

SODOBNI ELEKTROMOTORSKI POGONI

Problematika osno gnanih navijalno – odvijalnih sistemov

Avtor: Slavko SENICA, univ.dipl.ing., Sistemi IN ES d.o.o.

Povzetek: V članku so opisani pristopi in algoritmi, ki so potrebni za rešitev nalog iz področja osno gnanih navijalno – odvijalnih sistemov.

1. OPIS PROBLEMATIKE

Sistemi za navijanje in odvijanje so zelo pogosta aplikacija elektromotorskih pogonov v industriji. Največkrat se taki sistemi uporabljajo v papirni industriji (predvsem pri osnovni proizvodnji papirja), v tekstilni industriji (proizvodnja tkanin), pogoste pa so tudi uporabe v drugih vejah industrije, kjer je končni izdelek (ali pa vhodna surovina) v obliki navitkov (primer: proizvodnja kablov, trakov; vleki iz navitkov pri proizvodnji armatur, žebeljev; vleki in navijanja pločevine,...).

Na končno kvaliteto nekega proizvoda, ki se prodaja v obliki navitka, bistveno vpliva kvaliteta navijanja, ki je pogosto zadnja faza pri proizvodnji. Slabo navijanje lahko popolnoma izniči vse rezultate predhodnih proizvodnih tehnoloških postopkov. Zato se temu segmentu posveča velika pozornost.

Parametri kvalitetnega navijanja so odvisni od lastnosti materiala, ki se navija. Ne glede na tip navijanega materiala mora dobavitelj navijalnega sklopa zagotoviti tehnologu predvsem naslednje lastnosti:

- mehanska točnost navijalni poti (absolutna paralelnost valjev celega sistema)
- definirana in obvladljiva sila zatezanja v vseh stanjih navijalnega sistema (pri vseh pričakovanih hitrostih linije, med prehodnimi pojavi,...)
- prilagodljivost parametrov (predvsem sile zatezanja) glede na lastnosti navijanega materiala (predvsem možnost načrtovanega spreminjanja sile zatezanje glede na premer navitka)

Glede na te lastnosti je potrebno izbrati in dimenzionirati opremo ter uporabiti ustrezne algoritme vodenja. Že v fazi načrtovanja takega sistema se je potrebno tudi odločiti, ali se bo dejanska sila zatezanja merila ali izračunavala. Za to odločitev je bistvenega pomena podatek o mehanskih lastnostih materiala, ki se navija: njegova trdota (elastičnost, razteznost) ter želena sila zatezanja. V članku se osredotočam na primere, ko se dejanska sila zatezanja ne meri, ampak se izračunava iz stanja sistema.

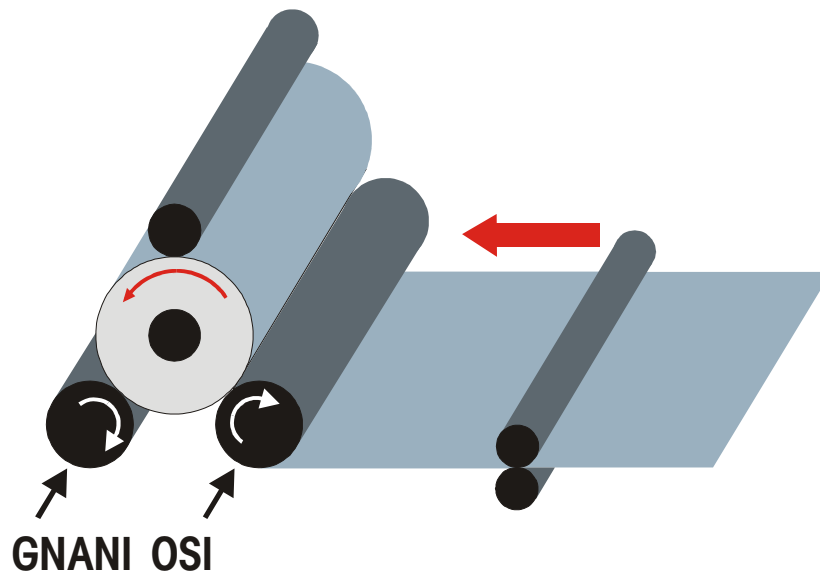
1.1 Pogoni navijalcev

V splošnem se pogoni navijalcev rešujejo na dva načina: obodno gnani navijalci ter osno gnani navijalci.

Obodno gnani navijalci:

Bala z navitjem leži na dveh navijalnih valjih, ki sta gnana skupaj ali ločeno (odvisno od izvedbe sistema). Pogosto je uporabljen tudi zgornji, pritisni valj. Na kvaliteto navitka (napetost navitega materiala, trdoto navitka) lahko vplivamo na več načinov:

- z ustvarjanjem napetosti pred navijanjem (z vodenjem zaviralne naprave, ki je pred navijalcem)
- z ustvarjanjem napetosti s pomočjo razlike v momentih motorjev, ki vodita oba navijalna valja skupaj v kombinaciji s pritisnim valjem



Slika 1.1-1: Obodno gnani navijalec

Prednosti takega sistema so predvsem:

- enostavnost algoritmov vodenja (moment na osi motorja je direktno proporcionalen (preračunano na obod gonilnih valjev) trenutni sili zatezanja; v kalkulacijo dejanske sile ne vstopa dejanski premer navitka; le ta nas zanima samo, če želimo realizirati spremenljivo silo zatezanja v odvisnosti od dejanskega premera)
- ugodno dimenzioniranje sistema (navijana bala se nam v sistemu namreč pojavlja kot reduktor s spremenljivo prestavo (mali premer – mala prestava, veliki premer – velika prestava) z vsemi ugodnostmi, ki nam jih taka redukcija vnaša v sistem.

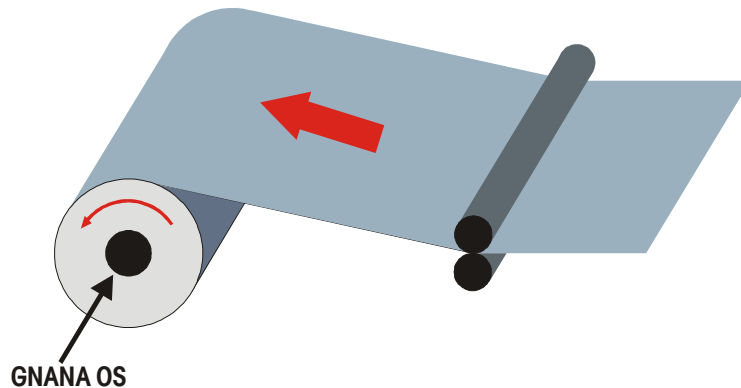
Slabosti takega sistema pa so predvsem:

- zahtevna mehanska konstrukcija
 - o potrebna sta vsaj dva gnana valja

- pričvrstitev navijane bale v sistem glede na dvigovanje središča navijalne bale s porastom premera
- nefleksibilnost takega sistema predvsem pri realizaciji avtomatske menjave (brez prekinitve proizvodnega procesa)

Osno gnani navijalci:

Pri osno gnanem navijalcu je navijana bala gnana v osi. Na kvaliteto navitka (napetost navitega materiala) vplivamo direktno preko momenta na osi motorja, ki žene navijalec.



Slika 1.1-2: Osno gnani navijalec

Prednosti tega sistema so:

- razmeroma enostavne mehanske rešitev: valj, na katerega navijamo, je razmeroma enostavno mehansko pričvrstiti
- fleksibilnost sistema (razmeroma enostavna realizacija avtomatske menjave brez prekinitve procesa)

Slabosti takega sistema pa so:

- algoritmi vodenja: le ti so v tem primeru zahtevnejši, saj je za pravilno določanje sile zatezanja (= momenta na osi motorja) nujno potrebna točna informacija o trenutnem premeru navitka)
- dimenzioniranje takega pogona je bolj neugodno:
 - pri določeni sili zatezanja se nam potrebni moment na osi motorja povečuje glede na dejanski premer navitka;
 - s premerom se bistveno spreminja tudi vztrajnost navite bale
 - ...

V praksi se pogosto uporabljata obe rešitvi. Prva rešitev pride v poštev predvsem pri velikih navijalcih (v papirni industriji, pri velikih balah papirja (premeri: do 2.5m, širine bale: do 4 m, hitrosti previjanja od 800 do 2000 m/min), druga rešitev pa predvsem pri manjših navijalcih (premeri bale do 1.5m, širine: do 2.2m, hitrosti previjanja: do 400 m/min).

1.2 Možne rešitve osnega navijanja

Zaradi enostavnosti principov vodenja obodnih navijalcev se v članku posvečam predvsem rešitvam za osne navijalce.

Algoritme vodenja osnega navijanja (enačbe so opisane v naslednjem poglavju) je možno realizirati na različnih izvedbah strojne in programske opreme:

Namenske naprave:

V svetu obstaja široka ponudba namenskih hardverskih rešitev (analognih, diskretnih digitalnih in mikroprocesorskih), ki rešujejo to problematiko. Običajno se ponujajo kot samostojen sklop z vhodno-izhodnimi signali (digitalnimi in analognimi), na katere se priključujejo senzorji (meritve polmera, dejanske sile, dejanske hitrosti navijanega materiala,...) ter aktuatorji (običajno so to enosmerni ali pa izmenični servomotorji z ustreznimi regulatorji). Take naprave imajo ponavadi svoje sisteme za nastavitve parametrov in optimiranje sistema.

Prednosti take rešitve so v tem, da je taka naprava ponavadi koncipirana univerzalno, neodvisno od vrste priključenega motorja. Slabosti take rešitve pa so v tem, da taka naprava predstavlja samostojno komponento opreme, ki jo je potrebno kupiti, poznati, parametrirati in vzdrževati.

Rešitve, integrirane v pogonske naprave:

Dandanes praktično vsi večji proizvajalci servopogonov (izmeničnih ali enosmernih) v sklopu svoje ponudbe ponujajo tudi dodatne rešitve (največkrat hardverske, v obliki posebnih dodatnih procesorjev, ki se vgrajujejo direktno v regulatorje) in ki izvajajo podporo vodenju navijalca. Taki sistemi so ponavadi vpeti v sam operacijski sistem servoregulatorja (izmenjava podatkov s pogonom je direktna), sistemi za nastavitve parametrov in optimiranje pa so podobni osnovnim sistemom parametriranja proizvajalca servoregulatorja.

Prednost takega pristopa je v tem, da je integrirana rešitev optimirana glede na uporabljeno pogonsko napravo, v katero je integrirana. Slabost take rešitve pa je v tem, da rešitev navijanja ni več neodvisna ne samo od tipa pogonskega motorja, ampak tudi od proizvajalca pogonske opreme, saj ima vsak proizvajalec svoj pristop do rešitve, načinov programiranja,... Težave se lahko pojavijo pri vzdrževanju take opreme, saj je potrebno skrbeti za dodatno hardversko komponento, njene nastavitve,...

Glede na zgoraj navedena dejstva smo se v podjetju Sistemi IN ES odločili, da pripravimo alternativno rešitev za take sisteme.

1.3 Alternativna rešitev

Pri iskanju alternativne rešitve smo izhajali iz analize potreb in obstoječih rešitev. Naša želja je bila pripraviti sistem, ki bi bil neodvisen od tipa in proizvajalca elektromotorskega pogona, realiziran pa bi bil na (v industriji) splošno uporabni hardverski platformi.

Glede na to, da so sodobni elektromotorski pogoni dandanes vedno integrirani v sisteme vodenja preko krmilnikov, se je kot najbolj naravna pokazala rešitev, da tudi algoritmi vodenja navijalcev tečejo v krmilniku, ki drugače v splošnem vodijo delovanje stroja. Na ta način smo združili prednosti obeh klasičnih sistemov in jih razširili s fleksibilnostjo krmilnikov, predvsem na področju enostavnosti parametriranja, optimiranja ter nadzora nad navijalnim procesom (uporabljajo se HMI naprave krmilnikov). Integracija navijalca v nadrejene sisteme tudi poteka zelo enostavno, na nivoju krmilnika.

K tej odločitvi seveda bistveno pripomore tudi spoznanje, da so sodobni krmilniki dandanes hkrati tudi že zelo zmogljivi računalniki, ki odlično podpirajo tudi matematične operacije v dovolj hitrem času, glede na zahtevnost predstavljene aplikacije.

Tudi kasnejše vzdrževanje takih sistemov je bistveno poenostavljeno, saj se prevede na vzdrževanje osnovnih komponent sistema (pogonski del: klasični regulatorji z motorji, brez posebnih dodatnih enot; krmilnik: klasični krmilniki; zaradi povezave na pogone ponavadi ni treba dodajati posebnih modulov na krmilnik, če je le ta že v osnovi predviden za vodenje stroja).



Slika 1.3-1: Konfiguracija krmilnika realiziranega osnega navijalca

2. FIZIKA & MATEMATIKA OSNEGA NAVIJALCA

Osnovni princip vodenja osnega navijalca je v tem, da je motor osnega navijalca voden v hitrostni regulaciji, vendar vedno v limiti momenta. Želena hitrost motorja navijalca se namenoma izračunava tako, da je za določen odstotek višja od dejanske hitrosti. Z limito momenta pa se pogonu zadaja ravno takšen moment, ki zadošča za trenutno želeno napetost materiala.

Algoritem osnega navijalca v osnovi izračunava 3 fizikalne veličine: dejanski premer navite bale, želeno hitrost motorja navijalca ter želeni moment motorja navijalca, na podlagi naslednjih parametrov:

- dejanska hitrost navijanega materiala (= obodna hitrost navijalca); ta podatek se meri z inkrementalnim dajalnikom, pričvrščenim na zadnji osi stroja pred navijanjem
- dejanska kotna hitrost navijalne osi (ta podatek se pridobiva iz servoregulatorja navijalne osi)
- želena napetost navitka, glede na tehnološke zahteve in trenutni premer navitka.

Dejanski premer navite bale:

Izračunava se iz razmerja kotne in obodne hitrosti bale.

$$D[m] = \frac{v[m/min]}{\pi * n[o/min]}$$

D... dejanski premer navitka, m
v... obodna hitrost navijalne bale, m/min
n... kotna hitrost navijalne bale, o/min

Algoritem seveda upošteva posebnosti pri mejnih primerih (minimalni dopustni premer, maksimalni dopustni premer, inicializacija ob zagonih, maksimalna dopustna sprememba premera med dvema iteracijama... Pravilen izračun dejanskega premera je osnova za pravilnost vseh nadaljnjih računov!

Želena hitrost motorja navijalca:

Kot je bilo že omenjeno, se želena hitrost motorja navijalca izračunava tako, da je vedno za nekaj procentov večja od dejanske hitrosti. Želena hitrost se izračuna iz dejanske hitrosti linije, povečane za to razliko ter preko dejanskega premera preračunane na kotno hitrost motorja.

$$V_{obodna_zelj}[m/min] = V_{linije}[m/min] + prirastek[m/min]$$

$$n_zelj[o/min] = \frac{V_{obodna_zelj}[m/min]}{\pi * D[m]}$$

Želeni moment motorja navijalca (limita momenta):

$$M_{mot} = M_{zatezanja} + M_{dinamičnin} + M_{izgub}$$

To je glavna enačba navijalca. Govori o tem, kakšen je lahko moment motorja v danem trenutku. Sestavljen je iz treh komponent: $M_{zatezanja}$ (moment, ki je potreben za zagotavljanje ustrezne sile v navijanem materialu), $M_{dinamični}$ (moment, potreben za dinamično pospeševanje in zaviranje navite bale) ter M_{izgub} (moment, potreben za pokrivanje lastnih izgub sistema (trenje, ventilacija,...)). Posamične komponente se izračunajo po naslednjih enačbah:

Moment zatezanja:

$$M_{zatezanja}[Nm] = F[N] * D/2[m]$$

F[N]... želena sila zatezanja materiala
D[m]... trenutni premer bale

Želeno silo zatezanja določa tehnolog. Ta komponenta odloča o kvaliteti navitka.

Dinamični moment:

$$M_{din}[Nm] = J[kgm^2] * \frac{d\omega}{dt} [rad / s]$$

Dinamični moment je odvisen od vztrajnosti navijane bale ter od spremembe hitrosti. Vztrajnostna masa se zelo spreminja v odvisnosti od polmera, zato se tudi ta ves čas izračunava.

Izgubni moment:

Ta komponenta momenta se ne izračunava, saj je odvisna od več faktorjev. Pred prvim zagonom navijalca se izgubni moment avtomatsko izmeri v 11 točkah (pri različnih hitrostih vrtenja navijalca) ter se shrani v obliki tabele. Pri navijanju se vrednosti iz tabele avtomatsko upoštevajo pri izračunu želenega momenta. Vmesne točke so linearno interpolirane.

Aplicirani algoritem deluje brez meritve dejanske sile (napetosti) navijanega materiala. Kvaliteta navijanja (točnost nastavljene sile zatezanja) je odvisna od točnosti izračuna posamičnih komponent momenta.

Predstavljene enačbe veljajo za primere navijanja. Za odvijalne naprave je potrebno samo ustrezno preurediti predznake pri enačbi za moment.

3. KONKRETNA APLIKACIJA

Opisani algoritmi so bili preizkušeni v praksi pri obdelavi navijalca z naslednjimi karakteristikami:

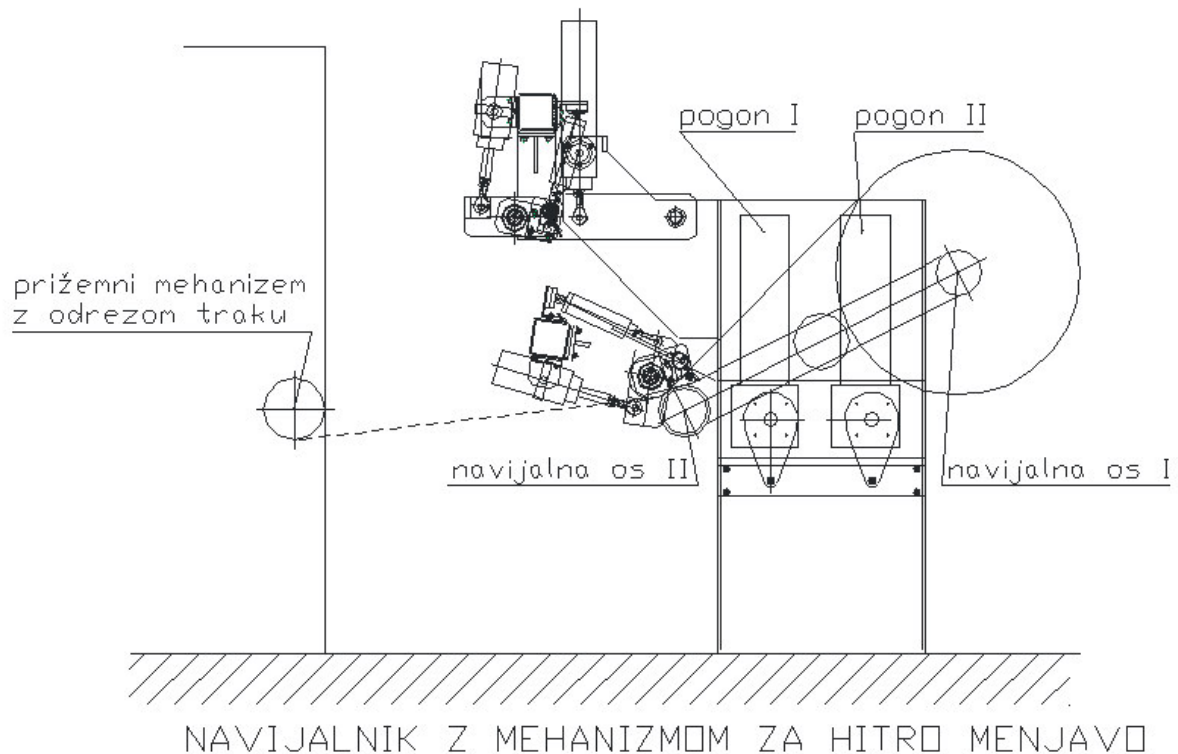
- tip navijalca: osno gnani navijalec
- navijani material: zelo gladek papir (impregnirani melafilm, gostota papirja od 60 do 110g/m², debelina papirja do 0.2mm)
- minimalni premer bale: 160mm
- maksimalni premer bale: 800mm
- širina bale: do 2150mm
- napetost papirja med navijanjem nastavljiva od 500N do 2000N
- hitrost linije pred navijanjem: do 60m/min

Posebnost navijalca:

Navijalec mora omogočati avtomatsko menjavo navite bale brez zaustavitve linije, ročnega napeljevanja na novo balo in odpadka pri teh postopkih.

V ta namen je bila uporabljena posebna konstrukcijska rešitev z dvema navijalnima osema, ki se lahko krožno gibljeta med navijalno pozicijo ter pozicijo za avtomatski odrez – menjavo.

Odrež je realiziran s posebej razvito in izdelano pnevmatsko odrezilno napravo (Vse strojniške rešitve: Mateli d.o.o., Celje). Slika 3.-1 prikazuje shematsko postavitev sistema.



Slika 3.-1: konstrukcijska risba avtomatskega navijalca (Mateli d.o.o., Celje)

V prejšnjem poglavju opisani algoritmi tečejo v klasičnem krmilniku družine SIMATIC S7, CPU 314C-2DP, proizvajalca Siemens. Pogonski motorji ter servoregulatorji obeh navijalnih osi ter pozicionirne naprave so iz družine BUM proizvajalca Baumüller. Kompletna izmenjava podatkov med krmilnikom ter pogoni poteka preko PROFIBUS komunikacije. Vizualizacija, vodenje ter parametriranje sistema se izvajajo s pomočjo grafičnega zaslona, občutljivega na dotik vrste TP 170A, proizvajalca Siemens.



Slika 3.-2: Posluževanje navijalca



Slika 3.-3: Pogona navijalnih osi