

Michał PNIĘWSKI

POLITECHNIKA ŚLĄSKA W GLIWICACH, INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI
ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice

System pomiarowy do wzorcowania mierników migotania światła w akredytowanym laboratorium wzorcującym

Mgr inż. Michał PNIĘWSKI

Doktorant w Instytucie Metrologii, Elektroniki i Automatyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Główne kierunki działalności naukowo-badawczej to: diagnostyka transformatorów energetycznych w kontekście zawilgocenia izolacji papierowo-olejowej, pomiary składowych impedancji, systemy pomiarowe, jakość energii, jakość głosu, diagnostyka sieci komputerowych.



e-mail: michal.pniwski@polsl.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę wzorcowania urządzeń umożliwiających pomiar wskaźnika krótkookresowego migotania światła - P_{st} . W szczególności zaproponowano metodę zachowania spójności pomiarowej przy odtwarzaniu wielkości odniesienia. Przedstawiono referencyjne stanowisko do odtwarzania sygnału reprezentującego wskaźnik P_{st} o zadanej wartości. Uwzględniono przy tym wytyczne norm IEC 17025, PN-EN 6100-4-30 oraz PN-EN 61000-4-15.

Słowa kluczowe: wzorcowanie mierników migotania, wskaźnik migotania światła.

The measurement system for flickermeter calibration in accredited laboratory

Abstract

A method of flickermeter calibration is presented in the paper. Also the importance of the short-term flicker indicator is discussed. The method of traceability of the reference values is analyzed. A signal source reproducing the reference value of the P_{st} parameter is also discussed in the paper. The problem of construction of the flickermeter and principle of its operation is described. A method of establishing of traceability of reference values is suggested. Reference workstation to reconstruct signal with determined value of P_{st} is described. Standards and guidelines IEC 17025, EN 6100-4-30 and EN 61000-4-15 are regarded in the analysis. Study was carried out to determine the error and uncertainty of the reconstructed reference signal of known values of P_{st} . Both the error and the uncertainty of reconstructed signal with flicker voltage signal are transferred directly to the error and uncertainty of the reconstruction indicator. Basing on the conclusion, carrying out the more accurate calibration of flickermeter can take place in an accredited laboratory.

Keywords: flickermeter, calibration system, accredited laboratory, flicker indicator.

1. Wstęp

Coraz częściej występuje sytuacja, kiedy to kwestionowana jest jakość dostarczanej energii elektrycznej. Główne wskaźniki charakteryzujące jakość energii elektrycznej zdefiniowane w normie [2] to: zaniki i zapady napięcia, zawartość harmonicznych oraz wahania napięcia zasilającego. Wahania napięcia powodują niestabilną pracę urządzeń elektrycznych w tym elektrycznych źródeł światła. Miarą jakości energii elektrycznej w kontekście wrażliwości na skutki wahań napięcia jest krótkookresowy wskaźnik migotania światła oznaczany jako P_{st} . Norma PN-EN 61000-4-15 [1] definiuje sposób pomiaru wskaźnika P_{st} i budowę mierników migotania światła (ang. *Flickermeters*). Zachodzi potrzeba wzorcowania tych mierników, aby zachować pewność prawidłowego wyznaczania wskaźników jakości, w tym P_{st} . Należy dokonywać wzorcowania w laboratoriach godnych zaufania, czyli np. akredytowanych. W artykule przedstawiono system do wzorcowania

mierników migotania światła z uwzględnieniem wymagań jakie stawiane są akredytowanym laboratorium wzorcującym. W rozdziale 2 omówiono zjawisko migotania i zinterpretowano wskaźnik migotania światła. W rozdziale 3 opisano budowę miernika migotania światła. W kolejnym rozdziale zaprezentowano problemy z punktu widzenia akredytowanego laboratorium. W rozdziale 5 zdefiniowany został generator sygnałów odniesienia dla wzorcowania mierników migotania światła. W kolejnych rozdziałach przedstawiono system do wzorcowania mierników migotania światła określono źródła błędów i niepewności oraz opisano procedurę walidacji.

Problematyka wzorcowania mierników migotania zainteresowała wielu badaczy, czego wyrazem są np. prace [3-6].

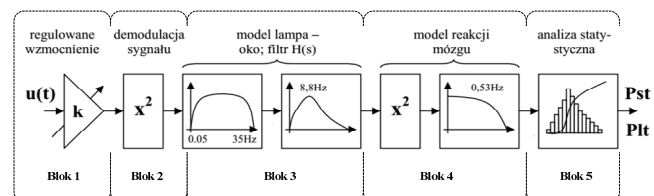
2. Migotanie i wskaźnik migotania światła

Zgodnie z normą PN-EN 61000-4-30 [1] migotanie światła jest to „wrażenie niestabilności postrzeganego obrazu spowodowane przez bodziec świetlny, którego luminancja lub rozkład widmowy zmieniają się w czasie.” Zjawisko to powstaje w wyniku powtarzających się wahań napięcia zasilającego źródło światła. Za referencyjne źródło światła, uznano w dokumentach normalizacyjnych żarówkę o mocy 60 W, zasilaną z sieci 230 V (50 Hz).

Migotanie światła jest to zjawisko subiektywne, które niekorzystnie wpływa na wzrok i stan psychofizyczny człowieka. W dokumentach normatywnych określono próg uciążliwości migotania światła oraz zaproponowano miarę tej uciążliwości w postaci wskaźnika krótkookresowej uciążliwości migotania światła - P_{st} wyznaczanego za okres 10 minut oraz wskaźnika długookresowej uciążliwości migotania P_{lt} , wyznaczanego za okres 2 h. Przyjęto, że wahania napięcia o wartości wskaźnika $P_{st} < 1$ nie są zauważalne dla człowieka i nie wpływają w sposób istotny na jego wzrok i psychikę, a zatem są dopuszczalne [3]. Uciążliwość skutków migotania zależy od częstotliwości wahań napięcia zasilającego. W rzeczywistości takie wahania powodowane są przez odbiorniki tzw. niespokojne np.: windy, piece łukowe, przepływowe ogrzewacze wody, silniki, maszyny o dużej mocy.

3. Miernik migotania światła

Strukturę miernika migotania światła pokazano na rysunku 1. Struktura toru pomiarowego miernika migotania światła wynika z normy [1] i jest strukturą analogową (rys. 1).



Rys. 1. Struktura miernika migotania światła wg PN-EN 61000-4-15
Fig. 1. Flickermeter structure according to IEC 61000-4-15

Skutkuje to dużymi problemami realizacyjnymi, zwłaszcza w zakresie poprawnego wykonania filtrów analogowych. Podstawowymi blokami funkcjonalnymi są:

Blok 1, który dopasowuje napięcie sygnału do napięcia kolejnego bloku (wybór zakresu).

Blok 2 to demodulator o charakterystyce parabolicznej. Na wejście bloku podaje się sygnał mierzony lub zadany sygnał testujący. Na jego wyjściu pojawia się napięcie liniowo zależne od amplitudy wahania napięcia. Blok ten modeluje reakcję żarówki z żarnikiem skrętnym (60 W, 230 V) wypełnionej gazem. Demodulator z sygnału wejściowego wytwarza sygnał o dwóch składowych: składowej stałej i drugiej harmonicznej. Gdy sygnał jest odkształcony np. przez wahania, to na wyjściu kwadratora pojawiają się też składowe o innych częstotliwościach.

Blok 3. Filtr pasmowo-przepustowy o paśmie od 0,05 Hz do 35 Hz. Jego zadaniem jest usunięcie z sygnału niepożądanych harmonicznych i składowej stałej. W realizacjach cyfrowych są to filtry IIR, jako kaskada filtrów górnoprzepustowego 1 rzędu (3 dB dla 0,05 Hz) i dolnoprzepustowego Butterwortha 6 rzędu (3 dB dla 35 Hz). Za nimi jest kolejny filtr pasmowo-przepustowy, który modeluje wrażliwość układu lampa–oko–mózg i ma maksimum odpowiedzi częstotliwościowej dla częstotliwości 8,8 Hz (dla częstotliwości sieci zasilania $f=50$ Hz). W normie podana jest wypadkowa transmitancja $H(s)$ i parametry filtra bloku 3.

$$H(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \cdot \frac{\frac{1}{\omega_2} s + 1}{\left(\frac{1}{\omega_3} s + 1\right)\left(\frac{1}{\omega_4} s + 1\right)} \quad (1)$$

Za filtrem jest wybierany zakres wahania napięcia $\Delta V/V$.

Blok 4. Zawiera kwadrator, który modeluje nieliniową percepcję migotania czyli układ oko–mózg, a za nim jest filtr uśredniający, symulujący pamięć mózgu. Ostatni filtr realizowany jest jako filtr dolnoprzepustowy RC o stałej czasowej 300 ms.

Blok 5. Zawiera przetwornik A/C i mikroprocesor dokonujący statystycznej analizy sygnału wahań napięcia. Wyznaczanie krótkookresowego wskaźnika migotania światła P_{st} następuje w ciągu 10 minut na podstawie rozkładu statystycznego występowania poszczególnych poziomów migotania zgodnie z zależnością:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_{1s} + 0,0657P_{3s} + 0,28P_{10s} + 0,08P_{50s}} \quad (2)$$

gdzie:

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5$$

$$P_{3s} = (P_{2,2} + P_3 + P_4)/3$$

$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})/3$$

$P_{0,1}; P_1; P_3; P_{10}; P_{50}$ są percentylami oznaczającymi przekroczenie poziomu migotania przez 0,1; 1; 3; 10 i 50% czasu obserwacji. Natomiast $P_{1s}, P_{3s}, P_{10s}, P_{50s}$ są percentylami wygładzonymi.

Do oceny wpływu uciążliwości migotania w dłuższym okresie czasu wyznaczany jest długookresowy wskaźnik migotania światła P_{lt} według wzoru:

$$P_{lt} = 3 \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_{stn}^3} \quad (3)$$

Można zauważyć, że wyznaczenie parametru P_{lt} na drodze bezpośredniego pomiaru nie jest niezbędne do oceny poprawności działania miernika migotania światła, ponieważ jest on obliczany tylko z wartości kolejno wyznaczanych wartości P_{st} . Przykładowa

cyfrowa implementacja miernika migotania światła została opisana w pracy [6].

4. Procedura wzorcowania miernika migotania światła w laboratorium PSL

Aby możliwe było wykonywanie usług wzorcowania mierników migotania światła w akredytowanym laboratorium wzorcowującym zgodnie z wymaganiami Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) w zakresie sprawdzania poprawności wyznaczania wskaźnika P_{st} , konieczne jest:

- 1) określenie sygnału odniesienia,
- 2) zwalidowanie systemu pomiarowego,
- 3) zachowanie spójności pomiarowej z NMI,
- 4) zapewnienie możliwości wydania stwierdzenia o zgodności.

Proponuje rozwiązań wyżej wymienionych problemów są omówione w rozdziałach 5...8

Większość znanych producentów mierników migotania światła np. Fluke, A-Eberle, Siemens, Schneider Electric, dokonuje certyfikacji swoich produktów w laboratorium PSL (Power Standard Lab, USA). Powodem dla którego PSL cieszy się dużym uznaniem zapewne jest fakt, iż pracownicy firmy brali czynny udział w opracowywaniu międzynarodowej normy jakości energii [2]. W celu sprawdzenia poprawności wyznaczania P_{st} PSL wykorzystuje zapisane w postaci plików wzorcowe kształty przebiegów testowych. Aby odtworzyć fizyczny przebieg napięcia wykorzystuje przetworniki C/A (karta NI PCI-6733), a następnie wzmacnia sygnał dożądanego poziomu napięcia za pomocą wzmacniacza napięciowego. Jak wynika z zamieszczonego na rys. 2 fragmentu świadectwa wzorcowania wydanego przez PSL, zarówno karta z przetwornikami C/A jak i wzmacniacz napięciowy nie posiadają wydanego świadectwa wzorcowania. W celu weryfikacji poprawności odtwarzania generowanych sygnałów testowych wykorzystywany jest przez PSL multimetr Fluke 8508A, który posiada świadectwo wzorcowania wydane przez Fluke. Tym samym PSL uznaje, że zapewniona jest spójność pomiarowa z NMI. PSL oświadcza, że zachowuje spójność pomiarową z NIST. W wydanym przez siebie certyfikacie akredytacji stwierdza że: "IEC 61000-4-30 jest normą opisującą metodę, nie jest normą opisującą dokładność. Z tego powodu, nie istnieje krajowe laboratorium referencyjne lub krajowa jednostka certyfikująca dostępna dla tej normy." Podejście zaprezentowane przez PSL dotyczące zapewnienia spójności pomiarowej może budzić pewne wątpliwości natury metrologicznej. Mianowicie wątpliwe jest czy używany przez PSL przetwornik C/A wraz ze wzmacniaczem napięciowym nie zmienia swoich parametrów w czasie. Słusznym wydaje się podejście polegające na okresowym wzorcowaniu wzmacniacza napięciowego wraz z zestawem przetworników C/A. Tym samym pewniejsze byłoby stwierdzenie o zapewnieniu spójności pomiarowej.

NIST-trace
Calibration Certificate No. P[redacted]011
PQube S/N [redacted]

Reference or Source	Serial Number	NIST Trace Path	Due Date	Equip. Used
Leeds & Northrup 4221-B 0.1-Ohm Standard Resistor	1709667	NIST 817/271591-05	--	--
Fluke 731B DC Reference Standard	4455007	NIST 817/271591-05	--	--
Fluke 8508A Reference Multimeter	947854898	Fluke Cert. No. 1886175-947854898-1276932746	09/19/11	✓
Leeds & Northrup 4384 0.001-Ohm Standard Resistor	1733596	PSL Report No. NIST-100811	09/11/11	
PSL Cal Lab 4-Channel High Voltage Amplifier	SP4040	N/R	N/A	✓
PSL Cal Lab 2-Channel Mid Voltage Amplifier	SP4041	N/R	N/A	✓
PSL Cal Lab 4-Channel Current Amplifier	SP4042	N/R	N/A	
Pacific Power AT-Series AC Power Source	0261	N/R	N/A	
National Instruments PCI-6733	133FF9D	N/R	N/A	✓
Fluke 5220A Transconductance Amplifier	5330005	N/R	N/A	

Calibration date: 24 Jan 2011
Calibration time: 17:42:38
Calibration location: PSL Calibration Lab, Alameda, CA
Calibration temperature: 24°C
Calibration humidity: 37%
Calibration software: 4.2.0
Calibrated by: Chuck Lopez

Rys. 2. Fragment świadectwa wzorcowania wydane przez PSL
Fig. 2. Fragment of calibration certificate issued by PSL

5. Generator sygnałów odniesienia dla wzorcowania mierników migotania światła

Norma [1] określa sposób sprawdzania poprawności działania mierników migotania światła, w szczególności wyznaczania wskaźnika P_{st} . Procedura polega na wytworzeniu sygnału odniesienia, którym jest napięcie sinusoidalne, zmodulowane amplitudowo sygnałem prostokątnym, zgodnie ze wzorem (4).

$$v(t) = \sin(2\pi f_c t) \left\{ 1 + \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \frac{1}{2} \text{sign}[\sin(2\pi f_m t)] \right\}, \quad (4)$$

gdzie f_c jest częstotliwością podstawową (50 Hz), $\left(\frac{\Delta V}{V} \right)$ jest względną zmianą napięcia, f_m jest częstotliwością modulującą sygnał podstawowy oraz $v(t)$ jest sygnałem w dziedzinie czasu t , $\text{sign}(x)$, czyli znak liczby rzeczywistej x , jest to funkcja, zdefiniowana następująco:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} -1 & x < 0 \\ 0 & x = 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases} \quad x \in R$$

Taki sygnał charakteryzuje się niskoczęstotliwościowymi, okresowymi zmianami wartości skutecznej napięcia. Przyrząd powinien wskazać wartość P_{st} określoną w normie. Norma przewiduje 7 różnych sygnałów odniesienia, zróżnicowanych pod względem liczby zmian na minutę oraz względnej zmiany napięcia $\Delta V/V$. W tabeli 1 przedstawiono znormalizowane wartości sygnału odniesienia, dla których odczytana wartość z miernika migotania powinna wynosić $P_{st} = 1$. Norma określa, że przyrząd klasy A powinien mierzyć parametr P_{st} z dokładnością 5%. Norma wskazuje również na liniową zależność pomiędzy wahaniami napięcia $\Delta V/V$ a otrzymanym wskaźnikiem P_{st} . Dla przykładu, aby otrzymać dla liczby zmian napięcia na minutę równej 1620 i względnych zmian napięcia $\Delta V/V = 0,402\%$ otrzymuje się P_{st} równe 1. Natomiast dla $\Delta V/V$ równego 1,206% i tej samej liczby zmian napięcia na minutę otrzymuje się P_{st} równe 3. Jak widać z powyższego przykładu, możliwe jest generowanie sygnałów testujących odpowiadających P_{st} w szerokim zakresie zmian.

Tab. 1. Specyfikacja sygnału odniesienia dla $P_{st}=1$
Tab. 1. Specification of the reference signal for $P_{st} = 1$

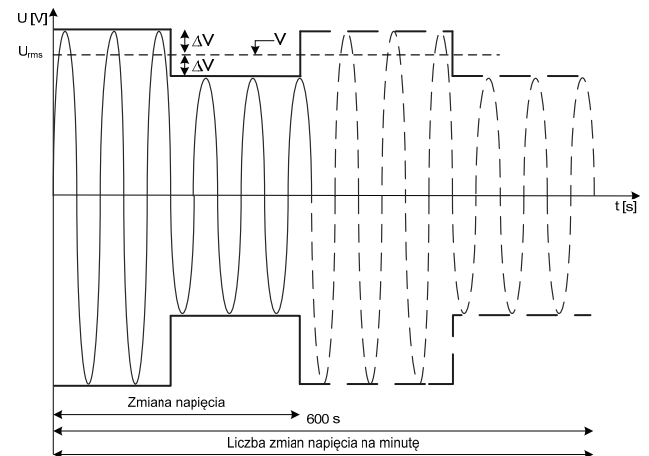
Lp.	Liczba zmian na minutę	Względne zmiany napięcia, $\frac{\Delta V}{V} [\%]$	Częstotliwość modulacji [Hz]
1	1	2,724	0,0083
2	2	2,211	0,0167
3	7	1,459	0,0583
4	39	0,906	0,3250
5	110	0,725	0,9167
6	1620	0,402	13,5000
7	4000	2,4	33,3333

Szczegółowe wyjaśnienie interpretacji względnych zmian napięcia przedstawiono na rys. 3.

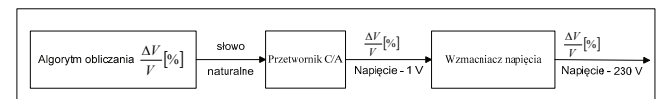
6. System do wzorcowania mierników migotania światła

System wzorcujący został wykonany przy użyciu platformy CompactRIO firmy National Instruments. System zbudowany został z trzech głównych elementów:

- kontrolera z procesorem czasu rzeczywistego NI cRIO-9014, który realizuje obliczanie próbek sygnału napięcia zgodnie ze wzorem (4),
- zestawu modułów wyjść analogowych: NI 9263 – 4 kanałowe wyjście napięciowe (do 10 V) do generacji sygnału $\Delta V/V$,
- wzmacniacza napięcia, który pozwalał na dopasowanie sygnału $\Delta V/V$ do poziomu 230 V.

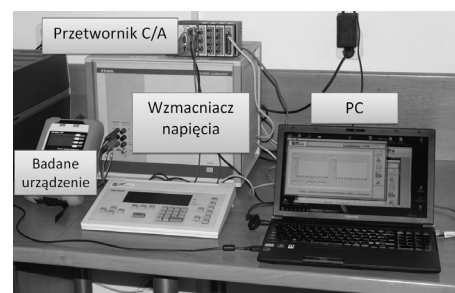


Rys. 3. Interpretacja względnej zmiany napięcia $\Delta V/V$
Fig. 3. Presentation of the relative voltage change $\Delta V/V$



Rys. 4. Schemat blokowy systemu do wzorcowania mierników migotania światła
Fig. 4. Block diagram of the system for flickermeters calibration

Jak pokazano na rys. 4, proces otrzymywania sygnału napięciowego z zadaną wartością P_{st} składa się z kilku etapów. Najpierw oblicza się próbki sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz, które następnie są zmodulowane sygnałem prostokątnym lub sinusoidalnym o odpowiedniej amplitudzie zgodnie z normą [1]. W kolejnym kroku generuje się napięcie za pomocą karty NI 9263, a następnie wzmacnia wzmacniaczem napięcia do poziomu 230 V. Zrealizowany system do wzorcowania mierników migotania światła został przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. System pomiarowy do wzorcowania mierników migotania światła
Fig. 5. The measuring system for flickermeter calibration

System umożliwia wygenerowanie sygnałów testujących na podstawie tabeli 1, przy czym możliwe jest bezpośrednie zadawanie wskaźnika P_{st} dla konkretnej liczby zmian napięcia na minutę.

7. Źródła błędów i niepewności

W celu wytworzenia sygnału odniesienia zbudowano układ składający się z komputera, karty o wyjściu napięciowym z prze-

twornikiem C/A oraz precyzyjnym wzmacniaczem napięciowym. Zarówno karta napięciowa jak i wzmacniacz napięcia posiadały aktualne świadectwo wzorcowania, co oznacza, że zapewniona była spójność pomiarowa w rozumieniu normy ISO 17025. Niepewność względną rozszerzoną napięcia generowanego przez taki układ oszacowano na 0,05%.

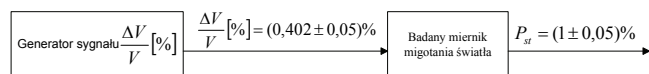
Z zapisów normy [1] nie wynika wprost korelacja niepewności ilorazu $\Delta V/V$ z odtwarzanym wskaźnikiem P_{st} . Dlatego, aby określić współczynniki wrażliwości dla każdego z siedmiu testów określonych w tabeli 1 opracowano w sposób symulacyjny w środowisku Matlab miernik migotania światła. Na wejście zasymulowanego miernika podawano sygnał odniesienia, którego wartości $\Delta V/V$ celowo degradowano w różnym stopniu. Badania przeprowadzono dla wartości P_{st} : 0,1;0,5;1;5;10. Dla każdej z badanych wartości P_{st} określono maksymalny błąd względny δ_{max} wskaźnika P_{st} odniesiony do wartości, jakie wskazał wirtualny miernik dla niezdegradowanych wartości $\Delta V/V$. Wyniki badań zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Zestawienie wyników badań wpływu błędu odtworzenia $\Delta V/V$ na oczekiwaną wartość wskaźnika P_{st}

Tab. 2. Summary results of the error impact of restore $\Delta V/V$ on expected value of the P_{st} indicator

P_{st}	---	0,1	0,5	1	3	5	10	δ_{max}
Błąd względny odtworzenia $\Delta V/V$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-0,4	0,5
	1	1,1	1,1	1	1,1	1	-0,9	1,1
	3	3,1	3,1	3,1	3,1	3	0,6	3,1
	5	5,2	5,2	5,2	5,2	5,1	2,6	5,2
	10	10,3	10,3	10,3	10,3	10,2	7,5	10,3
	20	20,6	20,7	20,6	20,6	20,4	17,3	20,7
	50	51,5	51,6	51,6	51,4	50,8	46,9	51,6
	100	103	103,2	103,2	102,5	100,9	96,6	103,2
	-0,5	-0,5	-0,1	-0,1	0,1	0,5	0,5	0,5
	-1	-0,5	0,3	0,3	0,6	1	0,9	1
	-3	1,4	2,3	2,3	2,5	2,9	2,8	2,9
	-5	3,3	4,2	4,2	4,5	4,8	4,6	4,8
	-10	8,2	9,1	9,1	9,3	9,6	9,3	9,6
	-50	46,6	48,1	48,1	48,2	48,3	47,2	48,3

Z przeprowadzonych badań wynika, że zarówno błąd, jak i niepewność generowanego sygnału testowego przenosi się wprost na błąd i niepewność odtwarzanego wskaźnika P_{st} . W związku z powyższym przedstawiony system do wzorcowania mierników migotania światła osiąga niepewność odtworzenia wskaźnika P_{st} na poziomie 0,05%, co zilustrowano na rys. 6.



Rys. 6. Układ wzorcowania mierników migotania światła wraz oszacowaną niepewnością odtwarzania wielkości odniesienia

Fig. 6. The system for the calibration of flickermeters with an estimated uncertainty of reference values

8. Walidacja

Aby dokonać walidacji stworzonego systemu mierników migotania światła przeprowadzono szereg szczegółowych testów.

Generowano sygnały testujące zgodnie z tabelą nr 1 dla wskaźników migotania $P_{st}=1$, $P_{st}=0,5$ oraz $P_{st}=10$. Sygnały testujące podawane były na referencyjny miernik Fluke 1760 posiadający aktualne świadectwo wzorcowania wydane zgodnie z procedurą opisaną w rozdziale 4. Wskazania wzorcowego przyrządu potwierdziły poprawność generowanych sygnałów testujących.

Maksymalny błąd miernika Fluke 1760 wynosił 2,5%, co jest wynikiem zadowalającym i potwierdzającym zdolności pomiarowe miernika w klasie A.

9. Wnioski

Przedstawiony w artykule system pozwala na wzorcowanie mierników migotania światła zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 61000-4-15. Umożliwia generację sygnałów napięciowych odpowiadających definicyjnym wartościom wskaźników P_{st} . Dodatkowo uwzględniając wprost proporcjonalną zależność P_{st} od $\Delta V/V$ dla danej częstotliwości możliwa jest generacja sygnałów testowych odpowiadających dowolnej wartości wskaźników P_{st} , co jest konieczne przy określaniu zakresu pomiarowego wyznaczania wskaźnika P_{st} wzorcowanego przyrządu. Zaprezentowana w artykule metoda wzorcowania mierników migotania światła, oparta na przedstawionym generatorze sygnału wielkości odniesienia, z zachowaniem spójności pomiarowej pozwala na wydanie świadectwa wzorcowania. Można uznać że przyrząd spełnia wymagania normy PN-EN 61000-4-15, jeżeli otrzymywana wartość krótkookresowego wskaźnika migotania światła P_{st} dla każdego z sygnałów testowych mieści się w 5% przedziale tolerancji. Jednocześnie można wydać stwierdzenie zgodności w myśl normy ISO 17025 oraz wytycznych dokumentu ILAC-G8 jeżeli dodatkowo błąd przyrządu wraz z niepewnością odtwarzania wielkości odniesienia powiększonego o składnik związany z rozdzielczością badanego przyrządu, jest mniejszy niż 5%.

Rozważana w artykule metoda wzorcowania mierników migotania światła została przedstawiona dla obwodów 1-fazowych. Jednakże nic nie stoi na przeszkodzie, aby zastosować ją do obwodów 3-fazowych. Pozwoliłoby to na zbudowanie trójfazowego kalibratora. Opracowane modele teoretyczne (symulacyjne) wymagają weryfikacji fizycznej. Proponowane stanowisko nadaje się do takich celów. W opracowanej niedawno rekomendacji IEEE [7] zaprezentowano szereg testów sprawdzających poprawność funkcjonowania mierników migotania światła. Prezentowane tam podejście jest zgodne z opisanym w artykule systemem do wzorcowania mierników migotania. Rekomendacja zawiera przykładowy protokół pomiarowy z wzorcowania miernika migotania światła. Dla sprawdzenia poprawności wyznaczania wskaźnika P_{st} określa tak samo jak norma [1] 7 sygnałów testowych. Dodatkowo proponuje się wykonanie dodatkowych, opcjonalnych testów weryfikujących poprawność wyznaczania P_{st} dla mierników klasy A(F1). Są to: test skokowej zmiany fazy oraz test modulacji prostokątnej o współczynniku wypełnienia 20%.

10. Literatura

- [1] Norma PN-EN 61000-4-15: Miernik migotania światła - Specyfikacja funkcjonalna i projektowa, 2005.
- [2] Norma PN-EN 61000-4-30: Metody pomiaru jakości energii, 2011.
- [3] Olencki A.: Testowanie mierników migotania światła – flickermeterów, Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 58, s.487-490, 2012.
- [4] Fregosi, D.: Digital Flickermeter design and implementation based on IEC Standard, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE 2010.
- [5] Wiczynski, G.: Inaccuracy of Short-Term Light Flicker Indicator Measuring With a Flickermeter, IEEE Transactions on Power Delivery, 2012.
- [6] Ruiz J.J.: A simplified implementation of the test protocol for the IEC flickermeter, 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, 2007.
- [7] IEEE Recommended Practice-Adoption of IEC 61000-4-15:2010, Electromagnetic compatibility (EMC)—Testing and measurement techniques-Flickermeter-Functional and design specifications, 2011.