

Andrzej OLENCKI

UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra

Testowanie mierników migotania światła - flickermetrów

dr hab. inż. Andrzej OLENCKI, prof. UZ

Projektant urządzeń elektronicznych w zakładach Lumel 1977-89, Immel 1989-90 i Calmet od 1990. Studia (Bydgoszcz, Charków 1972-77, doktorat (Wrocław 1984-86), habilitacja (Kijów 1989-91). Od 1991 profesor Instytutu Informatyki i Elektroniki. Zainteresowania to elektronika, projektowanie i produkcja urządzeń elektronicznych – kalibratory napięć, prądów i mocy, mierniki parametrów sieci, analizatory jakości energii, testery liczników energii i zabezpieczeń oraz automatyzacja pomiarów.



e-mail: A.Olencki@iie.uz.zgora.pl

Streszczenie

Omówiono specyfikę testowania flickermetrów. Zaprezentowano dwie koncepcje budowy testera flickermetrów: pierwszą z zastosowaniem nieregulowanego źródła napięcia i przełączanego dzielnika napięcia oraz drugą z zastosowaniem regulowanego źródła napięcia. Przedstawiono wyniki badań czasu odpowiedzi opracowanego kalibratora mocy, które stały się podstawą do implementacji funkcji kalibratora flikera z zastosowaniem koncepcji regulowanego źródła napięcia. Zaprezentowano możliwości interfejsu użytkownika opracowanego kalibratora flikera oraz wyniki badań dokładności odtwarzania wskaźnika flikera P_{st} w funkcji częstości zmian napięcia. Nowością artykułu jest podjęcie tematu budowy krajowego kalibratora flikera z zastosowaniem koncepcji regulowanego źródła napięcia. W podsumowaniu można stwierdzić, że zaprezentowane wyniki badań potwierdzają możliwość zastosowania kalibratora dla potrzeb sprawdzania flickermetrów nawet klasy A w pełnym zakresie częstości zmian napięcia.

Słowa kluczowe: miernik migotania światła, Flickermetr, Kalibrator flikera, wahania napięcia.

Testing of Flickermeters

Abstract

The problems of flickermeter testing are discussed. This paper presents two concepts of testers design: the first with an unregulated voltage source and a switchable voltage divider and a second with a regulated voltage source. The investigation results of the response time of a new power calibrator, which are the basis for implementing a Flicker Calibrator function with using the regulated voltage source. The idea of a user interface of the Flicker Calibrator and the results of the accuracy of P_{st} reproduction as a function of the frequency of voltage changes are presented. A novelty of this paper is the issue of the construction of national Flicker Calibrator using the concept of a regulated voltage source. In summary it can be concluded that the presented results confirm the possibility of using of the Calibrator for checking of the Class A flickermeters in the full time range of voltage changes.

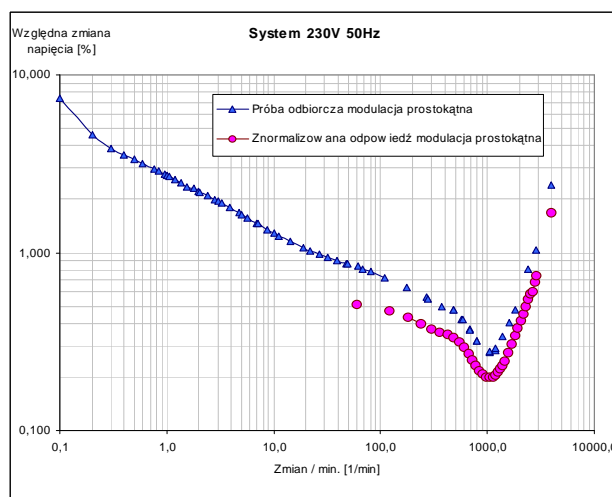
Keywords: ... Flickermeter, Flicker Calibrator, Voltage fluctuation.

1. Flickermetr jako obiekt testowania

Aby testować przyrząd pomiarowy metodą czarnej skrzynki wymagana jest wiedza o jego znamionowej charakterystyce przetwarzania jako funkcjonalnym związku między wskazaniem przyrządu (wyjście) i wielkością fizyczną podawaną na jego wejście. Testowanie takich przyrządów jak woltomierz, amperomierz czy watomierz z zastosowaniem metody czarnej skrzynki jest dzisiaj tak oczywiste, że trudno sobie nawet wyobrazić inne metody testowania tych przyrządów. W przypadku mierników uciążliwości migotania światła – flickermetrów normatywne punkty znamionowej charakterystyki przetwarzania niewystarczająco dokładnie odzwierciedlają działanie flickermetrów i w związku z tym są wątpliwości, czy mogą być podstawą do opracowania jednoznacznych testów flickermetra metodą czarnej skrzynki.

W rozwoju flickermetrów można wyróżnić dwa istotne etapy próby normalizacji charakterystyki flickermetra. Pierwszy etap

zakończył się na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych, kiedy opracowano specyfikację flickermetra UIE [1], a drugi etap zakończył się w 2003 roku opracowaniem normy IEC 61000-4-15 [2] opisującej specyfikację flickermetra IEC. Norma IEC podaje w tabl.5 tylko osiem wartości wielkości wejściowej (względnej zmiany napięcia $\Delta V/V$ i częstości zmian na minutę) w zakresie częstości zmian od 1 do 4800 zmian na minutę, wymaganych dla uzyskania wskaźnika migotania $P_{st}=1$ w postaci krzywej próby odbiorczej (performance test curve) przedstawionej na rys.1 – krzywa ta powstała po uzupełnieniu danych o krzywej próby odbiorczej, które są dostępne w innych niż norma IEC źródłach [3]. Jednocześnie w tabl.1 i 2 norma IEC podaje trzydzieści osiem wartości wielkości wejściowej (wartość $\Delta V/V$ i częstotliwości zmian w [Hz]), wymaganych dla uzyskania jednostkowej wartości chwilowego poziomu migotania (z czasem uśrednienia 1s) w postaci krzywej znormalizowanej odpowiedzi (normalized response) przedstawionej również na rys.1.



Rys. 1. Krzywa próby odbiorczej i znormalizowana odpowiedź flickermetra
Fig. 1. Flickermeter performance test curve and normalized response

Należy wyraźnie zaznaczyć, że krzywa próby odbiorczej może być traktowana jako znamionowa charakterystyka przetwarzania flickermetra, ponieważ opisuje związek wyjścia i wejścia flickermetra, natomiast krzywa znormalizowanej odpowiedzi opisuje tylko związek wyjścia i wejścia, ale tylko pierwszych czterech spośród pięciu szeregowo połączonych bloków tworzących flickermetr. Krzywa znormalizowanej odpowiedzi może być przydatna przy projektowaniu flickermetra, ale dla potrzeb testowania flickermetrów wydaje się, że ma marginalne znaczenie, skoro w badaniach dokładności flickermetra oraz w normach na jakość energii EN 50160 [4] nie jest ona brana pod uwagę.

Kolejną specyfiką testowania flickermetrów jest fakt, że nawet w idealnie dokładnym flickermetrze IEC można uzyskać jednocześnie obie charakterystyki próby odbiorczej i znormalizowanej odpowiedzi o zerowych wartościach błędów tylko dla wyjątkowo ścisłych warunków nałożonych na sygnał wejściowy – sygnał wejściowy powinien być sinusoidalny z prostokątną modulacją. Problem w tym, że taki kształt sygnału jest bardzo wyidealizowany w stosunku do kształtów sygnałów występujących w rzeczywistych sieciach energetycznych. Właśnie te inne, rzeczywiste kształty autentycznie powodują efekt migotania światła a są powodowane pracą takich urządzeń jak walcownie, piece łukowe czy rębaki [5].

Zatem nic dziwnego, że sam flickermetr, jak i testowanie flickermetrów jest dość zawiłym i słabo zbadanym tematem rodzącym wiele wątpliwości. W odpowiedzi na potrzebę testowania

flikermetrów pojawił się nowy rodzaj urządzeń pomiarowych – Kalibrator Flikera (Flicker Calibrator).

2. Sprawdzanie dokładności flikermetrów

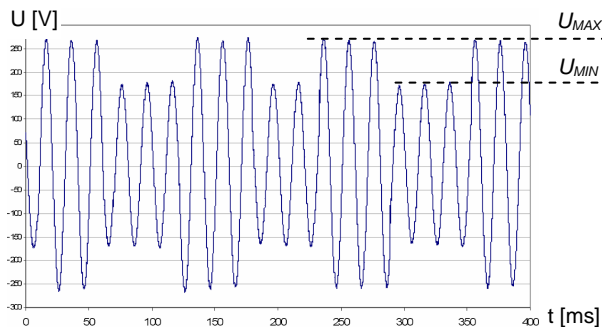
Rys.2 ilustruje wahania napięcia zarejestrowane oscyloskopem cyfrowym podłączonym do wyjścia kalibratora mocy C300 [6], który odtwarza przykładowe wg [2] wahania napięcia systemu 230V/50Hz z prostokątną modulacją o częstotliwości modulacji 8,8Hz (1056 zmian/min) i względnej zmianie napięcia:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{U_{MAX} - U_{MIN}}{U} = \frac{276V - 184V}{230V} = 40\% \quad (1)$$

gdzie U_{MAX} i U_{MIN} są odpowiednio maksymalną i minimalną wartością skuteczną napięcia. Przy tak dużej względnej zmianie napięcia oraz założeniu, że flikermetr jest układem liniowym również dla dużych względnych zmian napięcia, wskaźnik migotania P_{st} dla próby odbiorczej (rys.1) przyjmuje bardzo dużą wartość:

$$P_{st} = \frac{\Delta U / U}{\Delta U_{P_{st}=1} / U} = \frac{40\%}{0,28\%} \approx 143 \quad (2)$$

gdzie $\Delta U_{P_{st}=1} / U$ jest względną zmianą napięcia odczytaną z charakterystyki próby odbiorczej (rys.1).



Rys. 2. Prostokątne zmiany napięcia $\Delta U/U=40\%$, 8,8Hz, 1056 zmian/min
Fig. 2. Example of voltage fluctuation $\Delta U/U=40\%$, 8,8Hz, 1056 changes/min

Przyjmuje się liniową zależność wskaźnika migotania od względnej zmiany napięcia [2] przy zachowaniu stałej częstości zmian. Oczywiście zakres amplitudowych zmian napięcia, dla których jest mierzony wskaźnik P_{st} oraz dokładność pomiaru są specyfikowane przez producentów flikermetrów, ale zaleca się [5] wprowadzenie trzech klas testu:

- klasa testu 1 – nastawy względne zmian napięcia odpowiadają uzyskaniu wartości $P_{st} \approx 1$,
- klasa testu 2 – nastawy względne zmian napięcia odpowiadają uzyskaniu wartości P_{st} z zakresu od 0,2 do 4, który jest stosowny dla flikermetrów klasy B,
- klasa testu 3 – nastawy względne zmian napięcia odpowiadają uzyskaniu wartości P_{st} z zakresu od 0,2 do 20, który jest stosowny dla flikermetrów klasy A.

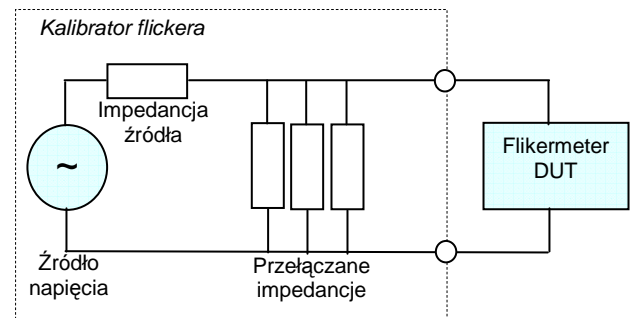
Należy wyraźnie zaznaczyć, że z punktu widzenia potrzeb sprawdzania flikermetrów dolna granica wahań odpowiada wskaźnikowi wahań $P_{st}=0,2$. Granicę tą wyznaczono na podstawie badań [5], w których stwierdzono, że szumy nawet idealnych źródeł dają wskazania flikermetra w zakresie 0,1-0,2, a poziom szumów w rzeczywistej sieci daje wskazania w zakresie 0,2-0,4. Dlatego badania dokładności wskazań flikermetrów dla wskaźnika wahań w zakresie poniżej 0,1 [11] należy uznać za czysto teoretyczne.

Do sprawdzania dokładności flikermetrów jest niezbędne źródło, które odtwarza napięcie przemienne o wartości skutecznej zmiennej w czasie. Jeżeli źródło (kalibrator) ma niewystarczającą dokładność odtwarzania wskaźnika P_{st} , to zachodzi konieczność dostawienia systemu z miernikiem kontrolnym, w którym dokładność wskazań odnosi się do wskazań wzorcowego miernika dawki wahań. Jeżeli kalibrator ma wystarczającą dokładność odtwarzania wskaźnika P_{st} , to może być stosowany system z kalibratorem

kontrolnym bez konieczności stosowania dodatkowego miernika kontrolnego, co istotnie upraszcza strukturę takiego systemu. W takim przypadku najkorzystniej jest stosować kalibrator z funkcją programowania nastaw w jednostkach wskaźnika wahań P_{st} – zwalnia to użytkownika systemu z konieczności uciążliwego ręcznego przeliczania nastaw.

3. Konceptje budowy kalibratora flikera

Naturalna struktura kalibratora flikera (rys.3) zawiera źródło napięcia przemiennego i dzielnik napięcia o przełączanej wartości współczynnika podziału, do którego wyjścia jest podłączany sprawdzany flikermetr [7]. Struktura ta w sposób naturalny odwzorowuje ideę powstawania wahań napięcia – impedancja źródła jest tu odpowiednikiem impedancji sieci a przełączane impedancje są odpowiednikami zmiennych obciążeń odbiorców [8]. Oczywiście wadą kalibratora flikera zbudowanego wg naturalnej koncepcji jest jego duża impedancja wyjściowa, co powoduje duże błędy dodatkowe spowodowane zmianą impedancji wejściowej badanych flikermetrów i konieczność ich ręcznego korygowania – zmiana impedancji przewodów połączeniowych o 20 mΩ może powodować błędy odczytu flikermetra o 5% [7].



Rys. 3. Schemat kalibratora flikera
Fig. 3. Flicker Calibrator functional diagram

Z kolei kalibrator flikera zbudowany w oparciu o regulowane źródło napięcia o małej impedancji wyjściowej jest trudny do realizacji z uwagi na konieczność uzyskania sprzecznych wymagań na bardzo wysokim poziomie – dużej dokładności odtwarzania napięcia przemiennego i krótkiego czasu odpowiedzi źródła.

Błąd odtwarzania wskaźnika P_{st} spowodowany niezerowym czasem odpowiedzi kalibratora można spróbować szacować z krzywej próby odbiorczej (rys.1) korzystając z następującego wzoru:

$$\delta P_{st\Delta t} \approx - \frac{\frac{\Delta U_{P_{st}=1f2}/U - \frac{\Delta U_{P_{st}=1f1}/U}{\frac{1}{f1} - \frac{1}{f2}} \cdot t_o}{\frac{1}{f1} - \frac{1}{f2}} \quad (3)$$

gdzie $\Delta U_{P_{st}=1f2}/U$ i $\Delta U_{P_{st}=1f1}/U$ są odpowiednio względnymi zmianami napięcia dla częstotliwości modulacji $f2$ i $f1$ odczytanymi z krzywej próby odbiorczej, a t_o jest czasem odpowiedzi kalibratora, który jest definiowany dla pełnego zakresu zmiany nastawy na danym zakresie kalibratora. Związek między częstotliwością modulacji a częstością zmian jest następujący:

$$f [\text{Hz}] = \frac{1}{120} \text{Zmian} / \text{min} [1/\text{min}] \quad (4)$$

Wpływ czasu odpowiedzi kalibratora na błąd odtwarzania wskaźnika P_{st} jest szczególnie istotny dla dużych częstości zmian - dla częstości 2875 zmian na minutę i czasu odpowiedzi równego 10 ms, błąd ten jest równy

$$\delta P_{st\Delta t} \approx - \frac{2,4\% - 1,04\%}{\frac{1}{23,96\text{Hz}} - \frac{1}{33,33\text{Hz}}} \cdot 10\text{ms} = 1,1\% \quad (5)$$

Błąd odtwarzania wskaźnika P_{st} spowodowany błędem odtwarzania zmiany napięcia także można spróbować szacować z krzywej próby odbiorczej (rys.1) korzystając z następującego wzoru:

$$\delta P_{st\Delta U} \approx \frac{\delta \Delta U}{\frac{\Delta U_{P_{st}=1}}{U}} \cdot 100\% \quad (6)$$

gdzie $\delta \Delta U$ jest błędem względnym odtwarzania bezwzględnej zmiany napięcia i $\Delta U_{P_{st}=1}$ jest względną zmianą napięcia odczytaną z krzywej próby odbiorczej. Wpływ błędu odtwarzania bezwzględnej zmiany napięcia na błąd odtwarzania wskaźnika P_{st} jest szczególnie istotny dla częstości zmian około 1000 zmian na minutę (około 8,8Hz), dla których krzywa próby odbiorczej osiąga minimum - dla błędu odtwarzania zmiany napięcia równego 0,005% wpływ ten jest równy

$$\delta P_{st\Delta U} \approx \frac{0,005\%}{0,28\%} \cdot 100\% = 1,78\% \quad (7)$$

Ponieważ flikermetry klasy A powinny mierzyć wskaźnik P_{st} z błędem dopuszczalnym 5% [2], budowa kalibratora flikera o małej impedancji wyjściowej wymaga zastosowania źródła napięcia przemiennego z możliwością odtwarzania zmiany napięcia w klasie dokładności 0,005% i czasie odpowiedzi 10 ms.

4. Rozwój krajowych wzorców flikera

Dotychczas główna uwaga projektantów kalibratorów sygnałów przemiennych (grupa kalibratorów uniwersalnych i kalibratorów mocy) była skupiona na uzyskaniu możliwie dużej dokładności odtwarzania napięć przemiennych i możliwie małej impedancji wyjściowej. Czas odpowiedzi krajowych, np. C101 i zagranicznych kalibratorów na poziomie 1 s jest wystarczający dla potrzeb sprawdzania mierników. Właściwości te są uzyskiwane przez stosowanie zamkniętych struktur śledzących z astatyczną charakterystyką regulacji [12].

Przy projektowaniu i produkcji krajowych mierników jakości energii serii NSQ [10], do badania funkcji pomiaru i rejestracji wskaźników wahań P_{st} i P_{lt} , zastosowano dwa układy pomiarowe z kalibratorem uniwersalnym typu C101:

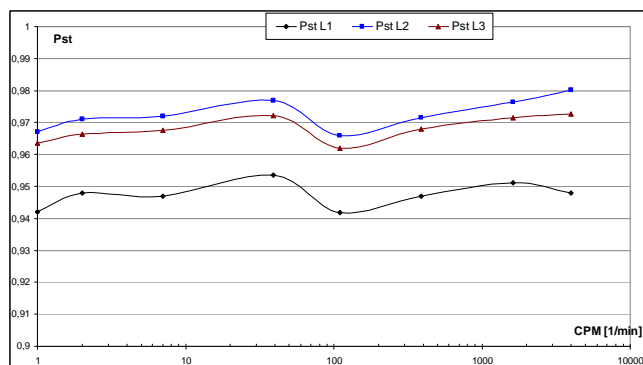
- w zakresie niskich częstości zmian napięcia poniżej 10 zmian/min zastosowano funkcję *Ramp* [9] prostokątnej modulacji w programie sterującym pracą kalibratora,
- w zakresie wysokich częstości zmian napięcia powyżej 10 zmian/min zastosowano kalibrator z podłączonym dzielnikiem o przełączanym współczynniku podziału.

W obu przypadkach niezbędne było korzystanie z woltomierza kontrolnego i ręcznego przeliczania nastaw uwzględniających zarówno nieliniową charakterystykę flikera (rys.1), jak i poprawki z woltomierza kontrolnego. Pomiar wskaźników wahań z samej definicji wskaźnika jest długotrwały, dlatego stosowanie wyżej opisanych rozwiązań skutkuje ogromną pracochłonnością badań.

Przy kolejnym etapie rozwoju popularnego trójfazowego kalibratora mocy typu C300 [6], zaimplementowano w nim funkcję odtwarzania wskaźników wahań napięcia z bezpośrednim programowaniem nastaw w jednostkach wskaźnika P_{st} . Po raz pierwszy w krajowych kalibratorach, do stabilizacji sygnałów wyjściowych kalibratora, zastosowano strukturę z korekcją błędów i astatyczną charakterystyką regulacji [12], co pozwoliło kilkaset razy zmniejszyć czas odpowiedzi kalibratora na skokową zmianę nastawy przy zachowaniu dużej dokładności odtwarzania sygnałów – na rysunku 2 przedstawiono sygnał wyjściowy kalibratora C300 modulowany prostokątnymi zmianami.

Na rys.3 przedstawiono wyniki badań dokładności odtwarzania wskaźnika wahań przez kalibrator C300 w fazach oznaczonych L1, L2 i L3 z zastosowaniem miernika wzorcowego Radian RD31 [13]. Prezentowane wyniki są przed zastosowaniem cyfrowej adiustacji kalibratora – z wykresu widać, że wystarczy zastosować prostą addytywną adiustację kalibratora, aby uzyskać klasę 1 dla

funkcji odtwarzania wskaźnika P_{st} w całym zakresie częstości zmian, co stanowi pięciokrotny zapas dokładności w stosunku do dopuszczalnych błędów flikermetrów klasy A i zwalnia operatora z konieczności stosowania wzorcowego flikermetra.



Rys. 3. Wynik pomiaru dokładności odtwarzania flikera dla $P_{st}=1$ przed zastosowaniem cyfrowej adiustacji

Fig. 3. The measurement accuracy for reproduction flicker $P_{st}=1$ before using of digital adjustment

5. Trójfazowy kalibrator mocy jako kalibrator flikera

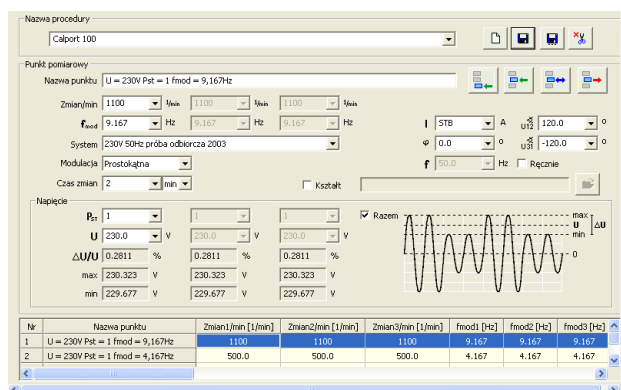
Na rys.4 przedstawiono widok pola edycji procedury pomiarowej funkcji *Flicker* kalibratora C300 umożliwiającą programowanie dawki wahań napięcia bezpośrednio w jednostkach wskaźnika P_{st} z następującymi możliwościami wyboru:

- charakterystyki *Próba odbiorcza* lub *Znormalizowana odpowiedź* dla systemu 230 V 50 Hz lub 120 V 60 Hz,
- *Częstości zmian* wyrażonej w [1/min] lub *Częstotliwości modulacji* wyrażonej w [Hz].

Indywidualnie dla każdej fazy są nastawiane następujące parametry:

- wartość wskaźnika P_{st} ,
- wartość częstości zmian lub częstotliwości modulacji,
- wartość znamionowa napięcia,
- kształt napięcia,

natomiast dla wszystkich faz jest nastawiany jednokrotny czas zmian.

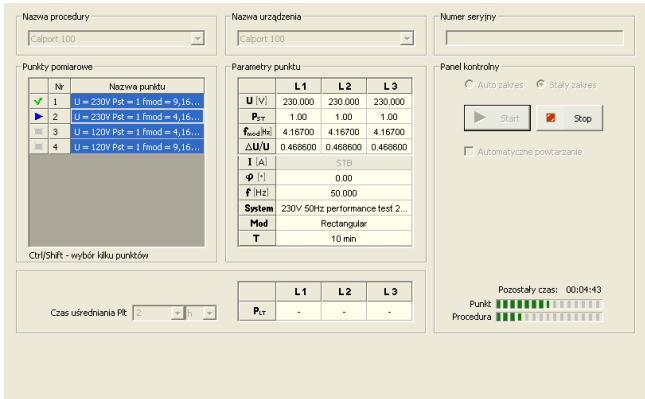


Rys. 4. Widok pola edycji procedury pomiarowej funkcji *Flicker*
Fig. 4. Field view of a procedure edition of the *Flicker* function

Sinusoidalny kształt napięcia jest stosowany w badaniach dokładności wskazań flikermetrów, ponieważ w normie [2] określono charakterystyki próby odbiorczej i znormalizowanej odpowiedzi są badania nad wpływem kształtu napięcia na wskazania flikermetrów [14] i dla potrzeb prowadzenia takich badań, szczególnie interesująca jest możliwość odtwarzania, przez kalibrator C300, wahań napięcia zawierającego interharmoniczne i subhar-

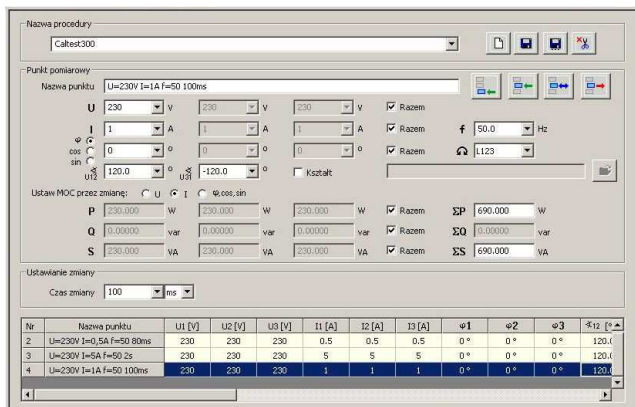
moniczne. Pole *Kształt* (rys.4) umożliwia pobieranie wymaganych kształtów sygnałów zapisanych w bibliotece kształtów.

Na rys.5 przedstawiono widok okna automatycznego testu, podczas którego jest realizowana procedura złożona z sekwencji czterech procesów zaprogramowanych w procedurze pomiarowej, dla której są obliczane wskaźniki P_{It} w nastawionym czasie uśredniania.



Rys. 5. Widok pola edycji Autotestu funkcji *Flicker*
Fig. 5. Field view of a Autotest edition of the *Flicker* function

Programowanie kalibratora bezpośrednio w jednostkach wskaźnika wahań jest możliwe tylko dla tych charakterystyk flikermetrów, które wcześniej zostały unormowane i zaimplementowane w kalibratorze. Ponieważ tematyka flikera jest stosunkowo nowa i wciąż dyskutowana, może zachodzić potrzeba odtwarzania innych, niż unormowane, charakterystyk dawki wahań. Dla takich potrzeb, w kalibratorze C300, zaimplementowano funkcję *Fast Ramp* do odtwarzania zaprogramowanych w czasie sekwencji szybkich zmian dowolnych parametrów wektora trójfazowego o czasie zmian od 10 ms z rozdzielczością 1 ms. Widok przykładowego okna edycji procedury pomiarowej funkcji *Fast Ramp* przedstawiono na rys.6.



Rys. 6. Widok pola edycji procedury pomiarowej funkcji *Fast Ramp*
Fig. 6. Field view of a procedure edition of the *Fast Ramp* function

6. Wnioski

Wyniki badań potwierdzają fakt zbudowania pierwszego krajowego kalibratora dawki wahań napięcia – kalibratora flikera, umożliwiającego wydajne badanie dokładności flikermetrów klasy A w pełnym zakresie częstotliwości zmian napięcia. Dotychczas stosowane niezmiernie uciążliwe procedury sprawdzania flikermetrów z zastosowaniem zestawów aparatury pomiarowej i koniecznością stosowania ręcznego przeliczania nastaw i korygowania błędów, zostały sprowadzone do prostych procedur podobnych do sprawdzania zwykłych woltomierzy, ale o odpowiednio długim

czasie pomiaru. Było to możliwe dzięki między innymi znacznemu (kilkaset razy) skróceniu czasu odpowiedzi trójfazowego kalibratora mocy na skokową zmianę nastawy.

Opracowana funkcja odtwarzania dawki wahań kalibratora C300 dodatkowo umożliwia odtwarzanie wahań napięcia o różnych kształtach, w tym tak ważnych jak z zawartością interharmonicznych i subharmonicznych. Jest to istotne z tego powodu, że prowadzone są badania teoretyczne nad wpływem tych kształtów sygnałów na wskazania flikermetrów, a opracowywane matematyczne modele takich flikermetrów weryfikowane są z zastosowaniem tylko metod symulacyjnych. Zbudowanie kalibratora flikera z programowanymi kształtami sygnałów umożliwia zastosowanie metod fizycznych do weryfikacji poprawności nowych modeli matematycznych flikermetrów i wyników ich badań symulacyjnych.

Jest to szczególnie istotne również z tego powodu, że sygnały z zawartością subharmonicznych i interharmonicznych są stosunkowo nowymi sygnałami wzorcowymi w pomiarach stosowanych w energetyce. Autor artykułu [14] w rozważaniach teoretycznych doszedł do wniosku, że faza początkowa składowej interharmonicznej ma wpływ na wartość wskaźnika P_{st} , natomiast wydaje się to wątpliwe i wymaga sprawdzenia z zastosowaniem metod fizycznych. Z kolei Autorzy [11] mając do dyspozycji generator 6811B umożliwiający zadawanie kształtu przebiegu czasowego przez przygotowanie tablicy próbek, ale tylko dla **jednego** okresu, stwierdzili, że umożliwia to generację zarówno wyższych harmonicznych, co jest prawdą, jak i interharmonicznych, co jest w istocie swojej prawdopodobnie niemożliwe, ponieważ okres interharmonicznej nie jest całkowitą krotnością okresu składowej podstawowej. Oba te przykłady pokazują wyraźnie, jak bardzo potrzebny jest kalibrator flikera z możliwością odtwarzania interharmonicznych dla potrzeb prowadzenia również badań naukowych.

7. Literatura

- [1] UIE flickermeter – Functional and design specification. UIE Report 1983
- [2] Testing and measurement techniques. Flickermeter – Functional and design specifications. IEC 61000-4-15: 2003
- [3] Mombauer W.: Messung von Spannungsschwankungen und Flickern mit dem IEC-Flickermeter. VDE Verlag, Berlin
- [4] EN 50160 (1999): Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. – European standard, EN 50160, Brussels
- [5] IEC Flicker Meter Used in Power System Voltage Monitoring. Test Protocol. Joint Working Group on Power Quality, July 2004
- [6] Olencki A.: Rozwój wzorców parametrów sieci energetycznej, PAK, 2009, n12, 993-996
- [7] IEC61000-3-3/11 Flicker Calibrator. Operation Manual, Computer & Networking Services, USA, 2000
- [8] Ford J.: The Voltech Handbook of Measurements to IEC61000-3-2/3 Harmonics and Flicker. Voltech Application Note 104
- [9] Szymkiewicz J.: System odtwarzania modulowanych sygnałów napięcia i prądu stałego i przemiennego. XIV Sympozjum *Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych*, Krynica 2004
- [10] Urbański K., Olencki A.: Metody pomiaru współczynnika migotania światła – flikera, PAK, 2007, n5, 123-125
- [11] Otomański P., Wilczyński G.: Charakterystyka porównawcza układów pomiarowo-rejestrujących wykorzystywanych do oceny jakości energii elektrycznej, PAK, 2007, n9bis, 649-652
- [12] Olencki A.: Mnogoznaczny miary elektroenergetycznych wielozin. Rozprawa habilitacyjna, Kijów, 1991
- [13] RD-31 Dytronic Portable Standard. User Manual, Radian Research
- [14] Wilczyński G.: Oszacowanie wartości wskaźnika P_{st} dla napięcia zawierającego sub- i/lub interharmoniczne. Materiały V Kongresu Metrologii 2010, Łódź, 174-175