

MJERENJE VIŠIH HARMONIKA I PRORAČUN PARAMETARA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE KOD NEKIH KARAKTERISTIČNIH UREĐAJA

Ivanović Vladimir¹

Ključne riječi: *Viši harmonici, individualna harmonijska distorzija, ukupna harmonijska distorzija struje i napona*

SAŽETAK:

U radu su prikazani rezultati mjerenja koje je obavljeno na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, gdje je vršeno mjerenje uticaja nelinearnih potrošača na kvalitet napona. Prikazane su efektivne vrijednosti i fazni stavovi prvih dvadeset harmonika, kao i vrijednosti snaga u funkciji promjene napona (180-230 V). Takođe je izvršeno izračunavanje vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona (THDI i THD).

1. UVOD

Kvalitet električne energije je problematika sa kojom se stručnjaci i istraživači dugo susrijeću, kao tehničkim problemom. Međutim, sa pojavom deregulacije u elektroenergetici, napuštanjem monopola, privatizacijom i tržišnom orijentacijom, sve više pažnje se posvećuje afirmaciji kvaliteta, kao robnoj kategoriji.

Problem pojave viših harmonika u mreži uočen je još tridesetih godina ovog vijeka. najizrazitiji je bio uticaj na sinhronu i asinhronu mašine, kondenzatorske baterije i telefonske linije. Problem je rešavan na taj način što je povećana otpornost opreme na harmonike, odnosno reducirana njihov uticaj na telefonske linije [1].

Krajem pedesetih i tokom šezdesetih godina došlo je do naglog razvoja snažnih poluprovodničkih komponenata (tiristori i snažni bipolarni tranzistori). Pojavljuju se poluprovodnički energetske elektronske pretvarači, koji u potpunosti potiskuju one sa vakuumskim elementima. Njihove velike prednosti, naročito u domenu štednje energije i kvaliteta regulacije elektromotornih pogona, doveli su do njihove široke upotrebe. Zbog

¹ Elektorprivreda Crne Gore, dipl. ing.

svoje prekidačke prirode rada oni predstavljaju nelinearne potrošače za mrežu i izazivaju pojavu izobličenja talasnog oblika struje i napona [2]. Pored elektrolučnih i indukcionih peći, sijalica na bazi pražnjenja u gasovima, zasićenih električnih mašina i drugih klasičnih izvora, oni postaju značajan izvor viših harmonika u mreži.

Pod pojmom nelinearnog potrošača podrazumijeva se takav potrošač, koji konzumira struju nesinusoidalnog oblika i time izaziva distorziju napona. Najčešći nelinearni potrošači su energetske elektronske pretvarači [3].

Ukupna i individualna harmonijska distorzija napona ili struje su faktori kojima se vrednuju viši harmonici. Individualna harmonijska distorzija (HD_n) se definiše kao odnos efektivnih vrijednosti n -tog harmonika i osnovnog (50 Hz ili 60 Hz), gdje je n red harmonika. Ona se izražava u procentima:

$$HDU_n = (U_n / U_1) 100(\%) \quad HDI_n = (I_n / I_1) 100(\%) \quad (1)$$

Ukupna harmonijska distorzija (THD) se definiše kao kvadratni korijen odnosa sume kvadrata efektivnih vrijednosti pojedinačnih harmonijskih komponenti i efektivne vrijednosti fundamentalnog harmonika i takođe se izražava u procentima:

$$THDU = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2 / U_1^2} \cdot 100(\%) \quad THDI = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 / I_1^2} \cdot 100(\%) \quad (2)$$

2. PRIKAZ REZULTATA MJERENJA

U narednim tabelama su dati rezultati mjerenja koje je obavljeno na ETF u Podgorici u periodu 31.10. – 03.11.2006. god. Uređaj kojim je vršeno mjerenje je „Tektronics TDS 360“, two channel, digital real-time oscilloscope (200MHz, IGS/s), čije su karakteristike date u Tabeli 1.

Tabela 1 Karakteristike uređaja „Tektronics TDS 360“

VOLTAGE RANGE	FREQUENCY RANGE	FUSE (250V)		POWER MAX	VA MAX
90 – 132V	47 – 440Hz	UL 198G	IEC 127	65	120
90 – 250V	47 – 63Hz	3A SLOW	3.15A (T9)	WATTS	

U Tabelama 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 i 2.8 su prikazane efektivne vrijednosti i fazni stavovi prvih dvadeset harmonika. Tabelama 2.1.1, 2.2.1, 2.3.1, 2.4.1, 2.5.1, 2.6.1, 2.7.1 i 2.8.1 su predstavljene vrijednosti snaga (aktivne, reaktivne, distorzije i prividne) u funkciji promjene napona (180 – 230V).

Za harmonijsku analizu mjerenih rezultata, kao i za izračunavanje ukupne harmonijske distorzije struje i napona iskorišten je softver urađen u MATLAB-u, čiji je autor Mr Saša Mujović, saradnik na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici. Ovaj program nam omogućava da na osnovu podataka snimljenih različitom aparaturom (u konkretnom slučaju korišten je digitalni osciloskop Tektroniks TDS 360), dobijemo oscilogram napona i struje

razmatranog režima, grafičku i parametarsku interpretaciju harmonijske analize, proračunate vrijednosti snaga (aktivne, reaktivne, prividne i snage distorzije), faktora snage i pokazatelja harmonijske distorzije (pojedinačne i ukupne).

Tabela 2.1 Efektivne vrijednosti i fazni stavovi napona i struje mesoreznice

MESOREZNICA					
h	$I_h (A)$	$\varphi_I (\circ)$	$U_h (V)$	$\varphi_U (\circ)$	$\varphi_U - \varphi_I (\circ)$
1.	0,2898	82,1553	217,4493	89,1948	7,0395
2.	0,0030	-51,9369	0,1503	41,9047	-93,8416
3.	0,0206	69,7580	0,6465	38,0007	-31,7573
4.	0,0045	21,9995	0,2996	13,2066	-8,7929
5.	0,0041	-24,1653	3,0230	-49,0168	-24,8515
6.	0,0074	17,8802	0,1850	89,2829	71,4027
7.	0,0110	42,3072	1,9854	-56,0649	-98,3721
8.	0,0026	3,2289	0,4926	43,6561	40,4272
9.	0,0088	63,0250	0,8760	-75,7956	-138,8206
10.	0,0030	-84,1364	0,3290	45,6845	129,8209
11.	0,0040	36,1762	0,7135	72,9579	36,7817
12.	0,0023	-27,9578	0,4223	-56,5364	-28,5786
13.	0,0106	-38,7149	1,1315	-67,2937	-28,5788
14.	0,0048	-28,0596	0,4269	-87,3661	-59,3065
15.	9,9016e-004	12,3706	0,4633	-60,5641	-72,9347
16.	0,0062	2,3335	0,0881	-19,8784	-22,2119
17.	0,0055	-70,6795	0,5576	86,1461	156,8256
18.	0,0017	21,7823	0,2953	-5,1614	-26,9437
19.	0,0029	-38,6160	0,6194	21,5330	60,1490
20.	0,0042	40,9293	0,1376	72,2404	31,3111

Iz priložene tabele se može primijetiti da je fazna razlika između napona i struje kod prvog harmonika pozitivna što indicira da se mesoreznica u radnom režimu ponaša kao induktivno opterećenje. Primjećuje se takođe dominantan uticaj nekih neparnih harmonika kao npr 3-ćeg, 7-mog i 13-tog, dok je uticaj parnih harmonika praktično zanemarljiv.

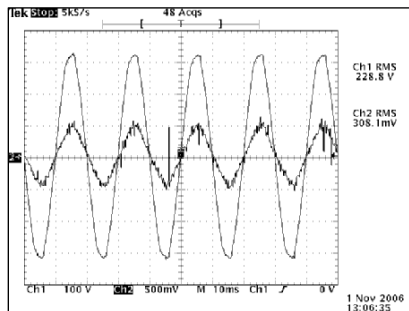
Proračunate vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona za ovaj uređaj iznose: THDI=10,8938% i THDU=1,9476%.

Tabela 2.1.1 Vrijednosti snaga u funkciji promjene napona kod mesoreznice

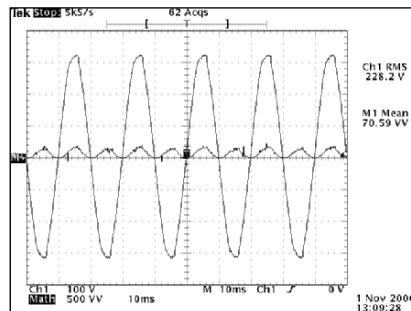
MESOREZNICA				
Naponski nivo (V)	$P_{osc} (W)$	$Q (VA_r)$	$D (VA_d)$	$S (VA)$
180	46,1544	-0,1679	5,0329	40,2304
190	47,4103	6,0475	5,2845	48,0857
200	56,8126	7,7908	5,3732	57,5954
210	59,9207	6,4875	6,2016	60,5890
220	62,5859	7,7292	6,9749	63,4459
230	68,4279	6,9289	7,9902	69,2403

Iz prethodne tabele se može primijetiti da je najveća aktivna snaga pri naponu od 230V (68,4279W), dok je najmanja pri naponu od 180V (46,1544W). Snaga koju ovaj uređaj razvija pri naponu od 230V je za 48,25% veća od one pri naponu od 180V.

Na Slici 1 je prikazan vremenski oblik napona i struje, a na Slici 2 je prikazan vremenski oblik napona i snage kod mesoreznice.



Slika 1 Vremenski oblik napona i struje mesoreznice



Slika 2 Vremenski oblik napona i snage mesoreznice

Sa prethodno prikazanih grafika se može uočiti da mesoreznica kao potrošač nema značajnog uticaja na kvalitet parametara mreže.

Tabela 2.2 Efektivne vrijednosti i fazni stavovi napona i struje TV-a

h	TV				
	I_h (A)	φ_I (°)	U_h (V)	φ_U (°)	$\varphi_U - \varphi_I$ (°)
1.	0,0860	-47,8018	219,8290	-86,7727	-38,9709
2.	0,0023	80,4350	0,3024	61,4621	-18,9729
3.	0,0536	79,7475	0,6160	-11,7749	-91,5224
4.	0,0033	-9,4358	0,3299	-46,5286	-37,09228
5.	0,0468	61,0002	3,0724	-30,4792	-91,4794
6.	0,0036	50,0342	0,1487	-67,4717	-117,5059
7.	0,0404	59,0736	2,2952	-30,3281	-89,4017
8.	0,0031	-88,4568	0,4808	-49,9371	38,5197
9.	0,0222	53,4612	0,5623	-26,9670	-80,4282
10.	0,0029	-73,5709	0,4417	-56,5500	17,0209
11.	0,0205	41,5326	1,1128	-57,7590	-99,2916
12.	0,0036	4,7446	0,0697	2,7245	-2,0201
13.	0,0064	1,9571	0,7628	56,9971	55,0400
14.	0,0022	-16,5699	0,3518	-77,2214	-60,6315
15.	0,0071	-57,8734	0,8010	21,0819	78,9553
16.	0,0017	-46,1997	0,1115	-44,9659	1,2338
17.	0,0073	-47,9611	0,7918	-34,1545	-82,1156
18.	0,0042	-51,2640	0,2060	-30,1918	21,0722
19.	0,0076	37,5634	0,5629	-24,8138	-62,3772
20.	0,0034	-9,9792	0,2838	-21,4986	-11,5194

Dobijeni rezultati prikazani u tabeli jasno govore da TV injektira neparne harmonike u mrežu. Neki od ovih harmonika kao što je npr 3-ći čini čak 62,32% od osnovnog harmonika.

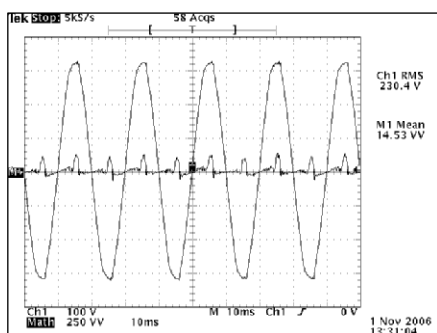
Proračunate vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona za ovaj uređaj iznose: THDI=103,4736% i THDU=2,0198%.

Tabela 2.2.1 Vrijednosti snaga u funkciji promjene napona kod TV-a

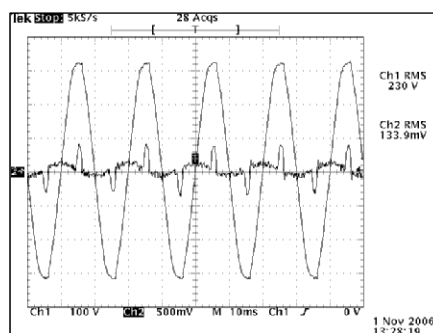
TV				
Naponski nivo (V)	P_{osc} (W)	Q (VAr)	D (VAd)	S (VA)
180	12,6409	-8,2812	17,1096	22,8278
190	12,9942	-8,4604	17,9389	23,7114
200	12,7673	-8,5187	18,8444	24,3039
210	13,7845	-11,3859	20,3650	27,0995
220	14,6897	-12,2147	19,5672	27,3470
230	14,2760	-13,4371	21,7978	29,3172

Najveća aktivna snaga koju razvija TV je pri naponu od 220V (14,6897W) i ona je veća za 16,20% od najmanje snage koju razvija ovaj uređaj pri naponu od 180V (12,6409W).

Na Slici 3 je prikazan vremenski oblik napona i struje, a na Slici 4 je prikazan vremenski oblik napona i snage kod TV-a.



Slika 3. Vremenski oblik napona i struje TV-a



Slika 4. Vremenski oblik napona i snage TV-a

Na dijagramima prikazanim gore se može uočiti učešće viših harmonika struje, što rezultira značajnim odstupanjem od sinusnog oblika.

Tabela 2.3 Efektivne vrijednosti i fazni stavovi napona i struja projektora

PROJEKTOR					
h	I_h (A)	φ_I (°)	U_h (V)	φ_U (°)	$\varphi_U - \varphi_I$ (°)
1.	0,8848	-64,2467	219,4477	-88,8544	-24,6077
2.	0,0055	83,4372	0,0089	-27,3174	-110,7546
3.	0,2186	28,8975	1,4221	41,8136	12,9161
4.	0,0042	-14,0487	0,6250	10,1254	24,1741
5.	0,0520	19,2446	2,7516	-44,5419	-63,7865
6.	0,0037	-78,7649	0,1826	6,5281	85,2930
7.	0,0169	-26,3365	1,6342	-24,1007	2,2358
8.	0,0042	-58,7867	0,5750	-47,9192	10,8675
9.	0,0294	85,7701	1,0641	-83,0743	-168,8444
10.	0,0015	-1,6312	0,1369	74,1287	75,7599
11.	0,0195	71,3816	0,3594	78,7550	7,3734
12.	0,0036	51,2431	0,3593	-8,1691	-59,4122
13.	0,0171	41,9987	0,5033	75,8670	33,8683
14.	0,0012	18,9908	0,2472	-23,5001	-42,4909
15.	0,0175	64,5509	0,3299	-14,1757	-78,7066
16.	0,0073	-23,9774	0,2984	31,7016	55,6790
17.	0,0127	21,9756	0,3520	-40,4962	-62,4718
18.	0,0049	57,2536	0,2095	76,4327	19,1791
19.	0,0177	-9,7475	0,5746	-48,1893	-38,4418
20.	0,0034	-29,6182	0,5609	86,2264	115,8446

Iz tabele 2.3 se primjećuje značajno učešće 3-ćeg harmonika, dok je učešće ostalih harmonika zanemarljivo. Takođe se uočava negativan fazni stav, što govori da se radi o pretežno kapacitivnom potrošaču.

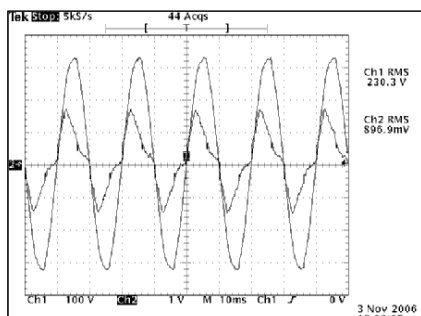
Proračunate vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona za ovaj uređaj iznose: THDI=26,0939% i THDU=1,8087%.

Tabela 2.3.1 Vrijednosti snaga u funkciji promjene napona kod projektora

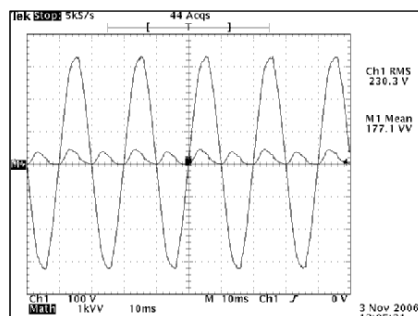
PROJEKTOR				
Naponski nivo (V)	P_{osc} (W)	Q (Var)	D (VA _d)	S (VA)
180	151,5612	-54,6638	37,9363	165,5236
190	177,1193	-69,2978	48,3199	196,2351
200	176,9794	-74,3281	50,1249	198,3907
210	176,4567	-77,1714	51,2904	199,3065
220	176,2866	-81,0674	50,7924	200,5710
230	177,7404	-86,0042	53,2409	204,5066

Iz prethodne tabele se može primijetiti da je najveća aktivna snaga pri naponu od 230V (177,7404W), dok je najmanja pri naponu od 180V (151,5612W). Snaga koju ovaj uređaj razvija pri naponu od 230V je za 17,27% veća od one pri naponu od 180V.

Na sledećim slikama (Slika 5. i Slika 6.) su prikazani vremenski oblici napona i struje i napona i snage projektora.



Slika 5. Vremenski oblik napona i struje projektora



Slika 6. Vremenski oblik napona i snage projektora

Sa grafika 5 se uočava “deformacija” dijagrama struje, što je posledica značajnog učešća 3-ćeg harmonika.

Tabela 2.4 Efektivne vrijednosti i fazni stavovi napona i struje neonske svetiljke

NEONKA					
h	$I_h (A)$	$\varphi_I (\circ)$	$U_h (V)$	$\varphi_U (\circ)$	$\varphi_U - \varphi_I (\circ)$
1.	0,8075	35,9821	220,4610	-88,4104	-124,3425
2.	0,0052	21,9903	0,0967	21,3483	-0,6420
3.	0,0800	64,1465	0,4219	-79,3960	-143,5425
4.	0,0018	-12,2874	0,1332	69,8756	82,1630
5.	0,0088	-83,5334	2,5037	-55,8713	27,6621
6.	0,0026	-82,4902	0,3071	19,7427	102,2329
7.	0,0073	0,1872	1,9356	-38,6467	-38,4595
8.	0,0040	84,6436	0,0978	-57,3086	-141,9522
9.	0,0065	1,6199	0,6528	-39,2511	-40,8710
10.	0,0062	-63,8468	0,5068	14,3346	18,1814
11.	0,0016	-24,8253	0,6751	78,8199	103,6452
12.	0,0075	-22,1725	0,2955	8,7686	30,9411
13.	0,0016	-58,5269	0,3986	29,0641	87,5910
14.	0,0023	-67,7641	0,1394	6,5546	74,3189
15.	0,0035	-14,7392	0,5417	-29,6542	-14,9150
16.	0,0023	7,4023	0,6253	78,4899	71,0876
17.	0,0076	-43,7899	0,3939	-80,0775	-36,2876
18.	0,0026	-76,1139	0,2766	-28,6814	47,4325
19.	0,0055	-13,9204	0,2956	-44,5671	-30,6467
20.	0,0040	-79,7842	0,2538	-81,4014	-1,6172

Ovaj potrošač u ustaljenom režimu nema značajno izraženih harmonika, samim tim ni značajnog uticaja na mrežu, osim što je jasno izražena fazna razlika struje i napona.

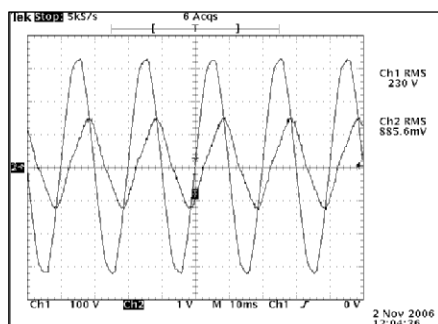
Proračunate vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona za ovaj uređaj iznose: THDI=10,2555% i THDU=1,6226.

Tabela 2.4.1 Vrijednosti snaga u funkciji promjene napona kod neonske svjetiljke

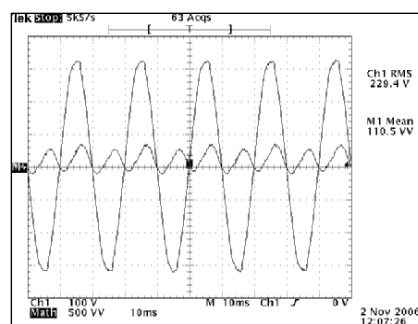
NEONKA				
Naponski nivo (V)	P_{osc} (W)	Q (VAr)	D (VAd)	S (VA)
180	61,4219	66,0292	12,8694	91,0940
190	70,9885	85,0055	13,5139	111,5702
200	81,3341	105,1965	14,3428	133,7432
210	90,7994	125,6525	16,1405	155,8640
220	100,5485	146,8806	18,4857	178,9570
230	110,1523	170,2343	19,8976	203,7379

Najveća aktivna snaga koju razvija neonska svjetiljka je pri naponu od 230V (110,1523W) i ona je veća za 79,33% od najmanje snage koju razvija ovaj uređaj pri naponu od 180V (61,4219W).

Na Slici 7 je prikazan vremenski oblik napona i struje, a na Slici 9 je prikazan vremenski oblik napona i snage kod neonske svjetiljke.



Slika 8. Vremenski oblik napona i struje neonske svjetiljke



Slika 9. Vremenski oblik napona i snage neonske svjetiljke

Na grafiku je jasno uočljiva fazna razlika između struje i napona, što je i navedeno kao karakteristika ovog uređaja koja je uočena i u tabeli 2.4.

Tabela 2.5 Efektivne vrijednosti i fazni stavovi napona i struje lap-topa bez baterije

LAP-TOP bez baterije					
h	$I_h (A)$	$\varphi_I (\circ)$	$U_h (V)$	$\varphi_U (\circ)$	$\varphi_U - \varphi_I (\circ)$
1.	0,1399	-67,9409	219,2529	88,5669	156,5078
2.	0,0042	-45,8748	0,2060	-5,5421	40,3327
3.	0,0291	-16,7506	0,5255	52,9067	69,6573
4.	0,031	5,5761	0,4006	-20,7581	-26,3342
5.	0,0192	-39,0971	2,2472	-60,2645	-21,1674
6.	0,0055	-14,0855	0,2263	86,4445	100,5300
7.	0,0034	-35,4968	1,3081	-43,4177	-7,9209
8.	0,0091	55,0989	0,4958	-61,2122	-116,3111
9.	0,0103	-88,4066	0,7475	-64,9192	23,4874
10.	0,0034	61,7037	0,1960	-12,1016	-73,8053
11.	0,0123	47,0587	0,7879	-71,5166	-118,5753
12.	0,0023	80,8185	0,0376	32,8953	-47,9232
13.	0,0065	83,8673	0,7352	-13,9226	-97,7899
14.	0,0053	83,3947	0,1128	21,1580	-62,2367
15.	0,0067	26,4515	0,4967	-53,2873	-79,7388
16.	0,0092	84,7464	0,2806	-25,9191	-110,6655
17.	0,0072	2,9237	0,5412	-84,5615	-87,4852
18.	0,0040	-81,9899	0,0261	41,7583	123,7482
19.	0,0103	50,5417	0,2804	30,4440	-20,0977
20.	0,0053	-28,4484	0,1916	0,4257	28,8741

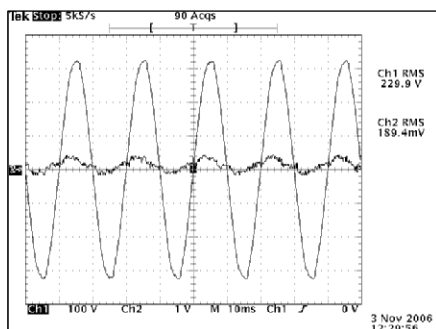
Proračunate vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona za ovaj uređaj iznose: THDI=32,3029% i THDU=1,4455%.

Tabela 2.5.1 Vrijednosti snaga u funkciji promjene napona kod lap-topa bez baterije

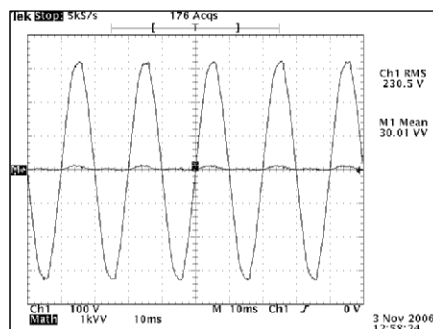
LAP-TOP bez baterije				
Naponski nivo (V)	$P_{osc} (W)$	$Q(VAr)$	$D(VAd)$	$S(VA)$
180	30,6684	-5,3534	8,1646	32,1849
190	30,0077	-5,7222	6,2674	31,1847
200	28,5735	-5,9215	8,5449	30,4059
210	29,1713	-11,6565	9,3070	32,7636
220	28,1598	-12,2696	9,9203	32,2789
230	30,6728	-14,9660	10,8566	35,8143

Iz prethodne tabele se može primijetiti da je najveća aktivna snaga pri naponu od 230V (30,6728W), dok je najmanja pri naponu od 220V (28,1598W). Snaga koju ovaj uređaj razvija pri naponu od 230V je za 8,9% veća od one pri naponu od 220V.

Na sledećim slikama (Slika 10 i Slika 11) su prikazani vremenski oblici napona i struje i napona i snage kod lap-topa bez baterije.



Slika 10. Vremenski oblik napona i struje lap-topa bez baterije



Slika 11. Vremenski oblik napona i snage lap-topa bez baterije

Tabela 2.6 Efektivne vrijednosti i fazni stavovi napona i struje lap-topa sa baterijom

LAP-TOP sa baterijom					
h	I_h (A)	φ_I ($^\circ$)	U_h (V)	φ_U ($^\circ$)	$\varphi_U - \varphi_I$ ($^\circ$)
1.	0,1620	-67,2463	219,3182	-89,7538	-22,5075
2.	0,0091	32,9812	0,2093	89,6081	56,6269
3.	0,0319	-29,6373	0,1931	59,9937	89,6310
4.	0,0027	-38,6527	0,0840	63,5255	102,1782
5.	0,0213	-5,6297	2,1465	-50,1762	-44,5465
6.	0,0049	-80,4406	0,1940	64,2263	144,6669
7.	0,0124	-57,4439	1,5676	-26,1458	31,2981
8.	0,0052	18,2978	0,2006	41,3606	23,0628
9.	0,0059	85,7334	1,0039	-24,1673	-109,9007
10.	0,0030	-64,6297	0,1816	32,2826	96,9128
11.	0,0069	7,6066	0,9775	-55,5656	-63,1722
12.	0,0095	-14,4715	0,3935	-11,8884	2,5831
13.	0,0084	-85,0085	0,5597	24,1077	109,1162
14.	0,0043	14,1388	0,1539	79,0867	64,9479
15.	0,0026	-4,6858	0,5981	-13,8138	-9,1280
16.	0,0079	40,1076	0,0680	-76,8335	-116,9411
17.	0,0114	-49,0593	0,2536	-87,6654	-38,6061
18.	0,0116	25,3258	0,1212	20,5921	-4,7337
19.	0,0121	-81,6711	0,3757	-26,3150	55,3561
20.	0,0053	9,8209	0,2256	-2,4970	-12,3179

Kod ovog uređaja se primjećuje da stavljanjem baterije se mijenja njegova karakteristika (prelazi iz izrazito induktivnog u kapacitivno opterećenje).

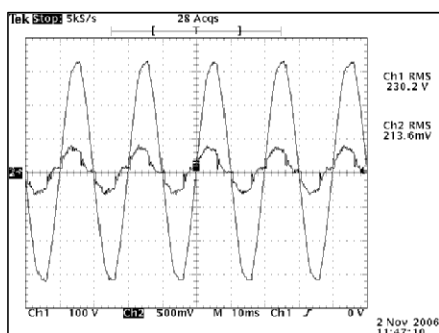
Proračunate vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona za ovaj uređaj iznose: THDI=31,1263% i THDU=1,4673%.

Tabela 3.6.1 Vrijednosti snaga u funkciji promjene napona kod lap-topa sa baterijom

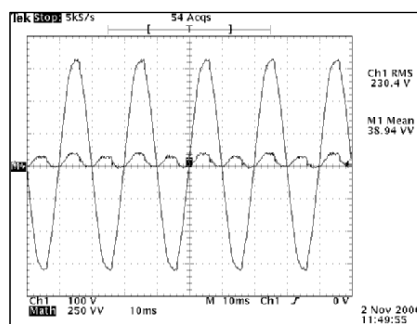
LAP-TOP sa baterijom				
Naponski nivo (V)	P_{osc} (W)	Q (VAr)	D (VAd)	S (VA)
180	33,3472	-5,7380	7,6027	34,6808
190	33,0594	-5,9505	7,7691	34,4774
200	33,7479	-7,4092	8,8018	35,6551
210	31,9163	-9,8800	9,7784	34,8120
220	32,8546	-13,6608	11,0733	37,2647
230	26,3351	-17,9380	11,7300	33,9544

Najveća aktivna snaga koju razvija lap-top sa baterijom je pri naponu od 200V (33,7479W) i ona je veća za 28,14% od najmanje snage koju razvija ovaj uređaj pri naponu od 230V (26,3351W).

Na Slici 12 je prikazan vremenski oblik napona i struje, a na Slici 13 je prikazan vremenski oblik napona i snage kod lap-topa sa baterijom.



Slika 13. Vremenski oblik napona i struje lap-topa sa baterijom



Slika 14. Vremenski oblik napona i snage lap-topa sa baterijom

Na Slici 14 (lap-top sa baterijom) se se primjećuje povećanje snage u odnosu na Slici 12 (lap-top bez baterije). Ovo je rezultat punjenja baterije nakon njenog stavljanja.

Tabela 2.7 Efektivne vrijednosti i fazni stavovi napona i struje klime-stare

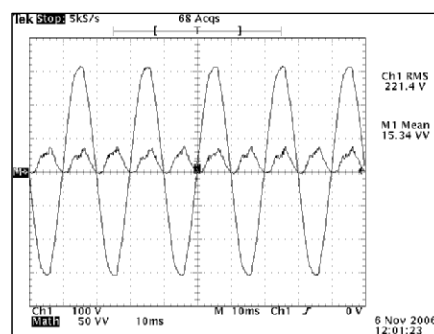
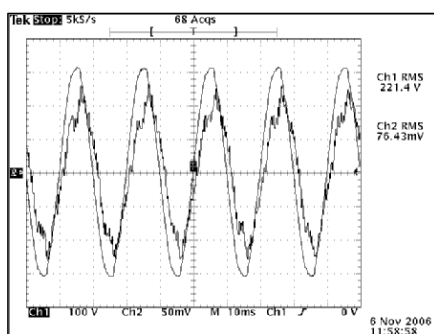
KLIMA - stara					
h	$I_h (A)$	$\varphi_I (^\circ)$	$U_h (V)$	$\varphi_U (^\circ)$	$\varphi_U - \varphi_I (^\circ)$
1.	0,0755	67,2535	220,8729	-88,5440	-155,7975
2.	0,0049	27,9747	0,3520	2,0352	-25,9395
3.	0,0046	-51,0947	0,5797	35,2534	86,3481
4.	0,0013	-86,3724	0,4954	34,7428	121,1152
5.	0,0066	-68,2167	1,8828	-33,1499	35,0668
6.	0,0023	82,1215	0,3232	6,4098	-75,7117
7.	0,0043	-82,5133	1,7425	-23,8189	58,6944
8.	0,0011	9,1690	0,3014	25,1725	16,0035
9.	0,0019	-65,9211	1,1782	-32,4224	33,4987
10.	0,0010	36,6367	0,4640	88,3924	51,7557
11.	0,0019	58,7507	0,9294	-65,8356	-124,5863
12.	0,0011	-13,9138	0,1488	-81,8276	-67,9138
13.	0,0015	25,9035	0,2259	24,1181	-1,7854
14.	6,2838e-004	70,7900	0,3598	-47,0413	-117,8313
15.	3,7816e-004	19,5885	0,7500	11,8150	-7,7735
16.	1,1818e-004	37,9310	0,3757	-0,2642	-38,1952
17.	6,6973e-004	24,6971	0,3969	-40,6499	-65,3470
18.	0,0015	31,2456	0,2802	-28,7294	-59,9750
19.	6,9525e-004	-34,1419	0,0507	-57,7923	-23,6404
20.	8,8267e-004	44,3299	0,2000	49,9583	5,6284

Proračunate vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona za ovaj uređaj iznose: THDI=15,1609% i THDU=1,5103%.

Tabela 2.7.1 Vrijednosti snaga pri naponu od 220V kod klime-stare

KLIMA - stara				
Naponski nivo (V)	$P_{osc} (W)$	$Q (Var)$	$D (VAd)$	$S (VA)$
220	1522,1800	685,18	253,98	1688,4932

Na Slici 15 je prikazan vremenski oblik napona i struje, a na Slici 16 je prikazan vremenski oblik napona i snage kod klime-stare.



Slika 15. Vremenski oblik napona i struje klime-stare

Slika 16. Vremenski oblik napona i snage klime-stare

Kod klima (stare i nove) mjerenje vrijednosti snaga je vršeno samo pri naponu od 220V i te vrijednosti su date u Tabelama 2.7.1 i 2.7.2.

Tabela 2.8 Efektivne vrijednosti i fazni stavovi napona i struje klime-nove

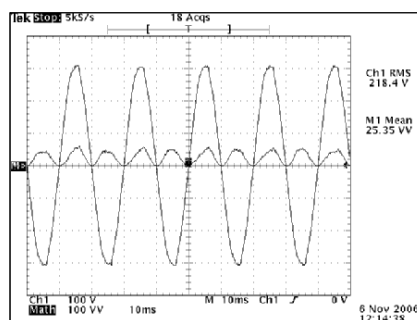
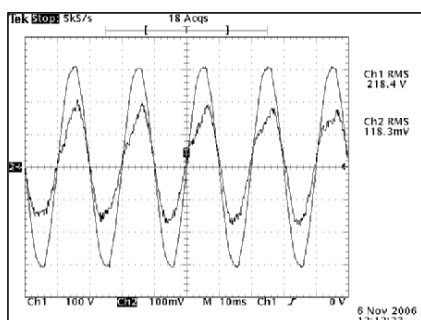
KLIMA - nova					
h	$I_h (A)$	$\varphi_I (\circ)$	$U_h (V)$	$\varphi_U (\circ)$	$\varphi_U - \varphi_I (\circ)$
1.	0,1157	86,4114	218,3159	87,5240	1,1126
2.	0,0167	-16,5019	0,8671	12,4736	28,9755
3.	0,0032	-63,5025	0,7714	14,9563	78,4588
4.	0,0074	39,4189	0,5006	38,6891	-0,7298
5.	0,0029	48,5590	2,5261	-50,1788	-98,7378
6.	0,0039	12,7776	0,1825	16,9176	4,1400
7.	0,0029	70,5989	1,7431	-47,9984	-118,5973
8.	0,0014	-58,7989	0,1142	36,1009	94,8998
9.	0,0015	13,3485	0,8482	-71,6039	-84,9524
10.	8,2052e-004	71,7599	0,2347	33,7366	-38,0233
11.	0,0019	-38,6019	0,6682	46,1637	84,7656
12.	3,1091e-004	23,9769	0,2564	71,6233	47,6464
13.	7,3903e-004	42,8166	0,5151	-28,2076	-71,0242
14.	0,0074	39,4189	0,2090	-17,0268	-56,4457
15.	4,1352e-004	39,1911	0,4568	-47,4056	-86,5963
16.	6,3836e-004	-24,2288	0,3158	35,8879	60,1167
17.	8,6227e-004	-53,6491	0,4237	48,0711	101,7202
18.	8,0625e-004	-5,6270	0,4973	-78,3106	-72,6836
19.	0,0012	-2,8618	0,4601	37,0083	39,8701
20.	9,3800e-004	89,7246	0,2434	2,0256	-87,6990

Proračunate vrijednosti ukupne harmonijske distorzije struje i napona za ovaj uređaj iznose: THDI=17,1144% i THDU=1,6989%.

Tabela 2.8.1 Vrijednosti snaga pri naponu od 220V kod klime-nove

KLIMA - nova				
Naponski nivo (V)	$P_{osc} (W)$	$Q(VAr)$	$D(VAd)$	$S(VA)$
220	2524,3400	49,97	433,83	2561,8348

Na sledećim slikama (Slika 17 i Slika 18) su prikazani vremenski oblici napona i struje i napona i snage kod klime-nove.



Slika 17. Vremenski oblik napona i struje klime-nove

Slika 18. Vremenski oblik napona i snage klime-nove

Tabela 2.9 Usporedna analiza uticaja različitih potrošača na mrežu po pitanju viših harmonika

Potrošač	Mesoreznica	TV	Projektor	Neonka	Lap-top bez baterije	Lap-top sa baterijom	Klima-stara	Klima-nova
THDI (%)	10,893	103,473	26,093	10,255	32,302	31,126	15,160	17,114
THDU (%)	19,476	2,019	1,808	1,622	1,445	1,467	1,510	1,698
Ocjena uticaja na mrežu	neznatan	jako loš	loš	neznatan	loš	loš	neznatan	neznatan

3. ZAKLJUČAK

Mjerenje harmonika tj. dobijanje realne slike o stepenu „zagađenosti“ elektroenergetskog sistema ili nekog njegovog dijela ima poseban značaj. Ono obezbjeđuje potrebne informacije o nivou kvaliteta električne energije, a kroz to i o cjelokupnom kvalitetu rada i stanja na mreži. Pored ovog, mjerenje omogućuje i lociranje izvora viših harmonika, donošenje i sprovođenje harmonijskih standarda i propisa.

Tokom mjerenja viših harmonika dobijen je veliki broj podataka. Mjereni su i registrovani talasni oblici napona i struje, njihova efektivna vrijednost i frekvencija. Nakon mjerenja je izvršena analiza, odnosno izračunavanje spektra snimljenih talasnih oblika, te određivanje harmonijskih faktora napona i struje, i to individualne (HD) i ukupne (THD) harmonijske distorzije.

Kao rezultat mjerenja dobijen je ogroman broj podataka koji su dodatno obrađivani, da bi kod prikazivanja bili razumljivi i upotrebljivi. Kvalitetan prikaz rezultata mjerenja viših harmonika je od velikog značaja za razumijevanje pojave i pravilno tumačenje dobijenih rezultata. Cilj je da se na jednostavan način obuhvati veliki broj podataka i da se kroz prikaz uputi nedvosmislena poruka o postojanju ili ne postojanju problema.

Usporednom analizom dobijenih rezultata dolazimo do zaključka da se kao najproblematičniji uređaj, po pitanju „proizvodnje“ viših harmonika, izdvaja TV. Međutim TV kao samostalan uređaj razvija malu snagu, te stoga njegov uticaj na parametre mreže

nije mnogo značajan. Zanimljivo bi bilo posmatrati više ovakvih potrošača puštenih u rad na jednom mjestu u isto vrijeme, što u praksi nije slučaj.

LITERATURA

1. V. Katić: "Kvalitet električne energije – viši harmonici", Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2002.
2. J. Arrillaga, D. Bradley, P. Bodger, „Power System Harmonics“, John Wiley & Sons, New York, 1985.
3. R. Dugan, M. McGranahhan, H. Beauty, „Electric Power System Quality“, McGraw Hill, New York, 1996.
4. IEEE Power Engineerig Society, "Tutorial on Harmonics Modeling and Simulation", 1998.
5. JUKO-CIGRE, STK-31: Stručna konsultacija "Kvalitet električne energije", Vrnjačka Banja, Okt. 1992.
6. D. Paice, "Power Electronic Converter Harmonics", IEEE Pres,New York, 1996.
7. V. Katić: "Viši harmonici u distributivnoj mreži-osnovne informacije", EPS-JP Elektrovojdina, Novi Sad, 2001.
8. Zbornici sa Int. Conference on Harmonics in Power System – ICHPS, IEEE, 1992-2002.
9. Zbornici sa Int. Conference on Power Quality, ZM Communications Gmbh, Nuremberg, 1992-2002.
10. www.pqgroup.com
11. www.electrotek.com
12. www.powerquality.com