

Wpływ harmonicznych napięcia na dokładność wskazań laboratoryjnych urządzeń pomiarowych

The effects of voltage harmonics on accuracy of indications of laboratory measuring instruments

Przemysław Zazula (Okręgowy Urząd Miar w Poznaniu)

W artykule omówiono możliwy wpływ braku oceny jednego z parametrów, traktowanych jako odniesienie podczas pomiarów, na sposób funkcjonowania systemu zapewniającego spójność pomiarową. W artykule ograniczono się do przyrządów mierzących energię elektryczną, zasilającą odbiorniki z różnych źródeł zewnętrznych, sieci energetycznej, przypadkowego UPS, zastępczego zasilacza sieciowego. Przedstawiono i oceniono wpływ zniekształceń wprowadzanych przez przykładowe źródła zasilania.

The article discusses the possible impact of the lack of evaluation of one of the parameters treated as a reference during measurements on the system that ensures metrological traceability. The article is limited to instruments measuring electricity supplying loads from various external sources, power grid, accidental UPS, replacement power supply. The impact of distortions introduced by sample power sources was presented and evaluated.

Słowa kluczowe: spójność pomiarowa, harmoniczne napięcia, zasilanie sieciowe.

Keywords: metrological traceability, voltage harmonics, power supply.

Skala problemu, ilość wzorcowań w kraju

Na podstawie danych z publikacji GUM „POLSKA ADMINISTRACJA MIAR – VADEMECUM” [1] skalę obszarów obejmowanych różnymi działami metrologii można ocenić analizując liczbę wzorcowanych przyrządów pomiarowych. Z uproszczonych szacunków wynika, że za pomocą każdego z około 30 000 wzorcowanych co roku w Głównym Urzędzie Miar dla laboratoriów przemysłu i terenowej administracji miar wzorców lub przyrządów pomiarowych wykonuje się w tychże laboratoriach rocznie od 100 do 500 kolejnych wzorcowań użytkowych przyrządów pomiarowych. Daje to $3 \div 15$ milionów wzorcowań. W tym samym okresie, za pomocą wyżej wymienionych przyrządów pomiarowych wykonuje się, we wszystkich działach gospodarki, średnio około 1000 pomiarów wyrobów końcowych, ich elementów lub podzespołów. W efekcie, w polskiej gospodarce wykonywanych jest rocznie od 3 do 15 miliardów różnego rodzaju pomiarów.

Postęp technologiczny i jego wpływ na dokładność pomiarów

Postęp technologiczny pociąga za sobą zmianę konstrukcji przyrządów pomiarowych praktycznie we wszystkich dziedzinach życia. Elementy metalowe w wagach,

chemiczne w czujkach dymu, elementy ruchome ustrojów pomiarowych mierników elektrycznych zastępuje zminiaturyzowana elektronika. W przyrządach zmienia się struktura wewnętrznych układów pomiarowych, wprowadza się nowe rodzaje przetworników. Zasilanie baterijne zastępują zasilacze sieciowe, a te dalej modyfikowane w celu obniżenia ceny i zużycia energii elektrycznej – w zasilacze sieciowe „impulsowe”.

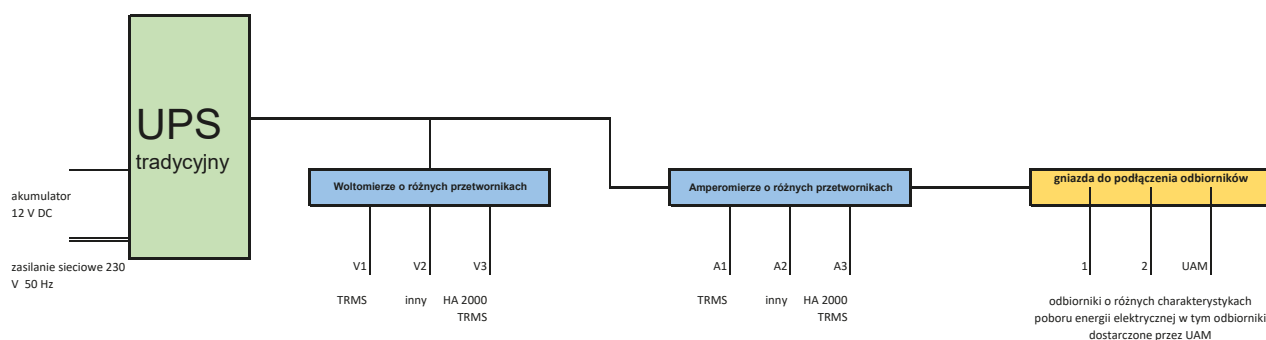
Analizując sytuację na rynku można przyjąć, że większość pomiarów przeprowadzono przy pomocy przyrządów zasilanych z sieci energetycznej, zasilacza sieciowego lub UPS.

Dokładność pomiaru w nowej elektronicznej rzeczywistości

Obok podstawowych parametrów odniesienia, takich jak temperatura, wilgotność, wysokość n.p.m., pole magnetyczne można wskazać również inne parametry odniesienia, w tym charakteryzujące odkształcenia sygnału zasilającego.

Część elektronicznych urządzeń, w sposób niezauważalny deformując sygnał zasilający, wpływa na obiekty podłączone do tej samej instalacji zasilającej. Powstają pytania: czy układy przyrządów pomiarowych są na takie zniekształcenia odporne, czy nie zmienia się wartość wielkości mierzonej, czy „elektronika” w zależności od

Schemat elektryczny układu pomiarowego

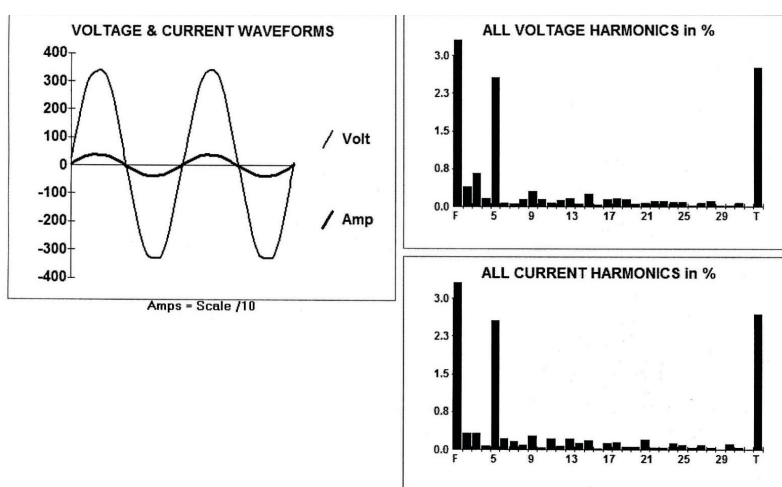


Rys. 1. Zasilanie przyrządów w laboratorium

zastosowania i potrzeb wyposażana w przetworniki, jest jednoznaczna. W celu odpowiedzi na powyższe pytania wybrano do oceny multimetry o różnych przetwornikach i dokonano kilku pomiarów zgodnie z poniższym schematem (rys. 1):

Przypadek 1

Zasilanie sieciowe w laboratorium. Odbiornik o rezystancyjnej charakterystyce obciążenia (tradycyjna żarówka). Analizy dokonano analizatorem firmy Amprobe HA 2000, stanowiącym własność OUM w Poznaniu, a wyniki przedstawiono na rys. 2 i w tab. 1.



Rys. 2. Analiza harmonicznego sygnału sieciowego w laboratorium

Tab. 1. Analiza harmonicznego sygnału sieciowego w laboratorium

VOLTAGE ODD HARMONICS				CURRENT ODD HARMONICS				TOTALS		
H	%	RMS	Angle	H	%	RMS	Angle	Voltage	Current	
1	100,0	242,83	+0	1	100,0	2,72	+0	Total	242,92	2,72 rms
3	0,7	1,60	+118	3	0,3	,01	-98	Peak	334,27	3,75
5	2,6	6,24	-159	5	2,6	,07	-162	Avg.	217,31	2,43
7	0	0		7	0,2	,00	+43	DC	2,68	,00
9	0,3	,76	-106	9	0,3	,01	-114	Crest	1,38	1,38
11	0	0		11	0,2	,01	+49	Form	1,12	1,12
13	0,2	,40	-140	13	0,2	,01	-126	F Freq	50,04	50,06 Hz
15	0,3	,63	-114	15	0,2	,00	-114	Fund.	242,83	2,72 rms
17	0,1	,34	-138	17	0,1	,00	-180	Harm.	6,70	,07 rms
19	0,1	,34	-149	19	0	0		THD %	2,76	2,7%
21	0	0		21	0,2	,01	-144	K Fctr	1,03	1,03
23	0,1	,27	-90	23	0	0				
25	0	0		25	0	0				
27	0	0		27	0	0				
29	0	0		29	0	0				
31	0	0		31	0	0				
Trip.	0,8	1,98		Trip.	0,6	,02				
Odd	2,7	6,56		Odd	2,6	,07				
Even	0,6	1,35		Even	0,5	,01				
THD	2,8	6,70		THD	2,69	,07				



Ocenie poddano napięcie. Wartości wskazane napięcia zasilającego zmierzono dwoma multimetrami produkowanymi przez firmę Brymen typu BM 859CF i BM805, stanowiącymi własność OUM w Poznaniu.

Poniżej wartości:

- BM 859CF 229,7 V, (TRMS)
- BM 805 229,8 V.

Z analizy wynika, że parametr charakteryzujący odkształcenie przebiegu napięcia przyjmuje wartość: THD% = 2,76.

Przypadek 2

Przy braku napięcia sieciowego, odbiornik zasilono z UPS. W tym przypadku odbiornikiem jest energooszczędna żarówka – wyposażona w przetwornicę.

Analizę przeprowadzono analizatorem firmy Amprobe HA 2000, stanowiącym własność OUM w Poznaniu, której wyniki przedstawiono na rys. 3 i w tab. 2.

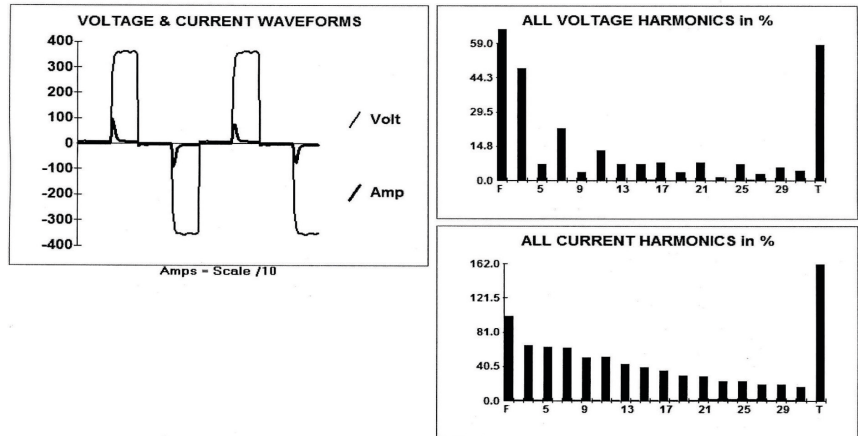
Ocenie dalszej poddano jeden z parametrów energii elektrycznej (mniej odkształcony) – napięcie. Wartości wskazane napięcia zasilającego zmierzono dwoma multimetrami j/w, poniżej wartości:

- BM 859CF 229,0 V, (TRMS)
- BM 805 176,7 V.

Z analizy wynika, że parametr charakteryzujący przebieg napięcia przyjmuje wartość: THD% = 58,41 %,

Wniosek z powyższych analiz

Charakterystyka pracy przetwornika, odpowiadającego za pomiary wykazaną aparaturą pomiarową, ma znaczący wpływ na wartość wskazaną. W tym przypadku przyrząd – multimetr – BM 859CF należał do grupy przyrządów wyposażonych w przetwornik TRMS. Wpływ



Rys. 3. Analiza harmonicznego sygnału z UPS

odkształcenia sygnału na wartość wskazaną napięcia sieciowego praktycznie nie był zauważalny.

W drugim przypadku przyrząd mierzy wartość średnią napięcia, a poprzez „aparat matematyczny” podaje wartość skuteczną. Odkształcenie sygnału może

Tab. 2. Analiza harmonicznego sygnału z UPS

VOLTAGE ODD HARMONICS				CURRENT ODD HARMONICS				TOTALS	Voltage	Current
H	%	RMS	Angle	H	%	RMS	Angle	Total		
1	100,0	198,36	+0	1	100,0	1,00	+0	Peak	229,72	1,91 rms
3	48,2	95,70	+81	3	65,5	,66	+145	Avg.	359,61	9,59
5	7,2	14,26	-6	5	63,4	,64	-48	DC	154,59	,79
7	22,6	44,74	+68	7	62,6	,63	+97	Crest	4,61	,05
9	3,7	7,24	+130	9	51,0	,51	-106	Form	1,57	5,03
11	13,1	25,99	+58	11	52,1	,52	+48	F Freq	1,49	2,40
13	7,2	14,22	+131	13	43,3	,43	-160	Fund.	49,83	49,86 Hz
15	7,0	13,81	+53	15	39,8	,40	+2	Harm.	198,36	1,00 rms
17	7,8	15,47	+122	17	36,0	,36	+153	THD %	115,87	1,62 rms
19	3,5	6,86	+61	19	29,7	,30	-44	K Fctr	58,41	161,7%
21	7,6	15,07	+115	21	29,2	,29	+112		16,93	113,32
23	1,4	2,71	+102	23	23,4	,23	-87			
25	7,0	13,86	+111	25	22,8	,23	+77			
27	2,8	5,47	+161	27	19,2	,19	-123			
29	5,6	11,15	+108	29	18,9	,19	+51			
31	4,3	8,44	+168	31	16,9	,17	-151			
Trip.	49,5	98,28		Trip.	98,5	,99				
Odd	58,4	115,86		Odd	161,6	1,62				
Even	0,6	1,24		Even	5,3	,05				
THD	58,4	115,87		THD	161,72	1,62				

doprowadzić do różnic zmierzonych wartości, w tym przypadku różnica wynosi około 50 V. Producenci nie ukrywają tego typu rozwiązań, nasuwa się jednak pytanie, czy mechanik, chemik, lub elektryk, wykorzystujący w swojej działalności przyrząd do pomiaru przykładowego napięcia sieciowego, potrafi to zinterpretować.

Należy rozróżnić dwa przypadki. Pierwszy, to wpływ jakości napięcia zasilającego na odbiornik. Drugi, to wpływ kształtu napięcia na wartość zmierzona przez przyrząd pomiarowy.

Przykłady informacji z instrukcji producentów przedstawiono w tab. 3.

Tab. 3. Informacje z instrukcji obsługi multimetru cyfrowego

B. Pomiar napięcia zmiennego AC

Zakres	Rozdzielczość	Błąd	Zabezpieczenie przeciążeniowe
6.600 V	1 mV	±(1.2 % + 5)	600 V DC/AC
66.00 V	10 mV	±(1.2 % + 5)	
600.0 V	100 mV	±(1.2 % + 5)	

Uwaga:

- Impedancja wejściowa: 10 MΩ.
- Zakres częstotliwości mierzonego prądu: 40 Hz–400 Hz.
- Metoda połączenia AC i True RMS; Jeśli mierzony prąd nie jest sinusoidalny, to przy odczycie należy zastosować korektę: Gdy współczynnik wartości szczytowej (pik) do wartości RMS wynosi:
 - 1.4–2.0, dodaj 1.0 % do błędów dla tego zakresu,
 - 2.0–2.5, dodaj 2.5 % do błędów dla tego zakresu,
 - 2.5–3.0, dodaj 4.0 % do błędów dla tego zakresu.

W przeprowadzonych analizach parametrem charakteryzującym sygnał (zasilający – sieciowy) był współczynnik zawartości harmonicznych.

Zaprezentowane pomiary i analizy wykonano miernikiem zniekształceń nieliniowych – analizatorem parametrów sieci zasilającej firmy AMPROBE, typ HA-2000 o numerze fabrycznym 422147, wraz z cęgamami HACT-2 przy współudziale komputera z programem HarmonaLink II Version 2. Poniżej przedstawiono algorytm, według którego analizowany jest sygnał, algorytm podawany przez producenta przyrządu:

$$THD_{\%} = \sqrt{\sum_{n=2}^{n=31} \left(\frac{X_n}{X_1}\right)^2} \times 100 \% \quad (1)$$

n – numer harmonicznej,

X_1 – wartość skuteczna 1 harmonicznej (podstawowej),

X_n – wartość skuteczna n -tej harmonicznej.

Przyrząd wykorzystuje zależności trygonometryczne szeregu Fouriera. Umożliwia rozłożenie dowolnej funkcji okresowej, na sumę funkcji trygonometrycznych. W przypadku sygnałów sieciowych są to składowe harmoniczne

o częstotliwości, będącej całkowitą krotnością częstotliwości podstawowej.

Obecnie występują różne algorytmy oceny współczynnika zawartości harmonicznych.

„Harmoniczne” mogą być charakteryzowane:

- przez ich względną amplitudę porównywaną do napięcia składowej podstawowej U_1 , gdzie n jest rzędem harmonicznej, oznaczona „F”,
- przez współczynnik odkształcenia wszystkimi harmonicznymi napięcia zasilającego THD, oznaczona „R”.

W każdym przypadku możliwa jest różna ilość ocenianych składowych harmonicznych.

Algorytmy obliczania:

„F”

$$THD_{F\%} = \sqrt{\sum_{n=2}^{n=40} \left(\frac{X_n}{X_1}\right)^2} \times 100 \%, \text{ inne alg. } n = 19, 31, 50$$

„R”

$$THD_{R\%} = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{n=64} (X_n)^2}{\sum_{n=1}^{n=64} (X_n)^2}} \times 100 \%, \text{ inne alg. } n = 51 \quad (2)$$

n – numer harmonicznej,

X_1 – wartość skuteczna 1 harmonicznej (podstawowej),

X_n – wartość skuteczna n -tej harmonicznej.



Rys. 4. Instrukcja obsługi multimetru cyfrowego AMPROBE model AM-1280E

Zależności pomiędzy definicjami THD

$$\text{THD}_R = \frac{\text{THD}_F}{\sqrt{1 + \text{THD}_F^2}} \quad (3)$$

W celu uniknięcia nieporozumień przy interpretacji wyników, algorytm liczenia wartości THD przez przyrząd jest każdorazowo umieszczany w dokumentacji przyrządu lub świadectwie wzorcowania wraz z ilością składowych rozkładu.

Algorytm liczenia wartości THD występuje również „z drugiej strony” – w wymaganiach i przepisach, w tym przepisach metrologicznych. Np. podczas legalizacji liczników energii elektrycznej osoby pracujące w punktach legalizacyjnych dokonują stałej oceny tego parametru. W przypadku innych algorytmów powszechna powinna być praktyka przeliczenia wartości wskazanej przez przyrząd na przyjętą w konkretnych przepisach.

Podsumowanie

Część elektronicznych urządzeń w sposób niezauważalny „odkształca” sygnał zasilający. Ma to wpływ na podatne obiekty podłączone do tej samej instalacji zasilającej, w tym aparaturę pomiarową.

Na przykładzie wykazano, że część przyrządów pomiarowych na takie zniekształcenia nie jest odporna, zmienia się wartość wielkości mierzonej (U , I). Podobny przypadek może zaistnieć w sytuacji zmiany zasilacza zewnętrznego z analogowego na cyfrowy – impulsowy.

Aparatura pomiarowa, pracując w środowisku sygnałów innych niż przewidział producent, może zachowywać się nieprzewidywalnie. Odkształcony sygnał zasilający aparaturę może wpłynąć na wartość wskazaną wielkości elektrycznej, masy, ciśnienia i innych.

Z problemem tym spotkano się wielokrotnie, stwierdzono:

- przy ocenie uszkodzonego systemu informatycznego, podczas pomiaru wartości napięcia zasilającego multimetrem, wartość 230 V_{AC} , w rzeczywistości wynosiła 286 V_{AC} (pomiar TRMS);
- przy ocenie wyrobu dopuszczanego do dystrybucji, podczas badań „kwalifikujących” w laboratorium badawczym, błędy wskazań wielkości elektrycznych przekraczały 30 %. Pomiary dokonywane były w laboratorium przyrządami analogowymi w sytuacji, gdy przetwornice wprowadzały odkształcenie;
- przy pomiarze wartości natężenia prądu w sieci energetycznej, odpowiadającej za oświetlenie biurowca i domu handlowego, po zainstalowaniu energooszczędnego oświetlenia część instalacji energetycznej przy transformatorze zasilającym przepaliła się. Po naprawie, podczas pomiaru w przewodzie neutralnym, wartość natężenia prądu zmierzona wyniosła 100 A, w rzeczywistości wynosiła 280 A AC (pomiar TRMS).

Dla wykonywanych wzorcowań istotne znaczenie ma jakość parametrów sygnału ocenianego i sieci zasilającej. W celu jej monitorowania powinno się montować odpowiednie urządzenia sygnalizacyjne. Zminimalizowanie błędów wskazań uzyskujemy poprzez odpowiedni dobór przyrządów pomiarowych.

Literatura

- [1] POLSKA ADMINISTRACJA MIAR – VADEMECUM. Wydawnictwo GUM, 2015.