

# Ethernet Powerlink na vytlačovacom stroji Eaglematic™

Automobilový priemysel v USA je v súčasnosti postavený pred problém rastúcich cien surovín a zvyšujúcich sa nákladov na prácu. To spolu s celkovým útlmom výdajov za automobily v Amerike so sebou nesie požiadavky na efektívne využitie strojných zariadení, ktoré by dodávateľom umožnili vyrábať kvalitné diely a súčasne znížili celkové výrobné náklady. Jeden z popredných subdodávateľov v tejto oblasti sa preto rozhodol zakúpiť novú špeciálnu vytlačovaciu linku, ktorá by zaručila vyššiu výrobnú kapacitu a zároveň znížila množstvo odpadového materiálu. Spoločnosť Eagle Manufacturing Corporation pre neho teda vyvinula zariadenie, o ktorom sa píše ďalej v tomto článku.

Spoločnosť Eagle Manufacturing Corporation (EMC), ktorá sídli v Shelby Township (USA), je známa v oblasti návrhu a výroby vytlačovacích liniek (vytlačovacích lisov – extruderov a nadväzujúcich zariadení: vyťahovacích strojov, strihacích a nastrihovacích lisov, dierovačiek, píľ atď.) na hliníkové, gumové a plastové profily nielen pre automobilový, ale i stavebný, lekársky, letecký alebo spotrebný priemysel.

Predchádzajúce riešenia podobných komplexných problémov väčšinou spočívalo v kombinácii zariadení od niekoľkých výrobcov. Nastal však čas, aby EMC začala hľadať novú architektúru riadenia, ktorá by bola schopná ponúknuť vyhovujúce riešenie pre novú linku s 22 pohonnými jednotkami. Vzhľadom na skutočnosť, že taký počet pohonov dosiaľ nebol pri podobných zariadeniach použitý, ide zo strany EMC o značne novátorský postup.

Ako už bolo povedané, novovyvinutý stroj Eaglematic™ (obr. 1) bol navrhnutý a postavený pre významného zákazníka, ktorý je výrobcom špeciálnych kompozitných tesniacich líšt pre okná automobilov. Stroj má štyri výrobné stanice, ktoré môžu byť nezávisle od seba premiestnené bez obmedzenia práce výrobnéj linky (do 5 sekúnd) tak, aby vyhovovali požiadavkám na práve vyrábaný diel. Okamžitá zmena výroby nevyžaduje odstavenie linky a dokonca ani vynútený prestoj častí linky, ktoré predchádzajú

zariadeniu Eaglematic™. Celé zariadenie je v súčasnosti najväčším strojom využívajúcim komunikáciu pomocou protokolu Ethernet Powerlink na americkom trhu. Vlastník spoločnosti Eagle Manufacturing Corporation a konštruktér strojov Eaglematic™ Brent Short o tomto zariadení povedal: „Tento jediný stroj umožňuje kombinovať šesť rôznych nástrojov do jednej zostavy. Na žiadosť riadiaceho systému je zvolený nástroj automaticky presunutý na požadované miesto. Nástroje sú presúvané s použitím kombinácie 22 rôznych servomechanizmov za behu systému bez akéhokoľvek prerušenia prísunu materiálu na výrobnéj linke.“

## Vplyv architektúry riadenia na výkon, cenu a dobu vývoja

Spoločnosť Eagle Manufacturing Corporation bola postavená pred výzvou realizovať zariadenie s 22 pohonnými jednotkami a výrobnou kapacitou 15,24 m presného profilového výlisku za minútu. Bolo nutné dosiahnuť čas trvania komunikačného cyklu do 400  $\mu$ s. Preto bolo potrebné zaistiť rýchlú a deterministickú hlavnú komunikáciu a zvoliť takú architektúru, ktorá je schopná zaručiť vysokopresné riadenie pohybu. Niektoré možné spôsoby riadenia pohybu a možnosti ich použitia na zariadení s 22 osami sú ohodnotené v nasledujúcich odsekoch.

## Architektúra riadenia pohybu

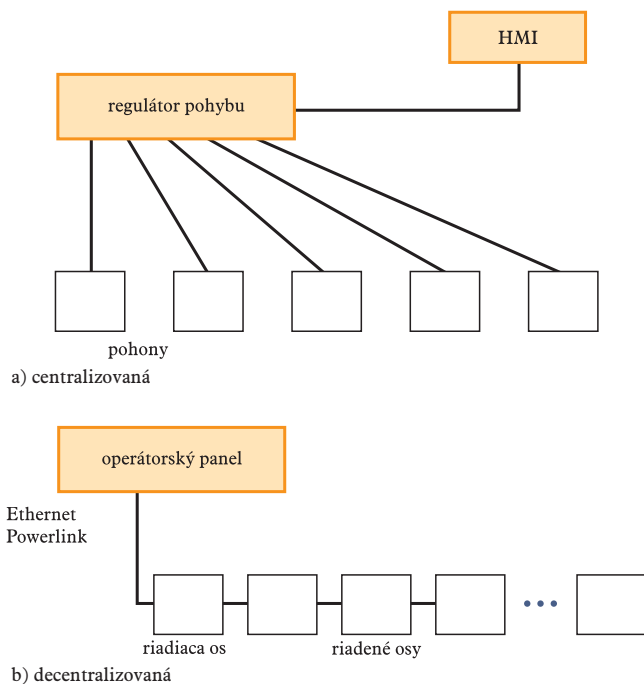
### Centralizované riadenie pohybu

Problém koordinovať 22 pohonných jednotiek je pri centralizovanom riadení pohybu riešený regulátorom pohybu, integrovaným do hlavného riadiaceho systému (obr. 2a). Údaj o aktuálnej polohe motora sa prenáša z pohonu do regulátora, kde sa na jeho základe vypočíta nová žiadaná pozícia pohonu. Existujú dva typy centralizovaných regulátorov pohybu:

- Regulátory pohybu s rýchlostnou väzbou medzi regulátorom a pohonom. Na zistenie aktuálnej rýchlosti motora je nutné



Obr.1 Vytlačovací lis na výrobu profilových tesnení pre automobilový priemysel



Obr.2 Architektúra riadenia pohybu

v regulátore diferencovať prichádzajúci signál o polohe motora. Slučka regulujúca polohu je uzatvorená vnútri regulátora. Na pohon zostáva len riadenie prúdu a rýchlosti motora. Regulátor pohybu vysiela žiadanú rýchlosť každému z pohonov a prijíma od nich spätnoväzobný signál o polohe.

- Regulátory pohybu s polohovou väzbou medzi regulátorom a pohonom. Polohová a rýchlostná riadiaca slučka sú uzavreté vnútri pohonu. Regulátor pohybu koordinuje všetky pohonné jednotky a vysiela k nim signály o žiadanej polohe.

### Decentralizované riadenie pohybu

V rámci systému decentralizovaného riadenia pohybu nie je použitý žiadny centralizovaný prvok riadiaci pohyb. Úloha centralizovaného regulátora je rozdelená a prenechaná jednotlivým pohonným jednotkám. Žiadané pozície tak nie sú pre každú jednotku počítané centralizovaným CPU, ale špeciálnym regulátorom vnútri každej pohonnej jednotky, ktorý výslednú žiadanú polohu určí interne na základe žiadanej polohy hlavnej osi, ktorú získa po sieti (obr. 2b).

### Vyhodnotenie

#### Vplyv na dobu komunikačného cyklu

Dĺžky cyklov sa pri prúdovej, rýchlostnej a polohovej regulačnej slučke takmer vždy líšia. Typická dĺžka cyklu sa pri prúdovej slučke pohybuje medzi 50 až 100  $\mu$ s, pri rýchlostnej slučke medzi 150 až 200  $\mu$ s a pri polohovej slučke medzi 300 až 500  $\mu$ s. Pri systémoch, kde sú regulačné slučky uzatvorené vnútri centralizovaného riadiaceho prvku, treba zaistiť natoľko rýchlu komunikáciu, aby pokryla dostatočnú šírku pásma na prenos informácie obidvoma smermi. Preto musí centralizovaný riadiaci systém disponovať až štyrikrát rýchlejšim prenosom informácie než výkonnosť porovnateľné, celkovo decentralizované riadiace systémy. Táto skutočnosť má za následok aj stále rastúce nároky na digitálne komunikačné systémy, akými sú napr. Sercos, Profibus a DeviceNet. Tie síce v súčasnosti poskytujú stále spoľahlivejšie a úspornejšie rozhranie, no dĺžka komunikačných cyklov sa pri nich pohybuje v oblasti niekoľkých milisekúnd. Stroj Eaglematic™ vyžaduje synchronizované aktualizácie polohy najdlhšie každých 400  $\mu$ s, čo je doba viac ako desaťnásobne kratšia, než je dĺžka cyklu spomínaných zberníc. Vzhľadom na množstvo pohonných jednotiek pripojených k riadiacemu prvku sa k tomuto

problému súčasne pridáva zvýšená prevádzka v sieti, lebo každá jednotka zasiela regulátoru rovnaké množstvo údajov a obratom by mala získať žiadanú polohu.

#### Vplyv na výkonnosť CPU

Vyššie požiadavky na šírku komunikačného pásma centralizovaných systémov majú logicky vplyv na požadovanú výkonnosť CPU regulátora polohy. S nárastom počtu pohonných jednotiek v zariadení a množstva uzatvorených slučiek tak treba zvyšovať aj výkonnosť CPU regulátora.

#### Obmedzenie centralizovaných regulátorov polohy

Zvýšené požiadavky na výpočtový výkon a šírku komunikačného pásma sú obmedzujúcou podmienkou doterajších centralizovaných regulátorov polohy dostupných na trhu. Pri väčšine je počet pohonných jednotiek, ktoré možno ovládať jedným riadiacim prvkom, obmedzený na osem alebo šesťnásť. Čím viac sa počet ovládaných pohonov blíži tomuto obmedzeniu, tým dlhšia je doba cyklu riadiacich slučiek; to vedie k skutočnosti, že výkonnosť riadenia silne závisí od počtu ovládaných jednotiek. V prostredí, v ktorom sa mechanické hriadele stále častejšie nahrádzajú elektronickými vačkami a rastúci počet servomotorov pridáva zariadeniam stále nové funkcie, nie je už táto závislosť prijateľná.

#### Výhody decentralizovaného riadenia pohybu

Rozdelením a presunutím úlohy koordinácie z úrovne centrálného riadiaceho prvku do menších a rýchlejších decentralizovaných úloh na úroveň jednotlivých pohonov možno dosiahnuť zvýšenie výkonnosti riadiaceho systému v dôsledku zníženia zaťaženia siete i CPU. Pri zariadení Eaglematic™, ktoré tento koncept využíva, tak už nie je nutné každých 100  $\mu$ s udať každému z pohonov nové žiadané hodnoty rýchlosti a zistiť od nich v spätnej väzbe aktuálnu polohu. Po sieti je každých 400  $\mu$ s prenášaná žiadaná poloha hlavných ôs. Tento prenos môže byť prijatý súbežne každým uzlom siete a celkový ovládateľný počet pohonných jednotiek preto nezávisí od výkonnosti CPU a šírky komunikačného pásma centrálného riadiaceho prvku. Dnes sú už k dispozícii rýchle a cenovo dostupné procesory pre pohonné jednotky, ktoré poskytujú postačujúci výpočtový výkon na realizáciu všetkých regulačných slučiek a ďalších funkcií decentralizovaného riadenia polohy vnútri pohonnej jednotky. Jedinými obmedzeniami sú preto v tomto prípade šírka prenosového pásma siete a maximálny počet uzlov, ktoré možno pripojiť k sieti.

#### Deterministická komunikácia v reálnom čase

##### Ethernet pri riadení pohybu

Ethernet je so svojimi možnosťami sieťovej komunikácie medzi rovnocennými zariadeniami z hľadiska siete a so šírkou prenosového pásma 100 Mb/s ideálnym médiom na prenos väčších informačných tokov v krátkych časových úsekoch. Zároveň sú na trhu za prijateľnú cenu dostupné prostriedky so štandardným rozhraním na komunikáciu bežného hardvéru pomocou ethernetu. Je tu však jedno obmedzenie, ktoré dosiaľ robilo ethernet v jeho štandardnej podobe nevhodným na uvažované využitie v oblasti riadenia pohybu. Je ním oneskorenie spôsobené kolíziami: pri detekcii kolízie na zbernici totiž každý vysielajúci pošle svoju správu až po náhodne zvolenom čase. Vývoj v niekoľkých posledných rokoch umožnil implementovať vysoký stupeň determinizmu (rozptyl časovania siete – jitter – kratší než 1  $\mu$ s) uplatnením mechanizmov časového delenia v rámci ethernetového protokolu. To urobilo ethernet použiteľným na komunikáciu v reálnom čase a vhodným aj na aplikácie riadenia pohybu. Ideálnym riešením na riadenie 22 pohonových jednotiek stroja Eaglematic™ sa ukázal otvorený štandard Ethernet Powerlink, vyvinutý spoločnosťou B&R a v súčasnosti distribuovaný skupinou Ethernet Powerlink

Standardization Group (EPSG), ktorá je vedená züríšskou univerzitou vo Wintherture (ZHW).

### Komunikačný koncept Ethernet Powerlink

Ethernet Powerlink podporuje prenos dát oboma základnými spôsobmi - asynchrónne i synchrónne. Asynchrónnym kanálom sa prenášajú informácie, ktoré nie sú kritické z hľadiska komunikácie v reálnom čase, akými môžu byť napríklad dáta na báze protokolu IP (napr. videozáznam). Asynchrónny prenos môže byť použitý aj na nahrávanie a sťahovanie údajov z jednotlivých pohonných jednotiek (napr. nahrávanie firmvéru do jednotky, prípadne stiahnutie záznamov o činnosti). Synchrónny kanál sa skladá z časových úsekov, ktoré môžu byť pridelené jednotlivým uzlom siete. Pri vztlačovacom líse opisovanom v tomto článku bolo pomocou protokolu Ethernet Powerlink spojených 22 uzlov (jeden uzol pre každú pohonnú jednotku). To by malo viesť k dĺžke cyklu celej siete 800  $\mu$ s. Každá pohonná jednotka má k dispozícii v rámci cyklu jeden časový úsek. V ňom vyšle informáciu smerom k všetkým ďalším jednotkám, ktoré počúvajú. Správca komunikácie v sieti, reprezentovaný v aplikácii priemyselným počítačom Power Panel, riadi prevádzku v sieti a prideluje každej jednotke vysielací čas. Na ďalšie skrátenie cyklu siete bolo k jednému časovému úseku pridelených niekoľko jednotiek, ktoré nevysielajú z hľadiska doby cyklu kritické informácie o celkovej žiadanej polohe. Jednotky, ktoré sa delia o jeden časový úsek, sa tak vo vysielaní postupne striedajú, pričom v rámci jedného úseku prideleného správcovi komunikácie vysielajú vždy len jedna jednotka. Tento spôsob komunikácie spolu s konceptom decentralizovaného riadenia polohy umožňuje vysielajú údaje o žiadaných polohách až k 240 pohonným jednotkám počas jediného cyklu zbernice Ethernet Powerlink trvajúceho 400  $\mu$ s.

### Integrovaná hardvérová architektúra

Zariadenie Eglematic™ predstavuje unikátnu a cenovo výhodnú realizáciu automatizačnej hardvérovej architektúry. Bežne dostupné automatizačné riešenia majú obvykle oddelené jednotky: ovládací panel ako rozhranie medzi používateľom a zariadením (HMI), PLC, regulátory pohybu, komunikačné médium. Každá časť systému je vo vlastnom kryte, má vlastný procesor, vlastné komunikačné porty a vlastný programovací softvér. Pre toto zariadenie bolo zvolené iné riešenie: HMI, PLC a riadenie komunikácie sú umiestnené v jednom kryte operátorského panela s jedným procesorom a jedným programovacím softvérom. Všetky výpočtovo náročné úlohy riadenia pohybu, ktoré sa predtým riešili v centrálnom riadiacom systéme, sú teraz presunuté do pohonných jednotiek, a preto možno uskutočniť hardvérové riešenie využívajúce jediný centrálny procesor. Logické zariadenie a úlohy spojené s používateľským rozhraním môžu byť vykonávané pri značne dlhších cykloch (napr. úlohy logického riadenia môžu využívať cyklus dlhý 4 ms a používateľské rozhranie môže byť obslužené počas prestojov). Integrovaná hardvérová štruktúra tohto

operátorského panela zároveň umožňuje ušetriť miesto a čas tým, že nevyžaduje použitie šiestich komunikačných portov na prenos signálu medzi HMI, PLC a regulátorom pohybu.

### Operačný systém s podporou multitaskingu pracujúci v reálnom čase

Ďalším prostriedkom, ktorým sa dosiahli úspory v požadovanom výpočtovom výkone, je operačný systém s podporou viacúlohového spracovania (multitasking), ktorý spúšťa úlohy v rôznych voľných časoch medzi triedach cyklov. Používateľské rozhranie, prípadne ďalšie úlohy s nízkou prioritou, bežia v pomalších cykloch, čo otvára priestor na využitie výpočtového výkonu úlohami, ktoré vyžadujú čo najkratšiu dobu cyklu. Týmto spôsobom možno realizovať deterministické, vysokorýchlostné funkcie a v porovnaní s klasickými jednoúlohovými operačnými systémami zároveň i šetriť drahý výpočtový výkon CPU.

### Synchronizácia pohybu, úlohy PLC a komunikácie

Využitie deterministického operačného systému fungujúceho v reálnom čase umožňuje synchronizovať pohonné jednotky, komunikáciu i vlastné riadenie. To však možno dosiahnuť len za podmienky veľmi presného určenia doby (rádovo v mikrosekundách), ktorá je potrebná na to, aby bola informácia prenesená po sieti do svojho cieľa a aby v ňom bola spracovaná. Pre úspešnú synchronizáciu je ďalej nutné, aby boli dĺžky rôznych systémových cyklov prevedené v operačnom systéme na násobky najkratšieho systémového cyklu. V prípade tu uvažovaného zariadenia je základným časovým úsekom doba 400  $\mu$ s, teda doba trvania polohovej regulačnej slučky. Jednou z úloh operačného systému je vzájomne synchronizovať rôzne doby cyklov, pričom ako synchronizačný hodinový signál slúži začiatok tejto najkratšej slučky. Takéto riešenie zaručuje optimálnu presnosť pohybu, pretože všetky informácie sa zbierajú a spracúvajú bez prestojov.

### Integrovaná softvérová architektúra

Architektúra operačného systému, ktorá bola zvolená pre tento projekt, v sebe ako jedinom programovacom nástroji zahŕňa vizualizáciu, logické riadenie, riadenie pohybu a komunikáciu. V rámci celého systému je použitá jediná transparentná databáza premenných. Tým je programátorovi aplikácií umožnené využiť pri riešení úloh logického riadenia všetky dostupné parametre pohonných jednotiek (napr. teploty IGBT vnútri jednotky) a na zariadení preto možno realizovať aj funkcie, ktoré predtým neboli dostupné. Ako príklad sa môže uviesť automatické riešenie konfliktov kompatibility softvéru a s tým súvisiaca možnosť jednoduchej a rýchlej výmeny pohonných jednotiek. Firmvér pre pohonné jednotky je teraz uložený v centrálny pamäti operátorského panela a ak treba túto jednotku vymeniť, je vlastná výmena motora jediným krokom, ktorý treba v prevádzke urobiť. Bez ohľadu

	Úlohy riešené centralizovaným regulátorom pohybu	Úlohy riešené v rámci pohonnej jednotky	Počet cyklov v rámci polohovej regulačnej slučky	Komentár
Centralizované riadenie pohybu s rýchlostnou väzbou	Polohová slučka koordinácie pohonných jednotiek	Prúdová slučka Rýchlostná slučka	4	Dvojnásobné nastavenie žiadanej rýchlosti Dvojnásobná polohová spätná väzba
Centralizované riadenie pohybu s polohovou väzbou	Koordinácie pohonných jednotiek	Prúdová slučka Rýchlostná slučka Polohová slučka	2	Jedno nastavenie rýchlosti Dvojnásobná polohová spätná väzba
Decentralizované riadenie pohybu		Prúdová slučka Rýchlostná slučka Polohová slučka Koordinácia pohonných jednotiek	1	Len jedno vysielanie polohy hlavnej osi

Tab.1 Porovnanie architektúr riadenia pohybu

na typ verzie firmvéru, ktorý je nainštalovaný v novej jednotke, CPU skontroluje jeho kompatibilitu a v prípade potreby môže do pohonnej jednotky nahráť príslušný firmvér sám.

## Záver

S využitím výhod decentralizovaného riadenia pohybu a komunikačného protokolu Ethernet Powerlink vyrobila firma Eagle Manufacturing zariadenie, ktoré je schopné dosahovať vysokú presnosť, a to i napriek veľkému počtu pohonných jednotiek, ktoré bolo nutné v rámci tohto systému riadiť. Podstatné úspory sa dosiahli elimináciou počtu potrebných centralizovaných regulátorov pohybu. Ďalšie zníženie nákladov sa docielilo použitím priemyselného počítača B&R Power Panel vo funkcii operátorského panela, ktorý obsahoval nielen vizualizáciu a riadenie, ale aj koordináciu pohybu, logické riadenie a riadenie komunikácie. Táto integrácia funkcií do jedného zariadenia mala zásadný vplyv na skrátenie doby od začiatku programovania zariadenia do jeho uvedenia do prevádzky o niekoľko týždňov. Použitie integrovaného hardvérového, softvérového a komunikačného konceptu B&R umožnilo výrobcovi stroja znížiť predchádzajúcu odhadovanú cenu zariadenia o 30 % oproti konvenčnému systému, tvorenému samostatným panelom používateľského rozhrania, PLC a regulátorom pohybu. Novonavrhnuté zariadenie umožňuje koncovému používateľovi z oblasti automobilového priemyslu nielen vyrábať kvalitnejšie diely, ale zároveň znížiť prevádzkové náklady zredukovaním množstva odpadového materiálu, doby nastavovania a prestojov a dosiahnuť zvýšenie celkovej flexibility výrobných linky.



Perfection in Automation

## **B + R automatizace, spol. s r. o.**

2

**Markus Sandhoefner**

**Trenčianska 17**

**915 01 Nové Mesto nad Váhom**

**Tel.: 032/771 95 75**

**Fax: 032/771 95 77**

**e-mail: office.sk@br-automation.com**

**http://www.br-automation.com**

**www.automotion.info**

**www.ethernet-powerlink.org**