

**XIII Seminarium**  
**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE 2003**  
Oddział Gdański PTETiS

**ANALIZA HARMONICZNA PRĄDU**  
**W INSTALACJI Z LAMPAMI METALOHALOGENKOWYMI**

**Stanisław CZAPP**

Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk  
tel.: (58) 347 13 98 fax: (58) 347 18 02 e-mail: [sczapp@ely.pg.gda.pl](mailto:sczapp@ely.pg.gda.pl)

Projektując instalację elektryczną zawierającą lampy metalohalogenkowe należy uwzględnić specyfikę tych odbiorników energii, a przede wszystkim znaczną zawartość wyższych harmonicznych w pobieranym prądzie. Odkształcenia prądu wpływają na dobór zabezpieczeń, przekroju przewodów i transformatora zasilającego. W referacie przedstawiono analizę harmoniczną prądu pobieranego przez lampy metalohalogenkowe oraz omówiono wpływ stopnia odkształcenia na dobór elementów instalacji zasilającej.

## **1. WSTĘP**

Przy zasilaniu lamp metalohalogenkowych napięciem sinusoidalnym w ich obwodzie płynie prąd o znacznym odkształceniu. Prąd ten może wywoływać w sieci odkształcenia napięcia zasilającego, co wpływa niekorzystnie na pozostałe odbiorniki zasilane z tej sieci [1]. Przepływ prądu o znacznej zawartości wyższych harmonicznych powoduje dodatkowe straty mocy w przewodach zasilających, w rozdzielnicach z aparaturą zabezpieczającą oraz transformatorze zasilającym. W konsekwencji należy zredukować ich obciążalność długotrwałą. Z tych powodów ważna jest analiza harmoniczna prądu pobieranego przez lampy metalohalogenkowe, na podstawie której można sformułować zalecenia pomocne przy projektowaniu instalacji oświetleniowej z lampami metalohalogenkowymi.

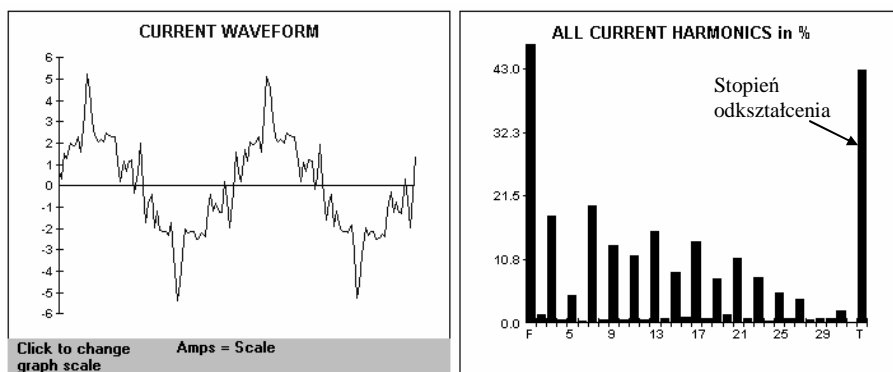
## **2. CHARAKTERYSTYKA LAMP METALOHALOGENKOWYCH**

Lampy metalohalogenkowe należą do grupy lamp rtęciowych wysokoprężnych. Do przestrzeni wyładowania elektrycznego w parze rtęci wprowadzono pary innych metali, aby wzbudzać atomy tych metali i wykorzystywać ich wyższe przejścia energetyczne. W konsekwencji w stosunku do zwykłych lamp rtęciowych wysokoprężnych lampy metalohalogenkowe charakteryzują się znacznie bogatszym widmem oraz wyższą skutecznością świetlną. Przeciętna skuteczność świetlna lamp metalohalogenkowych to około 100 lm/W (wysoka - 140 lm/W), podczas gdy skuteczność świetlna tradycyjnych lamp rtęciowych wysokoprężnych raczej nie przekracza 60 lm/W. Charakterystyka i-u źródła światła oraz

układu stabilizacyjno-zapłonowego jest nieliniowa, więc prąd pobierany przez lampę jest silnie odkształcony, co może stwarzać różne komplikacje w instalacji zasilającej. Harmoniczne podzielne przez 3 sumują się w przewodzie neutralnym (ochronno-neutralnym) i może płynąć w nim prąd o znacznej wartości, mimo symetrycznego rozmieszczenia lamp.

### 3. ANALIZA HARMONICZNA PRĄDU POBIERANEGO PRZEZ LAMPY W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Pomiarom poddano trzy jednakowe lampy o mocy 400 W połączone w układ 3-fazowy symetryczny [2]. Analizowano przebieg prądu każdej z lamp oraz prądu w przewodzie neutralnym N. Do pomiarów użyto analizatora harmonicznego Harmonalyzer typu HA-2000 firmy Amprobe Instrument wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem komputerowym.



Przebieg prądu w czasie 40 ms

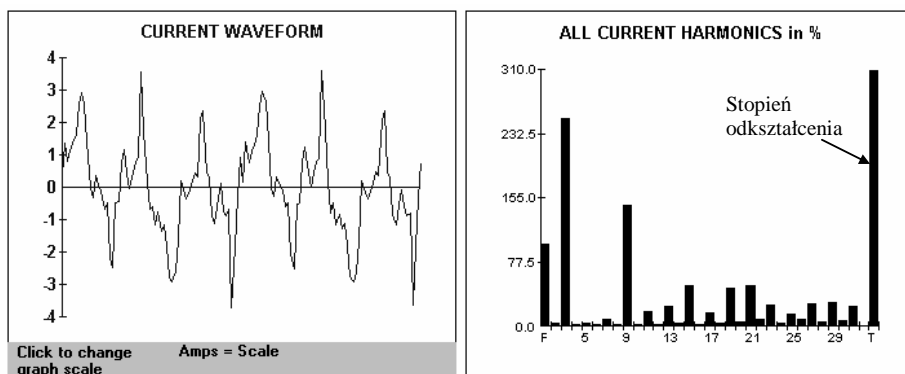
Charakterystyka widmowa prądu

Zawartość harmonicznyc nieparzystych				Zawartość harmonicznyc parzystych					
CURRENT ODD HARMONICS				CURRENT EVEN HARMONICS				CURRENT TOTALS	
H	%	RMS	Angle	H	%	RMS	Angle	Total	2,17 rms
1	100.0	1.99	+0	2	1.4	0.03	-118	Peak	6.06
3	18.0	0.36	-89	4	0.4	0.01	+165	Average	1.82
5	4.7	0.09	+117	6	0.3	0.01	-77	DC Comp	0.03
7	19.9	0.40	+35	8	0.5	0.01	-99	Crest Factor	2.79
9	13.1	0.26	-115	10	0.4	0.01	+17	Form Factor	1.19
11	11.5	0.23	+115	12	0.5	0.01	-132	Fund Freq	49.99 Hz
13	15.6	0.31	+72	14	0.7	0.01	+132	Fundamental	1.99 rms
15	8.7	0.17	-164	16	0.9	0.02	+56	Harmonics	0.86 rms
17	13.8	0.28	+177	18	0.7	0.01	+90	THD Percent	42.9%
19	7.5	0.15	+161	20	1.4	0.03	+58	K Fctr	26.57
21	10.9	0.22	-116	22	0.7	0.01	-3		
23	7.6	0.15	-88	24	0.3	0.01	+129		
25	5.1	0.10	+138	26	0.8	0.02	-73		
27	4.1	0.08	+127	28	0.5	0.01	-127		
29	0.8	0.02	+117	30	0.7	0.01	+6		
31	2.1	0.04	+70	Even	2.9	0.06			
Tripln	26.6	0.53							
Odd	42.8	0.85							
THD	42.9	0.86							

Rys. 1. Analiza harmoniczna prądu pobieranego przez pojedynczą lampę metalohalogenową

Przedstawiono reprezentatywne przebiegi prądu przy zasilaniu lamp napięciem 230 V, o stopniu odkształcenia THD = 2÷3,5%. Stopień odkształcenia napięcia można ocenić jako bardzo mały, jeśli chodzi o obiekty zasilane z sieci miejskiej.

Przebiegi na rysunku 1 wykazują, że prąd pobierany przez lampy jest silnie odkształcony. W wyniku przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że stopień odkształcenia prądu THD osiąga wartości z przedziału 39÷54%; parametr ten zmienia się losowo, podobnie jak i wartość skuteczna pobieranego prądu. Przebieg prądu pojedynczej lampy jest silnie „wyostrzony”, charakteryzuje się dużym współczynnikiem szczytu  $I_{\max}/I_{\text{rms}} = 2,5\div 3,1$ , zamiast 1,41, jak w przypadku przebiegu sinusoidalnego. Jest to ważne spostrzeżenie, gdyż przy zabezpieczaniu obwodu wkładkami bezpiecznikowymi mogłoby dochodzić do zadziałania na pozór dobrze dobranej wkładki. Zaleca się więc dobranie bezpiecznika o stopień większego i raczej o charakterystyce zwłocznej. Zwraca się też uwagę, że mogą występować więcej niż dwa przejścia przez zero prądu odkształconego w czasie jednego okresu harmonickej podstawowej (20 ms).



Przebieg prądu w czasie 40 ms

Charakterystyka widmowa prądu

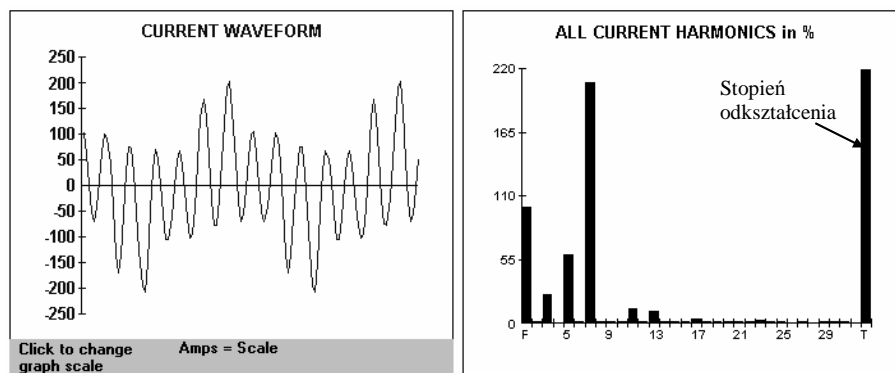
Zawartość harmonicjnych nieparzystych				Zawartość harmonicjnych parzystych				CURRENT TOTALS	
CURRENT ODD HARMONICS				CURRENT EVEN HARMONICS					
H	%	RMS	Angle	H	%	RMS	Angle	Total	1,44 rms
1	100,0	0,44	+0	2	3,1	0,01	+47	Peak	3,75
3	250,8	1,11	-51	4	0,9	0,00	+45	Average	1,09
5	4,5	0,02	-96	6	2,1	0,01	+36	DC Comp	0,01
7	9,2	0,04	-7	8	0,7	0,00	-6	Crest Factor	2,60
9	147,1	0,65	+54	10	2,7	0,01	-37	Form Factor	1,32
11	17,9	0,08	+141	12	0,4	0,00	-167	Fund Freq	50,01 Hz
13	23,6	0,10	-178	14	4,7	0,02	+73	Fundamental	0,44 rms
15	48,5	0,21	+153	16	1,9	0,01	+178	Harmonics	1,37 rms
17	16,1	0,07	-96	18	3,3	0,01	-179	THD Percent	309,7%
19	45,6	0,20	-144	20	5,8	0,03	-86	K Fctr	69,13
21	48,4	0,21	-40	22	7,9	0,03	-108		
23	25,2	0,11	+28	24	3,0	0,01	-148		
25	14,3	0,06	-59	26	8,1	0,04	+125		
27	27,6	0,12	+114	28	6,1	0,03	-143		
29	29,6	0,13	-159	30	7,0	0,03	-172		
31	23,5	0,10	-136	Even	17,7	0,08			
Tripln	300,2	1,33							
Odd	309,2	1,37							
THD	309,7	1,37							

Rys. 2. Analiza harmonicjna prądu płynącego w przewodzie neutralnym obwodu 3-fazowego obciążonego symetrycznie trzema lampami metalohalogenkowymi (1 lampa/fazę)

W prądzie płynącym w przewodzie neutralnym obwodu trójfazowego symetrycznie obciążonego (rys. 2), dominują harmoniczne nieparzyste podzielne przez 3 (tripeln), zwłaszcza 3. harmoniczna. Stopień odkształcenia prądu THD jest rzędu 300 %. Mimo symetrycznego obciążenia prąd w przewodzie neutralnym osiąga niemal 70 % wartości prądu w przewodach fazowych.

#### 4. ANALIZA HARMONICZNA PRĄDU W OBIEKCIE ZAWIERAJĄCYM DUŻĄ LICZBĘ LAMP

Odkształcenie prądu pobieranego przez grupę lamp metalohalogenkowych (około 90 lamp o mocy 400 W) jest znacznie większe niż w warunkach laboratoryjnych (rys. 3).



Przebieg prądu w czasie 40 ms

Charakterystyka widmowa prądu

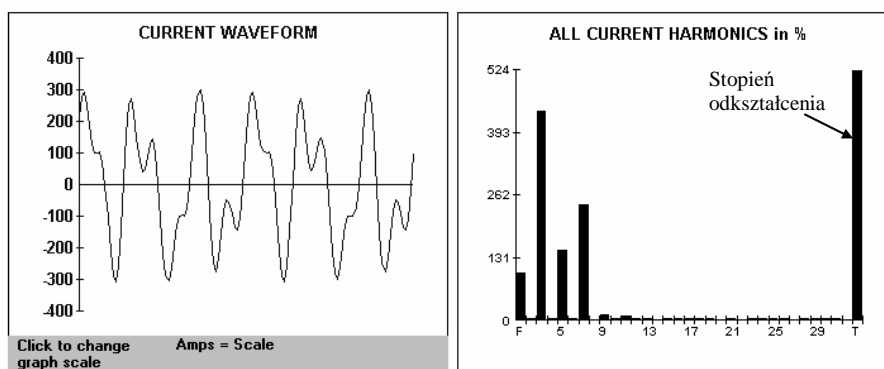
Zawartość harmonicznych nieparzystych				Zawartość harmonicznych parzystych				CURRENT TOTALS	
CURRENT ODD HARMONICS				CURRENT EVEN HARMONICS					
H	%	RMS	Angle	H	%	RMS	Angle		
1	100,0	38,36	+0	2	0,5	0,20	-138	Total	92,40 rms
3	24,6	9,45	+131	4	0,1	0,05	-26	Peak	204,58
5	59,5	22,84	+152	6	0,6	0,24	+36	Average	77,03
7	208,7	80,07	-66	8	1,0	0,37	-116	DC Comp	0,05
9	1,2	0,47	+165	10	0,2	0,07	-163	Crest Factor	2,21
11	12,4	4,75	+12	12	0,4	0,15	-138	Form Factor	1,20
13	10,8	4,16	+178	14	0,5	0,21	+72	Fund Freq	50,00 Hz
15	1,8	0,70	-110	16	0,3	0,12	+61	Fundamental	38,36 rms
17	3,6	1,38	-34	18	0,4	0,15	+42	Harmonics	84,07 rms
19	1,5	0,58	+106	20	0,3	0,13	+141	THD Percent	219,2%
21	1,5	0,56	-81	22	0,3	0,13	+71	K Fctr	39,46
23	2,2	0,83	-100	24	0,6	0,23	+79		
25	0,9	0,33	+89	26	0	0			
27	0,8	0,30	-50	28	0,2	0,07	+137		
29	1,1	0,41	-2	30	0,4	0,16	+142		
31	0,9	0,33	+100	Even	1,8	0,68			
Triplen	24,8	9,52							
Odd	219,1	84,06							
THD	219,2	84,07							

Rys. 3. Analiza harmoniczna prądu pobieranego przez grupę lamp metalohalogenkowych

Stopień odkształcenia prądu THD w przewodach fazowych instalacji badanego obiektu osiąga poziom 70÷220% w porównaniu z wartością 39÷54% zmierzoną w laboratorium. Zwraca uwagę niemal trzykrotnie większa wartość skuteczna prądu – 92,4 A w stosunku do prądu harmonicznej podstawowej – 38,36 A. Ma to istotne znaczenie praktyczne przy wyzna-

czaniu prądu znamionowego zabezpieczeń gdyż na podstawie danych producenta, który podaje moc czynną lampy oraz prąd znamionowy będący w zasadzie prądem pierwszej harmonicznej, można by wysunąć mylne wnioski, co do spodziewanego szczytowego prądu obciążenia obwodu z grupą lamp.

Znaczny stopień odkształcenia prądu wpływa też na dobór transformatora zasilającego obiekt z dużą liczbą lamp. Przy dużym odkształceniu należy znacznie skorygować dopuszczalne obciążenie transformatora, aby uniknąć jego przeciążenia cieplnego. Przy założeniu, że współczynnik THD płynącego prądu jest rzędu 150 – 200 % może być wymagana redukcja pobieranej mocy do poziomu 0,4 wartości znamionowej mocy transformatora tzn., że transformator o mocy 630 kVA można obciążyć co najwyżej mocą około 250 kVA.



Przebieg prądu w czasie 40 ms

Charakterystyka widmowa prądu

Zawartość harmoniczných nieparzystých

**CURRENT ODD HARMONICS**

H	%	RMS	Angle
1	100.0	33.12	+0
3	439.1	145.42	+13
5	147.8	48.94	-117
7	242.8	80.40	+20
9	10.5	3.48	-8
11	8.6	2.86	-94
13	4.0	1.34	+151
15	0.9	0.30	+137
17	0.8	0.26	-122
19	0.5	0.17	-21
21	0.5	0.17	-141
23	0.9	0.30	+18
25	0.8	0.25	-99
27	0.3	0.09	-89
29	1.0	0.32	+44
31	0.7	0.23	+142
Triplen	439.3	145.47	
Odd	523.2	173.29	
THD	523.3	173.30	

Zawartość harmoniczných parzystých

**CURRENT EVEN HARMONICS**

H	%	RMS	Angle
2	2.6	0.85	-109
4	1.4	0.47	-76
6	4.6	1.53	+178
8	0.4	0.15	-10
10	0.5	0.18	+56
12	1.2	0.39	-68
14	0.4	0.14	-3
16	0.6	0.19	+71
18	0.9	0.30	-1
20	0.2	0.07	-89
22	0.3	0.09	+93
24	0.7	0.23	-94
26	0.6	0.20	-39
28	1.0	0.32	-29
30	0.7	0.23	+67
Even	6.0	1.97	

**CURRENT TOTALS**

Total	176.44 rms
Peak	303.62
Average	152.60
DC Comp	0.09
Crest Factor	1.72
Form Factor	1.16
Fund Freq	118.8 Hz
Fundamental	33.12 rms
Harmonics	173.30 rms
THD Percent	523.3%
K Fctr	18.34

Rys. 4. Analiza harmoniczných prądu płynącego w przewodzie neutralnym obwodu oświetleniowego zawierającego dużą liczbę lamp wyładowczych

Analiza harmoniczných prądu w przewodzie neutralnym obiektu zawierającego dużą liczbą lamp metalohalogenkowych wykazała (rys. 4), że stopień odkształcenia osiąga wartość ok. 500%. Na podstawie analizy można również stwierdzić, że prąd w przewodzie neutralnym ma większą wartość niż prąd w przewodach fazowych nawet przy niewielkiej asymetrii obciążenia. Wartość skuteczna tego prądu wynosi 170 A podczas gdy wartość

skuteczna prądu w przewodach fazowych to około 90 A co ma istotne znaczenie przy doborze przekroju żyły neutralnej czy ochronno-neutralnej. Przekrój przewodu neutralnego czy ochronno-neutralnego w instalacjach oświetleniowych z lampami metalohalogenkowymi w żadnym wypadku nie może być mniejszy niż przekrój przewodów fazowych, zaleca się nawet dobór przekroju o jeden stopień większego.

## 5. WNIOSKI

Projektując instalację elektryczną zawierającą dużą liczbę lamp metalohalogenkowych należy uwzględnić specyficzne problemy zasilania odbiorników nieliniowych. Należy przede wszystkim zbadać spodziewany stopień odkształcenia prądu i spodziewany stopień odkształcenia napięcia, a następnie podjąć decyzję o ich akceptacji bądź o sposobach ich ograniczenia. Rozważyć możliwość zasilania odbiorników nieliniowych i odbiorników wrażliwych na odkształcenie napięcia, jak np. układy sterowania, komputery, itp. z oddzielnych transformatorów. Należy zredukować podaną przez producenta moc transformatora zasilającego oraz dobierać przekrój przewodów, zwłaszcza neutralnego (ochronno-neutralnego) z należytą uwagą, gdyż jak wynika z przeprowadzonej analizy przewód neutralny jest obciążony w warunkach normalnego użytkowania prądem o wartości porównywalnej z prądem w przewodach fazowych, a niekiedy nawet dużo większym.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Gabryjelski Z., Kowalski Z.: Sieci i urządzenia oświetleniowe. Zagadnienia wybrane. Politechnika Łódzka. Łódź 1997.
- [2] Musiał E., Czapp S.: Opinia w sprawie zakłóceń wywołanych prądami wyższych harmonicznych w instalacji elektrycznej supermarketu OBI w Gdyni-Cisowej. Gdańsk 1999.

### THE CURRENT HARMONICS ANALYSIS IN INSTALLATION WITH METAL HALIDE LAMPS

An installation design with metal halide lamps requires special study of the current harmonics components. Special attention must be given to the selection of the overcurrent protective devices and cables. This paper describes an harmonics analysis of the metal halide lamps current. The influence of the current distortion on the selection of the installation components is also presented.