

Avtomatizacija stroja za večbarvni tisk etiket

Ivan VENĠUST

Izvleček: V članku je opisan projekt zamenjave krmilnega in pogonskega sistema stroja za velikoserijski večbarvni tisk samolepilnih etiket spremenljivih dolžin Etipol Combi 340. Mehanski pogon za doziranje barve na klišeje je bil nadomeščen z elektronskim. Stari krmilnik je bil nezanesljiv, proizvajalec stroja pa ni več omogočal servisiranja. Izziv pri izvedbi projekta je bila zahtevna tehnologija tiskanja, predvsem doseganje visoke ponovljivosti odtisov.

Ključne besede: računalniško voden tiskarski stroj, sinhronizirani pomiki osi, električni servopogoni, pozicijski krmilnik B & R, momentni motor, dajalnik EnDat

■ 1 Uvod

Prispevek opisuje reševanje problemov pri posodobitvi tiskarskega stroja za večbarvni rotacijski tisk etiket.

Tiskarski stroji te vrste (slika 1) imajo fiksni premer valjev za klišeje. Premer valja torej omejuje maksimalno dolžino tiska. Dolžino tiska spreminjamo s spremembo dolžine klišeja, zato je pri dolžinah, krajših od maksimalne, potreben korekcijski gib papirja nazaj, da je material, na katerega tiskamo, čim bolj izkoriščen (slika 2). Tisk se mora izvajati hitro in temu primerno hitri so tudi pomiki nazaj. Pri večjih dolžinah tiska je čas, ki je na razpolago za pomik nazaj, zelo kratek. Tisk je večbarven, vsaka barva se tiska z ločenim klišejem. Valje s klišeji poganja asinhronski motor preko frekvenčnega regulatorja in mehanskega pogona.

Premiki papirja morajo biti sinhronizirani z vrtenjem valjev. Med fazo tiska mora biti gibanje papirja zaklenjeno na vrtenje valja s klišejem. Vsako odstopanje hitrosti v tem delu tiskarskega cikla deformira odtis in povzroča barvna neskladja. Papir vodita servopogona preko vstopnega in izstopnega valja (slika 2).

Ker je tisk večbarven, mora biti pozicioniranje papirja pod klišeji na posameznih postajah točno. Zahtevana je ponovljivost pod 0,1 mm.

Material, na katerega tiskamo, mora biti med tiskom ustrezno in enakomerno napet. V stroju za večbarvni tisk je do 8 m materiala. Materiali so kompozitni, največkrat so to samolepilne etikete. Papirji so različni, prav tako podloge. Zaradi napenjanja se material raztegne, eni materiali bolj, drugi manj. Da je zagotovljena visoka natančnost odtisov

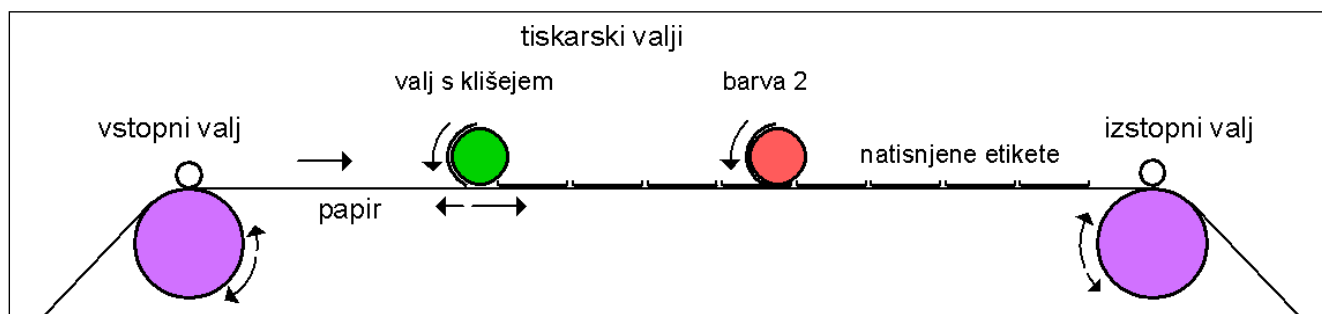
na posameznih postajah, mora biti napetost materiala med tiskom čim bolj konstantna. Izbira prave metode napenjanja papirja med tiskom in detajli izvedbe so se izkazali za ključni problem izvedbe projekta.

Stroji tega tipa morajo omogočati še funkcijo drugega tiska. To je način obratovanja stroja, ko tiskamo na že prej potiskan papir. Stroj mora omogočati sinhronizacijo z referenčnimi oznakami, odtisnjenimi na papir, in ostati zaklenjen na te oznake.



Slika 1. Tiskarski stroj Etipol 340; spredaj je vstopni valj, za njim je 6 tiskarskih postaj

Dr. Ivan Vengust, univ. dipl. inž.,
PS, d. o. o., Logatec



Slika 2. Shematični prikaz principa rotacijskega tiska

■ 2 Izbira krmilnega sistema

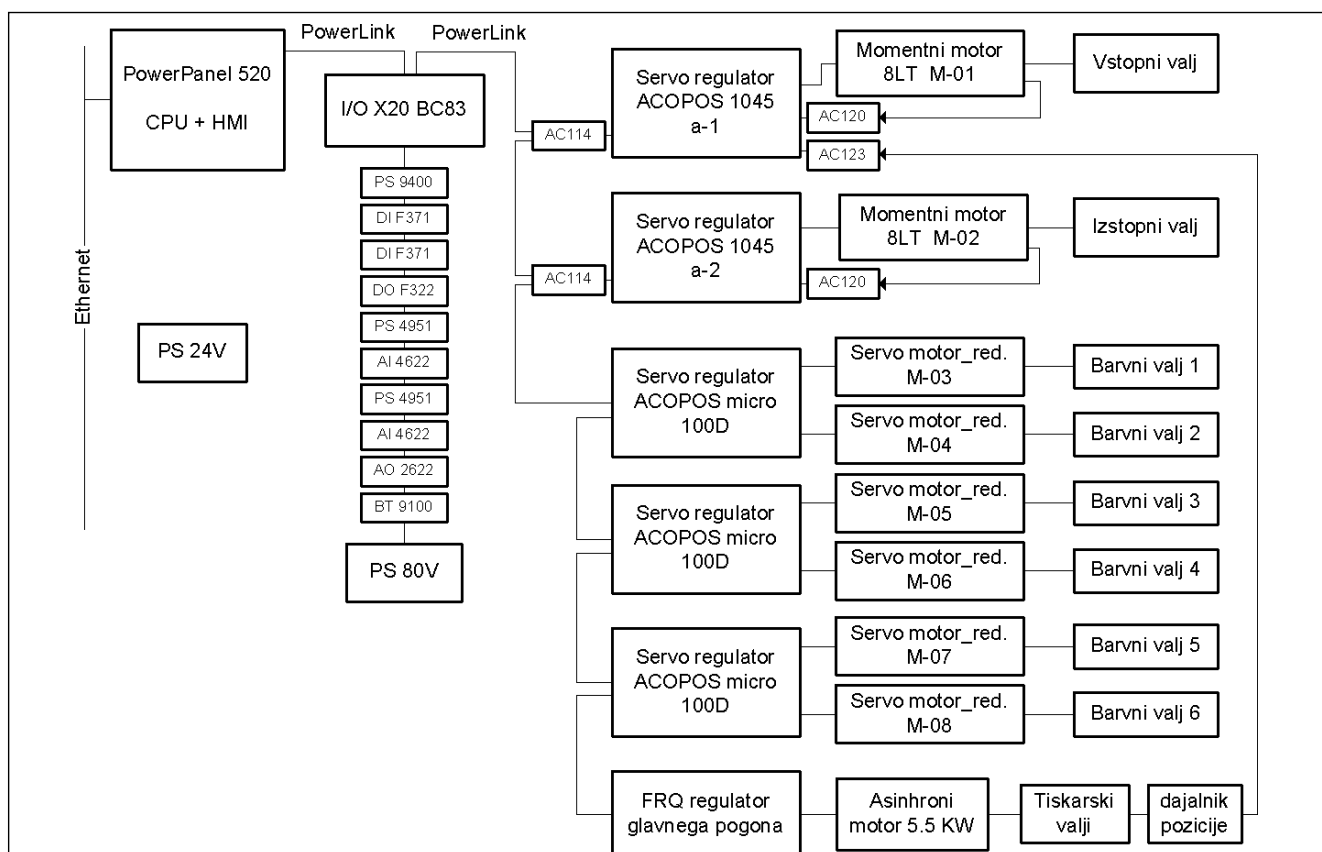
Zaradi navedenih zahtev je krmiljenje takšnih strojev vse prej kot enostavno. Prva naloga, ki jo je potrebno rešiti, je izbira primernega krmilnika za stroj. Izbira izhaja iz specifikacij zahtev, ki jih mora izpolnjevati krmilnik. Ta mora biti univerzalni pozicijski krmilnik z integrirano vizualizacijo. Omogočati mora elektronsko povezovanje gibanj osi in generiranje tiskarskega profila gibanja s povratnimi gibi, obratovanje servopogonov v momentnem in hitrostnem načinu in merjenje momentov na motorjih med tiskom. V naboru ukazov mora imeti tehnološke funkcije za napenjanje materia-

la in za zaklepanje gibanja na referenčno oznako.

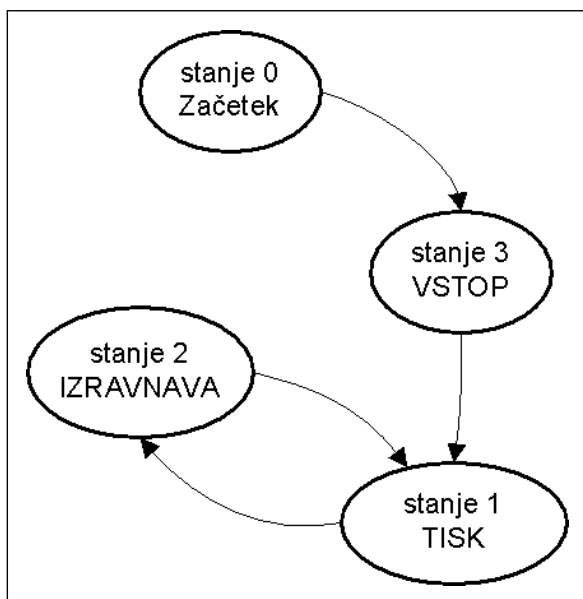
Izbran je bil krmilnik avstrijskega proizvajalca komponent za avtomatizacijo B & R. Krmilnik združuje CPU, gibalno kontrolo, vhodno-izhodne enote in vizualizacijo. Enot krmilnega sistema so med seboj povezane z digitalnima komunikacijskima povezavama PowerLink in X2X. Programsko je omogočen dostop do vseh parametrov enot krmilnega sistema. Krmilne funkcije izvaja osrednji CPU, nekatere pa tudi procesorji perifernih enot. Funkcijo sinhronizacije med vrtenjem klišeja in pomikanjem papirja npr. izvaja procesor servoregulatorja vhodnega valja.

Razvoj aplikacije poteka v programskem okolju Automation Studio [1], ki omogoča konfiguriranje komponent krmilnika, pisanje krmilnih programov, vizualizacijo in diagnostiko. Za programiranje so na razpolago vsi programski jeziki PLCopen ter Basic, ANSI C in C++. Za našo aplikacijo smo izbrali jezik ANSI C. V knjižnicah razvojnega sistema so funkcije za različna tehnološka področja, vključno s funkcijami za obvladovanje tiska.

Izbrana je bila krmilna konfiguracija, katere blokovna shema je prikazana na sliki 3. CPU in HMI sta združena v eno enoto, z industrijsko povezavo Ethernet (PowerLink) je povezana z moduli X20 I/O, osmimi servoregu-



Slika 3. Blokovni diagram krmilnega sistema stroja Etipol 340



Slika 4. Sekvenčni avtomat za tiskanje definira povezavo pomika papirja z vrtenjem glavnega pogo-

latorji in frekvenčnim pretvornikom. Vstopni in izstopni valj poganjata momentna servomotorja, ostali motorji poganjajo valje za nanašanje barve na klišeje. Valje s klišeji poganjata frekvenčni regulator in glavni asinhronski motor preko mehanskih prenosov.

■ 3 Izvedba tehnoloških funkcij

V nadaljevanju so bili definirani načini realizacije najbolj zahtevnih funkcij pri tisku: sinhronizacije pomika papirja in klišeja, napenjanja papirja in sinhronizacije tiska z referenčno oznako na papirju.

Za sinhronizacijo pomika papirja z vrtenjem klišeja je uporabljen funkcijski blok 'MC_BR_AutControl' [2]. To je sekvenčni avtomat, ki s parametri definira odvisnost gibanja dveh osi. Pomik papirja (slave) je zvezan z vrtenjem klišeja (master). Vsako stanje ima definirane pozicije, kjer se izvede prehod v naslednje stanje. Za naš primer so definirana tri stanja (slika 4). Stanje 'Vstop' pripelje papir in kliše na začetno točko tiskanja. Na definirani razdalji 'start_clen' papir pospeši do hitrosti vrtenja klišeja. Sledi stanje 'Tisk', ko je hitrost papirja zaklenjena na hitrost klišeja. Ta pomik traja različno dolgo, odvisno od trenutne dolžine

klišeja. Nato sekvenčni avtomat preide v stanje 'Izravnavaj', kjer se papir v času rotacije vrača s klišejem na začetno točko tiska, najprej se s pojemkom zaustavi, nato pospeši v gib nazaj, se zaustavi in spet pospeši, da ujame hitrost klišeja. Gib papirja je izračunan tako, da zvezno preide v stanje 'Tisk', natančno na začetni točki tiskanja. Prehod iz pospeševanja v enakomerno hitrost se zgodi že pred začetkom tiska, da je hitrost papirja med tiskom stabilna. Stanji 'Tisk' in 'Izravnavaj' se nato izmenično ponavljata, dokler tisk ni prekinjen ali končan. Parameter, ki se pri izbiri izdelkov (etiket) spreminja, je želena dolžina tiska. Ostali parametri, vključno s pospeški in pojemki, se izračunajo samodejno. Opisano sinhronizacijo izvaja vstopni valj (sl. 1), izstopni valj sledi vstopnemu. Povezava je izvedena s funkcijskima blokoma 'MC_GearIn' in 'MC_GearOut' [2].

Napenjanje papirja je izvedeno z relativnim zamikom med vstopnim in izstopnim valjem. Papir se pred začetkom tiska, ko stroj stoji, napne do

želeno nastavljene napetosti s premikanjem izstopnega valja. Pri tem se meri moment na motorju. Funkcijska bloka, ki omogočata ti funkciji, sta 'MC_BR_Phasing' in 'MC_ReadActualTorque'. Povratna zanka vzdržuje željeni moment v ozkih mejah.

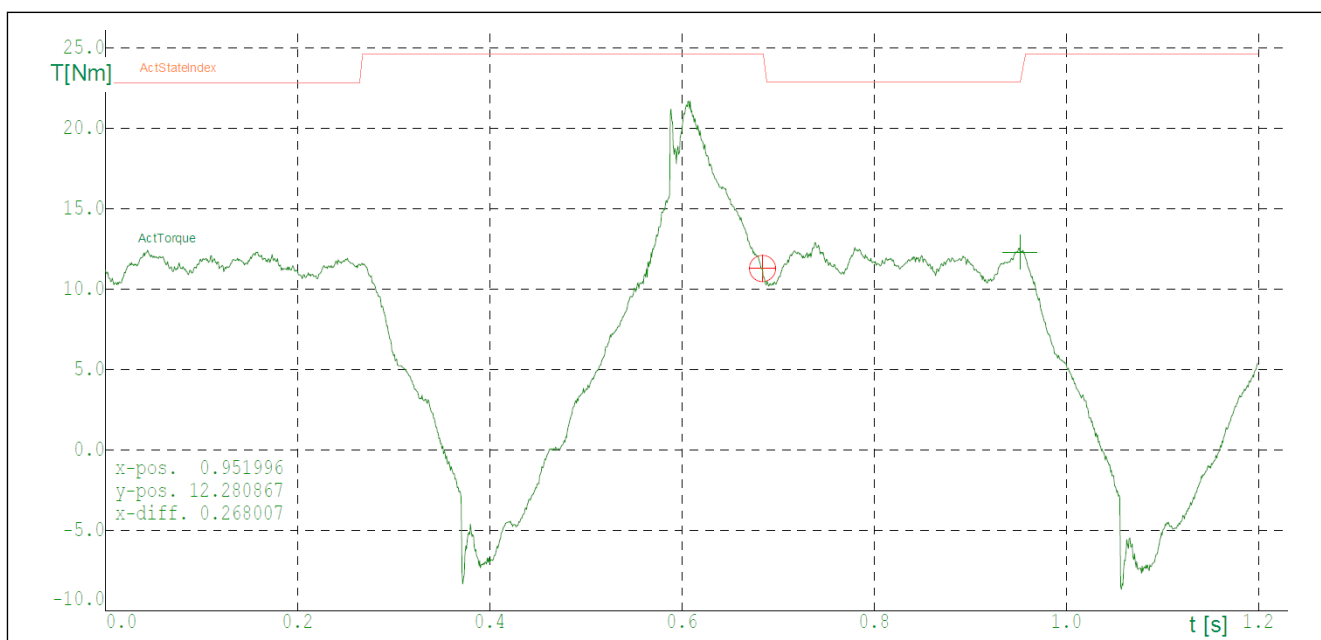
Za sinhronizacijo s tiskanjem na referenčno oznako na papirju (slika 5) sta bila uporabljena funkcijska bloka 'MC_BR_RegMarkCapture001' in 'MC_BR_RegMarkCalc001'. Prvi s signalom iz senzorja ujame registracijsko oznako, drugi izmeri pozicijska odstopanja od predhodnih ciklov in izračuna potrebne korekcije. Naloga je bolj zapletena, kot se zdi na prvi pogled. Pri gibanju papirja naprej in nazaj med tiskom se čez senzor zapelje več referenčnih oznak. Zato je v funkcijskem bloku 'MC_BR_RegMarkCapture001' potrebno določiti ozko okno okoli prave referenčne oznake. Ostale bo funkcijski blok ignoriral. Pred startom iskanja referenčne oznake mora biti začetna pozicija, relativno na oznako, pravilno določena.

■ 4 Problemi pri testiranju stroja

Po zaključku montaže novega krmilnega sistema na stroj in po dokončanju programskega projekta se je projekt nadaljeval s testiranjem delovanja stroja. Prvi problemi so se pojavili pri obvladovanju napetosti



Slika 5. Senzor za zaznavanje referenčne oznake

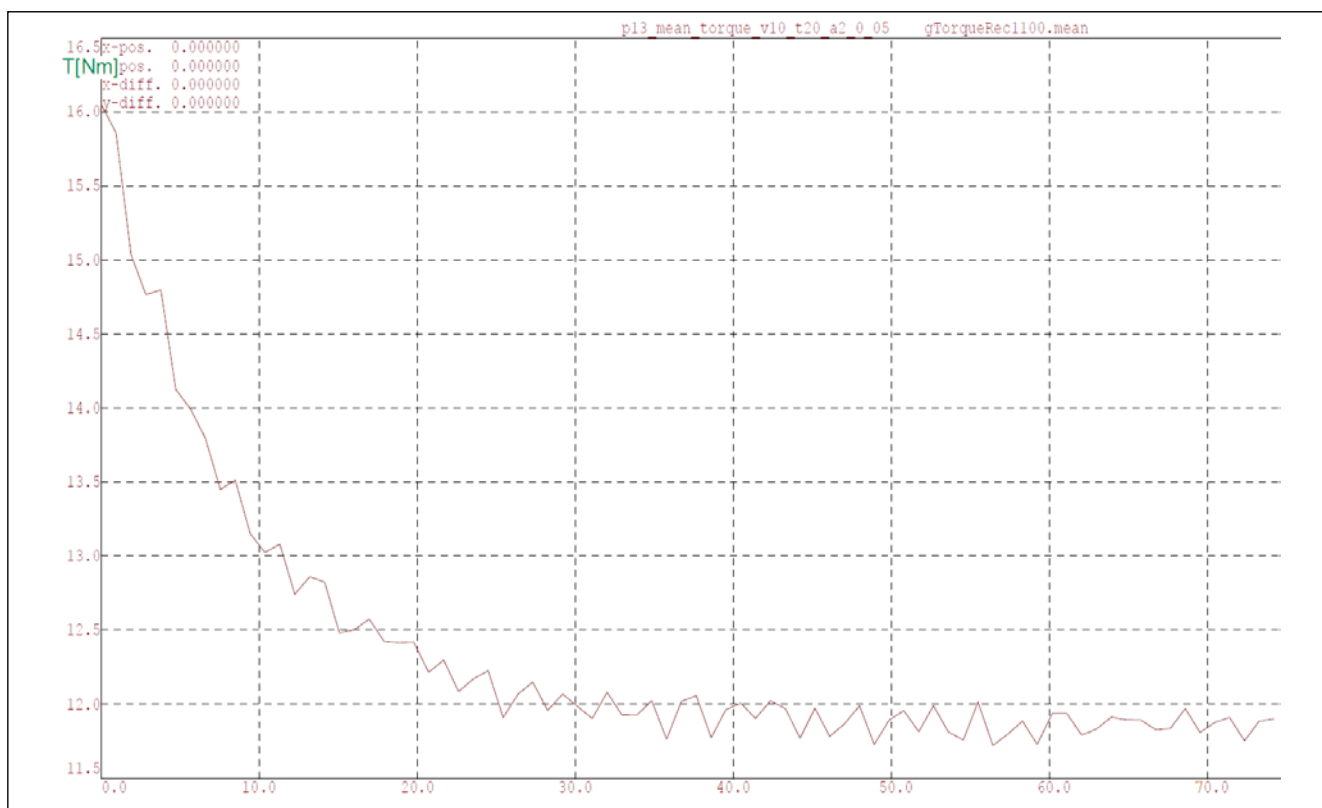


Slika 6. Meritev časovnega poteka momenta izhodnega motorja med tiskom; z rdečim krožcem je označen začetek faze tiska, s križcem pa konec. Lepo so vidni pospeški pri pomikih papirja naprej-nazaj.

papirja med tiskom. Napetost papirja, ki je bila nastavljena pred tiskom, se je že po nekaj ciklih zmanjšala pod dopustno mejo. Poizkus regulacije napetosti med tiskom ni dal dobrih rezultatov. Nihanje napetosti je bilo preveliko. Posledica je bila preslaba ponovljivost tiskanja in s tem slabo skladje barv.

Merjenje napetosti papirja je med tiskom pri dani konstrukciji stroja mogoče le, ko je gibanje izstopnega valja enakomerno, torej med ciklom 'Tisk'. Gibanje papirja naprej-nazaj namreč povzroča velike skoke momenta (slika 6). Uporaben podatek o napetosti se dobi s povprečenjem vrednosti momenta v celotni dolži-

ni tiskanja, v območju od rdečega krožca do križca na sliki 6. Nova vrednost napetosti je izračunana v vsakem ciklu tiska enkrat. Po primerjavi z referenčno vrednostjo se določi korekcija. Rezultat takšne regulacije je slab, saj dobimo pri vsakem odčitku drugačno vrednost napetosti papirja. Glavni problem je seveda pre-



Slika 7. Diagram povprečnih momentov med tiskom na izhodnem motorju; prikazan je koračni odziv sistema na spremembo napetosti papirja od 16 na 12 Nm; spreminjanje napetosti papirja ima eksponentno karakteristiko.



Slika 8. Tiskarski stroj Etipol 340 med predelavo; v ospredju slike je izstopni valj z ročicami za prijem papirja, upravljalne tipke stroja in ekran HMI s CPU-jem nad njimi. Temu sledijo postaje: najprej je postaja za odrez, nato postaja za laminiranje, v ozadju pa 6 tiskarskih postaj.

nizka frekvenca vzorčenj povprečnih vrednosti momentov. Čeprav lahko dobimo nov podatek o trenutnem momentu motorja vsakih 400 μ s, dobimo novo vrednost napetosti papirja zaradi povprečenja le enkrat na cikel.

Za izboljšanje načina korekcije je bilo potrebno boljše razumevanje procesa tiskanja. Pri vsakem odtisu prihaja zaradi gibanja naprej-nazaj v stroj nov, nenapet papir. Poleg tega prihaja pri rotaciji dveh valjev, ki stiskata papir, do zdrsov, ki dodatno zmanjšujejo napetost materiala. Zato je potrebno napetost papirja dopolnjevati z enakomernimi majhnimi prirastki faznega kota med vstopnim in izstopnim valjem v vsakem ciklu. Velikost prirastka določa, kakšna bo povprečna napetost papirja. Diagram na *sliki 7* prikazuje spreminjanje napetosti papirja. Prikazane so napetosti papirja za okoli 70 odtisov. Za ta test je bil papir

pred startom napet z momentom $T = 16$ Nm, prirastki faznega kota pa so bili manjši. Tako smo dobili odziv stroja na koračno spremembo napetosti papirja. Vidimo, da se v začetnih 30 ciklih napetost papirja hitro zmanjšuje, kasneje pa se ustali na nivoju okoli 12 Nm.

Korekcija napetosti papirja z enakomernimi prirastki faznega kota med valjema je dala bistveno boljše rezultate, vendar se je pri zahtevnih izdelkih pokazalo, da so odstopanja še večja od specifikacije. Nihanja napetosti papirja je bilo potrebno dodatno znižati, ponovljivost tiska je bilo potrebno izboljšati še za desetinko milimetra.

■ 5 Tekma s časom

Začela se je tekma s časom. Predelava stroja je presegla dogovorjeni rok. Nova naročila so se kopičila pred začetkom linije, nezadovolj-

stvo naročnika je naraščalo. Potrebno je bilo najti rešitev problema v čim krajšem času.

Analiza je pokazala, da zaradi neskladja med enoto pomika valjev za transport papirja in osnovno resolucijo merilnega sistema (BLU) teh valjev prihaja do neenakomernega dodajanja faznega kota izstopnemu valju. Enote pomika valjev so bile stopinje, BLU je bil 10000 p/obrat. Zaradi zaokrožanja realnih števil v celoštevilčna je prihajalo do tega, da se je v enem ciklu valj dodatno premaknil za npr. 4 inkremente, v naslednjem za 3. To je vplivalo na neenakomerno napetost. Za izboljšanje metode napenjanja bi bila potrebna resolucija, ki bo mnogokratnik uporabljene enote (stopinj), poleg tega mora biti resolucija BLU višja, da bo mogoče povečevati napetost v bolj finih korakih. V momentni motor B & R 8LT [3] je bil vgrajen Heidenhainov inkrementalni enkoder ECN1325 [4] z vmesnikom EnDat 2.2 in resolucijo 2048 p/obrat. To je tudi najvišja resolucija, ki je na voljo. Postavilo se je vprašanje, zakaj je sistemsko nastavljena resolucija osi 10000 p/obrat različna od resolucije po kvadraturnem dekodiranju merilnika pozicije ECN1325, ki je $4 \times 2048 = 8192$ p/obrat. Odgovor in hkrati rešitev je dal študij enkoderjev EnDat. Slednji uporabljajo za generiranje pulzov sinusni signal, katerega perioda se vzorči s 14-bitnim AD-pretvornikom, vrednosti iz tega pa z interpolacijo pretvarjajo v pozicijo. Resolucija se tako iz 2048 linij dvigne na 33554432 p/obrat. Testi na stroju (*slika 8*) so pokazali, da je to res, a tudi, da pri tako visoki resoluciji pozicija mirujočega motorja znatno pleše okoli mirovne lege. Resolucija 10000 p/obrat je bila izbrana precej konzervativno, za izogibanje težavam z nestabilnostjo pozicijskih vrednosti. To resolucijo smo lahko samo s spremembo parametrov povečali na 36000 p/obrat, poizkus z resolucijo 72000 p/obrat pa zaradi preveč nemirnih odčitkov ni uspel.

Dvig resolucije valjev za transport papirja v mnogokratniku enot in bolj ostro optimiranje obeh pogonov med obratovanjem stroja sta končno

pripeljala do želene ponovljivosti tiskanja pod 0,1 mm. Redna proizvodnja na stroju je končno lahko stekla.

■ 6 Sklep

V članku so opisane izkušnje pri projektu avtomatizacije na področju tiskarske tehnologije. Ključ do uspešne izvedbe projekta so bile ocena kritičnih elementov te tehnologije ter izbira in uporaba ustreznega krmilnika stroja. V pripravljalni fazi naloge je bil podcenjen pomen napenjanja materiala med tiskom, kar je v nadaljevanju povzročalo težave

pri doseganju zahtevane natančnosti tiska. Projekt je tudi primer obnove mehansko še ustreznega stroja, kjer je bil namenski krmilnik nadomeščen s sodobnim univerzalnim pozicijskim krmilnikom, ki dosega fleksibilnost predvsem zaradi obsežnih knjižnic tehnoloških funkcij, torej programskih rešitev, modularne strojne zgradbe in hitrih digitalnih povezav med njegovimi enotami.

■ Literatura

[1] [www.br-automation.com /en/products/ innovations-2014/auto-](http://www.br-automation.com/en/products/innovations-2014/auto-)

mation-studio/, Automatio Studio software"; popraviti je potrebno v "Automation Studio software".

[2] B & R, Motion Control: Multi-axis Functions, TM441 TRE.00ENG/V1.0.5, 2012/05/21.

[3] 8LT three-phase synchronous motors, B&R Product Catalog, 2014 Edition, MM-E01335.062.

[4] Product Information ECN1325, Rotary Encoder with EnDat2.2 interface, Heidenhain, 10/2013.

Automation of a label printing machine

Abstract: This paper describes the project of retrofitting the label printing machine Etipol Combi 340 in which the control system and drives were replaced. The mechanical drive for ink distribution to clichés has been replaced with an electronic one. The old controller was unreliable, and the machine manufacturer was no longer providing servicing. The challenge in implementing the changes was the demanding printing technology, especially attaining a high accuracy of positional repeatability during printing.

Keywords: computerized label printing machine, motion control, synchronized axes movement, electrical servo drives, motion controller B&R, torque motor, EnDat encoder

JAKŠA
MAGNETNI VENTILI
od 1965

- vrhunska kakovost izdelkov in storitev
- zelo kratki dobavni roki
- strokovno svetovanje pri izbiri
- izdelava po posebnih zahtevah
- širok proizvodni program
- celoten program na internetu



www.jaksa.si



Jakša d.o.o., Šlandrova 8, 1231 Ljubljana
T (0)1 53 73 066, F (0)1 53 73 067, E info@jaksa.si