

Merenje snage i energije vetra anemometrom bez pokretnih delova

Boris Ličina, Bojan Vujičić, Platon Sovilj, Vladimir Vujičić

Apstrakt — U radu se analizira merenje snage i energije vetra anemometrom sa nepokretnim ramovima. Razmatraju se dva scenarija – merenje standardnom sampling metodom (SSM) i merenje dvobitnom stohastičkom digitalnom mernom metodom (SDMM). Novina je softversko diterovanje izlaza iz anemometra.

Ključne reči — snaga vetra; energija vetra; dvobitna SDMM; anemometer sa nepokretnim ramovima.

I. UVOD

U radu [1] je pokazano kako se anemometrom sa šoljicama može vrlo tačno meriti energija vetra. Ta činjenica je posebno bitna u istraživanju izdašnosti lokacija za vetro-parkove. Merenje prosečnog smera vetra je daleko jednostavniji problem – prosto se standardni vetrokaz mehanički spregne sa apsolutnim enkoderom [2] u cilju merenja ugla i direktno se dobija digitalna informacija o trenutnom smeru vetra, a usrednjavanjem tih informacija se dobija glavna – prosečan smer vetra. Otežavajuća okolnost je primena oba senzora, i anemometra sa šoljicama i vetrokaza, što su im najvažniji delovi pokretni pa u teškim vremenskim uslovima drastično opada njihova upotrebljivost.

Kao jedno od mogućih rešenja da se navedena otežavajuća okolnost prevaziđe je projektovan i realizovan senzor za istovremeno merenje brzine i smera vetra – anemometer sa nepokretnim ramovima [3]. Tema ovog rada je primena anemometra sa nepokretnim ramovima u merenju energije i prosečnog smera vetra na potencijalnim lokacijama za izgradnju vetroparkova.

II. POSTAVKA PROBLEMA

Konstatujemo, najpre, da je u [1] opisano vrlo tačno merenje energije vetra primenom dvobitne SDMM. Konstatujemo, dalje, da je u [4] pokazano kako se dvobitnom SDMM može tačno meriti i u prisustvu značajnih nelinearnosti primenjenog senzora.

Boris Ličina – Univerzitet Privredna Akademija Novi Sad, Fakultet za primenjeni menadžment, ekonomiju i finansije, Jevrejska 24/1, 11000 Beograd (e-mail: boris.licina@yahoo.com).

Bojan Vujičić – Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: bojanvuj@uns.ac.rs).

Platon Sovilj – Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: platon@uns.ac.rs).

Vladimir Vujičić – Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: vujiciv@uns.ac.rs).

Konstatujemo još da je izlaz iz anemometra sa nepokretnim ramovima digitalan (zapravo ima dva digitalna izlaza – jedan je brzina vetra, a drugi smer vetra), Sl. 1. i da su date dve kalibracione nelinearne krive [3], Sl. 2. i Sl. 3.

Problem koji se rešava je:

- Izmeriti tačno, u dugom vremenskom intervalu, energiju vetra na datoj lokaciji uzimajući u obzir nelinearnost anemometra sa nepokretnim ramovima. Problem je ekvivalentan sa merenjem srednje snage vetra u istom vremenskom intervalu.
- Izmeriti tačno srednji smer vetra u istom vremenskom intervalu kao pod a).

III. PREDLOG REŠENJA

Činjenica da senzor daje dva digitalna izlaza prirodno nameće primenu dvobitne SDMM gde se hardversko analogno diterovanje zamenjuje softverskim diterovanjem [5], a dalja obrada je, principijelno, ista kao u [1] i u [4]. Šta više, s obzirom da je softversko diterovanje drastično jednostavnije od hardverskog i, uz to, i adaptibilno, moguće je primeniti i optimalnu rezoluciju od 3 bita [6] i time, uz minimalno komplikovanje obrade, dobiti efektivno ubrzanje od 9 puta postojeće tehnologije merenja. Pri tome se ne narušava tačnost merenja koja je definisana kalibracionim krivama. Rad [4] pokazuje kako se koristi dvobitna SDMM u merenju nelinearnim senzorom. Osnova je imati na raspolaganju ili:

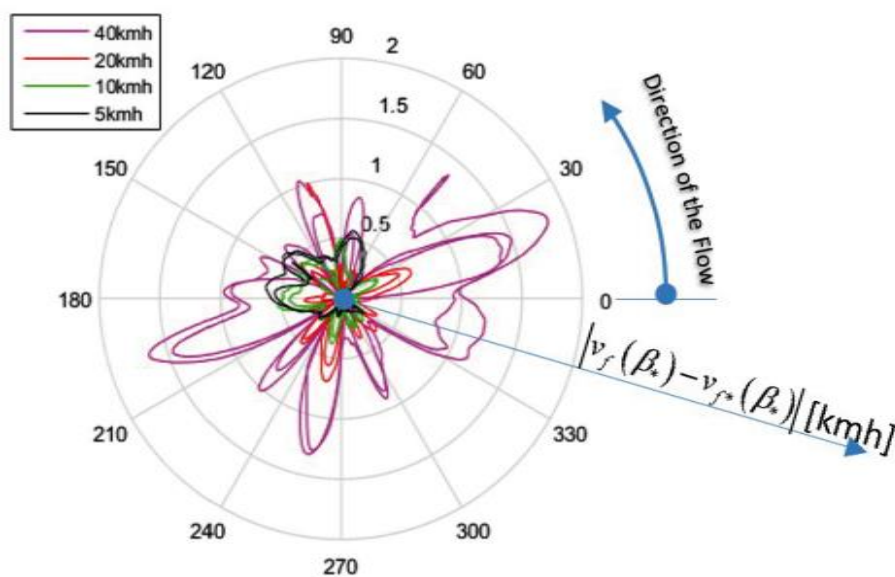
- inverzni kalibracioni polinom [4] ili
- dijagram greške odgovarajuće merne veličine [7]

U [7] je pokazano kako se mogu meriti dve uzajamno spregnute veličine – prenosni odnos i fazna greška (ugao). U našem slučaju ovde, uzajamno spregnute veličine su: jačina (amplituda) vetra i smer (ugao) vetra. Novi princip nelinearne regresije, razvijen u [7], omogućuje korišćenje izlaza iz nelinearnog senzora, strujnog mernog transformatora (SMT) u [7], odnosno anemometra sa ramovima u ovom slučaju, do granice tačnosti kalibracionog sistema kojim su dobijene krive na Sl. 2. i Sl. 3. bez ikakve potrebe za linearizacijom senzora.

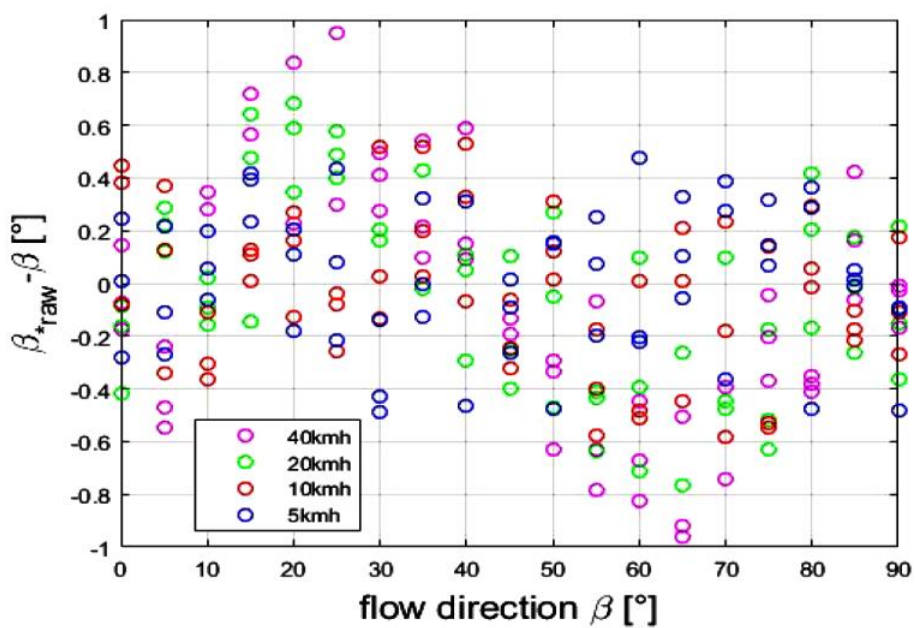
Sa druge strane, digitalni izlazi anemometra sa ramovima omogućuju i direktnu obradu primenom SSM i dobijanje traženih veličina – energije i srednjeg smera vetra. Problem koji se, generalno, tu javlja je elaboriran u [8] a koji se svodi na ogromno uvećanje greške usled integralne nelinearnosti primenjenog ADC u senzoru. Taj problem je, kako je pokazano, za bar dva reda veličine manji u slučaju primene dvobitne SDMM. Stoga je, bez sumnje, potrebno i ovde primeniti softverski diterovanu dvobitni SDMM, a ne direktno SSM.



Sl. 1. Fotografija evolucije anemometra sa ramovima [3].



Sl. 2. Kalibraciona kriva brzine vetra [3].

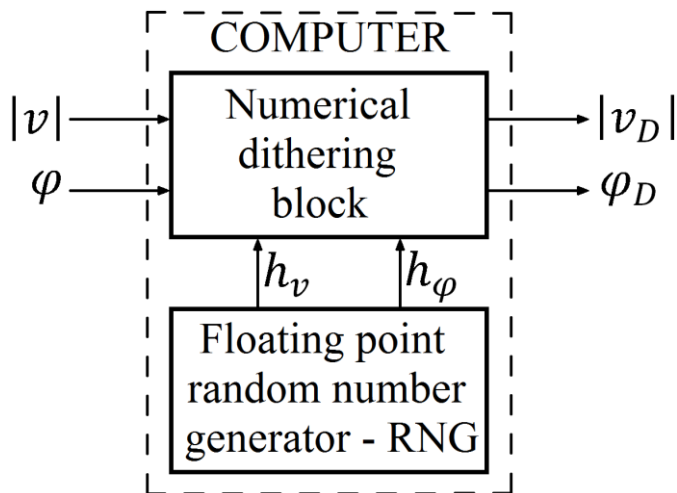


Sl. 3. Kalibraciona kriva smeru vetra [3].

Senzor bez pokretnih delova korišćen u [3] na svom izlazu daje dva digitalna podatka u floating point reprezentaciji:

- intenzitet (brzinu) vetra $|v|$ i
- smer duvanja vetra φ

Kompletna obrada pomoću dvobitne SDMM obavlja se u mikroracunaru (Beaglebone, Raspberry), a njena opšta šema prikazana je na Sl. 4.

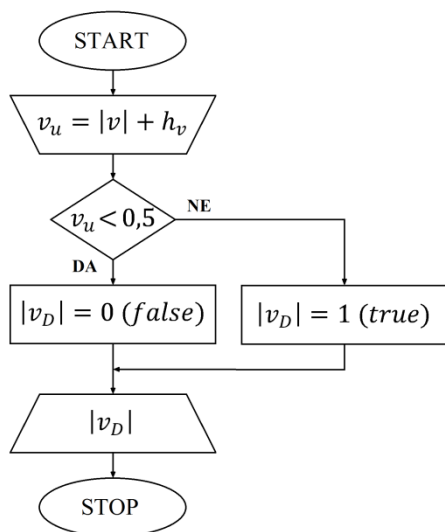


Sl. 4. Opšta šema numeričkog diterovanja

Sl. 5. prikazuje algoritam računanja jednobitnog diterovanog intenziteta (brzine) vetra $|v_D|$, gde se na ulazni signal brzine vetra $|v|$, dobijen sa senzora bez pokretnih delova, superponira deterski signal h_v , tj: $v_u = |v| + h_v$, pri čemu je:

$$|v| \leq V_{FS} \quad (1)$$

$$|h_v| \leq \frac{V_{FS}}{2} \quad (2)$$

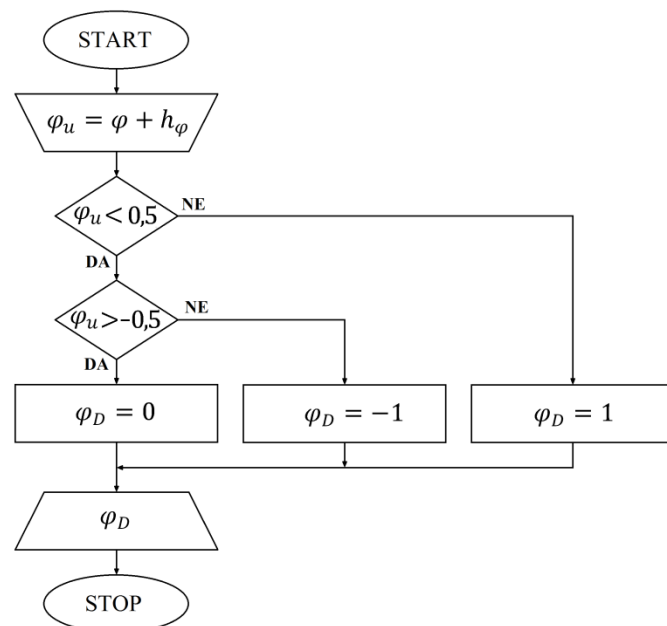


Sl. 5. Jednobitni diterovani intenzitet vetra $|v|$

Sl. 6. prikazuje algoritam računanja dvobitnog diterovanog smera duvanja (ugla) vetra φ_D , gde se na ulazni signal smera duvanja (ugla) vetra φ , takođe dobijenog sa senzora bez pokretnih delova, superponira deterski signal h_φ , tj: $\varphi_u = \varphi + h_\varphi$, pri čemu je:

$$|\varphi| \leq \pi \quad (3)$$

$$|h_\varphi| \leq \frac{\pi}{2} \quad (4)$$



Sl. 6. Dvobitni diterovani smer duvanja (ugao) vetra φ_D

Napomenimo još da je postupak softverskog diterovanja prikazan samo za mantise ulaznih podataka. Operacije nad eksponentima nisu prikazane jer su mnogo jednostavnije i, u osnovi, definisane relacijama (1) i (2), odnosno (3) i (4), respektivno.

IV. DISKUSIJA

U radu [8] je pokazano da nelinearnost dvobitnog stohastičkog adicionog AD konvertora (SAADK), ukoliko se koristi DAC AD5791, praktično, na dugom vremenskom intervalu (recimo jedan dan) pravi grešku reda ppm, a greška obrade praktično iščezava [4]. Ukoliko se, pak, koristi SSM i ADC (recimo 16-bini ADC LTC1605 koji je obrađen u [8]) čija je integralna nelinearnost reda 16 ppm, što je korektna ocena, onda je srednja vrednost kuba izlaza iz ADC-a:

$$(A + \delta A)^3 = A^3 + 3A^2(\delta A) + 3A(\delta A)^2 + (\delta A)^3 \quad (5)$$

gde je sa A označen moduo brzine, a sa δA integralna nelinearnost primenjenog AD konvertora.

U prvoj aproksimaciji srednja vrednost kuba izlaza iz ADC-a iznosi:

$$3 \cdot \frac{(\delta A)}{A} = 3 \cdot 16 \text{ ppm} = 48 \text{ ppm} \quad (6)$$

dakle, ona je za gotovo dva reda veličine veća od one dobijene pomoću dvobitnog SAADK koji ima ofset analognog sabirača od 1/5000 FS (1 mV, na 5 V). Ako kao ofset analognog sabirača prihvatimo vrednost δA , vrednost unutar LSB datog AD konvertora, kako je to pokazano u [4], tada je njegova vrednost još manja i iznosi $1/2^{16} = 1/64000$.

U zavisnosti od metode primenjene u konstrukciji ACD u SSM metodi, može se značajno smanjiti uticaj integralne nelinearnosti, ako se koristi samo MSB u dvobitnoj softverski diterovanoj SDMM u ovom slučaju. Ili MSB i prvi sledeći niži bit u slučaju trobitne softverski diterovane SDMM što je, dokazano je u [6], optimalna rezolucija u primeni SDMM. Naime, u slučaju da je, na primer, primenjena metoda sukcesivnih aproksimacija u konkretnom ADC-u na integralnu nelinearnost ne utiču svi otpornici u R-2R mreži, nego samo prva dva ili četiri respektivno, pa je integralna nelinearnost daleko manja.

V. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da koncept softverskog diterovanja izlaza iz anemometra sa nepokretnim ramovima nudi mogućnost znatno tačnijeg merenja energije ali i srednjeg smera vetra. U navedenoj literaturi je definisana i eksperimentalno proverena ideja merenja nelinearnim senzorom, kako sa jednim, tako i sa dva izlaza. U našem slučaju jedan izlaz predstavlja intenzitet (brzinu) vetra $|v|$, a drugi izlaz predstavlja smer (ugao) duvanja vetra φ .

Stoga velike nelinearnosti, vidljive sa kalibracionih dijagrama na Sl. 2. i Sl. 3. praktično nemaju uticaj na tačnost merenja energije odnosno srednjeg smera duvanja vetra - nih, pre svega, određuje tačnost primenjene kalibracione opreme i postupka. Kako je pokazano u radu [3] prilikom kalibrisanja anemometra sa nepokretnim ramovima korišćena je oprema najvišeg ranga – aerodinamički tunel.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja kroz institucionalno finansiranje naučno-istraživačkog rada na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu.

LITERATURA

- [1] Vujčić, V., Ličina, B., Pejić, D., Sovilj, P. and Aleksandar, R., "Stochastic Measurement of Wind Power Using a Two-Bit A/D Converter", Elsevier Measurement, Volume 152, February 2020, 107184, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107184>
- [2] Howard Austerlitz, Data Acquisition Techniques Using PCs, Book, Second Edition, 2003, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-068377-2.X5000-1>, ISBN: 978-0-12-068377-2
- [3] L. Pugi et al., "Integrated Design and Testing of an Anemometer for Autonomous Sail Drones", J. Dyn. Sys. Meas. Control, vol. 140, no. 5, pp. 1–10, May.
- [4] Platon Sovilj, Bojan Vujčić, Dragan Pejić, Aleksandar Radonjić, Vladimir Vujčić: "Stochastic Two-bit On-line Temperature Measurement with RTD Pt-100 Sensor Operating in a Nonlinear Mode", 24th IMEKO TC4 International Symposium, 22nd International Workshop on ADC and DAC Modelling and Testing, IMEKO TC-4 2020, Palermo, Italy, September 14-16, 2020
- [5] Vujčić V., Milovancev S., Pesaljević M., Pejić D., Zupunski I.: "Low frequency stochastic true RMS instrument", CPEM Digest (Conference on Precision Electromagnetic Measurements, Cat.No.98CH36254), 6-10 July 1998, Washington, DC, USA, DOI: 10.1109/CPEM.1998.699956
- [6] Doktorska disertacija: Prilog optimizaciji performansi digitalnih merenja, Marjan Urekar – 2018, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu
- [7] Attila Juhász, Vladimir Vujčić: "Contribution to Experimental Investigation of Fitting the Current Transformers' Calibration Curves", Journal on Processing and Energy in Agriculture, Bibliid: 1821-4487 (2020) 24; 3-4, p 123-128, UDK: 621.314, DOI: 10.5937/jpea24-30719
- [8] Doktorska disertacija: Metoda merenja snage i energije vetra zasnovana na merenju na intervalu, Boris Ličina – 2020, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

ABSTRACT

The paper analyzes the measurement of wind power and energy with an anemometer with fixed frames. Two scenarios are considered - measurement by standard sampling method (SSM) and measurement by two-bit stochastic digital measurement method (SDMM). A novelty is the software dithering of the anemometer output.

Measurement of wind power and energy with an anemometer without moving parts

Boris Ličina, Bojan Vujčić, Platon Sovilj, Vladimir Vujčić