

Avtomatizacija stroja za kalibriranje sile z utežmi

Tine Šubic¹, Miha Hiti², Gaber Begeš¹

¹Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška 25, 1000 Ljubljana

²Laboratorij za metrologijo, Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG), Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana

E-pošta: tine.subic@ijs.si

Automation of a dead-weight force calibration machine

The aim of the project was to develop a comprehensive software solution for manual and automatic control of force calibration device at Laboratory for metrology ZAG. The original machine had been modified and modernized by ZAG and is capable of loading the force measuring device up to 20 kN. The machine's frequency controller software and its hardware interface were customized by us to allow precise positioning and automation guided by the computer. We used a special firmware, along with modified serial bus protocol for computer communication.

We present the developed software, its capabilities and limitations as well as the script system implemented for declaring command sequences that allow execution of complex or long-running tests. Results of full load and unload stepping test are shown, to provide an example of possible test and its uniform repeatability.

1 Uvod

Namen projekta je bil razviti programski vmesnik za pol-avtomatsko in avtomatsko krmiljenje kalibracijskega stroja za neposredno obremenjevanje z utežmi. Kalibracijske meritve s strojem so se do sedaj izvajale zgolj z ročnim odčitavanjem in premikanjem stroja preko fizičnega krmilnega vmesnika. Naš cilj je bil razviti enovit sistem za avtomatsko premikanje stroja in odčitavanje meritev na podlagi vnaprej definiranih zaporedij ukazov, ki bi odstranili potrebo po človekovem posredovanju. Na ta način bi lahko Zavod za gradbeništvo (ZAG) v prihodnosti izvajal kompleksnejše in daljše kalibracijske postopke, hkrati pa bi bili ti bolj ponovljivi.

Tekom projekta smo pripravili uporabniku prijazen grafični vmesnik, ki omogoča zajem podatkov z merilnika, nadzor nad parametri stroja (hitrost gibanja, ločljivost), interaktivno krmiljenje in avtomatizacijo preko preprostega sistema skript za definicijo zaporedij ukazov.

2 Kalibracijski stroj z neposrednim obremenjevanjem

Za obremenjevanje merilnikov smo uporabili kalibracijski stroj z neposrednim obremenjevanjem za sile do 20 kN, (slika 1) ki ga je ZAG [4] pridobil pred časom in

moderniziral za svoje potrebe [3]. Stroj v trenutni konfiguraciji omogoča obremenjevanje merilnika napetostnega razmerja v natezni in tlačni smeri od 250 N do 20 kN. V tem območju je na voljo 18 korakov s kombinacijami uteži 250 N, 500 N, 1000 N in 2000 N. Stroj za doseg popolne obremenitve 20 kN potrebuje 245 mm premika.

Pomik uteži stroja poganja električni motor z reduktorjem, ki ga krmili frekvenčni krmilnik. V prvotnem načinu delovanja je stroj podpiral zgolj krmiljenje hitrosti in pozicije preko nadzornega vmesnika s fizičnimi gumbi.

2.1 Komunikacijski vmesnik

Za komunikacijo z računalnikom smo uporabili vmesnik RS485 (slika 2) z USB pretvornikom, ki je vgrajen na frekvenčni krmilnik. Preko tega vhoda smo komunicirali s strojno-programskim paketom POZPRO podjetja PS Logatec d.o.o. Naloženi programski paket ponuja ročno in avtomatsko pozicioniranje stroja na podlagi gumbov in poslanih ukazov.

Izbrali smo način upravljanja s 16-bitnimi ukazi, ki uporablja Modbus RTU [2] protokol za prenos podatkov. V tem načinu lahko parametrimo poljuben register na krmilniku preko štiri- ali pet-mestnega naslova in 16-bitne vrednosti. Ta model komuniciranja je primarno namenjen PLC krmilnikom, a ga lahko z uporabo ustreznih programskih knjižnic enostavno emuliramo na osebem računalniku. Pred uporabo smo vrednosti registrov testirali s pomočjo programa CTSOft [7] (slika 3), ki sicer omogoča nadzor nad vsebino registrov, spremljanje stanja in razhroščevanje delovanja frekvenčnega krmilnika.

Za krmiljenje samodejnega pozicioniranja smo potrebovali 7 registrov, opisanih v tabeli 2.1.

Table 1: Uporabljeni registri in njihova vsebina.

Naslov	Vsebina registra
M20.21	Resolucija v številu enot/vrtljaj motorja
M20.31	Ukazni biti za proženje premikov
M20.32	Želena pozicija motorja
M20.33	Hitrost v enotah/sekundo
M20.34	Informacije o stanju in napakah
M20.35	Trenutna pozicija naprave
M20.35	Napaka regulatorja

Pri nastavljanju zelene pozicije stroja preko protokola



Figure 1: Stroj z neposrednim obremenjevanjem na uteži za sile do 20 kN.

Pin 1	TXD-
Pin 2	TXD+
Pin 3	RTS-
Pin 4	RTS+
Pin 5	GND
Pin 6	RXD-
Pin 7	RXD+
Pin 8	CTS
Pin 9	CTS+

RS422/485 Pinout (9 Pin)

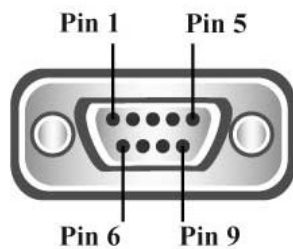


Figure 2: Ožičenje vmesnika RS485.

Modbus pa smo naleteli tudi na omejitve samega protokola, ki temelji na 16-bitnih podatkovnih paketih. Če želimo stroj premakniti za več kot 32768 enot (2^{15} , prvi bit je uporabljen za predznak smeri) z enim samim ukazom, dosežemo preliv števila in nepredvideno obnašanje stroja.

Ker želimo s strojem upravljati neomejeno in ker je

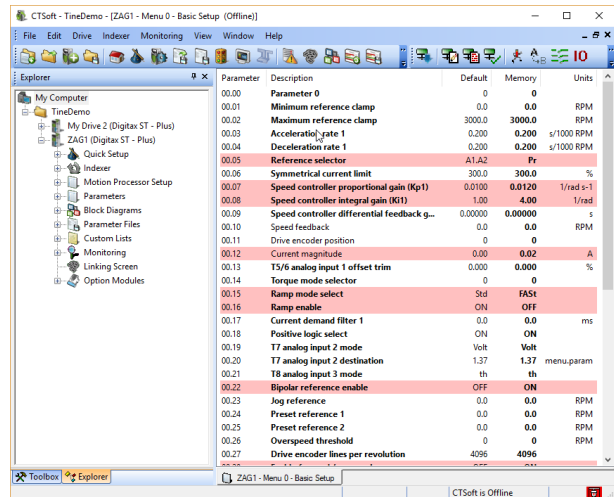


Figure 3: Program CTSft za pregled in konfiguracijo frekvenčnega krmilnika.

del standardnega kalibracijskega testa tudi polna obremenitev in razbremenitev, kjer bo stroj izvedel cel pomik za 245 mm naenkrat, smo take pomike programsko razdelili na zaporedje krajših premikov, kar nam zagotovi predvidljivo in pravilno delovanje pri poljubno dolgih premikih.

3 Merilni inštrument

Za zajem meritev napetosti na kalibriranem merilniku smo uporabili merilni inštrument DMP41 [5]. Nanj priključimo merilnik sile ki ga želimo kalibrirati, zajem podatkov pa opravljamo preko serijskega vhoda na osebni računalnik. Ker naprava podpira standardni nabor SCPI [6] ukazov, lahko napravo vnaprej programsko konfiguriramo z ustreznimi vzorčnimi frekvencami in filtri.



Figure 4: Merilni inštrument DMP41 za zajem vrednosti.

4 Razvoj grafičnega vmesnika za krmiljenje

Grafični uporabniški vmesnik smo razvili s programskim jezikom C# v okolju Microsoft Visual Studio [1]. Za grafične elemente smo uporabili vgrajeni programski paket WindowsForms, za komunikacijo z napravami pa knjižnico

EasyModbus RTU, ki omogoča emulacijo protokola Modbus CT-RTU za pisanje in branje registrov frekvenčnega krmilnika.

Razviti vmesnik omogoča ločeni serijski povezavi s frekvenčnim krmilnikom in merilnim instrumentom DMP41 (slika 5). Na ta način lahko poleg krmiljenja stroja izvajamo tudi odčitavanje podatkov pri različnih obremenitvah in hitrosti gibanja. Poleg tega se meritve med izvajanjem zapisujejo v datoteko za kasnejšo obdelavo.

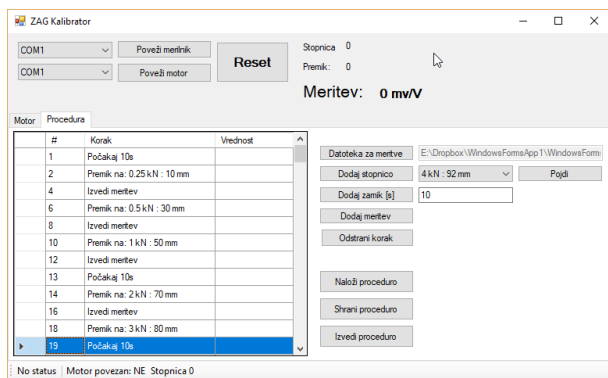


Figure 5: Grafični vmesnik za krmiljenje motorja in izvajanje merilnih postopkov.

4.1 Osnovno krmiljenje

Najprej smo podprli osnovno parametriranje stroja in ročno premikanje. Preko gumbov v uporabniškem vmesniku lahko opravljamo naslednje operacije:

1. Reset, ki ustavi stroj med gibanjem.
2. Nastavitev resolucije motorja, ki definira število enot enkoderja na eno rotacijo motorja.
3. Nastavitev hitrosti motorja, ki definira za koliko enot se motor zasuka v 1 sekundi.
4. Izvedba premika stroja v milimetrih ali enotah (Eksperimentalno določeno: $\frac{3.78}{1000} \frac{mm}{enot}$).
5. Ročni ukaz za premik stroja navzgor ali navzdol do ustavitve ali limitnega stikala.

4.2 Postopkovno krmiljenje

Ker kalibracijski postopki pogosto potrebujejo večje število ponovitev stopenj obremenitve in lahko trajajo dolgo časa, smo v okviru projekta želeli implementirati možnost, da uporabnik vnaprej definira zaporedje ukazov, ki jih bo stroj izvedel brez posredovanja človeka. Najprej smo definirali preprost sistem skriptnih ukazov, ki sprožijo eno od treh operacij:

1. Čakaj ustrezno število sekund.
2. Izvedi meritev.
3. Premakni se na ustrezno stopnjo obremenitve.

Z vnaprej definiranim zaporedjem ukazov lahko uporabnik avtomatizira postopek obremenjevanja in razbremenjevanja, program pa sam poskrbi za natančno izvedbo. Zaporedje ukazov lahko sestavimo preko uporabniškega vmesnika ali napišemo kot besedilno datoteko, ki jo naložimo v program pred izvajanjem. Primer takega zaporedja ukazov, naloženega v naš program je viden na sliki (6).

#	Korak	Vrednost
2	Premik na: 0.25 kN : 10 mm	
4	Izvedi meritev	
5	Počakaj 10s	
6	Premik na: 0.5 kN : 30 mm	
7	Počakaj 10s	
8	Izvedi meritev	
10	Premik na: 1 kN : 50 mm	
11	Počakaj 10s	
12	Izvedi meritev	
14	Premik na: 2 kN : 70 mm	
15	Počakaj 10s	
18	Premik na: 3 kN : 80 mm	

Figure 6: Primer zaporedja ukazov za merilni postopek

5 Meritve

5.1 Osnovni test

Za testiranje smo pripravili zaporedje ukazov, s katerimi program krmili stroj skozi polno obremenitev in razbremenitev povezanega merilnika sile. Na sliki (7) je prikazan graf obremenjevanja do 20 kN in sledečega razbremenjevanja do 0 kN. Uporabili smo hitrost 400 enot/sekundo pri resoluciji 50 enot/obrat, s katero traja izvedba testa 20 minut. Postopek je tudi enostavno ponovljiv, saj lahko zaporedje ukazov izvedemo poljubno mnogokrat.

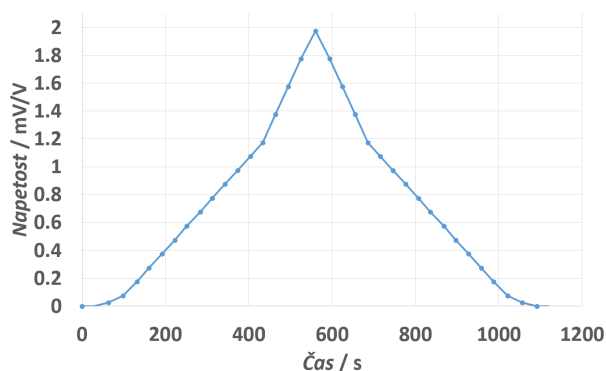


Figure 7: Graf izvedenih meritev ob stopničastem obremenjevanju in razbremenjevanju vseh 18 stopenj.

Na sliki (8) je prikazana razlika signala merilnika sile med razbremenjevanjem in obremenjevanjem, za vsako od posameznih stopenj obremenitve. Posebej izstopa razlika pri obremenitvi 16 kN, ki je najverjetneje posledica neustaljene vrednosti ob meritvah, saj smo zaradi časovne omejenosti v pričujočih testih uporabljali časovne zamike 10 - 15 sekund.

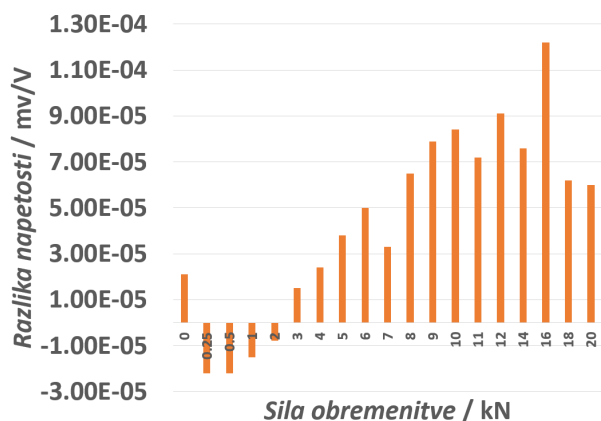


Figure 8: Prikaz razlike v signalu med obremenjevanjem in razbremenjevanjem na posamezni obremenitveni stopnici.

5.2 Test delne obremenitve

Pripravili smo tudi test, v katerem smo stroj obremenili do maksimalne obremenitve, ga razbremenili do polovice (10 kN) in nato ponovno obremenili do 20 kN (Slika 9). Tak tip testa je bil do sedaj težje izvedljiv za večje število ponovitev, saj zahteva dolgotrajno pozornost človeka. Slika 10 prikazuje razlike v izmerjenih signalih merilnika pri dveh ponovitvah testa. Kot že na sliki 8, opazimo visoko vrednost razlike pri obremenitvi 16 kN, kar nakazuje potencialne težave pri referenčnem pozicioniranju na tej stopnji, saj je utež verjetno v stiku z drugimi utežmi.

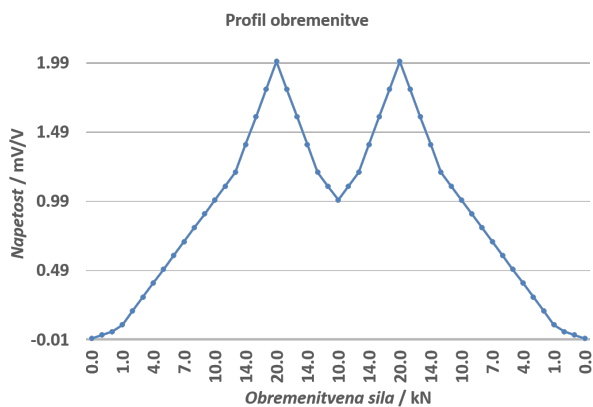


Figure 9: Meritve napetosti za test z vmesno polovično obremenitvijo.

S programom in vmesnikom za generiranje ukazov, ki smo ga razvili, lahko stroj enostavno umerimo na nove vrednosti in postopek merjenja ponovimo, saj nam avtomatizacija sistema daje možnost, da izločimo vpliv človeškega faktorja na kompleksne postopke premikov stroja in meritev.

6 Zaključek

V sklopu projekta smo razvili celovito programsko rešitev za ročno in avtomatsko krmiljenje kalibracijskega stroja. Program omogoča zajem podatkov za kasnejšo analizo in definiranje zaporedij ukazov, ki zagotavljajo ponovljivost testa brez posredovanja človeka. Nova funkcionalnost

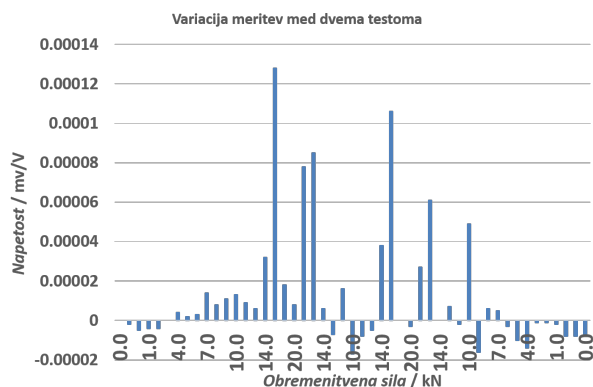


Figure 10: Razlike v napetosti med dvema posameznima testoma.

stroja tako ponuja dodatne možnosti za testiranje merilnikov sile z daljšimi in kompleksnejšimi testi.

Možne so še nadaljnje nadgradnje, saj krmilnik motorja omogoča nadzor nad velikim številom parametrov. V kombinaciji z obstoječim senzorjem, ki zaznava stik med utežmi stroja, bi lahko programu omogočili samodejno kalibracijo optimalnih premikov za posamezno stopnjo obremenitve, kar bi odstranilo potrebo po zanašanju na vnaprej definirane vrednosti položaja stroja pri posamezni stopnji. Poleg tega bi program lahko omogočal nadzor nad rampo pospeševanja in zaviranja, saj je v tem trenutku to mogoče izvesti le preko krmilne plošče na frekvenčnem krmilniku.

References

- [1] Visual Studio IDE [Online]. Dosegljivo: <https://visualstudio.microsoft.com/>. [Dostopano: 10.1.2019].
- [2] Protokol MODBUS CT-RTU [Online]. Dosegljivo: <https://www.rtaautomation.com/technologies/modbus-rtu/>. [Dostopano: 10.1.2019].
- [3] M. Hiti, "Razvoj etalonskih strojev za kalibriranje meril sile," ERK 2017, Portorož, 2017.
- [4] Zavod za gradbeništvo [Online]. Dosegljivo: <http://www.zag.si/si/>. [Dostopano: 10.1.2019].
- [5] Merilni inštrument DMP41 [Online]. Dosegljivo: <https://www.hbm.com/en/3971/dmp41-highest-precision-measuring-instrument/>. [Dostopano: 10.1.2019].
- [6] Referenca SCPI ukazov [Online]. Dosegljivo: https://www.rohde-schwarz.com/pk/driver-pages/remote-control/remote-programming-environments_231250.html. [Dostopano: 10.1.2019].
- [7] Program CTSOFT [Online]. Dosegljivo: <http://acim.nidec.com/en-us/drives/control-techniques/products/software/commissioning/ctsoft>. [Dostopano: 10.1.2019].