

Andrzej BIEN
Zakład Metrologii
Akademia Górniczo-Hutnicza

MIARA MIGOTANIA ŚWIATŁA P_{ST} - CZY WIEMY, CO MIERZYMY?

Streszczenie. Miara migotania P_{ST} źródeł światła zasilanych z sieci elektroenergetycznej została opracowana w celu oceny jakości dostarczanej energii elektrycznej. Jej definicja jest podana w dokumentach normalizacyjnych [11, 12]. Użytkownicy przyrządów mierzących P_{ST} stwierdzają, że występują pewne rozbieżności wyników pomiarów P_{ST} [6]. Poszukując źródeł tych rozbieżności stwierdzono, że właściwości metrologiczne proponowanej miary P_{ST} utrudniają interpretację wyników pomiarów. Skala pomiarowa P_{ST} jest skalą porządkową. Rozbieżność pomiędzy weryfikacją przyrządu za pomocą sygnałów zdeterminowanych a rzeczywistymi warunkami pracy, w szczególności używanymi procedurami statystycznymi, uzasadnia obawę, czy wynik pomiaru odzwierciedla modelowane zjawisko fizyczne i fizjologiczne. Problemem nie rozwiązany, a dostrzeganym, jest opracowanie takiej miary jakości energii elektrycznej, która umożliwia analizę sieci energetycznej mogącej przewidywać jej zachowanie się w przyszłości (zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną). Wydaje się, że postulat addytywności prowadzący do skali ilorazowej jest konieczny przy budowie takiej miary.

THE MEASURE OF LIGHT FLICKERING P_{ST} – ARE WE AWARE WHAT IS MEASURED?

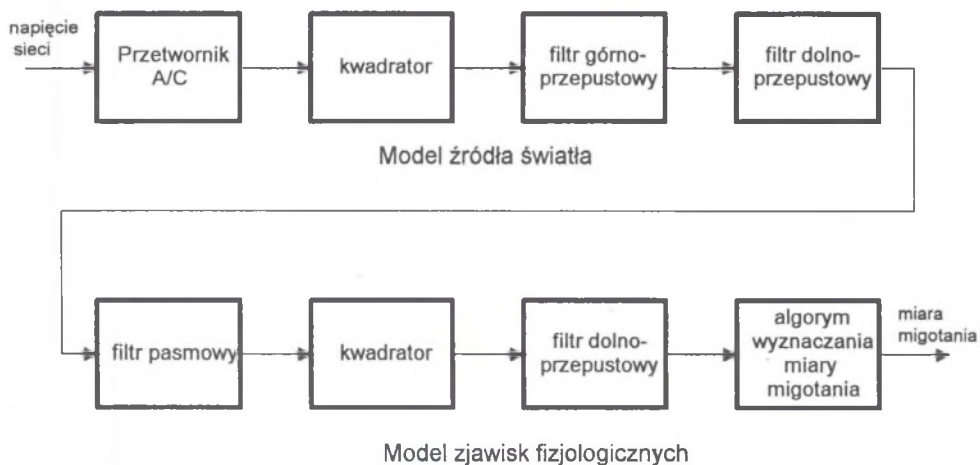
Summary. The measure of flickering of light sources supplied from power networks has been elaborated in purpose of estimation of supplied electrical energy quality. Its definition is published in standardization documents [11, 12]. The users of P_{ST} meters claim that certain divergences occur for P_{ST} measurements results [6]. Making inquiries about sources of them it has been ascertained that metrological properties of the proposed P_{ST} measure are hindering the measurements results interpretation. The P_{ST} measurement scale is an ordinal one. The divergence between an instrument verification with determined signals and real working conditions, particularly with used statistical procedures, motivates an anxiety, whether the measurement result reflects the modelled physical and physiological phenomenon. The unsolved, although noticed problem, is an elaboration of such electrical energy quality measure which would enable power network analysis making possible anticipation of its future functioning (e.g. increased request for electrical energy). It seems that additivity postulate, leading to quotient measurement scale, is evident for such measure evaluation.

1. WSTĘP

Zjawisko migotania źródeł światła zasilanych z sieci elektroenergetycznej powstaje na skutek powolnej zmienności (wahań) amplitudy napięcia sieci elektroenergetycznych. Wahania te spowodowane są między innymi obciążaniem sieci prądem odbiorników energii o dużej mocy, ponieważ niektóre z tych odbiorników, a więc i pobierany przez nie prąd, mają charakter niestacjonarny (niespokojny). W celu oceny zjawiska migotania, a raczej jego uciążliwości, opracowano miarę uciążliwości migotania światła P_{ST} i przyrząd do jej wyznaczania [11,12]. Praktyka pomiarowa oraz liczne eksperymenty z wykorzystaniem przyrządu do pomiaru uciążliwości migotania P_{ST} wykazują, że istnieją trudne do interpretacji rozbieżności pomiędzy wynikami różnych pomiarów oraz rzeczywistym oddziaływaniem sieci energetycznej na użytkowników [3, 6, 7].

2. MIARA MIGOTANIA ŚWIATŁA P_{ST} – PRZYRZĄD POMIAROWY

Głównym czynnikiem wpływającym na ocenę jakości energii elektrycznej przetwarzanej na światło jest w opisanej sytuacji wahanie natężenia promieniowania źródeł światła, zwane "migotaniem". Uporczywe migotanie światła ma istotnie negatywne skutki fizjologiczne, dla których opracowano definicyjną miarę uwzględniającą właściwości wzroku oraz układu nerwowego (mózgu), wyznaczoną eksperymentalnie. Skutki wahań napięcia podlegają zatem obiektywnym pomiarom za pomocą odpowiednich systemów pomiarowych. Potocznie przyrządy te nazywane są flickermetrami. Struktura cyfrowego flickermetra jest przedstawiona w uproszczeniu na rys. 1 oraz bardziej szczegółowo w pracach [1, 5]. Z przedstawionej na rys. 1 struktury wynika, że jest to realizacja modelu źródła światła i właściwości fizjologicznych człowieka. Można stwierdzić, że jest to sekwencja nieliniowych czynników statycznych i liniowych dynamicznych, a zatem jest to odwzorowanie za pomocą modelu Wienera-Hammersteina. Bloki 2,3 i 4 reprezentują statyczne i dynamiczne właściwości źródeł światła. Następne trzy bloki reprezentują fizjologiczne, dynamiczne i statyczne właściwości wzroku i mózgu. Ostatni blok reprezentuje arbitralnie przyjęty algorytm wyznaczający statystyczną miarę skutków uporczywości migotania światła. Wszystkie właściwości elementów statycznych i dynamicznych określone są przez normy [11, 12] oraz opisane w pracach [9, 10].



Rys. 1. Struktura cyfrowej wersji flickermetera

Fig. 1. Digital version of flickermeter structure

Opis podany w normie zawiera również sposób sprawdzania poprawności działania przyrządu – flickermetera oraz jego kalibracji. Można stwierdzić, że sposób sprawdzania i kalibracji sprowadza się do określenia poziomu sygnałów w wybranych punktach struktury oraz wyników pomiarów dla określonej grupy sygnałów testowych.

3. WŁAŚCIWOŚCI METROLOGICZNE SKALI P_{ST}

Typ skali pomiarowej, która została skonstruowana do wyznaczenia wielkości uciążliwości migotania P_{ST} , posiada właściwości wynikające z fizycznych właściwości zjawiska modelowanych w opisywany powyżej sposób. Zbadane zostały następujące własności skali P_{ST} [8].

Właściwość identyczności:

1. $A = B \vee A \neq B$,
2. $A = B \Rightarrow B = A$,
3. $A = B \wedge B = C \Rightarrow A = C$.

Stwierdzono, że wyniki pomiaru flickermeterem posiadają tę właściwość [8].

Właściwość porządkowania:

4. $A > B \Rightarrow B < A$,
5. $A > B \wedge B > C \Rightarrow A > C$.

Stwierdzono, że wyniki pomiaru flickermeterem posiadają tę właściwość [8].

Właściwość addytywności:

6. $A = P \wedge B > 0 \Rightarrow A + B > P$,

7. $A + B = B + A$,
8. $A = P \wedge B = Q \Rightarrow A + B = P + Q$,
9. $(A + B) + C = A + (B + C)$.

Stwierdzono że wyniki pomiaru flickermeterem **nie posiadają** tej właściwości [8].

10. Istnieje element zerowy $A + 0 = A$, badania potwierdzają istnienie takiego elementu [8].

Symbole „+” i „=” nie są tu rozumiane w sensie arytmetycznym, lecz odnoszą się do właściwości fizycznych badanej wielkości – uciążliwości migotania.

Na podstawie przedstawionego zestawienia stwierdzono, że skala P_{ST} jest skalą porządkową. Operacje sumowania wyników pomiarów pożądane przy sumowaniu zjawisk w celu oceny ich skutków nie mogą być realizowane.

4. PROPOZYCJA MODYFIKACJI MIARY P_{ST}

Podczas eksperymentów z flickermeterami oraz badań modelowych tych przyrządów stwierdzono występowanie pewnych rozbieżności pomiędzy sygnałami używanymi do testowania a sygnałami występującymi w rzeczywistych warunkach pomiarowych. Rozbieżności te można podzielić na dwie grupy:

1. Sygnały rzeczywiste są wynikiem nieliniowych modulacji na impedancjach sieci, przez co posiadają inny kształt, a więc i widmo inne niż sygnały testowe.
2. Właściwości losowe występującego zjawiska migotania rozumiane jako jego model są trudne do akceptacji, w szczególności przy sieciach dobrych, a więc spokojnych, w których fakt wystąpienia zaburzenia jest losowy, ale sygnał analizowany nie jest losowy, np. gdy wystąpiło tylko jedno zaburzenie.

Podane rozbieżności mogą być istotne dla mniejszych wartości P_{ST} , a więc dla sieci spokojnych. W celu ich uwzględnienia można zaproponować sprawdzanie i kalibrację flickermetera za pomocą sygnałów z nieliniową modulacją podaną w [2, 4]. Wprowadzenie modyfikacji struktury z rys. 1 poprzez zastąpienie bloku analizy statystycznej blokiem wyznaczającym normę wahania sygnału w następujący sposób:

$$\text{Var}_{[0,T]}[h(t)] = \sup_{n \in \mathbb{N}} \sum_{i=0}^{n-1} |h(t_{i+1}) - h(t_i)|, \quad (1)$$

gdzie wahanie jest kresem górnym sumy w wyrażeniu (1) dla dowolnej liczby n oraz sposobu podziału przedziału $[0, T]$ z dotrzymaniem warunku wynikającego z tej zależności, upraszcza dotychczasowy sposób przetwarzania sygnału pomiarowego przy jednoczesnym usunięciu założenia dotyczącego jego losowości. Proponowane zmiany mogą na tyle poprawić jednoznaczność pomiaru, że będzie można wyniki pomiarów porównywać dla wartości P_{ST} mniejszych od 1.

UWAGI KOŃCOWE

Podane właściwości miary uciążliwości migotania P_{ST} uprawniają do postawienia pytania, czy mierzona jest rzeczywiście uciążliwość migotania żarówki 60W [11, 12] zasilanej siecią elektroenergetyczną. Autor ma wątpliwości. Podane propozycje zmian być może ich nie usuwają, ale z punktu widzenia metrologicznego mogą pomiar uczynić bardziej wiarygodnym. Przedstawione rozważania nie wyczerpują wszystkich zagadnień związanych z oceną jakości energii elektrycznej. Szczególnie interesująca wydaje się propozycja poszukiwania miary jakości energii elektrycznej umożliwiającej zbudowanie skali ilorazowej. Miara taka może użytkownikom i projektantom sieci energetycznych umożliwić ocenę wpływu zmian mocy pobieranej przez planowanych lub istniejących użytkowników na zmianę P_{ST} . Ocena taka może posłużyć do określenia rozbudowy sieci lub oceny jej jakości w świetle dokumentów normalizacyjnych.

LITERATURA

1. Bień A. Szyper M.: Model cyfrowej wersji układu flickermetera, Materiały IX Sympozjum „Modelowanie i symulacja systemów pomiarowych”, Krynica 20-24 09 1999 Wydawnictwo Zakładu Metrologii AGH Kraków 1999 str.247-254.
2. Bień A. Szyper M.: Modele źródeł sygnałów wahań napięcia sieci zasilających w zastosowaniu do wzorcowania mierników migotania światła, Jakość i użytkowanie energii elektrycznej, tom 6 – zeszyt 1 – 2000, str. 65-69.
3. Bień A. Czajkowski J. Szyper M.: Model zjawiska modulacji amplitudy sygnału napięcia sieci elektroenergetycznej przez wolnozmienną impedancję obciążenia i jego eksperymentalna weryfikacja, Materiały X Jubileuszowego Sympozjum, „Modelowanie i symulacja systemów pomiarowych”, Krynica 18-22 09 2000 Wydawnictwo Zakładu Metrologii AGH Kraków 2000, str.269-275.
4. Bień A. Szyper M. Rozkrut A.: Correctness of flickermeters calibration, IMEKO 2000 International Confederation XVI IMEKO World Congress, Hofburg Wien Austria, September 25-28, 2000, p.31-34.
5. Bień A. Szyper M.: Application of Wiener-Hammerstein models for modelling of light flickering severity – meter, SAMS, 2001, Vol. 40 p. 245-255.
6. Bień A. Firlit A. Folga P. Gallus E. Hanzelka Z. Hartman M. Hasad M. Iwaszkiewicz J. Jarocho R. Mieński R. Miłosz A. Olczykowski Z. Pawełek R. Priedka J. Smajek L. Tarasiuk T. Wasiak I.: Voltage fluctuations measurement – experiment in the industrial environment, Electrical power quality and utilisation, volume 7- number 2 – august 2001 ISSN 1234-6799, p. 9-18.
7. Bień A. Szyper M.: Sposób oceny wartości miary migotania światła w sieciach elektroenergetycznych metodą badań modelowych, Materiały XI Sympozjum, „Modelowanie i symulacja systemów pomiarowych”, Krynica 17-21 września 2001. Wydawnictwo Zakładu Metrologii AGH Kraków 2001, str.137-142.
8. Bień A. Rozkrut A.: A measurement scale for the light flickering phenomenon, procedigs 6th International Conference, Electrical Power Quality and Utilisation, September 19-21, 2001, Kraków, p. 231-239.
9. Hanzelka Z. Kowalski Z.: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) i jakość

energii elektrycznej w dokumentach normalizacyjnych, Jakość i użytkowanie energii elektrycznej, Tom 5, Zeszyt 1, 1999.

10. Hartman M. Hashad M. Wolski L. : Computerised Flickermeter According IEC 61000-4-15 and IEC 1000-3-3 Standards, 5th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation, Kraków Polska, 1999 wrzesień 15-17.
11. IEC 60868, Flickermeter, Functional and design specifications, 1986.
12. IEC 60868-0. Amendment 1, Flickermeter, Functional and design specifications, 1990.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Jakubiec, prof. Politechniki Śląskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 1 grudnia 2001

Abstract

The phenomenon of flickering of light sources, which are supplied from power networks, is caused by slow lability (fluctuations) of power networks voltage amplitude. These fluctuations are caused among others by loading the network with the current of high power energy receivers, because some of them are of nonstationary (turbulent) re. It may be treated as power network voltage modulation on its components impedances by nonstationary power receivers. The spectrum of wavering network voltage effecting perceptibly on light sources flickering is included within the limits about ± 35 Hz around the 50 Hz frequency. In purpose of the estimation of the phenomenon of flickering or rather of its noxiousness a measure of light flickering noxiousness P_{ST} has been elaborated as well as an instrument for its determination [11, 12]. After introducing to exploitation measurement instruments referred to as flickermeters it turned out that their users have problems with interpretation of P_{ST} measurements results. An experiment, in which the author of the present paper has participated showed, that legalized instruments, working simultaneously in the same network point determined differing P_{ST} values, exceeding acceptable uncertainty interval. Not all of divergences can be explained with the standard interpretation; in this direction - in any case - manufacturers of the instruments lean towards, suggesting more accurate verification of the frequency characteristics of the instrument signal processing blocks. In the author's opinion, the measurement algorithm may be modified in such way, that its interpretation would be simpler and applying to a more extensive signals class, in particular that not revealing randomness features. A measure of signal saltus [9, 10, 11, 12] is proposed instead of statistic determination on the basis of cumulative probability curve. An analysis of the basic metrological properties of the flickering noxiousness measure P_{ST} measure it was found that it is an ordinal measure and the phenomenon is not additive (physiological experiments of the authors of the P_{ST} measure) as well as the measurement results. Verification of the correct instrument functioning is based on checking of the frequency characteristics of individual blocks constituting the instrument and the complete instrument for sinusoidal and rectangular signals. If we additionally state that modulation phenomena in networks are nonlinear (the formed signal has complex spectrum), it will be clear that the lack of additivity property has fundamental effect upon the measurements results and their interpretation.

The divergence between an instrument verification with determined signals and real working conditions as well as applied in the instrument statistical procedures combined with the lack of additivity of the measured quantity P_{ST} justifies flickermeters users as well as electrical energy users concerns, whether the way and the results of the energy quality are correct.