

WPLYW JEDNOSTEK STACJONARNYCH PC I MONITORÓW W STANIE STANDBY NA GENEROWANIE WYŻSZYCH HARMONICZNYCH PRĄDU

Krzysztof LUDWINEK

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
tel.: 41 342-46-82 e-mail: k.ludwinek@tu.kielce.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono badania eksperymentalne wpływu jednostki stacjonarnej PC i monitora w stanie standby, w układzie bez układu korekcji współczynnika mocy, na generowanie wyższych harmonicznych prądu. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów napięć i prądów dokonano obliczeń mocy czynnej i biernej pojemnościowej. Porównano zawartość wyższych harmonicznych zgodnie z obowiązującymi wymogami oraz przy uwzględnieniu ich szerszego spektrum. Ponadto, dla poszczególnych wyższych harmonicznych określono dopuszczalną maksymalną ilość jednostek PC i monitorów w stanie standby.

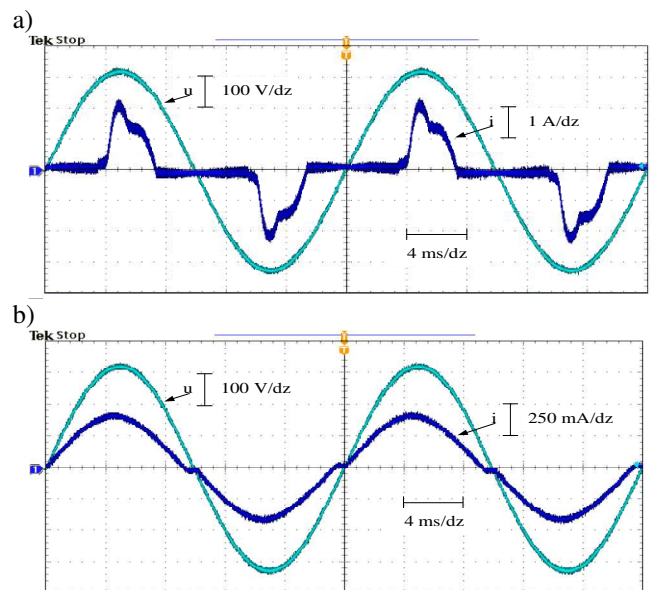
Słowa kluczowe: wyższe harmoniczne, moc czynna, moc bierna pojemnościowa, sprzęt komputerowy.

1. WPROWADZENIE

Zagadnienie negatywnych skutków obecności wyższych harmonicznych w napięciach i prądach zasilania była przedmiotem licznych publikacji [1-3]. Zawartość wyższych harmonicznych w napięciach zasilania ma istotny wpływ na zawartość wyższych harmonicznych w prądach pobieranych przez odbiorniki [4-7]. Z przeprowadzonych badań wynika, że najmniejsza zawartość wyższych harmonicznych pojawi się w tych prądach, w których obecność wyższych harmonicznych w napięciach zasilania jest najmniejsza [4]. W systemie elektroenergetycznym źródłem wyższych harmonicznych napięć zasilania są głównie generatory synchroniczne, transformatory oraz odbiorniki nieliniowe [1, 2, 4-9]. Przy czym, największe wartości w napięciach i prądach występują dla wyższych harmonicznych 3. i 5. rzędu, których głównym źródłem jest nasycenie obwodu magnetycznego generatorów i transformatorów oraz nieliniowości obwodu elektrycznego odbiorników [4-9].

Duża liczba użytkowników korzystających z wszelkiego typu sprzętu komputerowego, najczęściej kilkuletniego (jednostka centralne PC i monitory, UPS-y, laptopy, notebooki, drukarki), źródeł światła z układem elektronicznym, sprzętu AV, itp., podłączonego nawet do systemu zasilania ze źródłem sinusoidalnym, na skutek nieliniowości wprowadzanej przez prostowniki lub układy sterowania powoduje, że oprócz mocy czynnej wzrasta generacja mocy biernej pojemnościowej [8, 9]. Najczęściej tanie lub kilkuletnie urządzenia elektryczne nie są wyposażone w zasilacze pracujące z układem korekcji współczynnika mocy (Power Factor Correction - PFC) [8, 9].

Obecność aktywnego lub pasywnego układu PFC (włączonego pomiędzy prostownik zasilany z sieci a filtr z kondensatorami elektrolitycznymi) koryguje w sposób ciągły (tj. aktywny) lub pasywny (dobrany na stałe) przesunięcie w fazie przebiegu prądu względem napięcia zasilania [8, 9]. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu dla dwóch zasilaczy PC bez układu i z układem PFC.



Rys. 1. Zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu pobieranego przez zasilacz: a) bez układu PFC, b) z układem PFC

Zasilacze elektroniczne posiadające zapas mocy z aktywnym układem PFC pozwalają na [8, 9]:

- dynamiczny przydział mocy przy zachowaniu stabilnych napięć na wyjściu niezależnie od obciążenia,
- pobór prądu sieciowego o niewielkiej zawartości wyższych harmonicznych i najmniejszej wartości skutecznej (rys. 1b),
- uzyskanie prawie sinusoidalnego prądu sieciowego względem napięcia zasilania (rys. 1b) o niewielkim przesunięciu w fazie.

Wadą stosowania układu PFC jest mniejsza sprawność całego zasilacza (z uwagi na obecność dodatkowego układu PFC) oraz większa jego awaryjność.

Wg normy [10], w zależności od budowy odbiornika (klasy A, B, C i D), przyłączenie do publicznej sieci zasilania sprzętu elektrycznego i elektronicznego o prądzie fazowym nieprzekraczającym 16 A wymaga określenia dopuszczalnej zawartości wyższych harmonicznych. W przypadku sprzętu komputerowego, określonego wg normy [10] jako odbiornik klasy D, dopuszczalna zawartość wyższych harmonicznych w prądach jest podana w tabeli 1. Przy czym dla odbiorników klasy D wg normy [10] określa się tylko nieparzyste harmoniczne do 39 rzędu.

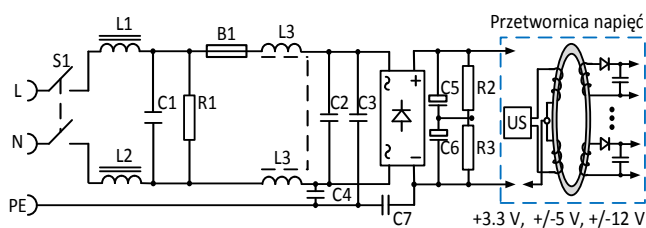
Tablica 1. Zestawienie dopuszczalnej zawartości wyższych harmonicznych w prądach dla odbiorników klasy D wg normy [10]

Rząd harmonicznej nieparzystej n	Maksymalny dopuszczalny prąd na jednostkę mocy [mA/W]	Maksymalny dopuszczalny prąd [A]
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,33
13	3,85/13	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$3,85/n$	$0,15 * 0,15/n$

W niniejszym artykule zostanie rozważony wpływ wyższych harmonicznych generowanych przez układ zasilania jednostki stacjonarnej PC i monitora, w aspekcie przyczyny wzrostu prądu pojemnościowego i mocy biernej pojemnościowej w sieci elektrycznej. Wykonane badania dotyczą najczęściej spotykanego sprzętu komputerowego (tj. kilkuletniego sprzętu występującego w urzędach, szkołach, uczelniach, bankach, itp.) w stanie standby bez układu PFC.

2. SCHEMAT UKŁADU ZASILANIA SPRZĘTU KOMPUTEROWEGO

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy uproszczony schemat typowego zasilacza komputera PC pracującego bez układu PFC. Jest to wprawdzie schemat uproszczony, ale uwzględniający najważniejsze położenie elementów RLC stosowane w większości zasilaczy (bez układu PFC).



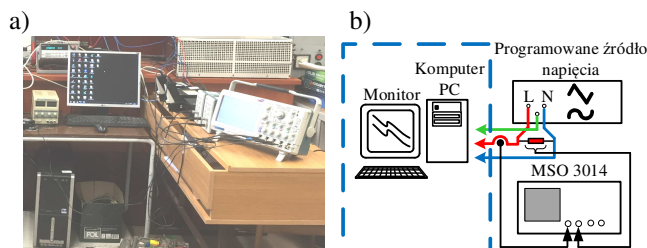
Rys. 2. Uproszczony schemat zasilacza komputera PC bez PFC

Jednym z najprostszych i najczęstszych sposobów poprawy kształtu pobieranego prądu z jednofazowej sieci zasilania jest włączenie w przewód fazowy oraz neutralny dławika ($L1$ i $L2$ na rys. 2), który eliminuje duże stromości narastania prądu. Wadą takiego rozwiązania jest ograniczenie dynamiki poboru prądu. Rezystory $R1$ - $R3$ (rys. 2) pełnią funkcję rozładowania kondensatorów $C1$ - $C6$. Zaletą przedstawionego układu zasilania jest to, że sprawność przeciwsobnych przetwornic napięć ($+3,3$ V, ± 5 V, ± 12 V) pracujących z częstotliwością kilkadziesiąt kHz przekracza 90%. Na podobnym rozwiązaniu pracują

zasilacze w UPS-ach, laptopach, notebookach, drukarkach, sprzęcie AV oraz źródłach światła z układem elektronicznym.

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Na rysunku 3 przedstawiono widok stanowiska badawczego oraz jego schemat blokowy.



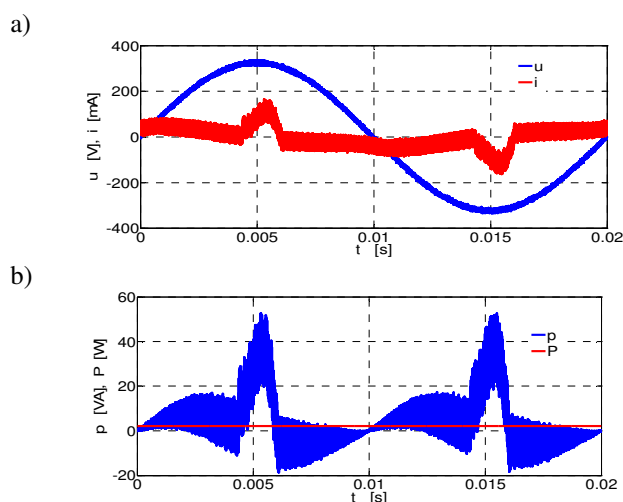
Rys. 3. Stanowisko badawcze: a) widok, b) schemat blokowy

W skład stanowiska wchodzi następujące urządzenia:

- programowalne źródło napięcia zasilania Chroma 61704 o mocy 5,5 kVA, zakres częstotliwościowy: DC, 12- 1200 Hz, dokładność 0,1%,
- komputer PC (Core 2 Quad Q6600 2.4 GHz z wbudowaną kartą do grafiki),
- monitor LG19535,
- oscyloskop cyfrowy MSO3014 firmy Tektronix,
- sonda napięciowa P5200 (Tektronix),
- zestaw: sonda prądowa TCP303 ze wzmacniaczem TCPA300 (Tektronix) - zakres: DC - 50 MHz.

3.1. Badanie jednostki stacjonarnej PC

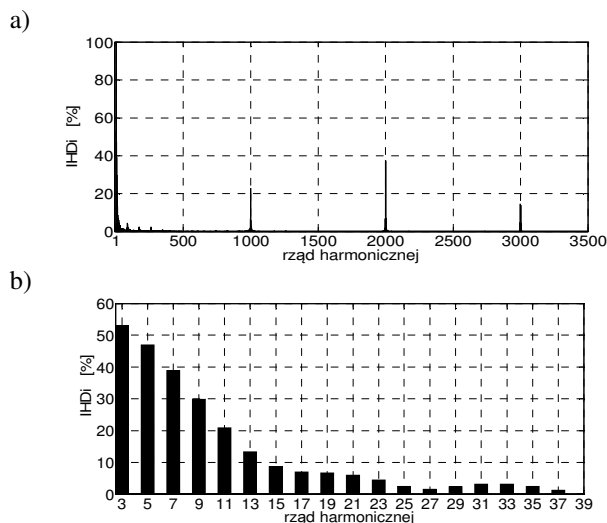
Na rysunku 4 przedstawiono zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu oraz mocy chwilowej w stanie standby zasilacza komputerowego, zasilanego z programowalnego źródła napięcia ($U_N = 230$ V, 50 Hz, bez zawartości wyższych harmonicznych). Na rysunku 4b linią ciągłą zaznaczono poziom mocy czynnej $P = 2,07$ W liczonej, jako średnią wartość z mocy chwilowej p za okres.



Rys. 4. Zarejestrowane przebiegi w stanie standby zasilacza komputera PC: a) napięcia i prądu, b) mocy chwilowej p oraz wartości mocy czynnej P za okres

W przedstawionych na rysunku 4 przebiegach widoczny jest wpływ wyższych harmonicznych niższego rzędu oraz częstotliwości pracy przetwornicy napięcia. Na rysunku 5 przedstawiono procentowy udział wyższych

harmonicznym liczonych względem składowej podstawowej w zarejestrowanych przebiegach prądu (rys. 4). Natomiast całkowita zawartość wyższych harmonicznym (rys. 4) w napięciu zasilania wynosi $THDu = 0,12\%$. W dalszych obliczeniach przyjęto, że jest napięciem sinusoidalnym.

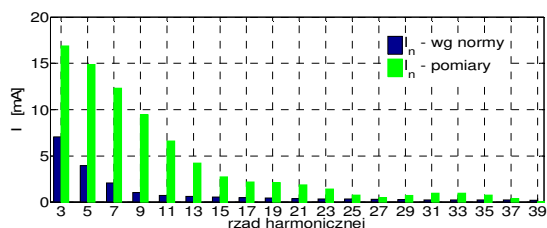


Rys. 5. Procentowy udział wyższych harmonicznym w stanie standby zasilacza komputerowego w przebiegach prądu: a) od 1. do 3500. rzędu, b) od 3. do 39. rzędu

Z analizy zarejestrowanych przebiegów (rys. 4 i 5) wynika, że przy zasilaniu napięciem sinusoidalnym, zasilacz w stanie standby jest źródłem prądu pojemnościowego oraz:

- wyższych harmonicznym nieparzystych niskiego rzędu malejących wykładniczo do 27. harmonicznym,
- wyższych harmonicznym rzędu (1000, 2000 i 3000) będących wielokrotnością częstotliwości pracy przetwornicy napięcia 50 kHz.

Całkowita zawartość wyższych harmonicznym (rys. 4b) w prądzie $THDi = 91,20\%$ do 39 rzędu wg [10] oraz $THDi = 102,13\%$ do 3500 rzędu. Na rysunku 6 przedstawiono porównanie wartości skutecznych wyższych harmonicznym zarejestrowanego prądu oraz maksymalnych dopuszczalnych wartości prądu danej harmonicznym wg [10] (tabela 1) dla mocy czynnej $P = 2,07\text{ W}$ (moc bierna pojemnościowa $Q = 5,95\text{ var}$).



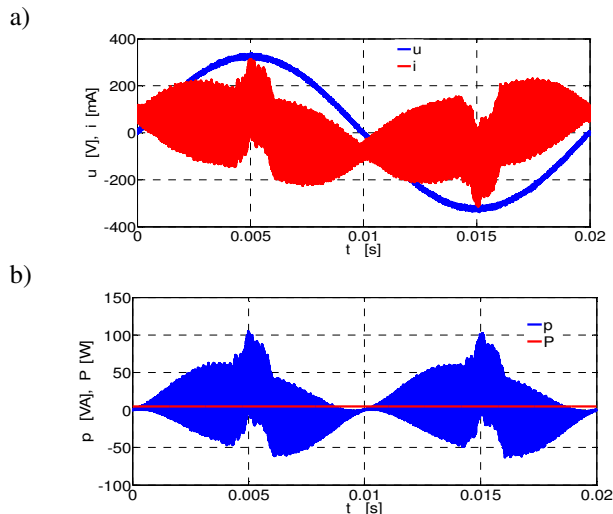
Rys. 6. Porównanie wartości skutecznych wyższych harmonicznym prądu (rys. 4a) oraz maksymalnych dopuszczalnych wartości prądu danej harmonicznym według tabeli 1

Z przedstawionego na rysunku 6 porównania wartości skutecznych wyższych harmonicznym prądu wynika, że dla badanego zasilacza jednostki stacjonarnej PC w stanie standby za wyjątkiem 39. harmonicznym, każda generowana harmoniczna przekracza dopuszczalne wartości wg tabeli 1.

3.2. Badanie jednostki stacjonarnej PC i monitora

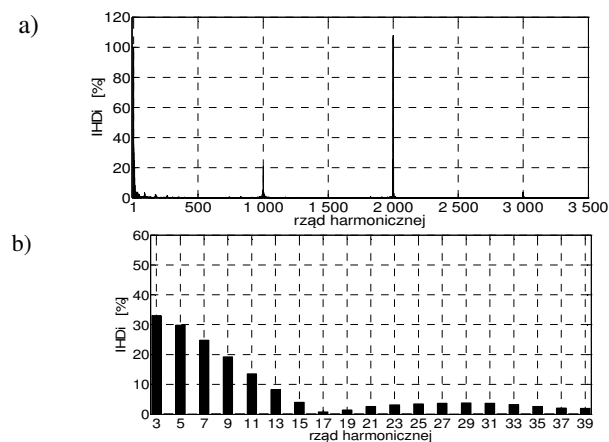
Na rysunku 7 przedstawiono zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu oraz mocy chwilowej w stanie standby

zasilacza jednostki stacjonarnej PC i monitora, zasilanego z programowalnego źródła napięcia ($U_N = 230\text{ V}$, 50 Hz o $THDu = 0,12\%$). Na rysunku 7b linią ciągłą zaznaczono poziom mocy czynnej $P = 4,74\text{ W}$ liczonej, jako wartość średnią z mocy chwilowej p za okres.



Rys. 7. Zarejestrowane przebiegi w stanie standby zasilacza komputera PC i monitora: a) napięcia i prądu, b) mocy chwilowej p oraz wartości mocy czynnej P za okres

Na rysunku 8 przedstawiono procentowy udział wyższych harmonicznym liczonych względem składowej podstawowej w zarejestrowanych przebiegach prądu (rys. 7).



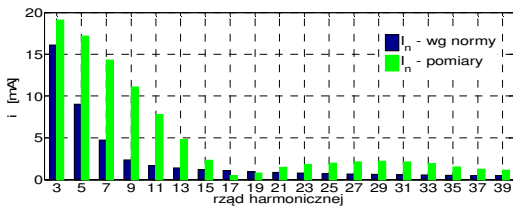
Rys. 8. Procentowy udział wyższych harmonicznym w przebiegach prądu w stanie standby zasilacza komputerowego i monitora: a) od 1. do 3500. rzędu, b) od 3. do 39. rzędu

Z analizy zarejestrowanych przebiegów (rys. 7 i 8) wynika, że przy zasilaniu napięciem sinusoidalnym, zasilacz PC i monitor w stanach standby są źródłem prądu pojemnościowego oraz:

- wyższych harmonicznym nieparzystych niskiego rzędu malejących liniowo do 17. harmonicznym,
- wyższych harmonicznym rzędu (1000, 2000 i 3000) będących wielokrotnością częstotliwości pracy przetwornicy napięcia 50 kHz, przy czym prądy harmoniczne 2000 rzędu stanowią 108% udziału prądu składowej podstawowej.

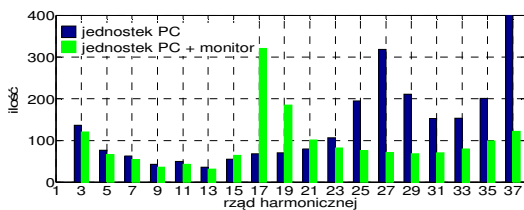
Całkowita zawartość wyższych harmonicznym w prądzie (rys. 8b) $THDi = 57,20\%$ liczona do 39 rzędu wg normy [10], natomiast liczona do 3500 rzędu $THDi = 124,28\%$.

Na rysunku 9 przedstawiono porównanie wartości skutecznych wyższych harmonicznych prądu (rys. 7) oraz maksymalnych dopuszczalnych wartości danej harmonicznej w przeliczeniu na jednostkę mocy wg [10] (tabela 1- kolumna 2) dla mocy $P = 4,74 \text{ W}$ (moc bierna pojemnościowa $Q = 12,31 \text{ var}$).



Rys. 9. Porównanie wartości skutecznych wyższych harmonicznych prądu (rys. 7a) oraz maksymalnych dopuszczalnych wartości prądu danej harmonicznej według tabeli 1

Z rysunku 9 wynika, że za wyjątkiem 17. i 19. harmonicznej, każda generowana harmoniczna przekracza dopuszczalne wartości w przeliczeniu na jednostkę mocy wg [10]. Na rysunku 10 przedstawiono maksymalną ilość badanych jednostek stacjonarnych PC oraz jednostek stacjonarnych PC i monitorów, które mogą być włączone w stanie standby, w odniesieniu do maksymalnych dopuszczalnych wartości prądów wyższych harmonicznych wg normy [10] (tabela 1 - kolumna 3).



Rys. 10. Maksymalna ilość badanych jednostek w stanie standby, które mogą być załączone do sieci zasilającej wg normy [10]

Dla 39 harmonicznej o wartości prądu 0,15 A, wg normy [10], maksymalna ilość jednostek w stanie standby dla stacjonarnych PC (rys. 6) wynosi 4389, natomiast dla stacjonarnych PC i monitorów (rys. 9) wynosi 133.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Z analizy przeprowadzonych badań eksperymentalnych wynika, że pozostawiony sprzęt komputerowy w stanie standby jest przyczyną poboru znacznie odkształconego prądu. Poziom odkształcenia prądu nie powinien być liczony wg normy [10] tylko do harmonicznej 39 rzędu - powinno się uwzględnić znacznie szersze widmo harmonicznych. Stan standby sprzętu komputerowego powoduje powstawanie składowej podstawowej prądu, która jest przyczyną powstawania mocy biernej pojemnościowej (dla badanej jednostki PC moc $Q = 5,95 \text{ var}$ oraz jednostki PC

i monitora $Q = 12,31 \text{ var}$). Pobór mocy biernej pojemnościowej wymuszany przez sprzęt komputerowy jest główną przyczyną przekompensowania systemów zasilania w budynkach (urzędy, szkoły, uczelnie, banki itp), w których występuje duże skupisko wszelkiego typu sprzętu komputerowego. Projektanci instalacji elektrycznych w nowych budynkach (takiego przeznaczenia) projektują nadal baterie kondensatorów do kompensacji mocy biernej indukcyjnej, które są uruchamiane tylko podczas ich montażu (niejednokrotnie przekonał się o tym autor w swojej praktyce zawodowej).

5. BIBLIOGRAFIA

1. Hanzelka. Z.: Koszty dostawy złej jakości energii elektrycznej. *Automatyka Elektryka Zakłócenia*, Wyd. Infotech 2012, Vol. 4, Nr 7, s. 11 -19.
2. Hanzelka. Z.: Baterie kondensatorów w środowisku napięć i prądów odkształconych, *Automatyka Elektryka Zakłócenia*, Wyd. Infotech 2013, Vol. 4, Nr 2. s. 10 -19.
3. Czapp S., Swisulski D.: System of Protection against Electric Shock for Circuits with Power Electronics Converters, *Przegląd Elektrotechniczny* 2015, Vol. 91, No 11, pp. 139-144.
4. Ludwinek K.: FEMM utilisation in representation of inductance distributions in a salient pole synchronous generator circuit model in no-load state, *Technical Transactions* 2015, Vol. 1-E (8), pp. 325-341.
5. Ludwinek K.: Influence of DC Voltage and Current of Field Winding on Induced Stator Voltages of a Salient Pole Synchronous Generator, *International Review of Electrical Engineering* 2014, Vol. 9, No. 1, pp. 62-72.
6. Kutt F., Michna M., Ronkowski M., Chrzan P. J.: Polyharmonic Model of Synchronous Generator for Analysis of Autonomous Power Generation Systems, *Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne* 2011, No 92, pp. 109-114.
7. Kutt F., Michna M., Ronkowski M., Chrzan P. J.: Non-Uniform Saturation Modelling of Synchronous Generator Pole Shoes, *Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne* 2014, No 103, pp. 121-126.
8. García O., Cobos J. A., Prieto R.: Single Phase Power Factor Correction: A Survey, *IEEE Transactions on Power Electronics* 2003, Vol. 18, No. 3, pp. 749-755.
9. Huber L., Jang Y., Jovanovic M. M.: Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers, *IEEE Transactions on Power Electronics* 2008, Vol. 23, No. 3, pp. 1381-1390.
10. PN-EN 61000-3-2:2014-10 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) Część 3-2: Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika < 16 A).

INFLUENCE OF PC DESKTOPS AND MONITORS IN THE STANDBY FOR GENERATING HARMONIC CURRENT

The articles presents experimental investigations of the influence of the PC desktop and monitor operating in the standby mode without the power factor correction on generating harmonic current. On the basis of the recorded voltage and current waveforms active and capacitive reactive power are calculated and the content of higher harmonics in accordance with the requirements and with taking into account a broader spectrum is compared. In addition, for each harmonic the maximum permitted number of PC desktops and monitors is determined.

Keywords: higher harmonics, active power, capacitive reactive power, computer equipment.