

Digitalni prenos merilnih vrednosti v industrijskih sistemih

Anton Zorko, Boštjan Vlaovič, Zmago Brezočnik
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija
{anton.zorko, bostjan.vlaovic, brezocnik}@uni-mb.si

Digital transmission of the measurement values in industrial applications

This article describes the digital transmission of measurement values from the measurement instrument to the PLC (Programmable Logic Controller). Measurement values are captured in digital form. Processing of data in PLC is also performed over digital values. In the described measurement environment, analog transmission of values represents a weak point of the design. If analog signals are transmitted between a measurement equipment and a PLC, errors occur in the digital-analog conversion at the measurement equipment and in the analog-digital conversion in the PLC. Therefore, a different approach is required. Our solution provides digital transmission of the measurement values. To accomplish that with the standard equipment, one should convert the NR2 format of measurement values, that is being used by the measurement instrument, to the Modbus format which is used in PLC. The paper describes the design of such a converter.

The converter is used in hydro-electric power stations. Therefore, it must meet high industrial standards to guarantee safe operation of the power station. The main goal of the project was the design and implementation of the converter. It gathers measurement values from the instrument in NR2 format, converts them to Modbus format, and communicates with the PLC over Modbus protocol. The accuracy of the data transfer is the most important feature of the described design.

1. Uvod

Prispevek opisuje izdelavo pretvornika med formatoma zapisa merilnih podatkov NR2 in Modbus. Osnovni cilj projekta je bil digitalni prenos merilnih vrednosti od merilnega inštrumenta do krmilnika. V obstoječih sistemih se merilne vrednosti, tudi ob digitalnem zajemu, prenašajo z uporabo analogne tokovne zanke. Predlagana rešitev predvideva odpravo digitalno-analogne pretvorbe v merilniku, analognega prenosa vrednosti ter analogno-digitalne pretvorbe v industrijskem krmilniku.

V okviru projekta je bilo potrebno zagotoviti primerno strojno opremo, napisati pripadajočo programsko opremo ter projekt zaključiti z urejeno dokumentacijo. Želja za izdelavo projekta je nastala v projektivnih birojih hidroelektrarn. Pri obstoječih rešitvah niso bili zadovoljni z natančnostjo prenosa merilnega podatka med merilnim inštrumentom in krmilnikom.

Osnovna zahteva naročnika je bila, da pri prenosu merilne vrednosti ne pride do napake. Zagotoviti je bilo potrebno popolnoma avtonomno delovanje pretvornika in merilnega inštrumenta. Pretvornik samostojno zajema podatke iz merilnega inštrumenta. Na zahtevo krmilnika mu jih posreduje. Skladno z arhitekturo protokola Modbus je pretvornik prevzel vlogo sužnja. Celotni sistem je izdelan iz industrijske opreme, ki se namesti v primerni električni omari.

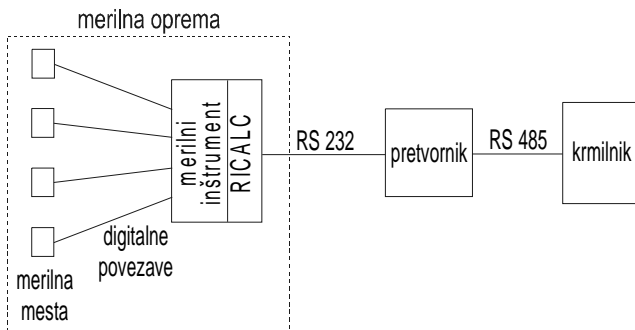
Prispevek se osredotoča samo na izdelavo pretvornika. Sestavljen je iz petih delov. Drugi del predstavi obravnavani problem. V tretjem delu na kratko opišemo običajne rešitve, ki se uporabljajo v industriji. V osrednjem, četrtem delu, podamo našo rešitev natančnejšega prenosa merilnih vrednosti v industrijskih sistemih. V petem delu prispevek zaključimo s povzetkom narejenega ter predlogi za nadaljnje delo.

2. Opis problema

Merilna mesta se z merilnim inštrumentom povežejo najpogosteje s pomočjo digitalne povezave. Za povezavo merilnega inštrumenta in industrijskega krmilnika se zelo pogosto uporabljajo tokovne zanke 4–20 mA. To pomeni, da moramo za vsak merilni inštrument imeti svojo tokovno zanko in svoj analogni vhod v krmilniku. V določenih industrijskih aplikacijah se uporablja izredno veliko tokovnih zank in analognih vhodov, kar nam dodobra zasede prostor v električnih omarah. Ker je potrebno ob uporabi tokovnih zank podatke pretvarjati v analogne vrednosti in obratno, pride pri teh pretvorbah do napak. Dodatno smo omejeni še z bremenskimi omejitvami tokovne zanke. Skupna upornost tokovne zanke ne sme znašati več kot 750 Ω . Ob dejstvu, da ima vsak uporabnik notranjo upornost od 100 do 250 Ω , ugotovimo, da lahko v tokovno zanko vežemo le nekaj uporabnikov.

Zaradi omenjenih pomanjkljivosti se merilni inštrumenti vežejo v industrijsko omrežje (ASI, Profibus PA, ipd.), ki se nato poveže na industrijski krmilnik. S tem prihranimo prostor, žice, čas ob izvedbi napeljave, izognemo pa se tudi digitalno-analogni in analogno-digitalni pretvorbi merilne vrednosti. Dovoljene dolžine povezav med industrijskimi krmilniki in merilnimi inštrumenti so ob uporabi industrijskega omrežja bistveno večje. V praksi znašajo od nekaj 100 m, do nekaj 10 km. Ker je tehnologija relativno mlada, je cena takšnih merilnih inštrumentov še vedno visoka.

Danes vsi merilni inštrumenti podpirajo tehniko tokovne zanke. Nekateri med njimi imajo vgrajeno tudi digitalno povezavo s pomočjo vmesnika RS232 ali RS485, ki lahko prenaša podatke s pomočjo industrijskih protokolov. Določeni merilni inštrumenti, ki imajo poleg tokovne zanke vgrajen še vmesnik RS232, lahko pogosto prenašajo merilne podatke samo s pomočjo nevsakdanjih formatov. Ob uporabi takšnih merilnih inštrumentov se soočimo s problemom, ki ga obravnavamo v tem prispevku. Slika 1 prikazuje blokovno shemo takšnega merilnega sistema.



Slika 1: Blokovna shema merilnega sistema

3. Običajne rešitve

Za dostopanje do raznih procesnih vrednosti se zelo pogosto uporabljajo oddaljene enote, ki se povežejo v industrijsko omrežje. Na te oddaljene enote se vežejo razni merilni inštrumenti ter druga periferna oprema, katerih informacije se nato prenašajo v industrijske krmilnike. Merilne inštrumente pogosto povežemo z oddaljenimi enotami s pomočjo tokovnih zank. V tem primeru se ponovno soočamo s problemom pretvarjanja merilnih podatkov iz digitalne oblike v analogno obliko in obratno. Zato s tem pristopom ne moremo zadovoljiti potrebe po natančnosti prenosa podatkov. Če uporabimo oddaljeno enoto, ki ima vgrajen vmesnik RS232, lahko nanjo povežemo merilni inštrument. S tem načinom prenosa merilnih podatkov lahko zagotovimo natančnost prenosa podatkov, vendar je cena takšne oddaljene enote precej visoka. Dodatno nas omejuje dejstvo, da vsi proizvajalci ne izdelujejo teh enot za svoje industrijske krmilnike. Na trgu se pojavljajo tudi lastne rešitve, saj vsak proizvajalec izdeluje svoje enote. Ob uporabi takšne opreme naša aplikacija ne bi bila prenosljiva na novejša krmilnike.

4. Predlagana rešitev

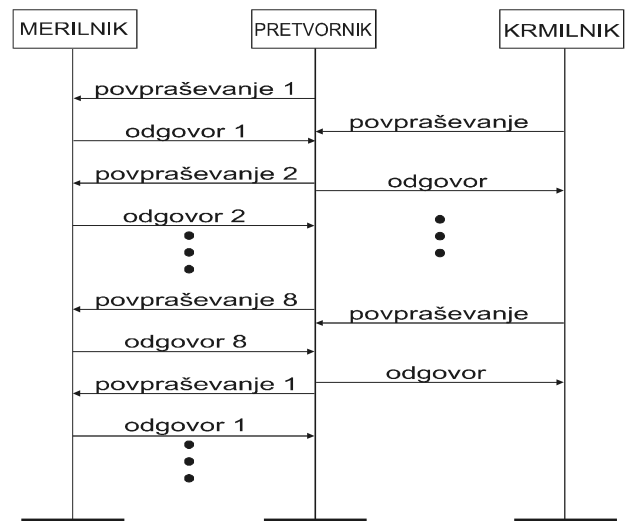
Ob reševanju predstavljenega problema nismo uporabili nobene izmed naštetih rešitev, temveč smo razvili svojo. Zaradi kompatibilnosti z novejšo opremo in robustnosti smo se za izvedbo pretvornika odločili uporabiti majhen industrijski krmilnik. V nadaljevanju ga bomo imenovali pretvornik, saj bo opravljal nalogo pretvornika. Zanj je zelo pomembno, da vsebuje dva fizična vmesnika, RS232 in RS485. S pomočjo vmesnika RS232 se bomo povezali

na merilni inštrument, s pomočjo vmesnika RS485 pa se bodo drugi krmilniki povezali na pretvornik.

Pretvornik bo neodvisno od preostalega sistema avtonomno povpraševal po merilnih vrednostih v merilnem inštrumentu. Krmilniki bodo lahko neodvisno od povpraševanja pretvornika dostopali do merilnih rezultatov v pretvorniku ter pridobili shranjene merilne vrednosti. Potek povpraševanja in odgovorov je viden na sliki 2.

Komunikacija med pretvornikom in merilnim inštrumentom bo potekala s pomočjo protokola »Character mode« [5] in formata NR2 [1]. Drugi krmilniki bodo dostopali do merilnih rezultatov v pretvorniku s pomočjo protokola Modbus [4], ki uporablja svoj format za prenos podatkov.

Značilnost uporabljene merilne opreme so izredno natančni merilni rezultati. Oprema je sestavljena popolnoma modularno, zato je mogoče več merilnih mest povezati med sabo. Komunikaciji z okoljem je namenjena posebna enota »RICALC« [1]. Poleg komunikacije lahko izvajajo nad merilnimi vrednostmi dodatne matematične operacije. Te vrednosti lahko nato prenašamo v obliki binarnih vrednosti, analognih vrednosti ali pa s pomočjo vmesnika RS232. Odločili smo se za uporabo vmesnika RS232, saj lahko samo tako zagotovimo natančnost prenosa merilne vrednosti.



Slika 2: Potek prenosa merilnih podatkov

4.1. Format NR2

Format NR2 je definiran v standardu IEC 625-2. Vsaka numerična vrednost je opisana eksplicitno v formatu s plavajočo vejico in ne vsebuje nobenega drugega eksponentnega zapisa. Decimalna pika je predstavljena z ASCII znakom ».« (2E_h). Levo in desno od pike mora biti vedno ena številka. Vodilne ničle in ničle na repu se

odvržejo. Maksimalna dolžina tako sestavljene numerične vrednosti je 11 znakov. V praksi se dolžina numerične vrednosti določi s tipom senzorja. Primer zapisa formata NR2 za numerično vrednost 24.3 prikazuje slika 3.

32 ₁₆	34 ₁₆	2E ₁₆	33 ₁₆
------------------	------------------	------------------	------------------

Slika 3: Zapis števila 24.3 v formatu ASCII

Numerična vrednost, zapisana v formatu NR2, se vstavi v okvir, ki se nato pošlje pretvorniku. Primer okvirja za prenos podatkov prikazuje slika 4 [1].

Okvir sestavljajo naslednji podatki:

- K – merilni kanal (a,b,...,h),
- H – glava (vedno x),
- E – enota (vedno y),
- +/- – predznak,
- merilna vrednost v formatu NR2,
- CR, LF – konec bloka,
- 2 CRC zloga v primeru aktiviranega CRC preverjanja.

K	H	E	+/-	NR2	CR	LF	CRC _H	CRC _L
---	---	---	-----	-----	----	----	------------------	------------------

Slika 4: Okvir, v katerem je merilna vrednost

Okvirje posreduje merilni inštrument kot odgovor na ukaze. Obstaja več tipov ukazov (SA, Na..Nh, RS, ...), vendar se v našem primeru uporablja samo tip Na..Nh. S temi ukazi lahko preberemo merilne vrednosti kanalov od a do h (8 kanalov). Ti ukazi so zelo primerni za našo aplikacijo, saj omogočajo zajem merilnih vrednosti s poljubnega merilnega kanala.

Krmilnik in pretvornik delujeta neodvisno. Pretvornik samostojno zajema merilne vrednosti. Na zahtevo krmilnika mu jih posreduje. Pretvornik zajame merilno vrednost tako, da najprej pošlje merilnemu inštrumentu ukaz Nx, kjer »x« predstavlja ime kanala (a,b,...,h). Sledi odgovor merilnega inštrumenta z okvirjem za prenos podatkov. V polje NR2 se vpiše merilna vrednost izbranega kanala. Tako že z imenom ukaza merilnemu inštrumentu povemo, kateri merilni kanal nas zanima. Če je z merilnim kanalom kaj narobe, merilni inštrument odgovori z Fx.

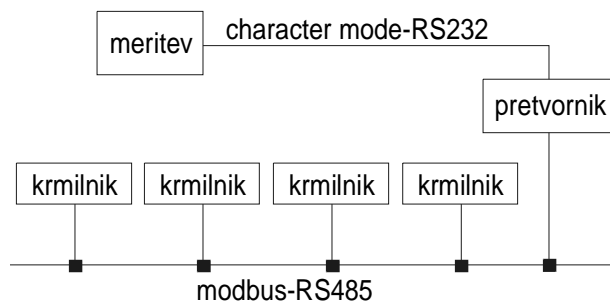
4.2. Industrijski krmilnik – pretvornik

Industrijski krmilnik, ki smo ga uporabili za realizacijo pretvornika, sodi v družino manjših industrijskih krmilnikov podjetja Modicon. Vsebuje 40 kB notranjega pomnilnika, ki je razširljiv do 168 kB. Vgrajena ima 2 vmesnika RS485. Število in vrsto vmesnikov je mogoče povečati z dodatno komunikacijsko kartico. Uporabili smo dodatno komunikacijsko kartico RS232, ki povezuje industrijski krmilnik z merilno opremo. Programsko

orodje, s katerim se industrijski krmilnik programira, se imenuje PL7. Le-to podpira štiri programske jezike:

- IL - Instruction List Language,
- ST - Structured Text Language,
- LD - Ladder Language in
- Grafcet.

Izmed naštetih je IL najnižje-nivojski programski jezik, s katerim je mogoče programirati industrijski krmilnik. Slaba lastnost tega programskega jezika je, da je zaradi skromnega nabora ukazov koda dolga in nepregledna. Njegova dobra lastnost pa je, da porabi zelo malo pomnilnika. Kljub temu, da je programski jezik za uporabnika zelo zahteven, smo se zaradi drugih prednosti, od katerih je bila za nas najpomembnejša manjša poraba pomnilnika, odločili za njegovo uporabo. Taka izbira nam zagotavlja večjo prenosljivost programske opreme tudi na industrijske krmilnike z manj pomnilnika. S tem smo želeli dopustiti možnost uporabe manjših, manj zmogljivih ter cenejših krmilnikov v prihodnje. Povezavo krmilnika in merilnega sistema prikazuje slika 5.



Slika 5: Povezava merilnega inštrumenta, pretvornika in krmilnikov

Povezava med pretvornikom in merilnim sistemom je realizirana s povezavo RS232 hitrosti 300 b/s. Večje hitrosti ni bilo mogoče vzpostaviti, saj je prihajalo do preveč napak pri prenosu podatkov. Nizka hitrost nas ne moti, saj ne prenašamo velikih količin podatkov. Za prenos smo uporabili protokol »Character mode« s formatom zapisa merilnih podatkov NR2.

Povezava med pretvornikom in drugimi krmilniki je dvožična, realizirana z vmesnikom RS485 in hitrostjo 19200 b/s. V našem primeru smo uporabili samo en krmilnik. Na tej povezavi se uporablja protokol Modbus [3], ki je v svetu industrijskih omrežij izredno pogost. Zaradi boljše izkoriščenosti prenosne poti smo za prenosni način izbrali RTU (Remote Terminal Unit) [4]. Protokol Modbus je tipa gospodar/suženj [3]. V našem primeru je pretvornik z merilnim sistemom suženj, krmilnik pa gospodar. Gospodar po potrebi povprašuje sužnja po merilnih podatkih. Podatki vključujejo merilne vrednosti ter dodatne sistemske informacije. Na enak način bodo do merilnih podatkov dostopali tudi drugi krmilniki, ki bodo

potrebovali merilne podatke iz pretvornika. Tako smo zagotovili, da lahko različni sistemi dostopajo do merilnih podatkov brez poznavanja tehnike merjenja.

4.3. Programske rešitve

Program za pretvornik se deli na štiri sklope. V prvem sklopu izberemo časovno bazo, sestavimo ukaz in ga pošljemo merilni opremi. Za časovno bazo uporabimo sistemsko uro. V našem primeru je časovna baza nastavljena na 1 s. To pomeni, da se bo vsako sekundo prebrala merilna vrednost iz naslednjega merilnega kanala. Branje vrednosti merilnega kanala se začne s pošiljanjem ukaza za branje. Ukaz se vstavi v funkcijo `Out_in_char (adr#0.1.SYS,1,%MB30:2,%MB0:16,%MW20:4)` [5]. Funkcija poskrbi, da se pripravljeno ukaz pošlje merilnemu sistemu, ter postavi vmesnik RS232 v funkcijo čakanja na odgovor. Dobljen odgovor se shrani v obliki ASCII kode in se zaključi z znakoma CR in LF.

V drugem programskem sklopu se preveri, če je na merilnem kanalu prišlo do napake. V tem primeru se v pomnilniški lokaciji postavi bit, ki predstavlja zaporedno številko merilnega kanala, na ena. V tretjem programskem sklopu se ASCII znaki prevedejo v desetiške številke. Dodatno se določi število decimalnih mest, ki se zapiše v spremenljivko N. Bistvo tega programskega dela je, da se ASCII znakom odšteje numerična vrednost 48_{10} . V zadnjem programskem sklopu desetiške številke ob upoštevanju spremenljivke N pretvorimo v realno število. Če je vrednost na merilnem kanalu negativna, se realno število pomnoži z »-1«. Tako dobljeno realno število se nato vpiše na pomnilniško lokacijo v pretvorniku.

Statusi o fizični povezavi med pretvornikom in merilno opremo se ravno tako zapišejo na pomnilniško lokacijo v pretvornik. Tako smo zapisali vse potrebne podatke o vrednostih na merilnih kanalih in razne statuse o povezavi v predvidene pomnilniške lokacije pretvornika.

4.4. Branje merilnih vrednosti

Branje podatkov iz pretvornika se lahko izvaja s pomočjo različnih krmilnikov. Edini zahtevi sta podpora protokolu Modbus in vmesnik RS485. V našem primeru smo uporabili večji industrijski krmilnik podjetja Modicon.

Branje iz pretvornika se izvaja asinhrono glede na branje podatkov iz merilne opreme. Podatki iz pretvornika se lahko berejo po potrebi ali pa periodično. Ravno tako lahko več različnih industrijskih krmilnikov dostopa do podatkov v pretvorniku. Tudi pri tej komunikaciji se najprej pošlje povpraševanje, kateremu sledi odgovor [4]. V našem primeru smo uporabili za branje iz pretvornika funkcijo `Read_var` [5]. Oblika funkcije, ki smo jo uporabili, je `Read_var (adr#0.1.25, '%mw', 100, 17, %mw20:17, %mw20:17, %mw40:4)`. Funkcija nam od sužnja z naslovom 25 pridobi merilne podatke, ki so shranjeni na

pomnilniških lokacijah v pretvorniku. Prebrane merilne vrednosti se vpišejo na pomnilniške lokacije v krmilniku, ki se lahko dalje uporabljajo v procesih.

5. Zaključek

Z opisanim merilnim sistemom in uporabo pretvornika smo dosegli, da je napaka, ki nastane pri meritvi, odvisna samo od postopka meritve. Izločili smo vpliv digitalno-analogne pretvorbe v merilnem inštrumentu, analognega prenosa podatkov ter analogno-digitalne pretvorbe v krmilniku. Merilna oprema in pretvornik delujeta kot samostojna enota, ki ima v industrijskem omrežju vlogo sužnja. Dostop do merilnih podatkov posameznega pretvornika je možen z večjega števila krmilnikov z uporabo naslova sužnja in pomnilniške lokacije merjene vrednosti. Sistem ni odvisen od lastnega razvoja opreme, saj smo za pretvornik uporabili industrijski krmilnik, ki se lahko uporabi tudi za vrsto drugih opravil. Razvita programska oprema pretvornika je prenosljiva na novejšo generacijo industrijskih krmilnikov. S predlagano rešitvijo smo zadostili vsem zahtevam naročnika. Opisana rešitev se sedaj uspešno uporablja na hidroelektrarni.

Pri naši rešitvi se do merilnih podatkov na pretvorniku dostopa po protokolu Modbus. Ta je v industriji precej razširjen in ga podpira vrsta različnih industrijskih krmilnikov. Kljub temu bi bilo zanimivo izdelati pretvornik, ki bi podpiral tudi druge znane protokole, kot so ProfiBus, InterBus, CanOpen, ipd. Dodatno bi se predstavljena rešitev lahko dopolnila s podporo različnim fizičnim vmesnikom, kot so: RS485, RS232, Ethernet, ipd. Pretvornik z omenjeno funkcionalnostjo bi bil zagotovo zanimiv tudi za industrijsko uporabo.

Literatura

- [1] Rittmeyer, Verarbeitungseinheit mit Bedienung (RICALC), Kurzzeichen: LWVEB, 1997.
- [2] Modbus.org, Modbus over Serial Line, Specification & Implementation guide V1.0, <http://www.modbus.org/>, 2002.
- [3] Modbus.org, Modbus messaging on TCP/IP, Implementation Guide, Rev 1.0, 2002.
- [4] Modicon, Modbus Protocol, Reference Guide, PI-MBUS-300 Rev. J, 1996.
- [5] Modicon, PL7 Communication applications, Part I, Section 2, Section 5.