

KOMUNIKACIJE Z ELEKTROMOTORSKIMI POGONI

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

Povzetek: V članku je opisana uporaba PROFIBUS vodila pri integraciji elektromotorskih pogonov v sodobne sisteme avtomatizacije iz stališča aplikacijskega inženirja. Podane so osnovne definicije protokola. Poglavlje o inženirski praksi podaja podrobnejši opis tvorjenja uporabniškega dela telegrama mastra. Podrobno sta opisani Krmilna beseda in Beseda stanja, skupaj z avtorjevimi izkušnjami pri delu z napravami različnih proizvajalcev.

1. IZHODIŠČA, MALO ZGODOVINE

1.1 Izhodišča

Sodobni elektromotorski pogoni so v veliki večini izvedeni kot krmiljene ali regulirane enote (asinhronski motorji z ustreznimi frekvenčnimi pretvorniki, enosmerni motorji z ustreznimi krmilniki, servomotorji s servoregulatorji,...). Omenjene naprave za krmiljenje/regulacijo motorjev so dandanes že vse v digitalni izvedbi, mikroprocesorsko vodene. Vsaka taka naprava je pravzaprav mali računalnik, z lastnim operacijskim sistemom in uporabniškim programom, ki izvajata osnovne funkcije naprave. Lastni mali operacijski sistemi in uporabniški programi pa se seveda močno razlikujejo med napravami različnih proizvajalcev.

(Vsaj) eno stvar pa imajo skupno: Za take sisteme je najbolj »naravna« izmenjava podatkov z okolico z uporabo ustreznih serijskih komunikacij.

Elektromotorski pogoni so zelo pomemben in aktiven člen v industrijskih procesih. Sodoben pristop k avtomatizaciji industrijskih procesov zahteva, da v procesu sodelujejo naprave in podsistemi, ki so sposobni konsistentno komunicirati med sabo in ostalimi sistemi v vseh smereh pretoka informacij.

1.2 Malo zgodovine

Že v 80. letih prejšnjega stoletja se je začel intenziven razvoj na področju digitalnih komunikacij med posamičnimi senzorji in aktuatorji v procesih. Namen teh aktivnosti je bil poiskati alternativo za klasične, paralelne povezave med krmilniki ter senzorji in aktuatorji (npr. 4-20mA ali 0/10V signale za analogne veličine, 24VDC/AC za binarna stanja, ipd.). Ob koncu osemdesetih in v začetku devetdesetih so se oblikovalne razne interesne skupine proizvajalcev opreme, ki so skupno definirale svoje rešitve, z namenom standardiziranja opreme, predvsem njenega vmesnika proti krmilniku.

Na področju elektromotorskih pogonov v industriji sta bili v Evropi najbolj aktivni skupini okoli PROFIBUS standarda ter INTERBUS standarda, v Ameriki pa SERCOS. Kasneje so se pojavila še ostala združenja (DeviceNet, BITBUS, CAN, LON,...), glede na ciljne aplikacije.

Danes je stanje na tem področju takšno, da je vsak izmed naštetih standardov našel svojo ciljno skupino uporabnikov. Proizvajalci naprav za elektromotorske pogone so se temu prilagodili tako, da ob svojih izdelkih ponujajo (opcijske) vmesnike za priklop na različna vodila (PROFIBUS-DP, INTERBUS, CAN,...). Občutek pa je, da v industriji, predvsem v najbolj splošnih aplikacijah na področju procesnih vodil, močno prevladuje PROFIBUS (poleg ostalih razlogov tudi zaradi razširjenosti in popularnosti krmilnikov družine SIMATIC).

Več o zgodovini in trenutnem stanju iz tega področja si lahko ogledate na naslednjih naslovih: www.profibus.com, www.interbusclub.com, www.sercos.com, www.odva.org, www.can-cia.de, www.lonworks.com, ...

2. PROFIBUS

2.1 Splošno

O samem vodilu PROFIBUS je bilo objavljenih že dovolj kakovostnih publikacij, tudi v tej reviji. Ker se v članku omejujem na inženirsko prakso pri izvedbi komunikacije z elektromotorskimi pogoni, bom samo na kratko povzel osnovne lastnosti vodila:

Hitrost komunikacije:	Od 9.6 do 12000 kbit/s
Možni fizični mediji:	RS 485, FO, MBP
Komunikacijski protokoli: (*)	PROFIBUS-FMS, PROFIBUS-PA PROFIBUS-DP
Splošni uporabniški profili (4):	PROFIsafe, HART, Time stamps, Slave redundancy
Posebni uporabniški profili (12): (**)	PROFIdrive, PA devices, Robots/NC, Panel devices, Encoders, Fluid Power, SEMI, Low-voltage switchgear, Dosage/weighing, Ident systems, Liquid pumps, Remote I/O for PA devices;

Tabela 2.1-1

Opomba (*):

- Protokol PROFIBUS-FMS je namenjen predvsem za komunikacije med krmilniki (povezave peer-to-peer); omogoča ciklični in aciklični prenos podatkov;
- Protokol PROFIBUS-PA je splošni protokol za procesno avtomatizacijo;
- Protokol PROFIBUS-DP je namenjen hitri izmenjavi podatkov med krmilnikom in inteligentno periferijo

Opomba(**):

- Uporabniški profil (Application profile) je skupek smernic in določb, ki veljajo za določeno branžo ali skupino naprav. Definira minimalne skupne lastnosti naprav, ki se priključujejo na PROFIBUS. **Na ta način naj bi bila zagotovljena interoperabilnost in izmenljivost naprav različnih proizvajalcev.** Določen uporabniški profil definirajo zainteresirani člani organizacije PNO (**PROFIBUS Nutzerorganisation**) preko tehniških odborov in jih publicirajo kot PNO navodila.

Za komunikacijo med krmilniki in elektromotorskimi pogoni se uporablja komunikacijski protokol **PROFIBUS-DP**. Skupne lastnosti izdelkov iz področja elektromotorskih pogonov, ki se priključujejo na PROFIBUS-DP pa so definirane v **PROFIdrive** profilu.

2.1 Kratek opis PROFIBUS-DP protokola:

Ta protokol je namenjen hitri izmenjavi podatkov med krmilnikom in inteligentno periferijo (v našem primeru je to krmilna naprava elektromotorskega pogona). V osnovi se promet po mreži izvaja ciklično. Centralni krmilnik je nadrejeni (master) v mreži, inteligentna periferija pa je podrejena (slave). Master ciklično komunicira s posamičnimi slave-i v mreži.

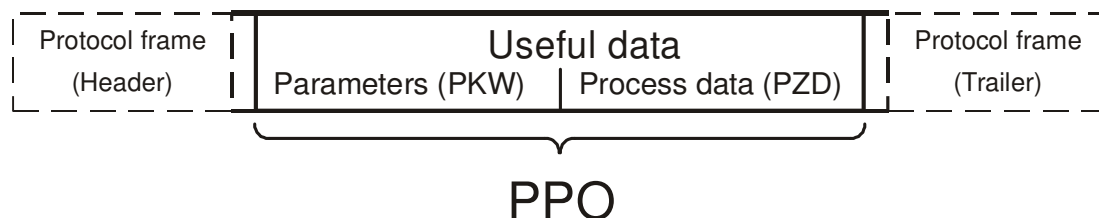
Potrebne komunikacijske funkcije so specificirane kot DP bazne funkcije (DP V0). Zaradi hitrega razvoja in naraščajočih potreb so bile bazne funkcije protokola že dvakrat nadgrajene: na DP V1 ter DP V2.

- DP V0: definira osnovno funkcionalnost DP protokola, predvsem pa ciklično izmenjavo podatkov, specifično diagnostiko ter različne tipe prekinitev za izjemna stanja
- DP V1: uvaja tudi acikličen prenos podatkov (ne na škodo cikličnega; aciklična komunikacija poteka vzporedno s ciklično!) ter dodatne prekinitvene tipe. Preko acikličnega prenosa je omogočen direkten dostop do udeležencev na mreži z razvojnimi orodji, nastavitve parametrov ipd.
- DP V2: dodana je možnost direktne slave-to-slave komunikacije (brez posredovanja mastra), ter točna sinhronizacija urinega cikla; (opcije verzije 2 so dodane ravno zaradi uporabe protokola pri elektromotorskih pogonih!).

3. INŽENIRSKA PRAKSA

3.1 Koristni podatki v telegramu

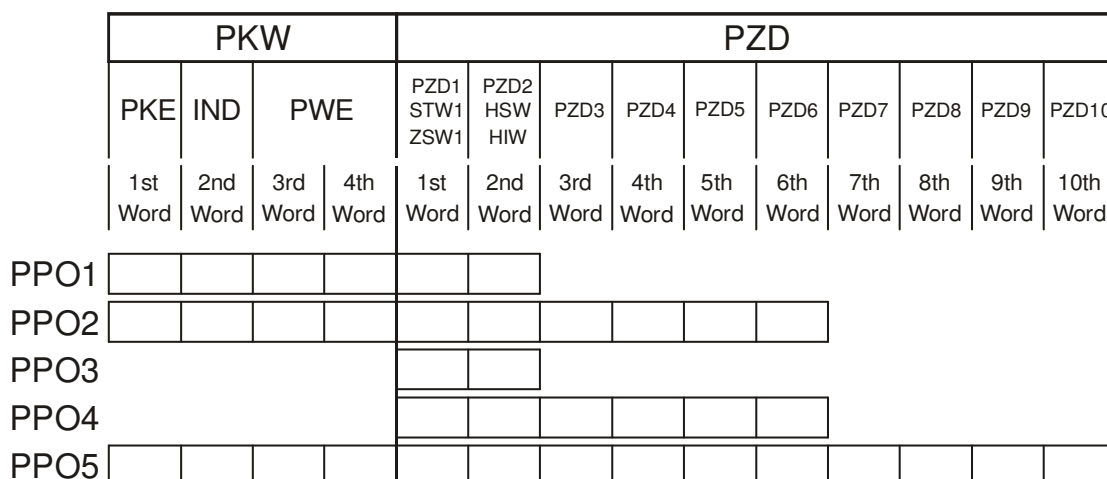
Pri najbolj običajni PROFIBUS-DP (ciklični, DP V0) komunikaciji poteka promet tako, da master pošlje telegram določenemu slave-u, ta pa mu odgovori.



slika 3.1-1

Oba telegrama sta sestavljena iz vodilnega dela (Header), koristnih podatkov ter zaključnega dela (Trailer). Kompletan PROFIBUS sistem je zastavljen tako, da se aplikacijski inženir v končni fazi ukvarja **samo s koristnimi podatki**, vse ostalo (generiranje Headerja, Trailerja, ki vsebujeta kompleksne mehanizme komunikacije (adresiranje, kontrola kakovosti prometa,...), komunikacijo samo) pa opravi sistem sam, (navidezno) brez posredovanja programerja.

Programer mora poskrbeti le za pravilno sestavo in zaporedje koristnih podatkov, ki se izmenjujejo med krmilnikom in pogonom.



slika 3.1-2

Slika 3.1-2 prikazuje strukturo koristnih podatkov, kot jih definira PROFIdrive profil.

Koristni podatki se v grobem delijo na dva dela: PKW del in PZD del.

- PKW del telegrama se lahko uporablja za čitanje in pisanje posamičnih (poljubnih) parametrov priključene naprave.

- PZD del telegrama se uporablja za prenos procesnih podatkov med krmilnikom in napravo.

PROFIdrive profil s pomočjo PPO tipov (PPO = Parameter process data object) tudi predlaga nekaj kombinacij za sestavo koristnih podatkov (npr. tip PPO3 vsebuje samo 2 procesna podatka (= najkrajši telegram), tip PPO5 pa vsebuje del za spreminjanje parametrov in 10 procesnih podatkov (= najdaljši telegram)). Pravo dolžino telegrama določi aplikacijski inženir glede na to, kakšen telegram je priključena naprava sploh zmožna obdelati. Ti podatki so poleg ostalih zajeti v GSD datoteki, tako da programer že pri HW konfiguraciji v okolju STEP7 vidi, koliko podatkov lahko izmenjuje med mastrom in slave-om in potem izbere ustrezen tip, glede na potrebe.

Pomen posamičnih wordov znotraj koristnega telegrama:

PKW del telegrama: (del za spreminjanje parametrov):

- **PKE:**
 - o biti 12 do 15 (AK) določajo akcijo na parametru (read, write,...)
 - o bit 11 je rezerviran
 - o biti 0 do 10 (PNU) določajo številko parametra, na katerem se izvaja akcija
- **IND:**
 - o Odvisno od naprave; indeks, če je parameter indeksni in višji biti številke parametra
- **PWE:**
 - o Vrednost parametra

Opomba (1): točen pomen bitov je podan v **spremni dokumentaciji naprave**, ki jo priključujemo na profibus

Opomba (2): PKW del telegrama je rezerviran za nastavljanje – spreminjanje parametrov preko PROFIBUS mreže. Osebnostno smatram, da je parametre na napravah veliko lažje nastavljati preko drugih vmesnikov naprave (operaterskega panela ali posebej priključenega PC računalnika z uporabniškim programom, ki ga dobavi dobavitelj same naprave ...), ali s pomočjo drugih mehanizmov (uporaba aciklične komunikacije, po protokolu DP V1 ali DP V2), zato se ta del telegrama uporablja le redko.

PZD del telegrama: (del za izmenjavo procesnih podatkov)

- **PZD1 (*):**
 - o Pri mastrovem telegramu je to v splošnem krmilna beseda (STW)
 - o Pri slave-ovem telegramu je to v splošnem beseda stanja (ZSW)
- **PZD2 (*):**
 - o Pri mastrovem telegramu je to v splošnem glavna zelena vrednost (HSW)
 - o Pri slave-ovem telegramu je to v splošnem glavna dejanska vrednost (HIW)

- PZD3
- ...
- PZDn
 - o To so prosto nastavljive zelene vrednosti (v mastrovem telegramu) in dejanske vrednosti (v slave-ovem telegramu).

Opomba (*): Nekatere naprave dovoljujejo popolnoma prosto razporejanje posamičnih wordov iz telegrama po svojih parametrih, tako, da sta lahko tudi prva dva procesna podatka popolnoma svobodno definirana.

Ta del telegrama se **vedno** uporablja pri ciklični izmenjavi podatkov (DP V0), zato mu v članku posvečam malo več pozornosti.

3.2 Krmilna beseda, beseda stanja

- Krmilna beseda (posamični biti v tej besedi) naj bi nadomeščala klasično krmiljenje priključene naprave preko njenih digitalnih vhodov (start/stop vhod, enable vhod...);
- Beseda stanja (posamični biti v tej besedi) naj bi nadomeščala klasično indikacijo stanja naprave preko njenih digitalnih izhodov (npr. motor deluje, ni napake, zelena je dosežena,...).

Naprave, ki v komunikaciji s PROFIBUS-DP mastrom uporabljajo krmilno besedo (STW, PZD1 v telegramu mastra) in besedo stanja (ZSW, PZD1 v telegramu slave-a), naj bi v splošnem upoštevale enotno sestavo in pomen posamičnih bitov v obeh besedah, kot jo definira PROFIdrive profil. Naslednji tabeli ponazarjata definiciji obeh besed s kratkim opisom stanja naprave.

Krmilna beseda, po PROFIdrive profilu:

Bit	Vrednost	Pomen stanja bita	Stanje naprave
0	1	(ni OFF1)	Motor deluje, če so vsi ostali pogoji (biti) izpolnjeni; pogoj za normalno delovanje!
	0	OFF1	Prehod 1->0 med delovanjem: motor zavira do hitrosti 0 po nastavljenem splošnem času zaviranja; ko se zaustavi, se napetost odklopi;
1	1	(ni OFF2)	Motor deluje, če so vsi ostali pogoji (biti) izpolnjeni; pogoj za normalno delovanje !
	0	OFF2	Prehod 1>0 med delovanjem: motorju je takoj odklopljeno napajanje, motor se prosto izvrti; pogon pade v blokado vklopa, za ponoven zagon je potrebna akcija na bitu OFF 1!
2	1	(ni OFF3)	Motor deluje, če so vsi ostali pogoji (biti) izpolnjeni; pogoj za normalno delovanje !
	0	OFF3	Prehod 1->0 med delovanjem: najhitrejša možna (električno vodena) zaustavitev motorja (odvisno od naprave: zaviranje z enosmernim tokom (pri frekvenčnih pretvornikih), ali zaviranje na dopustni tokovni /napetostni limiti naprave); pogon pade v blokado vklopa, za ponoven zagon je potrebna akcija na bitu OFF1!

3	1	ENABLE	Motor deluje, če so vsi ostali pogoji (biti) izpolnjeni; pogoj za normalno delovanje!
	0		Prehod 1>0 med delovanjem: motorju je takoj odklopljeno napajanje, motor se prosto izvrti; pogon pade v blokado vklopa, za ponoven zagon je potrebna akcija na bitu OFF 1!
4	1		(RFG = Ramp Function Generator); algoritem za pospeševanje in zaviranje normalno deluje!
	0	DISABLE RFG	(RFG = Ramp Function Generator); izhod algoritma za pospeševanje in zaviranje je postavljen na vrednost 0!
5	1		(RFG = Ramp Function Generator); algoritem za pospeševanje in zaviranje normalno deluje!
	0	STOP RFG	(RFG = Ramp Function Generator); izhod algoritma za pospeševanje in zaviranje je zamrznjen na trenutno vrednost!
6	1	ENABLE SETP.	(SETP = Set point, zelena vrednost). Zelena vrednost je pripeta na vhod algoritma za pospeševanje in zaviranje
	0	DISABLE SETP.	(SETP = Set point, zelena vrednost). Zelena vrednost ni veljavna, na vhodu algoritma za pospeševanje in zaviranje je vrednost 0
7	0->1	FAULT ACK.	Kviritiranje napake, ob prehodu 0->1. Pogon gre po kviritiranju napake v blokado vklopa, za ponovni zagon je potrebna akcija na bitu OFF 1.
8	1	JOG1	Pogon starta na hitrost JOG1
	0		
9	1	JOG2	Pogon starta na hitrost JOG2
	0		
10	1	CTRL. FROM PLC	Pogon upošteva ukaze krmilnika preko (PROFIBUS) serijske linije
	0		Pogon ne upošteva ukazov krmilnika preko (PROFIBUS) serijske linije
11-15			Ti biti v PROFIdrive profilu nimajo predpisanega pomena

Tabela 3.2-1

Primer krmilne besede za stanje pred startom motorja: 0000_0100_0111_1110

Primer krmilne besede za start motorja: 0000_0100_0111_1111

(zgornja primera kažeta primer uporabe ON/OFF1 ukaza za start/stop motorja).

Beseda stanja, po PROFIdrive profilu:

Bit	Vrednost	Pomen stanja bita	Stanje naprave
0	1	READY TO POWER UP	Naprava je priklopljena na napajanje, inicializirana in čaka na nadaljne ukaze. Na motorju še ni napetosti. (enosmerni motor: na vzbujalnem navitju še ni napetosti)
	0		
1	1	READY	Naprava je pripravljena na start. Čaka na nadaljne ukaze. Na motorju še ni napetosti. (Enosmerni motor: vzbujanje je vzpostavljeno, na kotvi še ni napetosti)
	0		
2	1	RUN	Motor deluje, vse je normalno

	0		
3	1	FAULT	Motor ne deluje, prišlo je do napake. Potrebno je kvitiranje napake. Po kvitiranju gre pogon v zaporo vklopa.
	0		
4	1	Ni OFF2	Bit 1 krmilne = 1 (OFF2 ni aktiven)
	0	OFF2 aktiven!	Bit 1 krmilne = 0 (OFF2 aktiven)
5	1	Ni OFF3	Bit 2 krmilne = 1 (OFF3 ni aktiven)
	0	OFF3 aktiven!	Bit 2 krmilne = 0 (OFF3 aktiven)
6	1	POWER-ON INHIBIT	Pogon je v stanju zapore vklopa. Potrebno je umakniti komando ON (bit OFF1 postaviti na 0) in po želji ponovno startati napravo)
	0		
7	1	ALARM	Motor deluje, vendar obstaja opozorilo o nepričakovanem stanju motorja (npr. limita toka, momenta,...). Koda opozorila je v ustreznem parametru.
	0		
8	1	SETP.-ACT DEVIATION OK	Razlika med želeno in dejansko v sistemu je znotraj dopustnih meja
	0		
9	1	CTRL. FROM PLC	Pogon pričakuje ukaze krmilnika preko (PROFIBUS) serijske linije
	0		
10	1	FREQ/SPEED REACHED	Frekvenca/hitrost, prednastavljena v enem od parametrov je dosežena (presežena)
	0		
11-15			Ti biti v PROFIdrive profilu nimajo predpisanega pomena

Tabela 3.2-2

Primer besede stanja pred startom motorja: 0000_0011_0011_0001

Primer besede stanja med normalnim delovanjem: 0000_0111_0011_0110

(zgornja primera kažeta primer uporabe ON/OFF1 ukaza za start/stop motorja).

3.3 Ostali procesni podatki

- Ostali procesni podatki v telegramu **mastra** naj bi nadomeščali klasično krmiljenje priključene naprave preko njenih analognih vhodov.
- Ostali procesni podatki v telegramu **slave-a** naj bi nadomeščali klasično indikacijo stanja priključene naprave preko njenih analognih izhodov.

Tako lahko master preko teh besed priključeni napravi nastavlja želeno hitrost (frekvenco), limito toka, momenta, ... , odvisno od potreb in zmožnosti priključene naprave. Le-ta pa v svojem odgovoru pošilja svoje dejanske vrednosti (dejansko hitrost (frekvenco), dejanski tok, dejanski moment, temperaturo motorja, temperaturo hladilnika,..., načeloma poljubno spremenljivko, ki jo priključena naprava meri ali izračunava).

V osnovi naj bi bile spremenljivke skalirane tako, da 100% vrednosti spremenljivke pomeni 16383 v telegramu (0x3FFF v hexa zapisu). Skaliranje si lahko določi tudi uporabnik sam, odvisno od možnosti priključene naprave.

3.4 Problematika krmilne besede in besede stanja

Osnovna ideja uvajanja standardiziranega vodila je v tem, da bi lahko uporabniki priklapljali različne naprave različnih proizvajalcev na vodilo brez težav ali ostalega prilagajanja. Vendar v praksi (po mojih izkušnjah) ni vedno tako. Največje težave so ravno pri krmilni besedi in besedi stanja.

V PROFIdrive profilu predpisana struktura obeh besed namreč privzema, da vse naprave uporabljajo enake načine startov, zaustavitve, hitrih zaustavitvev,..., da imajo enaka stanja. Resnica pa je taka, da so naprave različnih proizvajalcev razvite po različnih konceptih (kar je seveda normalno) in imajo različne reakcije na ukaze, različna stanja.

Pri razvoju PROFIBUS vmesnika za svojo napravo se proizvajalci poskušajo prilagoditi na zahteve PROFIdrive profila in s svojimi tipičnimi stanji simulirati v profilu predvidena stanja. Aplikacijskega inženirja, ki priklaplja njihovo napravo na PROFIBUS in ki ne pozna podrobnosti in ozadja krmilne besede, pa zmedejo s svojo interpretacijo stanj le teh.

Naj navedem nekaj primerov iz lastnih izkušenj pri priključitvah naprav elektromotorskih pogonov na PROFIBUS vodilo (proizvajalcev in tipov naprav namenoma ne omenjam):

- biti 11 do 15 pri obeh besedah: v profilu niso specificirani, njihova funkcija je prepuščena za prosto uporabo priključenim napravam. Tu se velikokrat nahajajo ukazi in stanja, ki so še kako pomembni za delovanje naprav!
- Različna interpretacija stanja Zapore vklopa (bit 6 besede stanja) in različni načini, kako se izvleči iz Zapore vklopa
- Nekatere naprave sploh ne morejo realizirati vseh stanj samo preko krmilne besede po PROFIBUS liniji, ampak je treba hkrati delovati preko njenih digitalnih vhodov
- ...

Posledica vsega tega je, da si aplikacijski inženir, ki programira krmilnik, na katerega so preko PROFIBUS vodila priključeni elektromotorski pogoni različnih proizvajalcev, ne more izdelati univerzalnega gonilnika, ampak rabi gonilnike, prilagojene lastnostim posamičnega dobavitelja pogonov. (Kam se je izgubila deklarirana enostavna **interoperabilnost in izmenljivost naprav različnih proizvajalcev??**)

4. ZAKLJUČEK

Nesporno je, da je edina pravilna pot za integracijo elektromotorskih pogonov v sisteme avtomatizacije preko komunikacij po serijskih linijah. Prednosti in prihranki te tehnike v primerjavi s klasiko so očitni.

Kakšne so napovedi?

- Pri PROFIdrive profilu je v pripravi večja posodobitev. Cilj teh aktivnosti je omogočiti izvedbo digitalne zaprtostančne regulacije preko PROFIBUS-a. (= časovna sinhronizacija algoritmov krmilnika, prenosa podatkov preko vodila ter algoritmov regulatorja motorja v priključeni napravi). Ciljna kapaciteta je obdelava do 12 osi s kompletnim časom cikla manj kot 2 milisekund. Ob tem naj bi nemoteno tekla tudi aciklična komunikacija....
- SIEMENS, nesporni svetovni trend-setter na področju avtomatizacije in elektromotorskih pogonov, je julija letos predstavil novo generacijo frekvenčnih pretvornikov SINAMICS G150, ki ima PROFIBUS vmesnik vgrajen že v osnovni izvedbi, ostalih vmesnikov pa ni več!

Literatura in ostali viri:

- PROFIBUS Profil Drehzahlveränderbare Antriebe, VDI Berichte 962, VDI Verlag
- PROFIBUS Technical overview (Draft April 2002), publikacija, www.profibus.com
- PROFIdrive Profile for drive technology, publikacija, www.profibus.com
- COMPENDIUM MasterDrives, spremna dokumentacija, SIEMENS