
IZVEŠTAJ**o izvršenom merenju kvaliteta elektri ne energije**

Objekat: **Pumpna stanica “Kula”**
Naru ilac: **Elektroremont a.d. Subotica**
Predmet: **Merenje i analiza kvaliteta elektri ne energije elektromotornog pogona uronjenog pumpnog agregata tipa: 3.35 UVZ 60-340; 340kW, 940°/min, nakon prvog puštanja po izvršenom remontu pumpnog agregata.**
Datum merenja: 27.6.2018.

Merenje je izvršeno mrežnim analizatorom Socomec Diris A40 sa softverom “Sca Energy v.1.2.3.9”, uz koriš enje pomo ne merne opreme koja se sastoji od tri rasklopiva merna strujna transformatora tipa: CP58 Elmark ,600/5A, 120%,10VA, Ith=120xIn, k.l. 0.5, 0.72/3kV.

Rezolucija snimanja mrežnog analizatora je podešena na 2s.

Pumpnim agregatom upravlja frekventni regulator Unifrem (Vonsch - Slova ke) 400 315kW slede ih karakteristika:

- $P_{nom}=315kW$, $I_n=580A$, $I_{max}=I_n+7\%$
- ulazni napon $3x380-415V\pm 10\%$
- ulazna u estanost 47-63Hz
- izlazni napon $3x0-100\%$ od ulaznog napona
- izlazna frekvencija 0-500Hz
- stepen iskoriš enja 98.5%.
- elektronska zaštita: prekostrujna, prenaponska, podnaponska, kratkospojna, zemljospojna,
- temeperaturna zaštita konvertora, temperaturana zaštita elektromotora
- eliminacija viših harmonijskih izobli enja napona i struja: ugra ena trofazna prigušnica za smanjenje harmonijskih izobli enja struje,
- ugra ena prenaponska zaštita konvertora,
- zaštita kondenzatora snage.
-

Nakon pripremnih radnji izvršena su merenja sa slede im redosledom:

1. Probno puštanje pumpe u rad radi provere ispravnosti smera obrtanja, koje je izvršeno u estanoš u od 18Hz i me ufaznim naponom od 110VAC, sa faktorom snage $\cos \phi = 0.23-0.38$, i harmonijskim izobli enjima struje $THD(I)=30-80\%$.
Maksimalni me ufazni napon na namotajima motora iznosio je 113.5V, a izmerena vršna aktivna snaga motora je iznosila 53.2kW.

- strana 1 -

2. Nakon verifikovanja pravilnog smera obrtanja, postepeno je povećana izlazna u estanost na frekventnom regulatoru sa 18Hz na 25Hz pri čemu je od strane dežurnog rukovodoca - operatera izvršena provera stabilnosti rada pumpnog agregata.
3. U daljem postupku je povećana izlazna u estanost na 48.16Hz, izmerene su sledeće vrednosti me fufaznih napona: L1-L2=401.9VAC; L2-L3= 402VAC i L3-L1=401.7VAC.

Detaljan prikaz izmerenih veličina posle 90 minuta rada dat je u tabeli 1.

Srednje struje(A)	Max struje (peak) (A)	Trenutne struje (A)	Napon (V)	Maksimalni napon (V)
630.0	630.2	630.2	401.9	408.6
647.8	648.3	647.7	402	410.3
644.6	644.7	644.7	401.7	408.2
cos ϕ =0.725		frekvencija=48.16Hz	Vršna aktivna snaga= 342.3kW	
Energija aktivna 123kWh		Aktivna snaga 340.1kW		
Energija reaktivna 114kVArh		Reaktivna snaga 323 kVAr		
Radnih sati 1.5h		Prividna snaga 469.1kVA		
THD (I) ukupno 1:		6.6%		
THD (I) ukupno 2:		6.7%		
THD (I) ukupno 3:		6.5%		

Tabela 1.

4. U dogovoru sa investitorom, operater je smanjio u estanost i me fufazni napon na motoru za 10% i time smanjio snagu elektromotora za 10%.

Detaljan prikaz izmerenih veličina posle 144 minuta rada dat je u tabeli 2.

Srednje struje(A)	Max struje (peak) (A)	Trenutne struje (A)	Napon (V)	Maksimalni napon (V)
588.7	630.2	588.7	387.1	408.6
606.9	648.3	607.0	387.3	410.3
603.6	644.7	604.0	386.9	408.2
cos ϕ =0.726		frekvencija=46.54Hz	Vršna aktivna snaga= 307.2kW	
Energija aktivna 305kWh		Aktivna snaga 307kW		
Energija reaktivna 288kVArh		Reaktivna snaga 288.9 kVAr		
Radnih sati 2.4h		Prividna snaga 422.3kVA		
THD (I) ukupno 1:		6.5%		
THD (I) ukupno 2:		6.6%		
THD (I) ukupno 3:		6.4%		

Tabela 2.

5. Motor je radio još 30 minuta, nakon čega je dežurni rukovodac - operater isključio pumpu iz rada, i izvršio očitavanje svih vrednosti koje su prikazane na HMI panelima sistema za automatsko upravljanje postrojenjem.

Zaključak:

Frekventni regulator koji služi za upravljanje elektromotornim pogonom pumpe, poseduje integrisanu zaštitu od pojave visokih harmonijskih izobličenja napona i struje, ali nakon očitanih rezultata dolazi se do zaključka **da je potrebno izvesti kompenzaciju reaktivne energije sa kondenzatorskim baterijama za napon 440/480V i ugrađenim prigušnicama 400/415V, 50Hz, sa ugrađenom frekvencijom 215Hz i redom ugađanja 4.3.**

Napomena: U postojećem razvodnom postrojenju koje napaja ispitivani elektromotorni pogon ne postoji uređaj za kompenzaciju reaktivne energije.

Poznato je da više harmonične komponente napona uvećavaju gubitke u gvožđu u magnetnom jezgru transformatora i elektromotora. Više harmonične komponente struje povećavaju gubitke, tj. grejanje, usled gubitaka u bakru i gubitaka usled povećanja fluksa rasipanja.

Sve navedeno, a posebno povećanje brzine promene napona, tj. dv/dt , dovodi do povećanog naprezanja izolacije namotaja na transformatoru. Mikro vibracije dinamomimova se povećavaju zbog prisustva viših harmonika, što se primećuje kao povećanje buke, tj. zujanja transformatora. Gubici usled vrtložnih struja povećavaju se sa kvadratom struje u provodniku i sa kvadratom njihove učestanosti.

Znači, ako struja opterećenja sadrži 20% struje 5. harmonika (što je čest slučaj u praksi), dodatni gubici usled vrtložnih struja će biti $5^2 \times 0,2^2$, tj. ukupni gubici usled vrtložnih struja će se udvostručiti.

Slično kao i kod transformatora, harmonična izobličenja napona i struje povećavaju električne gubitke u elektromotoru i dovode do povećanog grejanja, zbog dodatnih gubitaka u bakru statorskog i rotorskog namotaja, te gubitaka u gvožđu (histerezis i vrtložne struje).

Ovi gubici se dalje povećavaju usled skin efekta koji postaje primetan na učestanostima iznad 300 Hz. Magnetno polje usled rasipanja, koje izazivaju višeharmonične struje statora i rotora na ivicama namotaja, stvara dodatne gubitke.

Prekomerno grejanje dovodi do degradacije svojstava masti za podmazivanje i na kraju i do havarije ležaja. Prekomerno grejanje predstavlja važan faktor za ograničenje životnog veka motora. Za svakih 10°C porasta temperature iznad propisane, životni vek izolacionog materijala se smanjuje za 50%.

U tabeli 3. prikazan je maksimalni dozvoljeni procentualni nivo harmonika napona (procenti su izraženi u odnosu na osnovni harmonik) u niskonaponskoj NN, srednjenaponskoj SN i visokonaponskoj VN mreži. Dozvoljeni nivo naponskih harmonika u distributivnoj i prenosnoj mreži prema standardu IEC 6100-2-2

red harmonika h	Neparni harmonici					Parni harmonici		
	nije multipl broj 3		red harmonika h	multipl broj 3		red harmonika h	harmonik napona (%)	
	harmonik napona (%)			harmonik napona (%)				
	NN – SN	VN	NN – SN	VN	NN – SN	VN		
5	6	2	3	5	2	2	2	
7	5	2	9	1.5	1	4	1	
11	3.5	1.5	15	0.3	0.3	6	0.5	
13	3	1.5	21	0.2	0.2	8	0.5	
17	2	1	$h > 25$	0.2	0.2	10	0.2	
19	1.5	1				12	0.2	
23	1.5	0.7				$h > 12$	0.2	
25	1.5	0.7						
$h > 25$	$0.2 + 1.3 \cdot \frac{25}{h}$	$0.2 + 0.5 \cdot \frac{25}{h}$						

Tabela 3.

Klasifikacija niskonaponskih sistema i dozvoljena harmonijska izobličenja napona prema IEEE 519.

U tabeli 4 prikazan je izvod iz standarda IEEE 519-1992 kojim se definiše maksimalni dozvoljeni nivo strujnih harmonika koje neki potrošači sme injektirati u distributivnu mrežu. Ovim standardom takođe je definisano maksimalno dozvoljeno ukupno harmonijsko izobličenje (THD – Total Harmonic Distorsion) struje potrošača.

	Specijalne aplikacije (1)	Generalni sistemi	Zasebni sistemi (2)
Ukupno THD (V)	3%	5%	10%

Tabela 4.

(1) - Specijalne aplikacije uključuju bolnice i aerodrome

(2) - Zasebni sistemi su isključivo posvećeni ispravljanju i opterećenjima

Tabela 5. maksimalne dozvoljene vrednosti neparnih harmonika struje prema IEEE 519-1992 za potrošače priključene na distributivnu mrežu (120V-63kV)

Vrednosti parnih harmonika su ograničene na 25% vrednosti neparnih harmonika datih u tabeli 5.

I_{ks}/I_{avmax}	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	THD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.8	5	2	1	15
>1000	15	7.9	6	2.5	1.4	20

Tabela 5.

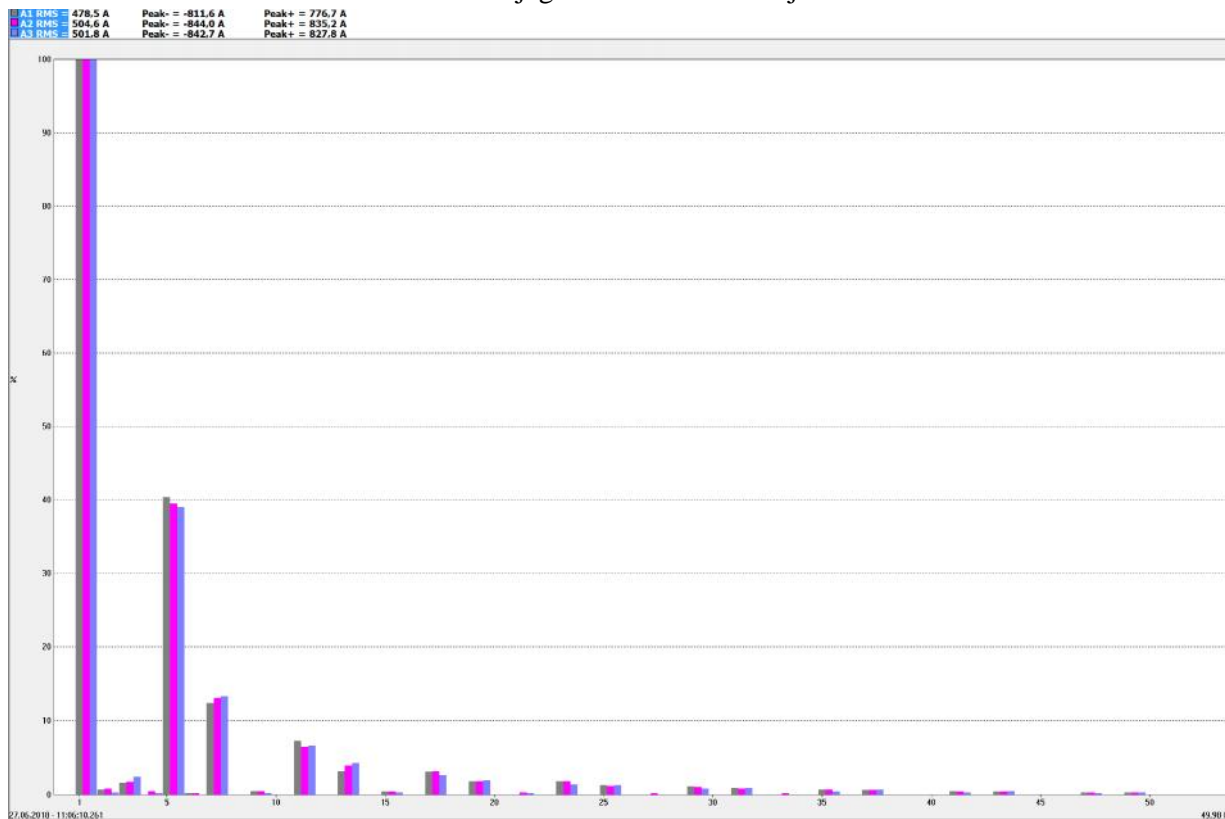
h – red pojedina nih neparnih harmonika struje u prilju nom vodu potroša a na distributivnu mrežu EES-a;
 I_{ks} – efektivna vrednost struje kratkog spoja u voru distributivne mreže na mestu priklju enja potroša a;
 I_{avmax} - prose na maksimalna efektivna vrednost struje osnovnog harmonika potroša a.

Naš slu aj je uzimaju i u obzir vrednosti iz tabele 5. i slu aj gde je $I_{ks} I_{avmax} = 20 \div 50$, a ukupan $THD(I) < 8\%$.

Merenjem smo dobili rezultat $THD(I) = 6.6\%$, što dovodi do zaklju ka je nivo harmonijskih izobli enja struje u dozvoljenim granicama.

Merenjem harmonijskih izobli enja struja u toku punog optere enja neposredno do izvora izobli enja odnosno frekventnog regulatora, dobili smo rezultate prikazane na dijagramu (slika 1.) i u tabeli 6.

Dijagram harmonika struja



Slika 1.

Viši harmonici struje u odnosu na osnovni harmonik (I₂) izraženi u procentima

	(%)		(%)		(%)		(%)
H01	100.0	H15	0.3	H29	1.7	H43	0.4
H02	1.2	H16	0.0	H30	0.0	H44	0.4
H03	2.0	H17	3.5	H31	1.5	H45	0.0
H04	0.5	H18	0.0	H32	0.0	H46	0.0
H05	39.2	H19	2.2	H33	0.2	H47	0.3
H06	0.1	H20	0.0	H34	0.0	H48	0.0
H07	13.0	H21	0.3	H35	1.1	H49	0.2
H08	0.0	H22	0.0	H36	0.0	H50	0.0
H09	0.5	H23	2.4	H37	0.9		
H10	0.0	H24	0.0	H38	0.0		
H11	7.0	H25	1.8	H39	0.0		
H12	0.0	H26	0.0	H40	0.0		
H13	4.0	H27	0.2	H41	0.5		
H14	0.0	H28	0.0	H42	0.0		

Tabela 6.

Na osnovu podataka sa slike 1. i tabele 6. može se izračunati ukupno harmonijsko izobličenje talasnog oblika struje na sekundarnim priključnim vodovima napojnog transformatora:

$$THD(I) = \frac{\sqrt{\sum_{hi}^{50} I_{hi}^2}}{I_1} = 42.55\%$$

Harmonijska izobličenja struje i odgovarajući THD su iznad propisanih vrednosti za rad ak i u mreži sa vrlo velikom snagom kratkog spoja (krutoj mreži).

Daljim merenjem harmonijskih izobličenja napona u toku punog opterećenja, dobili smo rezultate prikazane na dijagramu (slika 2.) i u tabeli 7.

Dijagram harmonika napona



Slika 2.

Viši harmonici napona u odnosu na osnovni harmonik (U2) izraženi u procentima

	(%)		(%)		(%)		(%)
H01	100.0	H15	0.2	H29	0.5	H43	0.3
H02	0.0	H16	0.0	H30	0.0	H44	0.0
H03	0.3	H17	1.2	H31	0.5	H45	0.0
H04	0.0	H18	0.0	H32	0.0	H46	0.0
H05	4.2	H19	0.8	H33	0.1	H47	0.3
H06	0.0	H20	0.0	H34	0.0	H48	0.0
H07	2.7	H21	0.0	H35	0.4	H49	0.3
H08	0.0	H22	0.0	H36	0.0	H50	0.0
H09	0.1	H23	0.8	H37	0.3		
H10	0.0	H24	0.0	H38	0.0		
H11	2.0	H25	0.6	H39	0.0		
H12	0.0	H26	0.0	H40	0.0		
H13	0.9	H27	0.0	H41	0.3		
H14	0.0	H28	0.0	H42	0.0		

Tabela 7.

Na osnovu podataka iz tabele 7. može se izračunati ukupno harmonijsko izobličenje talasnog oblika napona agregata:

$$THD(V) = \frac{\sqrt{\sum_{hi}^{50} V_{hi}^2}}{V_1} = 5.83\%$$

V_{hi} – efektivna vrednost i-tog harmonika faznog napona,

V_1 – efektivna vrednost osnovnog harmonika faznog napona.

Harmonijska izobličenja napona su povećana u odnosu na propisanu vrednost (5%), (vidi tabelu 4).

Opšti zaključak nakon kompletne analize izmerenih vrednosti sa stanovišta harmonijskih izobličenja i primene validnih standarda je, da je jedno od rešenja ugradnja filtera viših harmonika struje. Frekventni regulator koji se koristi u elektromotornom pogonu je direktni pretvarač (bez promenljivog ili konstantnog mehanizma), zbog čega se na njegovom izlazu javljaju prevelika harmonijska izobličenja struje i napona.

Ugradnja odgovarajućih filtera bi omogućila dostizanje odgovarajućih standarda za rad potrošača na mreži, što u perspektivi daje pozitivan finansijski efekat. Smanjenje nivoa harmonika bi takođe obezbedilo i povoljnije uslove rada elektromotora i produženje njegovog eksploatacionog veka.

Ugradnja filterskog postrojenja, međutim, iziskuje prethodnu izradu projekta sa detaljnim proračunom vrednosti kondenzatorskih baterija i odgovarajućih prigušnica, što je ekonomski velika investicija.

Umesto toga, mišljenja smo da bi postojele i frekventni regulator trebalo koristiti kao “upušta” elektromotornog pogona i nakon dovođenja pumpe na nominalni broj obrtaja trebalo bi ga prespojiti odgovarajućim Bypass kontaktorom. Naravno i ovo rešenje iziskuje određena finansijska ulaganja, ali znatno manja od izrade filterskog postrojenja.

Ujedno bi trebalo izraditi uređaj za automatsku kompenzaciju reaktivne energije koja bi se uključivala nakon dovođenja pumpe u nominalni broj obrtaja, odnosno nakon uključivanja Bypass kontaktora, što bi značajno smanjilo troškove računajući za utrošenu reaktivnu energiju.

Skre emo pažnju da se pri postojе im mrežnim parametrima (uve ani viši harmonici napona i struje) znatno smanjuje eksploatacioni vek elektromotora pumpnog agregata.

To je naro ito važno za ostvarivanje prava na garanciju u punom trajanju za izvršene popravke elektromotora.

U Nišu, 21. 7. 2018. god.

Izveštaj sastavio
Dejan Miti inž. el.
odgovorni izvo a radova



Izveštaj overio
Marko Mihajlovi dipl. inž. el.
odgovorni izvo a radova

