

**Grzegorz WICZYŃSKI**POLITECHNIKA POZNAŃSKA, INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ,  
ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań**Oszacowanie wartości wskaźnika  $P_{st}$  dla napięcia zawierającego subharmoniczne i/lub interharmoniczne**

Dr inż. Grzegorz WICZYŃSKI

Pracownik Zakładu Metrologii i Optoelektroniki Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Zainteresowania naukowe: metrologia ukierunkowana na pomiary przemysłowe i biomedyczne, badania w zakresie oceny jakości energii elektrycznej oraz zastosowania systemów sensorycznych w układach sterowania.



e-mail: gwicz@et.put.poznan.pl

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono analizę działania toru sygnałowego flickermetru dla napięcia wejściowego składającego się z trzech składowych: o częstotliwości podstawowej oraz dwóch sub/interharmonicznych. Dla takiego napięcia wejściowego zbudowano matematyczny model flickermetru. Za pomocą tego modelu wyznaczono zależność wskaźnika  $P_{st}$  od składowych sub/interharmonicznych o częstotliwościach pomijanych w literaturze przedmiotu. Wykazano możliwość powstawania uciążliwego migotania światła dla składowych interharmonicznych o dużych częstotliwościach. Określono wpływ faz początkowych składowych sub/interharmonicznych na wynik pomiaru  $P_{st}$ . W celu weryfikacji analizy porównano wyniki badań modelowych i symulacji numerycznych.

**Słowa kluczowe:** wskaźnik  $P_{st}$ , flickermetr, subharmoniczne, interharmoniczne, harmoniczne.

**Estimation of  $P_{st}$  indicator value for voltage containing subharmonic and/or interharmonic components****Abstract**

An analysis of the flicker signal chain for the input voltage consisting of three components: the fundamental frequency  $f_c$ , and the two sub/interharmonics of the frequency  $f_{m_s}$  and  $f_{n_s}$ , respectively, are presented in the paper. For the purpose of model tests a simplification of the flicker-meter block diagram were proposed. A mathematical model was built, consisting of a set of equations describing the dependence of  $P_{st}$  indicator of the amplitude of sub/interharmonics, and the initial phase of one of these components. The model equations were derived for seven areas of the  $f_n - f_m$  plane. The dependence of the  $P_{st}$  indicator on sub- and interharmonics was identified for frequencies that are skipped in the related literature. It was demonstrated that the flicker could occur for interharmonics of frequencies that are significantly higher than 100 Hz, and for subharmonics of frequencies that are less than 15 Hz. A range of frequencies of subharmonics were designated for which it is necessary to take into account the phase relations while determining the  $P_{st}$  indicator. The results of model tests were compared with the results of numerical simulation of the IEC flicker signal chain.

**Keywords:**  $P_{st}$  indicator, flicker meter, subharmonics, interharmonics, harmonics.

**1. Wprowadzenie**

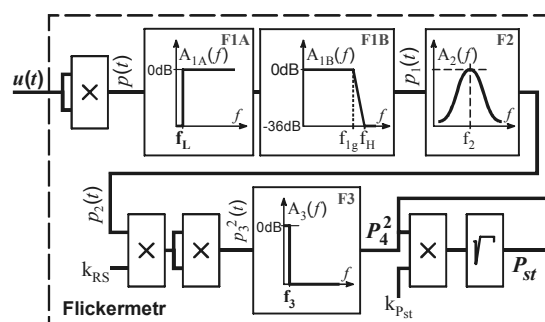
Wskaźnik krótkookresowego migotania światła  $P_{st}$  jest miarą odczuwania uciążliwości migotania światła. Migotanie światła to zmienność strumienia świetlnego lub barwy światła [1]. Może być ono spowodowane wahaniami napięcia zasilającego źródło światła. Do pomiaru wskaźnika  $P_{st}$  służy miernik migotania światła potocznie nazywany flickermetrem [2]. Miernik wyznacza wartość wskaźnika na podstawie zmierzonej zmienności napięcia. W celu analizy działania toru sygnałowego flickermetru zmienność napięcia opisywana jest analogicznie jak sygnały będące

wynikiem modulacji amplitudy lub częstotliwości oraz z wykorzystaniem składowych sub- i interharmonicznych. Wpływ sub/interharmonicznych na wynik pomiaru wskaźnika  $P_{st}$  jest przedmiotem licznych publikacji. Rozważają one wpływ amplitudy jednej lub dwóch sub- interharmonicznych na wynik pomiaru wskaźnika  $P_{st}$  [3–8]. Działanie flickermetru opisywane jest także za pomocą wyników symulacji numerycznych [9].

W artykule przedstawiono analizę działania toru sygnałowego flickermetru dla napięcia wejściowego zawierającego składowe sub- i interharmoniczne. Zbudowano matematyczny model dla sygnału wejściowego składającego się z trzech składowych: o częstotliwości podstawowej  $f_c$  oraz dwóch sub-/interharmonicznych (ograniczenie do dwóch wynika ze złożoności analizy w przypadku uwzględnienia występowania większej liczby składowych). Na tej podstawie określono zależność wskaźnika  $P_{st}$  od amplitudy i fazy początkowej sub- i interharmonicznych.

**2. Tor sygnałowy flickermetru**

Analizę działania toru sygnałowego flickermetru przeprowadzono na podstawie uproszczonego schematu blokowego przedstawionego na rysunku 1. Na potrzeby analizy pominięto blok normalizacji napięcia wejściowego, dokonano idealizacji charakterystyk amplitudowych filtrów F1A, F1B i F3 oraz uproszczono obliczanie wartości wskaźnika  $P_{st}$  na podstawie sygnału  $P_4^2$ .



Rys. 1. Uproszczone schemat blokowy toru sygnałowego flickermetru  
Fig. 1. A simplified block diagram of a flicker meter signal chain

Uwzględniając, że w sieci elektroenergetycznej częstotliwość  $f_c$  wynosi 50 Hz przyjęto następujące parametry filtrów z rysunku 1:  
– idealny filtr górnoprzepustowy F1A o częstotliwości granicznej  $f_L = f_{1d-3dB} = 0,05$  Hz;  
– filtr dolnoprzepustowy F1B o częstotliwości granicznej  $f_{1g} = f_{1g-3dB} = 35$  Hz i charakterystyce amplitudowej  $A_{1B}(f)$  aproksymowanej dwoma odcinkami:

$$A_{1B}(f) = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{dla } f < f_{1g} \\ (\alpha \cdot f + \beta) & \text{dla } f_{1g} \leq f \end{cases}, \quad (1)$$

gdzie  $\alpha$  i  $\beta$  dobierane są tak, aby uzyskać  $(\alpha \cdot f_{1g} + \beta) = 0$  dB oraz  $(\alpha \cdot f_{1H} + \beta) = -36$  dB;

- filtr pasmowoprzepustowy F2 o częstotliwości środkowej  $f_2 = 8,8$  Hz,  $\omega_{F2} = 2\pi f_2$  i transmitancji operatorowej  $A_2(s)$  zgodnej z [2];
- dla uproszczenia zapisu charakterystyk amplitudową kaskady filtrów F1A-F1B-F2 oznaczono  $A(\omega)$ , okno transmisyjne (prze-pustowe) kaskady filtrów zawiera się w przedziale  $(f_L, f_{1H})$ ;

– idealny filtr dolnoprzepustowy F3 o częstotliwości granicznej  $f_3 = f_{3-3dB} \cong 0,53 \text{ Hz}$ ,  $\omega_{F3} = 2\pi f_3$ .

W schemacie blokowym z rysunku 1 występują dwa współczynniki:  $k_{RS}$  i  $k_{Pst}$ . Wartość współczynnika  $k_{RS}$  dobierana jest tak [10], aby uzyskać zgodność sygnału  $P_4^2$  ze specyfikacją normatywną w tabelach 1 i 2 normy PN-EN 61000-4-15 [2]. Wartość współczynnika  $k_{Pst}$  służy przeskalowaniu sygnału  $P_4^2$  do  $P_{st}$ .

### 3. Analiza działania toru sygnałowego flickermetru

Analizę działania toru sygnałowego flickermetru wykonano dla sygnału wejściowego  $u(t)$  określonego wzorem:

$$u(t) = U_{cm} [\cos(\omega_c t) + u_m \cos(\omega_m t) + u_n \cos(\omega_n t + \varphi_n)], \quad (2)$$

gdzie:  $U_{cm}$  – amplituda podstawowej składowej o pulsacji  $\omega_c = 2\pi f_c$ ,  $u_m$  i  $u_n$  – amplitudy względne składowych o pulsacjach odpowiednio  $\omega_m = 2\pi f_m$  i  $\omega_n = 2\pi f_n$ ,  $\varphi_n$  – faza początkowa składowej o pulsacji  $\omega_n$ . Przyjęto  $\omega_m \neq \omega_n$ .

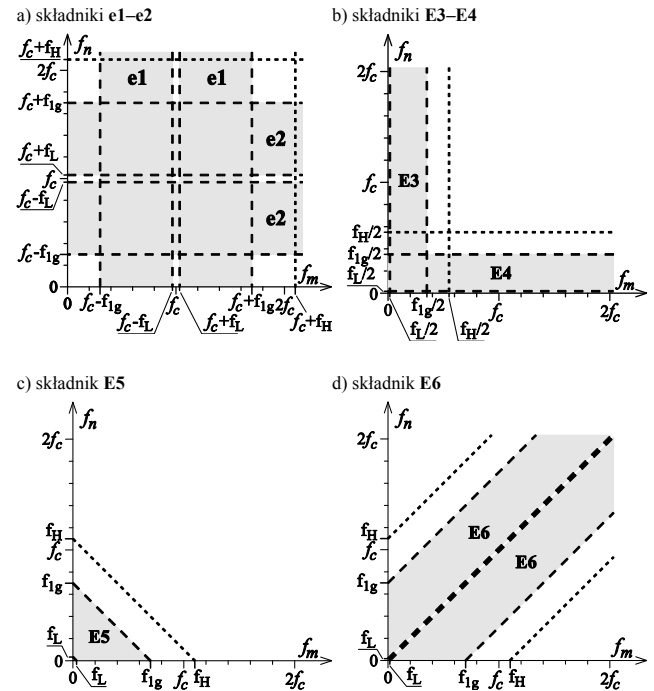
W torze sygnałowym z rysunku 1 pominięto blok normalizacji napięcia wejściowego. Zamiast tego założono wartość skuteczną napięcia wejściowego równą 1 i przyjęto  $U_{cm} = \sqrt{2}$ .

Uwzględniając mnożenie sygnału  $u(t)$  (zgodnie z pierwszym blokiem schematu z rysunku 1) zależność na  $p(t)$  przyjmuje postać:

$$p(t) = u^2(t) = \overbrace{2u_m \cos\{(\omega_c - \omega_m)t\}}^{e1} + \overbrace{2u_n \cos\{(\omega_c - \omega_n)t - \varphi_n\}}^{e2} + \overbrace{u_m^2 \cos(2\omega_m t)}^{E3} + \overbrace{u_n^2 \cos(2\omega_n t + 2\varphi_n)}^{E4} + \overbrace{2u_m u_n \cos\{(\omega_m + \omega_n)t + \varphi_n\}}^{E5} + \overbrace{2u_m u_n \cos\{(\omega_m - \omega_n)t - \varphi_n\}}^{E6} + C_p(t). \quad (3)$$

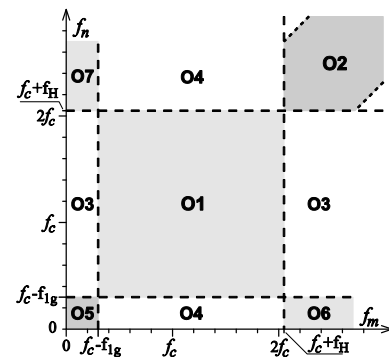
Sygnał  $p(t)$  podlega przetworzeniu w kaskadzie filtrów F1A–F1B–F2, a następnie w dalszej części toru sygnałowego. Kaskada F1A–F1B tworzy filtr pasmowoprzepustowy o oknie transmisyjnym  $(f_L, f_{Hg})$ .  $C_p(t)$  z równania (3) to suma składników podlegających całkowitemu wytłumieniu w kaskadzie filtrów niezależnie od częstotliwości  $f_m$  i  $f_n$ . Pozostałe składniki (3) mogą zawierać się w oknie transmisyjnym. Zależy to od wartości  $f_m$  i  $f_n$ . Warunek zawierania można przedstawić w postaci obszaru na płaszczyźnie  $f_n - f_m$ . Na rysunku 2 zestawiono obszary oddzielnie dla każdego ze składników (3). Szarym kolorem zaznaczono obszary w których składniki zawierają się w oknie transmisyjnym  $(f_L, f_H)$ . Obszary częściowo zachodzą na siebie. Przy określaniu wypadkowego obszaru przetwarzania toru sygnałowego flickermetru należy uwzględnić wartości amplitud poszczególnych składników. W rzeczywistych warunkach spełnione są relacje  $u_m \ll 1$  i  $u_n \ll 1$ . Na tej podstawie można stwierdzić, że amplitudy składników e1 i e2 są dużo większe od amplitud pozostałych składników. Dlatego obszary tych składników są dominujące względem pozostałych. Na rysunku 3 przedstawiono propozycję podziału płaszczyzny  $f_n - f_m$  na obszary przetwarzania O1–O7 w których występuje wpływ sub-/interharmoniczych na wynik pomiaru wskaźnika  $P_{st}$ . Złożenie obszarów z rysunku 2 pozwala na podział płaszczyzny na 17 obszarów. Jednak w celu uproszczenia dalszej analizy zaproponowano mniejszą liczbę obszarów wpływu sub-/interharmoniczych na wynik pomiaru flickermetrem. Obszar O1 jest wypadkową składników e1 i e2. W obszarach O3 i O4 dominuje składnik odpowiednio e1 lub e2. Obszary O1, O3 i O4 podlegały już analizie w literaturze przedmiotu. Z tego powodu w dalszej części publikacji podano jedynie końcowe zależności na wartość wskaźnika  $P_{st}$ . Pozostałe obszary, O2 oraz O5–O7 związane ze składnikami e1–E6, zazwyczaj są pomijane w analizie

działania flickermetru. W składnikach tych występują czynniki  $u_m^2$ ,  $u_n^2$  oraz  $u_m \cdot u_n$  i ich wpływ na wartość wskaźnika  $P_{st}$  jest widoczny dla odpowiednio dużych wartości amplitudy składowych sub-/interharmoniczych.



Rys. 2. Obszary zawierania się składników (3) w oknie transmisyjnym kaskady filtrów F1A–F1B

Fig. 2. Areas where components (3) enter into the transmission window of a F1A–F1B filter cascade



Rys. 3. Obszary wpływu sub-/interharmoniczych na wynik pomiaru flickermetrem

Fig. 3. Areas of sub-/interharmonics influence on the flicker meter measurement

#### 3.1. Przykłady oszacowania sygnału $P_4^2$

Obszar O2 jest częścią obszaru zawierania składnika E6 w oknie transmisyjnym kaskady filtrów. Sygnał  $p(t)$  podlega przetworzeniu i w wyniku tego powstaje sygnał  $p_3^2(t)$ :

$$p_3^2(t) = 2k_{RS}^2 u_m^2 u_n^2 A^2 (\omega_m - \omega_n) \cdot [1 + \cos\{2(\omega_m - \omega_n)t - 2\varphi_n\}]. \quad (4)$$

Sygnał ten podlega filtracji dolnoprzepustowej w filtrze F3. Jeżeli  $|f_m f_n| > f_3$  sygnał  $P_4^2$  można wyrazić następująco:

$$P_4^2 = 2k_{RS}^2 u_m^2 u_n^2 A^2 (\omega_m - \omega_n). \quad (5)$$

Obszar O5 uwzględnia wszystkie składniki (3) od e1 do E6. Sygnał  $p(t)$  podlega przetworzeniu w kolejnych blokach flickermetru tak, że sygnał  $p_3^2(t)$  przyjmuje postać:

$$p_3^2(t) = \left[ 2u_m^2 A^2 (\omega_c - \omega_m) + 2u_n^2 A^2 (\omega_c - \omega_n) + 2u_m^2 u_n^2 \left\{ A^2 (\omega_m + \omega_n) + A^2 (\omega_m - \omega_n) \right\} + \frac{u_m^4}{2} A^2 (2\omega_m) + \frac{u_n^4}{2} A^2 (2\omega_n) \right] k_{RS}^2 + C_{O5}(t) + C_{O5e}(t). \quad (6)$$

$C_{O5e}(t)$  jest sumą składników o wypadkowej częstotliwości, niezależnie od wartości  $f_m$  i  $f_n$ , podlegającej tłumieniu w filtrze F3.  $C_{O5}(t)$  zawiera składniki mogące przyjmować wypadkową częstotliwość o wartości zbliżonej do 0 dla następujących warunków:  $\omega_m \cong \omega_n$ ,  $3\omega_m = \omega_n$  lub  $\omega_m = 3\omega_n$ .

Obszar O6 skojarzony jest ze składnikami e2 i E4. Uwzględniając kolejne etapy przetwarzania sygnał  $P_4^2$  można zapisać następująco:

$$P_4^2 = 2u_n^2 A^2 (\omega_c - \omega_n) + \frac{u_n^4}{2} A^2 (2\omega_n). \quad (7)$$

### 3.2. Wyznaczenie wartości wskaźnika $P_{st}$

Zgodnie z przyjętym schematem blokowym wartość wskaźnika  $P_{st}$  wynosi:

$$P_{st} = \sqrt{k_{Pst} \cdot P_4^2}. \quad (8)$$

gdzie  $k_{Pst} = 0,5096$  [10].

## 4. Model toru sygnałowego flickermetru dla napięcia wejściowego z dwiema składowymi sub- /interharmonicznymi

Na podstawie sygnału  $P_4^2$  w poszczególnych obszarach płaszczyny  $f_n - f_m$  i uwzględnieniu zależności (8) zbudowano model toru sygnałowego flickermetru dla napięcia wejściowego z dwiema składowymi sub- /interharmonicznymi zamieszczony w tabeli 1. Zaproponowany model odróżnia się od wcześniejszych analiz dostępnych w literaturze tym, że opisuje działanie flickermetru dla częstotliwości uprzednio pomijanych.

### 4.1. Przykładowe charakterystyki flickermetru dla obszarów O2 i O4–O6

Płaszczyzna  $f_n - f_m$  została podzielona na siedem obszarów. Charakterystyki flickermetru w obszarze O1 przedstawiono w kilku pracach, np. [6, 8, 11]. Pozostałe obszary właściwie są pominięte w literaturze. Uwzględniając symetrię podziału płaszczyny  $f_n - f_m$  względem prostej  $f_m = f_n$  do prezentacji przyjęto obszary O2 i O4–O6. Zamieszczone charakterystyki flickermetru  $P_{st} = f(f_m, f_n)$  wyznaczono dla  $u_m = u_n = 0,05$ . Liniami koloru czarnego oznaczono wyniki obliczeń modelowych zgodnych z tabelą 1. Wyniki symulacji numerycznych wykonanych za pomocą programu Matlab–Simulink oznaczono kolorem szarym. Wyniki tych symulacji przyjęto jako wartości poprawne do porównania z wynikami obliczeń modelowych.

Tab. 1. Model flickermetru dla napięcia wejściowego z dwiema składowymi sub- /interharmonicznymi

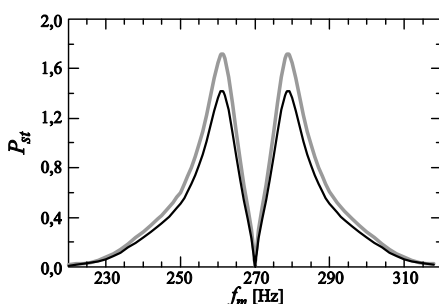
Tab. 1. Flickermeter model for the input voltage with two sub- /interharmonic components

1	Obszar O1: $(f_c - f_{1g}) \leq f_m \leq (f_c + f_{1H})$ oraz $(f_c - f_{1g}) \leq f_n \leq (f_c + f_{1H})$ $P_{st} = k_{RS} \sqrt{2k_{Pst} \left[ u_m^2 A^2 (\omega_c - \omega_m) + u_n^2 A^2 (\omega_c - \omega_n) \right]}$ (9) szczegółową specyfikację zawarto w [11]
2	Obszar O2: $\{(f_n - f_{1H}) < f_m < (f_n - f_{1L}) \text{ lub } (f_n + f_{1L}) < f_m < (f_n + f_{1H})\}$ oraz $f_m > (f_c + f_{1H})$ oraz $f_n > (f_c + f_{1H})$ $P_{st} = \sqrt{2k_{Pst}} k_{RS} u_m u_n A (\omega_m - \omega_n)$ (10)
3	Obszar O3: $\{f_m < (f_c - f_{1g}) \text{ lub } f_m > (f_c + f_{1H})\}$ oraz $(f_c - f_{1g}) \leq f_n \leq (f_c + f_{1H})$ $P_{st} = \sqrt{2k_{Pst}} k_{RS} u_n A (\omega_c - \omega_n)$ (11)
4	Obszar O4: $(f_c - f_{1g}) \leq f_m \leq (f_c + f_{1H})$ oraz $\{f_n < (f_c - f_{1g}) \text{ lub } f_n > (f_c + f_{1H})\}$ $P_{st} = \sqrt{2k_{Pst}} k_{RS} u_m A (\omega_c - \omega_m)$ (12)
5	Obszar O5: $f_m < (f_c - f_{1g})$ oraz $f_n < (f_c - f_{1g})$ $P_{st} = k_{RS} \sqrt{k_{Pst} \left[ 2u_m^2 A^2 (\omega_c - \omega_m) + 2u_n^2 A^2 (\omega_c - \omega_n) + 2u_m^2 u_n^2 \left[ A^2 (\omega_m + \omega_n) + A^2 (\omega_m - \omega_n) \right] + \frac{u_m^4}{2} A^2 (2\omega_m) + \frac{u_n^4}{2} A^2 (2\omega_n) + P_{O5} \right]}$ (13) gdzie: $P_{O5} = \begin{cases} \left[ 2u_m u_n A (\omega_c - \omega_m) A (\omega_c - \omega_n) + 2u_m u_n^3 A (\omega_m + \omega_n) A (2\omega_n) + 2u_m^3 u_n A (\omega_m + \omega_n) A (2\omega_m) \right] \cos(\varphi_n) & \text{dla } f_m \cong f_n \\ \left[ 2u_m^2 u_n^2 A^2 (\omega_m - \omega_n) + u_m^2 u_n^2 A (2\omega_m) A (2\omega_n) \right] \cos(2\varphi_n) & \\ 2u_m u_n^3 A (\omega_m - \omega_n) A (2\omega_n) \cos(3\varphi_n) & \text{dla } f_m \cong \frac{f_n}{3} \\ 2u_m^3 u_n A (\omega_m - \omega_n) A (2\omega_m) \cos(\varphi_n) & \text{dla } f_m \cong 3f_n \\ 0 & \text{dla } \left( f_m \neq f_n \wedge f_m \neq \frac{f_n}{3} \wedge f_m \neq 3f_n \right) \end{cases}$ (14)
6	Obszar O6: $f_m > (f_c + f_{1H})$ oraz $f_n < (f_c - f_{1g})$ $P_{st} = \sqrt{k_{Pst}} k_{RS} \sqrt{2u_n^2 A^2 (\omega_c - \omega_n) + \frac{u_n^4}{2} A^2 (2\omega_n)}$ (15)
7	Obszar O7: $f_m < (f_c - f_{1g})$ oraz $f_n > (f_c + f_{1H})$ $P_{st} = \sqrt{k_{Pst}} k_{RS} \sqrt{2u_m^2 A^2 (\omega_c - \omega_m) + \frac{u_m^4}{2} A^2 (2\omega_m)}$ (16)

## 4.2. Charakterystyka flickermetru w obszarze O2

Wartość wskaźnika  $P_{st}$  w obszarze O2 określa (15). Na rysunku 4 zamieszczono wykres charakterystyki  $P_{st} = f(f_m = \text{var}, f_n = \text{const})$  dla  $f_n = 270$  Hz i  $220 \text{ Hz} < f_m < 320$  Hz. Charakterystyka jest symetryczna względem prostej  $f_m = f_n$ .

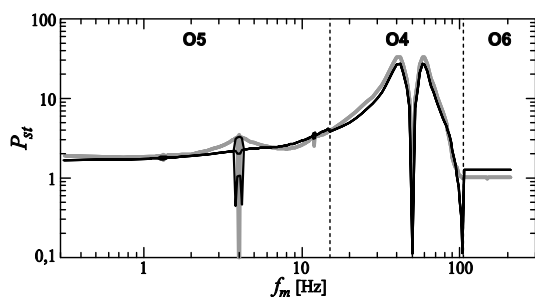
Charakterystyka z rysunku 4 wykazuje, że możliwe jest powstawanie uciążliwego migotania światła dla składowych interharmonicznych o częstotliwościach dużo większych od częstotliwości podstawowej harmonicznej  $f_c$ . W zaprezentowanym przykładzie lokalne maksima charakterystyki występują dla  $f_m = 261$  Hz i 279 Hz. W literaturze znajdują się informacje o możliwości powstawania migotania światła wywołanego takimi interharmonicznymi dla wyładowczych źródeł światła. Ponieważ schemat blokowy flickermetru otwarcza odczuwanie migotania światła żarówki inkadescencyjnej można stwierdzić, że także w przypadku takich źródeł może powstawać migotanie światła.



Rys. 4. Charakterystyka flickermetru w obszarze O2 dla  $f_n = 270$  Hz  
Fig. 4. Flickerometer characteristic in O2 area for  $f_n = 270$  Hz

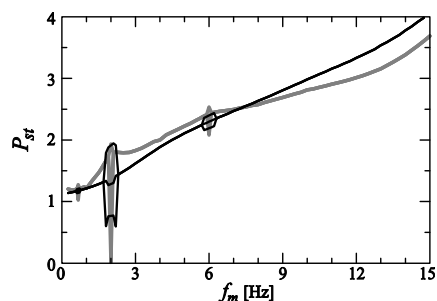
## 4.3. Charakterystyki flickermetru w obszarach O4–O6

Obszary O4–O6 opisują działanie flickermetru dla  $f_n < (f_c - f_{ig}) = 15$  Hz. Wykres charakterystyki  $P_{st} = f(f_m, f_n = \text{const})$  na rysunku 5 przedstawia działanie flickermetru dla  $f_m < 210$  Hz i  $f_n = 4$  Hz (czyli kolejno w obszarach O5, O4 i O6).



Rys. 5. Charakterystyka flickermetru w obszarach O5–O6 dla  $f_n = 4$  Hz  
Fig. 5. Flickerometer characteristic in O5–O6 areas for  $f_n = 4$  Hz

W obszarze O5, zgodnie z (16), widoczne są trzy niemonotoniczności charakterystyki. Najbardziej widoczna jest dla  $f_m \cong f_n$ . Dwie mniej widoczne występują dla  $f_m \cong 3f_n$  i  $3f_n \cong f_m$ . Na rysunku 6 pokazano charakterystykę  $P_{st} = f(f_m, f_n = \text{const})$  w obszarze O5 dla  $f_n = 2$  Hz. Zgodnie z (14) występują trzy niemonotoniczności charakterystyki, największa dla  $f_m \cong f_n$ , mniejsza dla  $f_m \cong 3f_n$  a najmniejsza dla  $3f_n \cong f_m$ .



Rys. 6. Charakterystyka flickermetru w obszarze O5 dla  $f_n = 2$  Hz  
Fig. 6. Flickerometer characteristic in O5 area for  $f_n = 2$  Hz

## 5. Podsumowanie

W pracy zbudowano model flickermetru dla napięcia z dwiema składowymi sub- i interharmonicznymi o częstotliwościach  $f_m$  i  $f_n$ . Wyznaczono równania modelowe w poszczególnych obszarach płaszczyzny  $f_n - f_m$ . Na podstawie tych równań wykreślono charakterystyki  $P_{st} = f(f_m, f_n)$  w wybranych obszarach płaszczyzny  $f_n - f_m$ . Wykazano możliwość powstawania migotania światła dla składowych interharmonicznych o częstotliwościach znacznie większych od 50 Hz oraz dla subharmonicznych mniejszych od 15 Hz. Stwierdzono wpływ fazy początkowej składowej sub-/interharmonicznej na wartość wskaźnika  $P_{st}$  dla trzech wyznaczonych częstotliwości.

## 6. Literatura

- [1] IEC number 161-08-13, Flicker. <http://std.iec.ch/iec60050>.
- [2] PN-EN 61000-4-15. Miernik migotania światła, 2003.
- [3] Bergeron R.: Compatibility level for interharmonic voltages. IEC SC77A WG8 (2001), 6 p.
- [4] Gallo D., Langella R., Testa A.: Light Flicker Prediction Based on Voltage Spectral Analysis. Proc. of IEEE Porto Power Tech Conf., Porto 2001, 6 p.
- [5] Halpin S.M., Singhvi V.: Limits for Interharmonics in the 1–100 Hz Range Based on Lamp Flicker Considerations. IEEE Trans. on Power Delivery, 22 (2007), n. 1, 270–276.
- [6] Keppler T. i inni: Theoretical Assessment of Light Flicker Caused by Sub- and Interharmonic Frequencies. IEEE Trans. on Power Delivery, 18 (2003), n. 1, 329–333.
- [7] Li Ch., Xu W., Tayjasanant T.: Interharmonics: basic concepts and techniques for their detection and measurement. Electric Power Systems Research, 66 (2003), n. 1, 39–48.
- [8] Mombauer W.: Flicker caused by interharmonics, etzArchiv Bd., 12 (1990), n. 12, 391–396.
- [9] Bertola A.: A Matlab-Simulink Flickerometer Model for Power Quality Studies. Proc. of the 11th Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power, Lake Placid–New York 2004, 734–738.
- [10] Wiczyński G.: Sectional Approximation of the Flickerometer Transformation Characteristic for a Sinusoidal Modulating Signal. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, 57 (2008), n. 10, 2355–2363.
- [11] Wiczyński G.: Standard Measurement of Interharmonics in a Power Supply System While Evaluating Obnoxiousness of a Flicker. Proc. of XIII International Conference on Harmonics and Quality of Power, Wollongong 2008, 4 p.