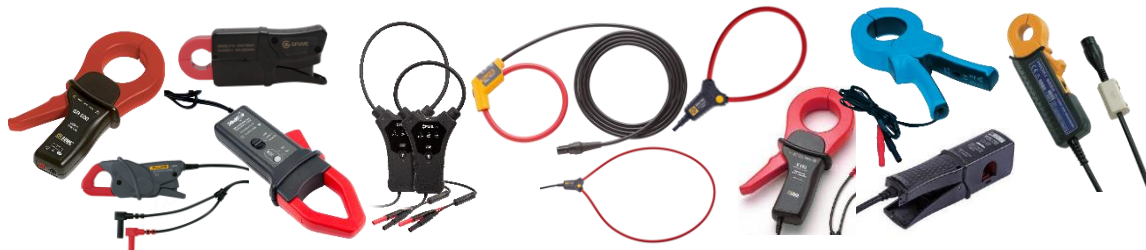


1. Jak testować zaciski prądowe i elastyczną cewkę Rogowskiego?

Cęgi prądowe oraz Cewki Rogowskiego (elastyczne) są szeroko używane jako sensory prądowe w wielu elektronicznych urządzeniach, takich jak amperomierze, analizatory jakości mocy, testery liczników energii, oraz urządzeniach kontrolnych (obrazek poniżej jako przykład).

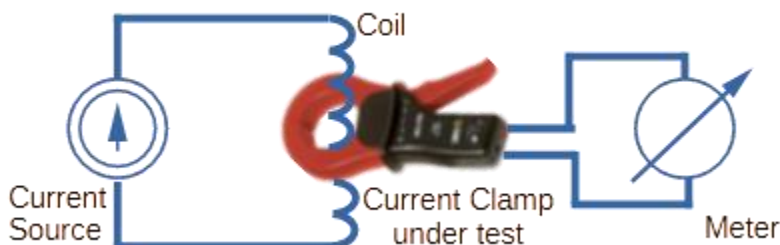


Zakres prądu sensorów zaczyna się od kilku amperów do 6000A prądu wejściowego oraz dokładność zaczyna się od 0.1% do 5% mierzonej wartości. Testowanie składa się z przepuszczenia prądu o znanej wartości przez przewód który uwzględnia cęgi i pomiar sygnału wyjściowego z czujnika. W praktyce trudno jest aplikować prąd o wartości poziomu wielu setek amperów, więc zwykle przewód złożony jest w postaci cewki o wielu zwojach. Prąd ekwiwalentny wykrywany przez cęgi prądowe jest przedstawiany formułą:

$$I_{eq} = N \times I_{cal}$$

Gdzie: I_{eq} – prąd ekwiwalentny, N – liczba zwojów cewki, I_{cal} – prąd płynący przez cewkę.

Dla przykładu dla cewki o 100 zwojach, ustawiony prąd 10A oddaje 1000A prądu ekwiwalentnego.



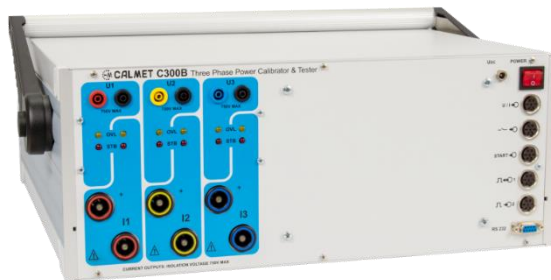
2. Wymagane wyposażenie

2.1. Źródło prądu

Jako źródło do testu możemy użyć jedno lub trzy-fazowego kalibratora mocy np. typu CP11B lub C300B. Oba kalibratory mogą generować prąd AC w zakresie od 1mA do 120A z mocą wyjściową do 80VA.



CP11B kalibrator jednofazowy



C300B kalibrator trójfazowy

Niepewność kalibratorów C300B oraz CP11B jest przedstawiona w tabelce poniżej. Jest to rozszerzona niepewność absolutna o poziomie ufności 95% i obejmuje niepewność referencyjną wzorców,

stabilność w okresie 12 miesięcy, wartości wpływające (temperatura otoczenia w zakresie +20...+26°C, wilgotności <90% @ +5...+30°C i napięcia zasilania 90...264V / 47...63Hz, obciążenia < 80VA dla częstotliwości w zakresie 45...65Hz) oraz dla ustawień większych niż 10% zakresu.

Parametr	Zakres	Zakres ustawień	Rozdzielczość	Niepewność		Maksymalne obciążenie
Prąd I	0.5A	0.001000...0.500000A	0.000001A	±0.02%	±0.05%	17V@0.5A
	6A	0.05000...6.00000A	0.00001A			8.5V@6A
	20A	0.2000...20.0000A	0.0001A			3.3V@20A
	120A	1.000...120.000A	0.001A			0.95V@60A 0.70V@120A

2.2. Cewka

Zwoje mogą być zrobione indywidualnie przewlekając wielokrotnie drut przewodzący prąd przez otwór w cęgach jednak ta metoda daje niestabilne wyniki oraz wymaga powtórzenia na każdym cęgach prądowych. Lepszym rozwiązaniem jest użycie gotowych cewek ze zdefiniowaną liczbą zwojów i różnych średnicach. Dla przykładu w firmie Calmet mamy dostępne dwie cewki przedstawione poniżej. Za ich pomocą możliwe jest osiągnięcie ekwiwalentu prądu > 1000A.



ZW100/10A



ZW10/20A

Niepewność cewek ZW100 oraz ZW10 w interakcji z cęgami jest opisana w tabelce poniżej.

Parametr / typ cewki	ZW10/20A	ZW100/10A
Interakcja pomiędzy cęgami/cewką (niepewność) dla cęgów toroidalnych w skali częstotliwości f=45-65Hz	±0.25%	±0.25%
	±0.02A	±0.02A

2.3. Miernik

Typowe cęgi prądowe mają dwa rodzaje wyjść: napięciowe zwykle w skali 1 – 3V AC dla maksymalnego prądu lub wyjście prądowe od 100mA do 6A dla maksymalnego prądu wejściowego. Ten sygnał wyjściowy może być mierzony przez każdy typowy multimetr, jednak specjalna funkcjonalność kalibratorów CP11B oraz C300B pozwala na przeprowadzanie testów w skali całościowej prądów wejściowych w sposób automatyczny. Kalibratory mają wejście analogowe dla napięcia w zakresie 0...10V AC/DC oraz prądu w zakresie 0...24mA DC lub 0...6A AC. Niepewność modułu analogowego jest przedstawiona w tabeli poniżej.

Parametry wejść dla automatycznych funkcji testowych					
Input	Skala	Niepewność ¹⁾	Ilość wejść	Warunki	
Wejście multimetra	napięcie DC	0...±14.0000V	0.02% + 0.5mV	1	W zakresie 45...65Hz
	Prąd DC	0... ±24.0000mA	0.02% + 1µA		
	napięcie AC	0...10.0000V	0.05% + 0.5mV		
	Prąd AC	0...16.0000mA	0.05% + 1.6µA		
		0...200.000mA	0.05% + 10µA		
	Przesunięcie fazy	0...360.00° ref. to I1	0.1° ²⁾		

¹⁾ Rozszerzona niepewność absolutna o poziomie pewności 95% uwzględniając stabilność podczas 12 miesięcy
²⁾ od zakresu 5% prądu oraz napięcia.



Calmet Sp. z o.o.
 Kukułcza 18, 65-472 Zielona Góra, Polska
 E-mail: mail@calmet.com.pl

Telefon +48 68 324 04 56
 Fax +48 68 324 04 57

3. Kalkulacja pomiaru niepewności

3.1. Niepewność kalibratora C300B z cewką prądową ZW

Niepewność cęgów prądowych podczas testu za pomocą kalibratora C300B oraz cewek ZW może zostać przedstawiona przez równanie poniżej.

$$U_{intcal} = \sqrt{U_{int}^2 + U_{cal}^2}$$

gdzie: U_{intcal} – niepewność pomiaru;

U_{int} – niepewność interakcji pomiędzy cewką i cęgami ;

U_{cal} – niepewność prądu ustawionego na kalibratorze;

Niepewność kalibratora C300B to stała wartość 0.02% lub 0.05% (zależnie od klasy kalibratora) w zakresie prądu wyjściowego od 50mA do 20A. Niepewność interakcji cewka-cęgi zależy od wartości prądu i równa się 0.25%+0.02A prądu ekwiwalentnego. Dlatego niepewność jest opisywana wzorem poniżej:

$$U_{intcal} = \sqrt{U_{int}^2 + U_{cal}^2} = \sqrt{\left(0.25\% + \frac{0.02A}{I_{cal} \times N} \times 100\%\right)^2 + U_{cal}^2}$$

gdzie: U_{intcal} – niepewność pomiaru;

U_{int} – niepewność interakcji pomiędzy cewką i cęgami;

I_{cal} – wartość prądu ustawiona w kalibratorze [A];

N – ilość zwojów cewki;

U_{cal} – niepewność prądu ustawionego na kalibratorze: 0.02% lub 0.05%.

Przykładowe wartości kalkulowanej niepewności dla dwóch klas kalibratorów C300B - 0.02% oraz 0.05% razem z dwiema cewkami prądowymi ZW100 i ZW10 są przedstawione poniżej.

Klasa dokładności kalibratora								
0.02%					0.05%			
ZW100			ZW10		ZW100		ZW10	
I_{cal} [A]	I_{eq} [A]	U_{incal} [%]	I_{eq} [A]	U_{intcal} [%]	I_{eq} [A]	U_{intcal} [%]	I_{eq} [A]	U_{intcal} [%]
0,05	5	0,650	0,5	4,250	5	0,652	0,5	4,250
0,1	10	0,450	1	2,250	10	0,453	1	2,251
0,2	20	0,351	2	1,250	20	0,354	2	1,251
0,5	50	0,291	5	0,650	50	0,294	5	0,652
1	100	0,271	10	0,450	100	0,275	10	0,453
2	200	0,261	20	0,351	200	0,265	20	0,354
5	500	0,255	50	0,291	500	0,259	50	0,294
10	1000	0,253	100	0,271	1000	0,257	100	0,275

Gdzie:

I_{cal} – wartość prądu ustawiona w kalibratorze C300B;

I_{eq} – wartość I_{cal} pomnożona przez liczbę zwojów cewki;

U_{intcal} – Niepewność kalibratora w interakcji z cewką.

3.2. Niepewność kalibratora C300B w interakcji z cewką ZW oraz modulem miernika C300B

Niepewność testu cęgów prądowych za pomocą kalibratora C300B, cewki ZW oraz modułu miernika kalibratora C300B może być przedstawiona przez równanie poniżej:

$$U_{intcalmet} = \sqrt{U_{int}^2 + U_{cal}^2 + U_{meter}^2}$$

gdzie: $U_{intcalmet}$ – niepewność pomiaru;

U_{meter} – niepewność miernika;



Calmet Sp. z o.o.
Kukułcza 18, 65-472 Zielona Góra, Polska
E-mail: mail@calmet.com.pl

Telefon +48 68 324 04 56
Fax +48 68 324 04 57

Niepewność miernika zależy na wartości mierzonego napięcia lub prądu, oraz składa się z dwóch komponentów: jednego proporcjonalnego do wartości pomiarowej wyrażonej w % oraz drugiej stałej wartości. Dlatego niepewność podawana jest równaniem poniżej:

$$U_{intcalmet} = \sqrt{U_{int}^2 + U_{cal}^2 + U_{meter}^2} = \sqrt{\left(0.25\% + \frac{0.02A}{I_{cal} \times N} \times 100\%\right)^2 + U_{cal}^2 + \left(\delta\% + \frac{\Delta_{||}}{X_{out}} \times 100\%\right)^2}$$

gdzie: $U_{intcalmet}$ – niepewność pomiaru;

$\delta\%$ – proporcjonalna niepewność miernika wyrażona w [%];

$\Delta_{||}$ – absolutna część niepewności miernika wyrażona w [V] lub [A];

X_{out} – wartość mierzona przez miernik wyrażana w [V] or[A];

Jako przykład możemy obliczyć niepewność dla kalibratora C300B klasy 0.05, wraz z cewką ZW100/10A o 100 zwojach, oraz cęgami prądowymi typu C107 Chauvin Arnoux 1000A AC / 1V AC używając miernika C300B na zakresie 10V na wejściu miernika. Test jest przeprowadzany dla $I_{cal}=10A$, więc prąd ekwiwalentny wynosi $I_{eq} = 10A \times 100 = 1000A$ oraz przewidywane napięcie jest równe 1V AC z niepewnością $0.05\% \pm 0.5mV$. Tak więc niepewność całkowita zestawu testowego wynosi:

$$U_{intcalmet} = \sqrt{U_{int}^2 + U_{cal}^2 + U_{meter}^2} = \sqrt{\left(0.25\% + \frac{0.02A}{10A \times 100} \times 100\%\right)^2 + 0.05\%^2 + \left(0.05\% + \frac{0.0005V}{1V} \times 100\%\right)^2}$$

$$= \sqrt{0.064\% + 0.0025\% + 0.01\%} = \sqrt{0.0765\%} = \mathbf{0.277\%}$$

4. Przykład testowy cęgów prądowych

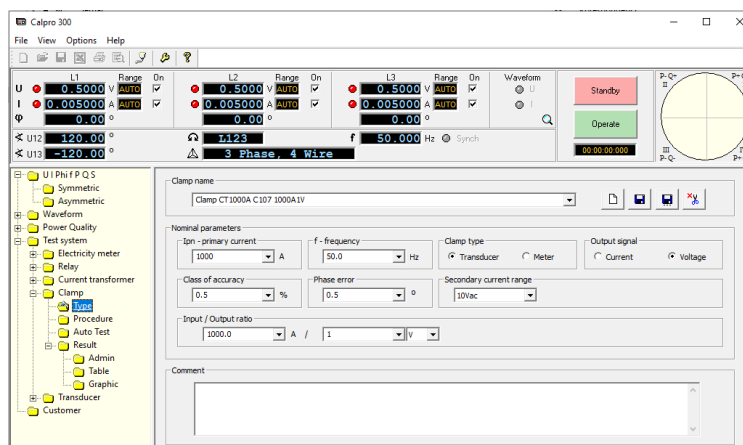
4.1. Ustawianie sprzętu testującego



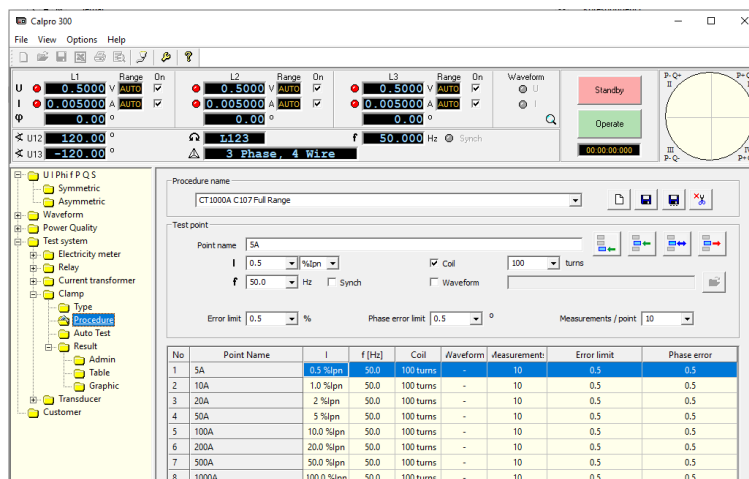
Jako przykład używamy: kalibratora C300B klasy 0.05, cewki ZW100/10A o 100 zwojach, cęgów prądowych typu C107 Chauvin Arnoux 1000A AC / 1V AC oraz miernika C300B z wejściami na zakresie 10V. Test jest przeprowadzany dla pełnego zakresu prądu od 5A do 1000A. prąd z wyjścia kalibratora jest podłączony do zacisków ZW100/10A, oraz cęga prądowa C107 jest zamknięta na cewce. Sygnał napięcia wyjściowego z cęgów prądowych jest podłączony z powrotem do kalibratora za pomocą adaptera AD300 (gniazda lub złącza śrubowego bananowego bezpieczeństwa 4mm podłączonego do gniazda amphenol C091A odpowiedniego dla kalibratora C300B). Zaprezentowane na zdjęciu obok.

4.2. Automatyczne przygotowanie procedury w kalibratorze C300B.

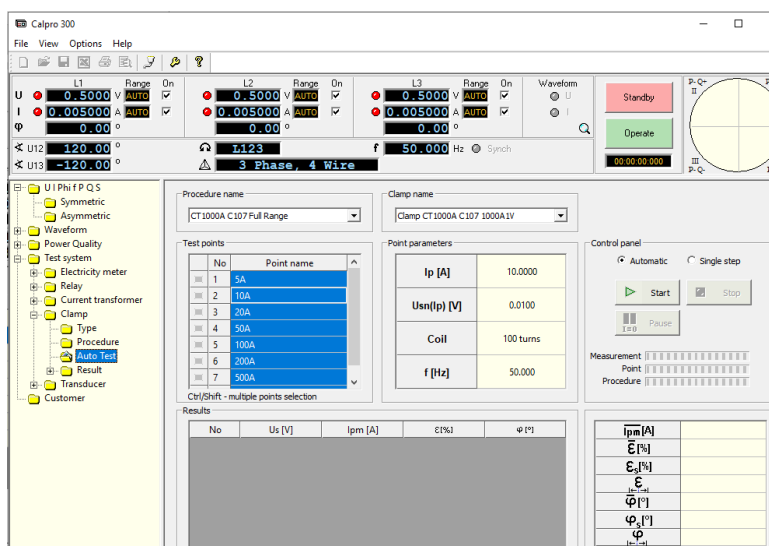
Zanim zaczniesz sprawdzić, czy kalibrator C300B jest podłączony do komputera PC poprzez przewód interfejsu RS232, po czym oprogramowanie Calpro300 PC będzie gotowe do pracy. Jako następny krok, odpowiedni port COM powinien zostać wybrany, aby uruchomić kontrolę zdalną C300B. Aby przygotować test, najpierw powinniśmy zdefiniować *Typ* cęgów prądowych, tak jak to przedstawiono na zdjęciu poniżej:



Zdefiniowanie składa się z wyboru nazwy cęgów (cegi CT1000A C107 1000A1V), I_{pn} – głównego prądu nominalnego (1000A) i klasy dokładności (0.5), błędu przesunięcia fazy (0.5°), prądu drugorzędного / zakresu napięcia (10Vac) oraz stosunku wejść/wyjść (1000A/1V). Typ może zostać zachowany w pliku, tworząc bazę danych do przyszłego użytku. Następny krok, to przygotowanie procedury testowania co oznacza sekwencję wartości prądowych które są aplikowane na cewce podczas testów, co przedstawiono na obrazku poniżej. Procedura składa się z Nazwy procedury a następnie z Nazwy Punktu testowego. Następnie powinien zostać ustawiony prąd testowy jako procent głównego prądu nominalnego I_{pn} . Użycie Cewki powinno zostać wybrane poprzez pole wyboru i wprowadzone jako ilość zwojów. Pole wyboru Liczba Pomiarów/Punkt jest używane do zdefiniowania liczby pomiarów dla uśredniania wyników oraz kalkulacji odchylenia standardowego. Procedura może zostać zapisana w pliku tworząc bazę danych dla przyszłego użytku.

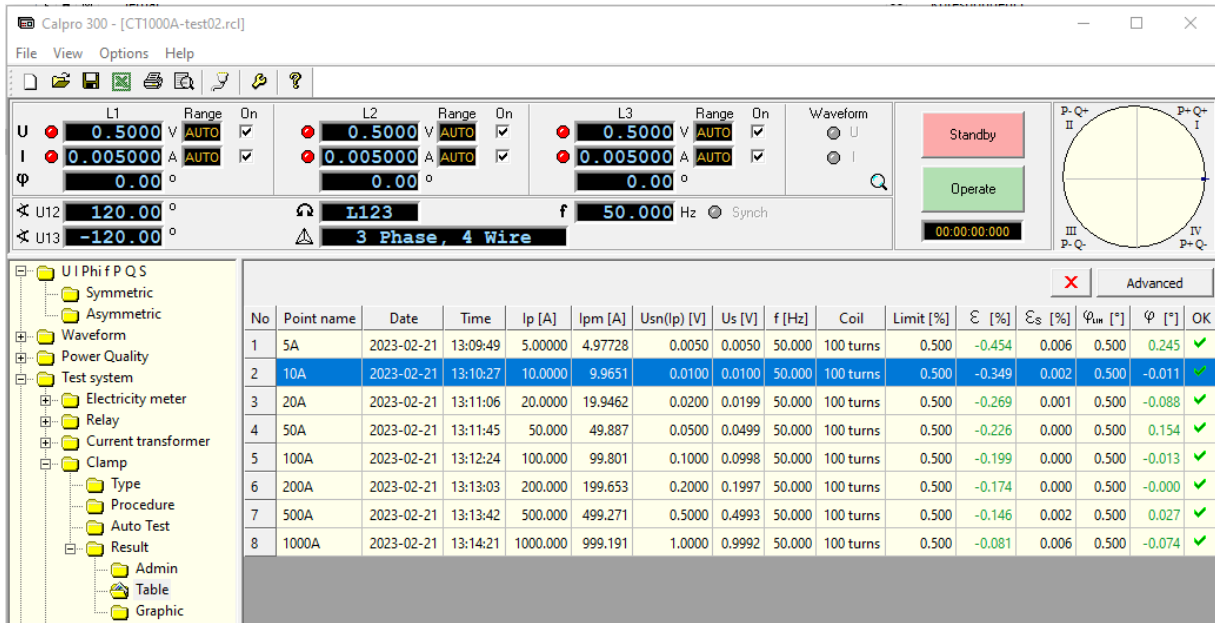


Zależnie od ustawionego Typu cęgów oraz Procedury pomiarowej możliwe jest przeprowadzenie Auto-Testu we wszystkich zaznaczonych punktach testowych w zakresie całościowym charakterystyk cęgów prądowych.



4.3. Wyniki testu

Finalne wyniki mogą być odczytywane w wielu formach np. tabelka z wynikami, która może zostać wydrukowana lub eksportowana to do arkusza Excel.



Wynik eksportowany bezpośrednio do arkusza Excel.

No	Nazwa punktu	Ip [A]	Ipm [A]	Usn(lp) [V]	Us [V]	Coil	Limit [%]	ε [%]	εs [%]	Limit Fazy [°]	Faza [°]	OK
1	5A	5	4,977	0,005	0,005	100 turns	0,5	-0,454	0,006	0,5	0,245	+
2	10A	10	9,965	0,01	0,01	100 turns	0,5	-0,349	0,002	0,5	-0,011	+
3	20A	20	19,946	0,02	0,0199	100 turns	0,5	-0,269	0,001	0,5	-0,088	+
4	50A	50	49,887	0,05	0,0499	100 turns	0,5	-0,226	0	0,5	0,154	+
5	100A	100	99,801	0,1	0,0998	100 turns	0,5	-0,199	0	0,5	-0,013	+
6	200A	200	199,653	0,2	0,1997	100 turns	0,5	-0,174	0	0,5	0	+
7	500A	500	499,271	0,5	0,4993	100 turns	0,5	-0,146	0,002	0,5	0,027	+
8	1000A	1000	999,191	1	0,9992	100 turns	0,5	-0,081	0,006	0,5	-0,074	+

Gdzie:

- $I_p = I_{eq}$ – Główny (ekwiwalentny) prąd;
- I_{pm} – zmierzony prąd główny, bazowany na pomiarze napięcia wyjściowego;
- $U_{sn}(I_p)$ – drugorzędne napięcie nominalne spodziewane dla prądu głównego;
- U_s – prawdziwe zmierzone napięcie drugorzędne;
- ϵ - średni błąd pomiaru;
- ϵ_s – standardowe odchylenie pomiaru wzięte z 10 pomiarów.
- Faza [°] – błąd przesunięcia fazy w stopniach.

4.4. Przedstawienie wyników dla testu z niepewnością

Niepewność pomiaru jest wątpliwością która istnieje na temat wyniku jakiegokolwiek pomiaru. Istnieją dwa typy niepewności: Typ A (statystyczna- U_A) oraz Typ B - U_B (np. wzięta z dokumentacji urządzenia lub certyfikatu kalibracji). Ta niepewność może być obliczana przez następujące formuły:

$$U_A = \frac{\epsilon_s}{\sqrt{N}} \quad U_B = \frac{U_{intcalmet}}{\sqrt{3}}$$



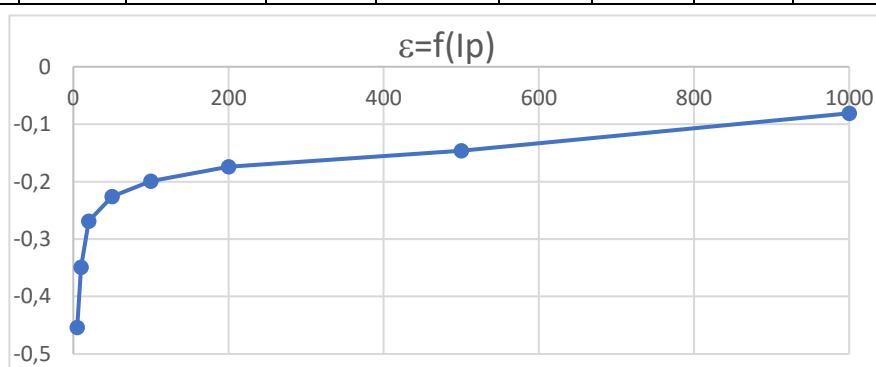
Calmet Sp. z o.o.
Kukułcza 18, 65-472 Zielona Góra, Polska
E-mail: mail@calmet.com.pl

Telefon +48 68 324 04 56
Fax +48 68 324 04 57

Połączona standardowa niepewność jest podawana następującym równaniem: $U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$ oraz rozszerzoną niepewnością $U = k \times U_C$ gdzie k jest współczynnikiem rozszerzenia, co mówi nam ($k=2$), że 95% wyników znajduje się w zakresie $\pm 2 \times \varepsilon$, N jest liczbą pomiarów a $U_{intcalmet}$ to niepewność całego zestawu pomiarowego uwzględniając kalibrator C300B, cewki ZW oraz moduł miernika C300B.

Kompletny wynik testowania cęgami prądowymi C107 są przedstawione w tabeli poniżej razem z obliczonymi niepewnościami i diagramem.

No	Nazwa punktu	I_p [A]	I_{pm} [A]	ε [%]	ε_s [%]	U_A	U_B	U_C	U	$U_{intcalmet}$
1	5A	5	4,977	-0,454	0,006	0,002	0,381	0,381	0,762	0,660
2	10A	10	9,965	-0,349	0,002	0,001	0,268	0,268	0,535	0,464
3	20A	20	19,946	-0,269	0,001	0,000	0,212	0,212	0,424	0,367
4	50A	50	49,887	-0,226	0	0,000	0,179	0,179	0,359	0,311
5	100A	100	99,801	-0,199	0	0,000	0,169	0,169	0,337	0,292
6	200A	200	199,653	-0,174	0	0,000	0,163	0,163	0,327	0,283
7	500A	500	499,270	-0,146	0,002	0,001	0,160	0,160	0,320	0,278
8	1000A	1000	999,191	-0,081	0,006	0,002	0,159	0,159	0,318	0,276



Możemy na przykład napisać, że cęgi prądowe C107 mają na punkcie testowym 1000A następujący błąd: $\varepsilon = -0.081\% \pm 0.318\%$ (błąd równa się -0.081% z rozszerzoną niepewnością $\pm 0.318\%$ poniżej poziomu pewności 95%).

5. Podsumowanie

Cęgi prądowe, Cewki Rogowskiego (cęgi elastyczne) oraz inne czujniki prądu są bardzo często używane we współczesnych instalacjach pomiarowych i wymagają weryfikacji swojej precyzji. Kalibrator trójfazowy C300B jako źródło prądu z wbudowanym miernikiem napięcia i prądu razem z cewkami ZW służy zaAutomatyczny System Pomiarowy dla czujników prądowych. Precyzja może być sprawdzana w pełnym zakresie prądów wejściowych od 0 do 1000A AC (lub 3000A z trzema cewkami ZW równolegle zasilanymi na każdej z faz C300B) oraz błędu przesunięcia fazy. Test jest przeprowadzany w sposób całkowicie automatyczny a wyniki mogą być przeniesione do arkusza kalkulacyjnego Excel dla dalszych obliczeń oraz oceny wyników i ich prezentacji. Niepewność pomiaru może być obliczana w łatwy sposób za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel bazowanego na przedstawionych równaniach.