

Tehničko rešenje: Industrijski prototip - moduo sa 20 paralelnih dvobitnih FADC na jednoj štampanoj ploči

Rukovodilac projekta: Vladimir Vujičić

Odgovorno lice: Vladimir Vujičić

Autori: Nebojša Pjevalica, Velibor Pjevalica, Dragan Pejić, Ivan Župunski, Vladimir Vujičić, Marjan Urekar, Platon Sovilj, Zoran Mitrović, Slobodan Milovančev, Bojan Vujičić, Božidar Vujičić

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja TR-32019

Godina: 2012.

Primena: 18.06.2011.

Kratak opis rešenja

Oblast na koju se ovaj industrijski prototip odnosi je elektrotehnika i računarstvo. Ovaj prototip omogućava da se, sa njegovim proširenjem, rešava problem redundantnog merenja tokova električne snage i energije u elektrodistributivnoj mreži. Autorima nije poznato slično rešenje u svetu.

Ovaj industrijski prototip omogućuje da se sa dovoljnom pouzdanošću i preciznošću prepoznaje prijemnike definisanih nazivnih snaga i potom omogućuje određivanje tačaka u kojima se odvijaju stohastički procesi njihovog uključenja – isključenja.

Dati su opis i model prototipa, kao i podaci o nameni, verifikaciji i primeni. Ovaj prototip je dalje primenjen u industrijskim prototipovima dvostrukog trofaznog analizatora snage – oznaka tipa MM2 i četverostrukog trofaznog analizatora snage – oznaka tipa MM4.

Realizatori:

Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu;

Korisnici:

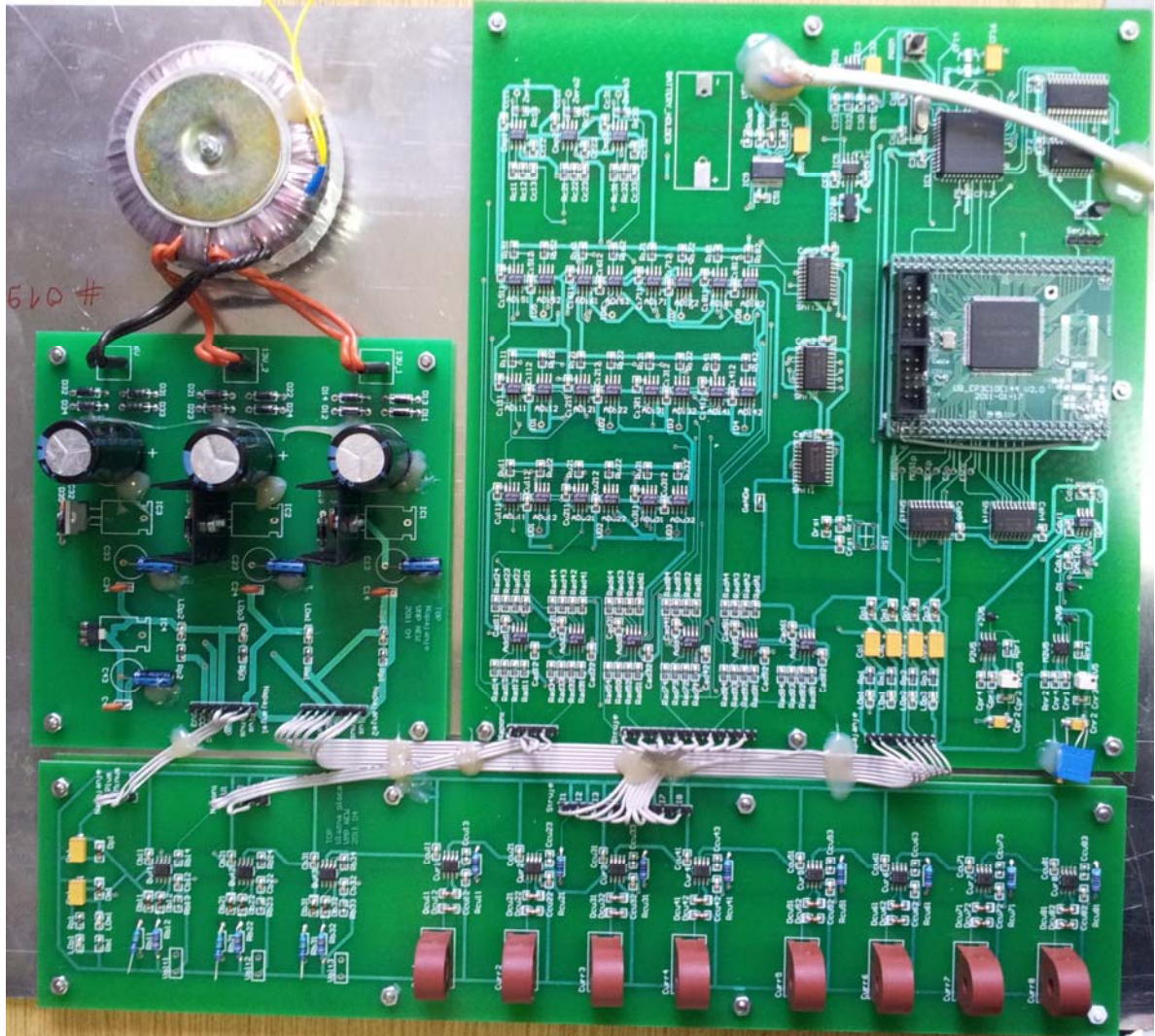
„Elektrovojvodina“ d.o.o. Novi Sad; Nigal d.o.o. Petrovaradin; Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu;

Podtip rešenja:

Industrijski prototip (M 82)

OPIS PROTOTIPA

Kompletno rešenje elektronskog dvostrukog trofaznog analizatora snage sa dodatim funkcijama merenja kvaliteta električne energije, realizovano na jednoj štampanoj ploči, dato je na slici 1.



Slika 1. Kompletno rešenje elektronskog dvostrukog trofaznog analizatora snage sa dodatim funkcijama merenja kvaliteta električne energije, realizovano na jednoj štampanoj ploči.

Moduli štampane ploče su:

- modul za napajanje elektronskih kola prototipa,
- modula za kondicioniranje ulaznih signala,
- modul analognih funkcija prototipa i
- modul digitalnih funkcija prototipa.

Prototip omogućuje da se mere i registruju stanja na 2 (dva) trofazna NN izvoda iz distributivnih stanica (DTS-a).

Prototip omogućuje da se mere i registruju vrednosti faznih napona, vrednosti struja pojedinih faza i u nultom vodu, aktivne snage po fazama, frekvencija i temperatura DTS-e.

Prototip omogućuje da se za svaki NN izvod iz DTS-e iz snimljenih podataka izračunavaju:

- Reaktivne i prividne snage po fazama,
- Faktori snaga po fazama,
- Moduli impendansi,
- Aktivne, reaktivne i prividne energije.

Za svaki izvod se mere i izračunavaju faktori izobličenja bar za tri fazna napona.

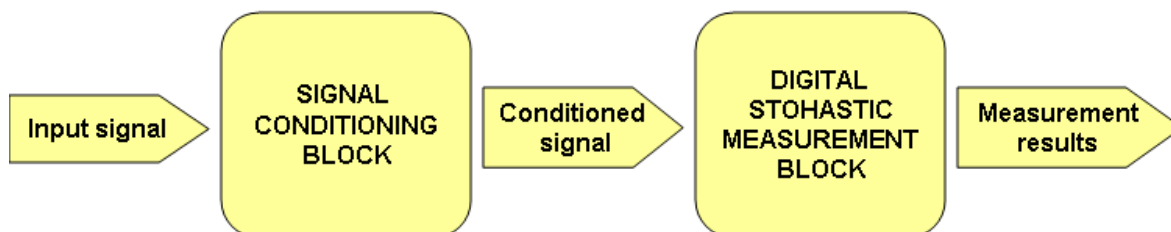
Brzina uzimanja i zapisivanja uzoraka je, po standardnoj vrednosti, 1 uzorak u sekundi.

Merene i registrovane veličine se, pomoću ovog prototipa, mogu meriti i registrovati sa sledećim maksimalnim granicama greške:

➤ Napona i struja:	$\pm 0,2 \%$	od mernog opsega
➤ Aktivne i prividne snaga:	$\pm 0,5 \%$	- II -
➤ Reaktivna snaga:	$\pm 1,0 \%$	- II -
➤ Aktivna i prividna energija:	$\pm 0,5 \%$	- II -
➤ Reaktivna energija:	$\pm 1,0 \%$	- II -
➤ Moduo impendanse:	$\pm 0,5 \%$	- II -
➤ Frekvencija:	$\pm 0,01 \text{ Hz}$	
➤ Faktor snage:	1,0 %	
➤ Faktor izobličenja:	4,0 %	

MODEL PROTOTIPA

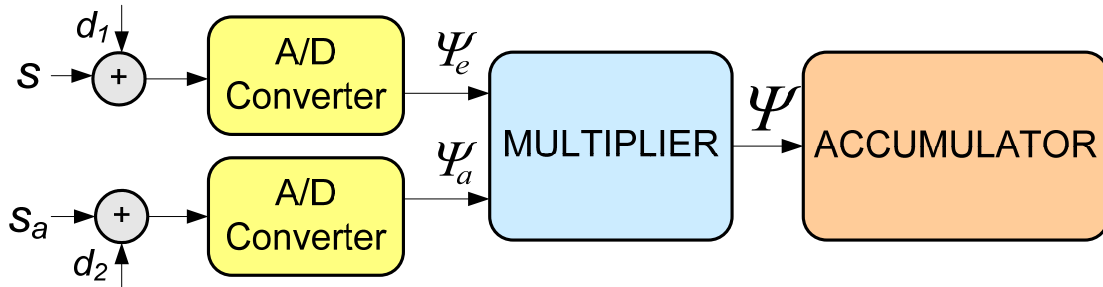
Model prototipa je zasnovan na stohastičkom digitalnom merenju i može se podeliti na dva bloka: blok za kondicioniranje i blok za stohastičko digitalno merenje (slika 2).



Slika 2. Model prototipa.

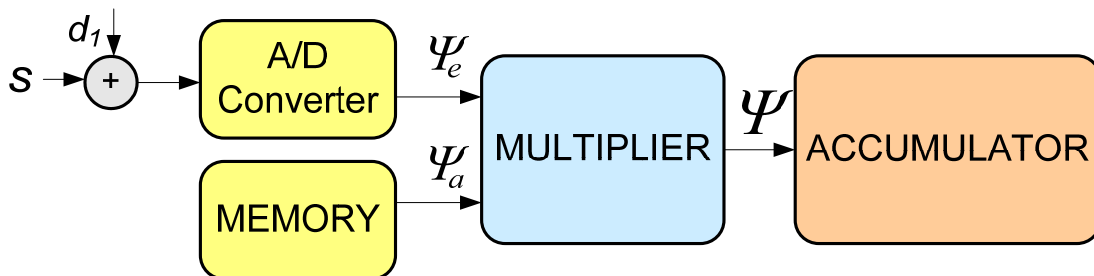
Signal na ulazu u stohastički digitalni merni blok je kondicionirani signal. Uloga ovog kondicioniranja može biti pojačanje, linearizacija, pomeranje nivoa, filtriranje, galvanska izolacija, različite tehnike za potiskivanje šuma itd.

Konceptualni blok dijagram za stohastičko digitalno merenje jednog Furijeovog koeficijenta pojačanog ulaznog signala se može predstaviti na slici 3, što je za sledeće razmatranje jednostavniji oblik dijagrama sa slike 2.



Slika 3. Konceptualni blok dijagram za stohastičko digitalno merenje jednog Furijeovog koeficijenta pojačanog ulaznog signala, primenjen u softveru. Izlaz akumulatora se koristi za izračunavanje koeficijenta.

Pomoćni signal s_a je diterovana bazna (kosinusna ili sinusna) funkcija. Tj. važi, $s_a = R \cos k\omega_0 t$ za merenje k -tog kosinusnog Furijeovog koeficijenta, ili $s_a = R \sin k\omega_0 t$ za merenje k -tog sinusnog Furijeovog koeficijenta. Konceptualni blok dijagram se može implementirati kao na slici 3, tako da s_a nije mereni signal, već diterovani sinusni ili kosinusni signal, unapred generisan i uskladišten u memoriju.



Slika 4. Unapređeni konceptualni blok dijagram stohastičkog digitalnog merenje jednog Furijeovog koeficijenta pojačanog signala, primenjen u softveru. Umesto korišćenja dva A/D konvertora, digitalni odmerci diterovane bazisne funkcije su uskladišteni u memoriji.

d_1 i d_2 su generisani diterovani signali i oni zadovoljavaju sledeće uslove koji ograničavaju njihovu amplitudu i definišu njihovu funkciju raspodele verovatnoće:

$$0 \leq |d_i| \leq \frac{\Delta_i}{2}$$

$$p(d_i) = \frac{1}{\Delta_i}, \text{ za } i = 1, 2 \tag{1}$$

Neka su uzorkovane vrednosti kondicioniranog signala s i pomoćnog signala s_a u diskretnim vremenskim trenucima unutar vremenskog intervala (T) date kao ψ_e i ψ_a , respektivno. Izmerena vrednost razlikuje se od proizvoda ulaznih signala za mernu grešku e , koja uključuje efekat kvantizacije A/D konvertora i uneseni dither:

$$\Psi = \Psi_e \cdot \Psi_a = s \cdot s_a + e \quad (2)$$

Kako se mereni kondicionirani signal sastoji od pojačanog ulaznog signala i šuma, onda je:

$$\Psi = s_e \cdot s_a + n \cdot s_a + e \quad (3)$$

Prvi član izlaza množača je signal koji je potrebno meriti a drugi član je posledica šuma. Tri člana u (3) su statistički nezavisni, a srednja vrednost $\bar{\Psi}$ je suma srednjih vrednosti pomenutih članova. Srednja vrednost trećeg člana u (3) je nula, i ne utiče na srednju vrednost očekivanog izlaza $\bar{\Psi}$ u mernom intervalu. Konačni ulazni opseg $\pm R$ bloka za stohastičko digitalno merenje definiše granice integracije za usrednjavanje efekta šuma. Stoga su dva preostala člana u srednjoj vrednosti data kao:

$$\bar{\Psi} = \frac{1}{T} \int_0^T s_e \cdot s_a dt + \left(\int_{-R}^R n \cdot p(n) dn \right) \frac{1}{T} \int_0^T s_a dt \quad (4)$$

Ako pretpostavimo da šum ima nepolarisanu Gausovu raspodelu, njegova srednja vrednost je nula tako da drugi član u (4) postaje takođe nula, i onda je:

$$\bar{\Psi} = \frac{1}{T} \int_0^T s_e \cdot s_a dt \quad (5)$$

U digitalnom merenju, za N odmeraka kondicioniranog signala na intervalu $[0, T]$, srednja vrednost je:

$$\bar{\Psi} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \Psi_k \quad (6)$$

Sumiranje uzoraka tokom mernog intervala je urađeno akumulatorom i ova suma je izlaz akumulatora. Ovaj izlaz se može obraditi mikroprocesorom koji deli izraz akumulatora sa brojem odmeraka N , i koji takođe izračunava svaku sinusnu (i kosinusnu) komponent k -tog harmonika (indeksi $\sin k$ i $\cos k$ ukazuju da je u pitanju izmereni k -ti sinusni i k -ti kosinusni Furijeov koeficijent).

$$a_k = \frac{2\bar{\Psi}_{\cos k}}{R}, \quad b_k = \frac{2\bar{\Psi}_{\sin k}}{R} \quad (7)$$

U bloku za stohastičko digitalno merenje, varijansa izlaza množača se sastoji od determinističke varijanse, slučajne varijanse i stohastičke varijanse greške. Ovi delovi su nekorelisani, tako da ukupna varijansa iznosi:

$$\sigma_{\Psi}^2 = \sigma_d^2 + \sigma_r^2 + \sigma_e^2 \quad (8)$$

Deterministička varijansa σ_d^2 , je određena kao:

$$\sigma_d^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (s_e s_a)^2 dt - \left(\frac{1}{T} \int_0^T s_e s_a dt \right)^2 \quad (9)$$

Deterministička varijansa σ_d^2 je svojstvo signala i ne treba da bude uračunata u mernu nesigurnost. Slučajna varijansa i varijansa greške, σ_r^2 i σ_e^2 , zadovoljavaju centralnu graničnu teoremu i varijansa njihove srednje vrednosti zavisi od broja odmeraka N unutar mernog intervala T :

$$\sigma_{\bar{r}}^2 = \frac{\sigma_r^2}{N}, \quad \sigma_{\bar{e}}^2 = \frac{\sigma_e^2}{N} \quad (10)$$

Standardna merna nesigurnost srednje vrednosti $\bar{\Psi}$ je definisana preko standardne devijacije:

$$u(\bar{\Psi}) = \sqrt{\sigma_{\bar{r}}^2 + \sigma_{\bar{e}}^2} \quad (11)$$

Relativna merna nesigurnost u se izračunava kao:

$$u = \frac{\sqrt{\sigma_{\bar{r}}^2 + \sigma_{\bar{e}}^2}}{\bar{\Psi}} \quad (12)$$

Standardna merna nesigurnost i relativna merna nesigurnost su ograničene sa:

$$u(\bar{\Psi}) \leq \frac{S_a \cdot (\sigma_n + \frac{\Delta_1}{2})}{\sqrt{N}} \quad (13)$$

$$u \leq \frac{S_a \cdot (\sigma_n + \frac{\Delta_1}{2})}{\bar{\Psi} \cdot \sqrt{N}}$$

Gornja granica standardne merene nesigurnosti je određena efektivnom vrednošću pomoćnog signala (S_a), šumom (σ_n), i rezolucijom A/D konvertora (Δ_1), kao i brojem odmeraka (N) u mernom intervalu. Ako je R amplituda pomoćnog signala, tada je:

$$S_a = R / \sqrt{2} \quad (14)$$

Prema prethodnim relacijama, standardna merna nesigurnost za bilo koji Furijeov koeficijent, izmeren ovom metodom, je ograničena sa:

$$u(a_k) = u(b_k) \leq \frac{\sqrt{2} \cdot (\sigma_n + \frac{\Delta_1}{2})}{\sqrt{N}} \quad (15)$$

Iz (15) se može izvesti da je standardna merna nesigurnost za amplitudu harmonika:

$$u(\sqrt{a_k^2 + b_k^2}) \leq \frac{2 \cdot (\sigma_n + \frac{\Delta_1}{2})}{\sqrt{N}} \quad (16)$$

U slučaju idealnog A/D konvertora, kvant A/D konvertora iznosi $\Delta_1=0$ i desna strana jednačine (15) se transformiše u $\sqrt{2} \cdot \sigma_n / \sqrt{N}$, što je kvadratni koren Kramer-Raove donje granice (Cramér–Rao lower bound - CRLB).

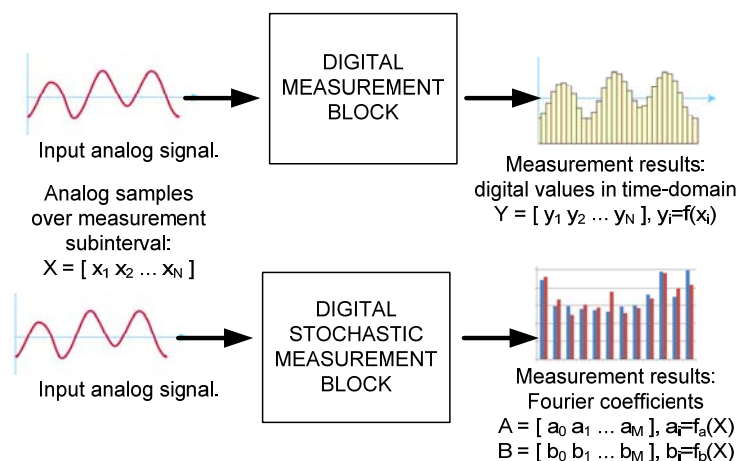
Ako se primeni kratkotrajna Furijeova transformacija na signal s_e , za koji ćemo sad pretpostaviti da je nestacionarni signal, sa prozorskom funkcijom širine jednake mernom intervalu T . Ako rezultati ove transformacije budu koeficijenti a_i i b_i , onda se s_e može predstaviti u formi trigonometrijskog polinoma oblika:

$$s_e(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^M a_n \cos n\omega_0 t + \sum_{n=1}^M b_n \sin n\omega_0 t, \quad (17)$$

$0 < t < T$

$\omega_0 = 2\pi / T$ a M je red trigonometrijskog polinoma.

Poređenje koncepta stohastičkog digitalnog merenja sa tipičnim digitalnim merenjem nestacionarnog signala je dato na slici 5. Izlazi digitalnog merenja su digitalni odmerci u vremenskom domenu. Svaka digitalna vrednost je zapravo digitalizovana vrednost odgovarajućeg analognog odmerka sa ulaza i to je dobro poznati klasični pristup digitalnog merenja – odmerak po odmerak. Za razliku od ovakvog pristupa, izlazi digitalnog stohastičkog merenja su Furijeovi koeficijenti a_i i b_i . Svaki Furijeov koeficijent je funkcija svih analognih odmeraka sa ulaza tokom intervala merenja, tako da ovaj metod nije baziran na pristupu “odmerak po odmerak” već na intervalskom pristupu.



Slika 5. Poređenje koncepta stohastičkog digitalnog merenja signala u frekventnom domenu, primenjenog u softveru, sa tipičnim digitalnim merenjem u vremenskom domenu.

Koncept merenja Furijeovog koeficijenta pojačanog ulaznog signala može biti proširen na složeniji konceptualni blok dijagram hardversko-sofverske za merenje predefinisane skupa harmonika kondicioniranog signala na ulazu u stohastički digitalni merni blok. Osim jednosmerne komponente, predefinisani skup uključuje sve harmonike koji su od interesa za analizu signala. Memorija daje diterovane bazične funkcije za svaku sinusnu i kosinusnu komponentu, i svaka sinusna i kosinusna komponenta zahtevaju jedan digitalni množač i jedan digitalni akumulator. Stoga, ako bi sistem trebao meriti jednosmernu komponentu i N_h harmonika ova struktura zahteva $2N_h+1$ množača i $2N_h+1$ akumulatora.

Ako se pogledaju prethodne formule, može se videti da je kvant Δ_1 definisan rezolucijom A/D konvertora, a broj odmeraka N se može izabrati kao kompromis između potrebne brzine merenja i zahtevane tačnosti. Zbog toga ovaj sistem može imati veoma dobru tačnost, čak i kada je šum značajan, zahvaljujući povećanom broju odmeraka N .

NAMENA

Rešenje je namenjeno primeni u dvostrukom trofaznom analizatoru snage, koji kontroliše dva izvoda na izlazu iz 0.4kV trafo stanice, odnosno primeni u četverostrukom trofaznom analizatoru snage koji kontroliše četiri izvoda na izlazu iz 0.4kV trafo stanice.

VERIFIKACIJA

Performanse su ispitane i verifikovane u akreditovanoj laboratoriji – Laboratoriji za metrologiju Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu..

PRIMENA

Rešenje je primenjeno u industrijskim prototipovima dvostrukog trofaznog analizatora snage – oznaka tipa MM2 i četverostrukog trofaznog analizatora snage – oznaka tipa MM4, kao i serijskim uređajima sa istim oznakama tipa respektivno.

Industrijski prototip - moduo sa 20 paralelnih dvobitnih FADC na jednoj štampanoj ploči projektovan je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, u okviru tekućeg projekta br. TR-32019 kod Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Štampano – Decembar 2012.