat hiánytalanul teljesítette. A fejlesztés a matematikai modell alkalmazásán túlmutatott, a gyakorlatban ugyanis a rendszer dinamikai tulajdonságait figyelembevéve további sebességkompenzációra volt szükség, amely mértéke a puffertárcsa helyzetétől függ. Túlvezérlés esetén, finoman szabályozva, amennyiben a puffertárcsát a szalag a műveleti tartomány fölé emeli, csökkenteni, alulvezérlés esetén, ha a puffertárcsa a műveleti tartomány alá ereszkedik, növelni szükséges a felcsévélés sebességét. Ez a kompenzációs érték a tesztelés során került meghatározásra és alapértelmezetten 3%.

4. ÖSSZEGZÉS

A cikkben ismertetett szalagfeldolgozó technológiában alapvető feladat az adagoló/előtoló- és a feltekereselőmotor szinkronizált vezérlése. A PLC-alapú irányítórendszerben a két hajtásvezérlő különböző módokon, impulzussorozat kimenettel, illetve Modbus kommunikációs interfészen keresztül érhető el. Egy gyártási ciklus során az adagoló motor által előállított szalag előtolási sebesség állandó, a szabályozórendszer feladata a feltekereselő motor fordulatszám alapjelenek előállítására. A fejlesztett algoritmus a szalagvastagság, a gyártási ciklus adott időpillanatában már feltekereselt szalaghossz, a csévélőtárcsa magátmérője, a felcsévélő hajtómű áttétele és az aktuális előtolási sebesség alapján számítja ki a szervomotor fordulatszám alapjelét. A fejlesztés sikerrel járt, az irányítórendszer az elvárásoknak megfelelően végzi a hajtásvezérlést és a működés során a szalag által mozgatott puffertárcsa a műveleti tartományban tartózkodik.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Li P., Zhu G., *IMC-based PID control of servo motors with extended state observer*, Mechatronics, Vol. 62, 2019, 102252, ISSN 0957-4158, <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2019.102252>.
- [2] Debnath D., Malla P., Roy S., *Position control of a DC servo motor using various controllers: A comparative study*, Materials Today: Proceedings, Vol. 58, Part 1, 2022, pp. 484-488, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.008>.
- [3] Jiang F., Cheng S., *Additive-state-decomposition-based model predictive tracking control for PMSM servo system with multiple disturbances*, Journal of the Franklin Institute, Vol. 360, Issue 13, 2023, pp. 9378-9398, ISSN 0016-0032, <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2023.06.049>.
- [4] Yang N., Li D., Zhang J., Xi Y., *Model predictive controller design and implementation on FPGA with application to motor servo system*. Control Engineering Practice, Vol. 20, Issue 11, 2012, pp. 1229-1235, ISSN 0967-0661, <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2012.06.012>.
- [5] Bal G., Bekiroğlu E., Demirbaş S., Çolak I., *Fuzzy logic based DSP controlled servo position control for ultrasonic motor*, Energy Conversion and Management, Vol. 45, Issue 20, 2004, pp. 3139-3153, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.02.001>.
- [6] Liu Y., Wang Z.Z., Wang Y.F., Wang D.H., Xu J.F., *Cascade tracking control of servo motor with robust adaptive fuzzy compensation*, Information Sciences, Vol. 569, 2021, pp. 450-468, ISSN 0020-0255, <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.03.065>.
- [7] Yuan S., Deng W., Liang X., Yao J., Yang G., *Nonlinear robust adaptive precision motion control of motor servo systems with unknown actuator backlash compensation*, ISA Transactions, Vol. 137, 2023, pp. 349-357, ISSN 0019-0578, <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2023.02.002>.
- [8] Ajtonyi I., *Ipari kommunikációs rendszerek II*. AUT-INFO Kft., Miskolc, 2008. május, ISSN 1789-5456
- [9] Urrea C., Morales C., Kern J. *Implementation of error detection and correction in the Modbus-RTU serial protocol*. International Journal of Critical Infrastructure Protection. Vol. 15, 2016 december, pp. 27-37, <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2016.07.001>.
- [10] Urrea C., Morales C., Muñoz R. *Design and implementation of an error detection and correction method compatible with MODBUS-RTU by means of systematic codes*. Measurement Vol. 91, 2016, pp. 266-275, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.05.055>.