

1. Wstęp

Opracowanie przedstawia koncepcję budowy testera do sprawdzania mierników impedancji / rezystancji pętli zwarcia.

2. Koncepcja

Miernik impedancji pętli zwarcia (często nazywany miernikiem pętli zwarcia lub miernikiem Z_s) to przyrząd służący do pomiaru łącznej impedancji obwodu zwarcioowego, czyli impedancji pętli przez którą popłynie prąd zwarcia w instalacji elektrycznej.

Co to jest pętla zwarcia?

Pętla zwarcia to droga, którą płynie prąd w przypadku zwarcia — od punktu zwarcia, przez przewody instalacji, transformator zasilający aż z powrotem do źródła.

Do czego służy miernik impedancji pętli zwarcia?

Miernik ten wykonuje test bezpieczeństwa instalacji elektrycznej poprzez sprawdzenie czy impedancja pętli zwarcia jest wystarczająco niska.

Jeśli Z_s jest niskie, prąd zwarcia będzie na tyle duży aby umożliwić zadziałanie zabezpieczenia w odpowiednim czasie (wyłącznik, bezpiecznik).

Jeśli Z_s jest za wysokie, zabezpieczenie może nie zadziałać na czas wtedy może pojawić się zagrożenie pożarem lub porażeniem.

Co mierzy miernik?

Miernik wyznacza:

Z_s — impedancję pętli zwarcia, składającą się z:

rezystancji i reaktancji przewodu fazowego L
rezystancji i reaktancji przewodu ochronnego PE lub neutralnego N
rezystancji uziemień
rezystancji transformatora zasilającego

Jak działa miernik?

Podłącza się go do gniazdka lub zacisku w instalacji. Miernik chwilowo obciąża obwód bezpiecznym prądem testowym, mierzy spadek napięcia przy obciążeniu i na tej podstawie wylicza impedancję pętli. Zasady oceny wyników znajdują się w normie PN-HD 60364.

Dlaczego ten pomiar jest obowiązkowy?

Ponieważ normy instalacyjne wymagają sprawdzenia, czy w przypadku zwarcia zabezpieczenia nad-prądowe, różnicowoprądowe zadziałają wystarczająco szybko, i czy instalacja jest bezpieczna dla użytkowników. Test pętli zwarcia jest jednym z podstawowych pomiarów wykonywanych przy ocenie sprawności instalacji elektrycznej.

Każdy miernik instalacji elektrycznej, który służy do pomiarów powinien mieć aktualne świadectwo wzorcowania. Choć nie ma żadnego zapisu prawnego co i ile i czy trzeba takie wzorcowanie wykonywać. Przyjmuje się że taką ocenę możliwości metrologicznych przyrządu powinno się przeprowadzać co 13 miesięcy. Co w przypadku gdy chcielibyśmy sprawdzić czy posiadany przez nas miernik nie uległ uszkodzeniu i czy mierzy poprawnie? Wysłać do laboratorium w celu wzorcowania ? Odpowiedź brzmi tak, ale....

Mając na uwadze sposób pomiaru postanowiłem zbudować tester takiego miernika. Zasada pracy jest bardzo prosta i polega nałączeniu w szereg z przewodem fazowym miernika znaną zmierzona z niską niepewnością pomiaru rezystancję, a najlepiej żeby tych rezystancji było kilka wtedy sprawdzimy czy miernik miernik wykonuje poprawnie pomiary np. w jednym z swoich zakresów, który nas najbardziej interesuje i czy zachowuje liniowość.

Pomysł jest prosty ale czy jeden pomiar wystarczy? Nie, trzeba wykonać przynajmniej dwa pomiary. Pierwszy pomiar odbywa się bez włączonego rezystora szeregowego, a drugi pomiar z włączonym rezystorem. Następnie wystarczy odjąć wartość zmierzonej impedancji w pierwszym pomiarze od zmierzonej w drugim. Przeanalizujmy to na przykładzie:

-wykonano pomiar bez R_s

$$Z_{L-N} = 0,455 \Omega$$

-następnie w obwód włączono rezistor R_s o wartości 1 Ω i wykonano pomiar :

$$Z_{L-N+R_s} = 1,395 \Omega$$

-po odjęciu Z_{L-N} od Z_{L-N+R_s} powinniśmy otrzymać wartość równą R_s

$$R_s' = Z_{L-N+R_s} - Z_{L-N} = 1,395 \Omega - 0,455 \Omega = 0,94 \Omega$$

Spodziewaliśmy się wyniku 1 Ω . Czy różnica przesądza, że miernik mierzy niepoprawnie? Nie, aby oszacować czy różnica wskazuje na uszkodzenie miernik i utratę jego zdolności metrologicznych należy zidentyfikować możliwe źródła błędów, które mogą pojawić się w tego typu pomiarze. I później określić jakie niepewności są związane z tymi źródłami.

Źródła niepewności i ograniczenia metody pomiarowej:

1. Niepewność związana z rezystorem R_s

Niepewność rezystora R_s została oszacowana na podstawie jego wzorcowania. Obejmuje ona tolerancję rezystora, wpływ stabilności termicznej oraz niepewność pomiaru zastosowanego mikroomomierza. Niepewność ta stanowi niepewność wzorca roboczego wykorzystywanego w dalszej analizie.

2. Ograniczenia wynikające z zastosowania miernika impedancji pętli zwarcia

W analizowanej procedurze miernik impedancji pętli zwarcia jest wykorzystywany dwukrotnie. Pierwszy pomiar obejmuje wyznaczenie impedancji pętli zwarcia Z_0 bez dołączonego rezystora R_s i służy określeniu aktualnych parametrów sieci zasilającej. Drugi pomiar wykonywany jest po dołączeniu rezystora R_s i ma na celu ocenę zdolności miernika do rejestracji zmiany impedancji.

W takiej konfiguracji miernik pełni podwójną rolę – jest jednocześnie elementem sprawdzającym i sprawdzanym, co z punktu widzenia metrologii stanowi ograniczenie

metody. W przypadku traktowania tych pomiarów jako sprawdzenia funkcjonalnego, a nie wzorcowania, podejście to jest jednak dopuszczalne i powszechnie stosowane.

Impedancja Z_0 została wyznaczona jako wielkość pomocnicza, służąca do oceny stabilności warunków pomiaru oraz do obliczeń różnicowych. Z uwagi na brak niezależnego wzorca odniesienia wynik Z_0 nie jest interpretowany jako wartość bezwzględna, a jego niepewność opisuje wyłącznie zmienność pomiaru w czasie, a nie dokładność bezwzględną miernika.

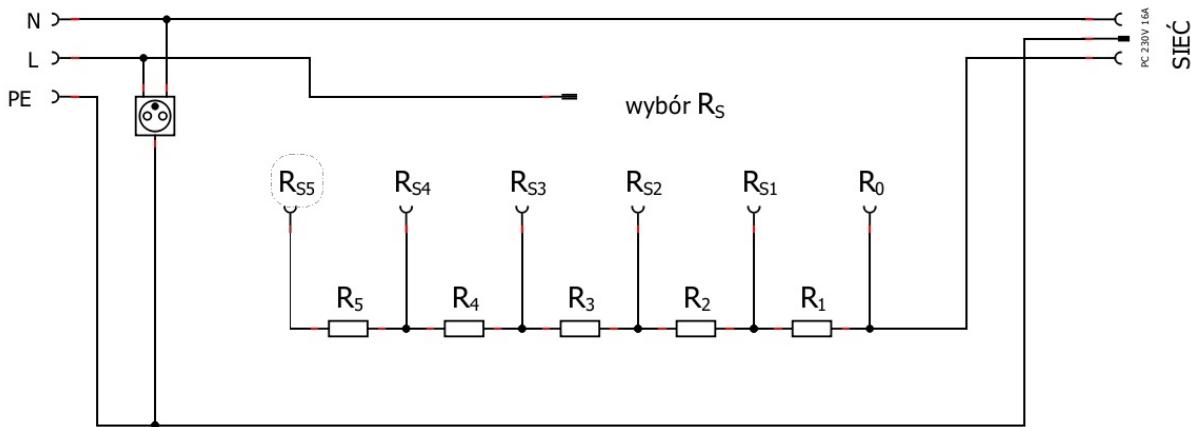
3. Czynniki zakłócające wynikające z niestabilności sieci zasilającej

Pomiary wykonywane są w różnych chwilach czasu, bez możliwości bezpośredniego oszacowania niepewności związanej z zakłóceniami sieci, zmianami napięcia, zmiennością obciążenia transformatora oraz innymi fluktuacjami parametrów sieci. Parametry sieci w chwili $t=t_0$ nie są identyczne z parametrami w chwili $t=t_1$, nawet przy niewielkim odstępie czasowym.

Zmienność ta ma charakter niekontrolowany i nie może zostać opisana znaną funkcją rozkładu, dlatego nie jest możliwe jej uwzględnienie w modelu niepewności zgodnym z GUM. Z tego powodu przedstawiona metoda nie może być traktowana jako procedura wzorcowania, lecz wyłącznie jako test funkcjonalny umożliwiający ocenę poprawności działania miernika pomiędzy kolejnymi wzorcowaniami laboratoryjnymi.

3. Budowa testera

Schemat funkcjonalny testera przedstawiono na rysunku poniżej.



Tester został wyposażony w pięć rezystorów o mocy znamionowej 25 W każdy, połączonych szeregowo. Wartości rezystorów dobrano tak, aby uzyskać punkty odniesienia w dolnym zakresie pomiarowym mierników impedancji pętli zwarcia (0,00–19,00 Ω), gdzie rozdzielcość i błąd względny mają największy wpływ na wynik pomiaru.

Punkty połączeń poszczególnych rezystorów zostały wyprowadzone na obudowę za pomocą pięciu gniazd pomiarowych typu **bezpieczny banan** (kolor czerwony). Dodatkowo wyprowadzono punkt bezpośredniego połączenia z przewodem fazowym (gniazdo czarne), co umożliwia wykonanie pomiaru Z_{L-N} bez konieczności przełączania obwodu. Rozwiązanie to pozwala na minimalizację czasu pomiędzy pomiarami, a tym samym ogranicza wpływ zmian parametrów sieci na wynik.

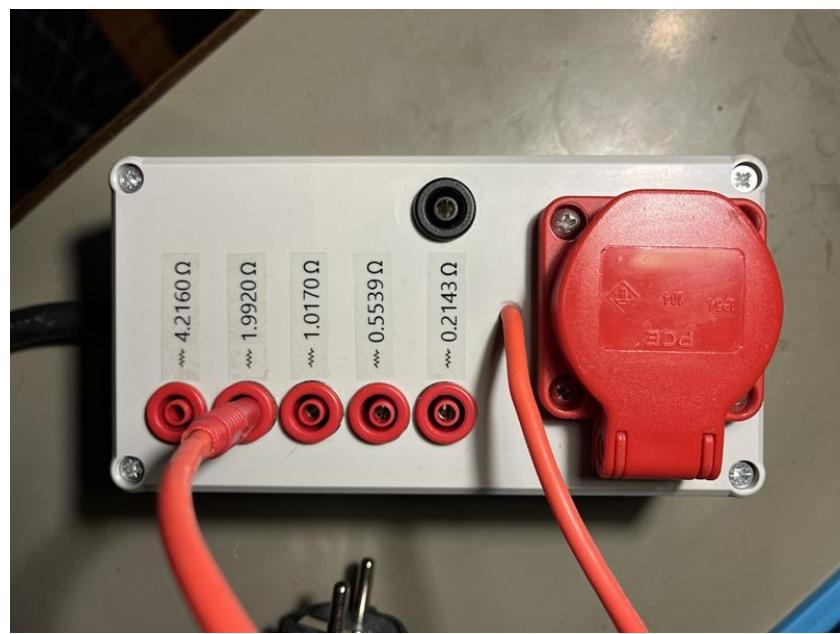
Na obudowie umieszczono również:

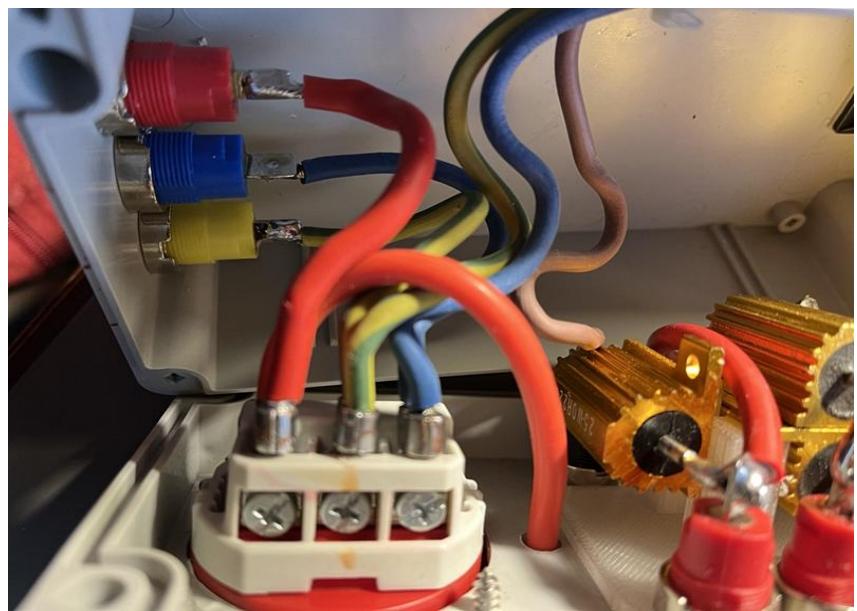
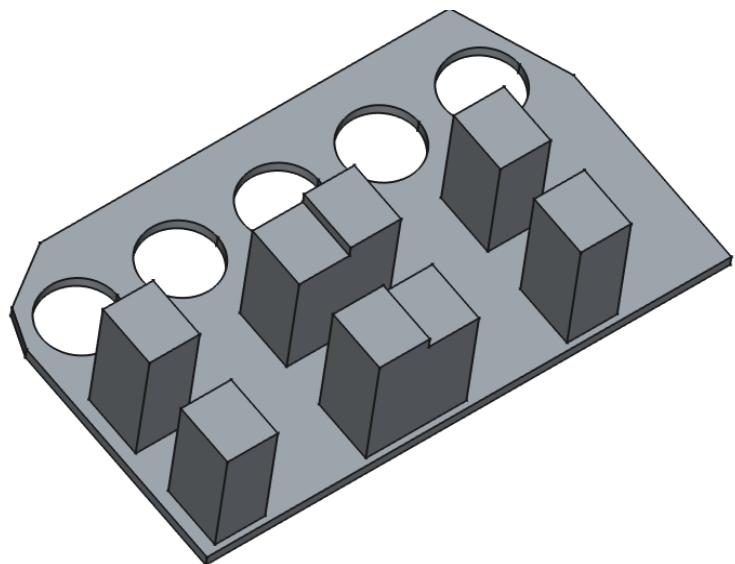
- **gniazdo 3P 230 V / 16 A**, umożliwiające podłączenie sondy miernika wyposażonej we wtyk typu *Schuko*,
 - **trzy gniazda typu bezpieczny banan**, służące do podłączenia przewodów pomiarowych miernika z końcówkami bananowymi.

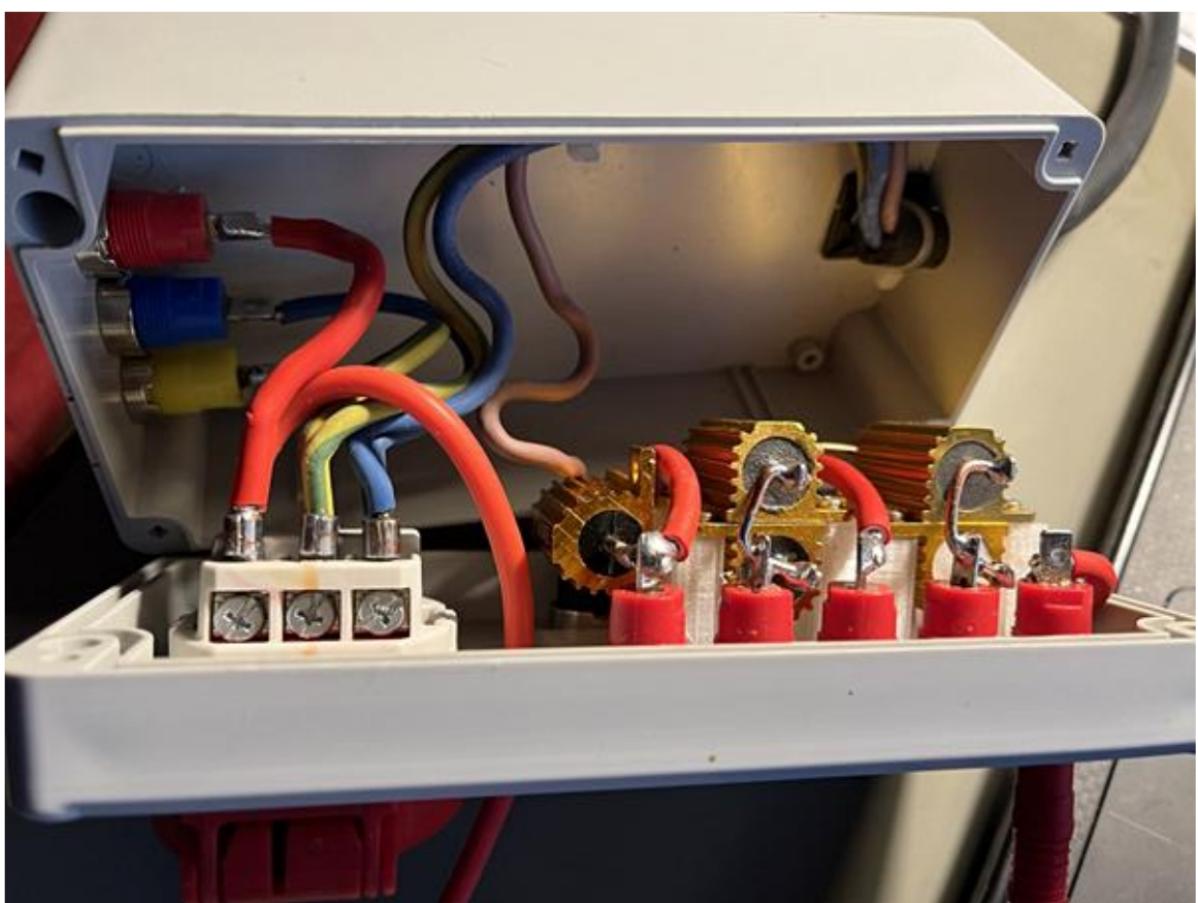
Z obudowy wyprowadzono przewód zakończony wtykiem, który umieszcza się w wybranym gnieździe, co pozwala na wybór odpowiedniej wartości rezystora R_s — od 0 Ω do 4,22 Ω , w zależności od potrzeb pomiarowych.

W rozdziale 5 przedstawiono sposób wyznaczenia wartości rezystorów R_{S1} – R_{S5} .

Do zamocowania rezystorów posłużył uchwyt wykonany w technologii druku 3D.







4. Wyznaczenie wartości rezystorów szeregowych - pomiar mikroomomierzem METREL MI4232

Celem analizy jest wyznaczenie niepewności pomiaru rezystancji R_{S1} do R_{S5} , zmierzonych mikroomomierzem METREL MI3242. Niepewność została określona zgodnie z zaleceniami dokumentu GUM – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement oraz normy PN-EN ISO/IEC 17025.

Rezystory te składają się z szeregowo połączonych rezystorów R1 do R5. Zależność pomiędzy rezystorami RS1 - RS5 a rezystorami R1 – R5 przedstawia poniższa tablica.

R_{S1}	$R_1 [0,22 \Omega = 0,22 \Omega]$
R_{S2}	$R_1+R_2 [0,22\Omega+0,33\Omega = 0,55 \Omega]$
R_{S3}	$R_1+R_2+R_3 [0,22\Omega+0,33\Omega+0,47\Omega = 1,02\Omega]$
R_{S4}	$R_1+R_2+R_3+R_4 [0,22\Omega+0,33\Omega+0,47\Omega+1,00\Omega = 2,02 \Omega]$
R_{S5}	$R_1+R_2+R_3+R_4+R_5 [0,22\Omega+0,33\Omega+0,47\Omega+1,0\Omega+2,2\Omega = 4,22 \Omega]$

Poniżej przedstawiono tabelę z pomiarami, wykonano serię 20 pomiarów dla każdego z rezystorów szeregowych RS1 - RS5 .

R_{S1}	R_{S2}	R_{S3}	R_{S4}	R_{S5}
0,2144 Ω	0,5531 Ω	1,018 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2145 Ω	0,5532 Ω	1,018 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2142 Ω	0,5531 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2145 Ω	0,5541 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2142 Ω	0,5530 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2145 Ω	0,5544 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2143 Ω	0,5533 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2144 Ω	0,5544 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2142 Ω	0,5537 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2144 Ω	0,5545 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2142 Ω	0,5532 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2143 Ω	0,5543 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2142 Ω	0,5534 Ω	1,018 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2144 Ω	0,5547 Ω	1,018 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2142 Ω	0,5532 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2144 Ω	0,5541 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2143 Ω	0,5539 Ω	1,018 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω

0,2145 Ω	0,5546 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2143 Ω	0,5544 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω
0,2145 Ω	0,5544 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω

Zdjęcia dokumentujące sposób pomiarów rezystorów szeregowych RS1 - RS5 .



Następnie policzono:

- średnią z pomiarów dla każdego z R_{S1} - R_{S5} :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{20}$$

R_{S1}	R_{S2}	R_{S3}	R_{S4}	R_{S5}
0,2143 Ω	0,5539 Ω	1,017 Ω	1,992 Ω	4,216 Ω

- odchylenie standardowe, oraz niepewność wyznaczoną metodą analizy statystycznej serii pomiarów dla n=20:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{20} (x_i - \bar{x})^2}{20 - 1}}$$

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{20}}$$

	R_{S1}	R_{S2}	R_{S3}	R_{S4}	R_{S5}
$s(R_{Sn})$	0,0001191 Ω	0,0006022 Ω	0,0004443 Ω	0,0000000 Ω	0,0000000 Ω
$u_A(R_{Sn})$	0,0000266 Ω	0,0001347 Ω	0,0000993 Ω	0,0000000 Ω	0,0000000 Ω

- rozdzielcość i na jej podstawie błąd kwantyzacji, oraz niepewność wynikająca z ograniczonej rozdzielcości przyrządu :

$$\Delta q = \frac{rozdzielczosc}{2}$$

$$u_B = \frac{\Delta q}{\sqrt{3}}$$

	R_{S1}	R_{S2}	R_{S3}	R_{S4}	R_{S5}
rozdzielcość	0,0001 Ω				
Δ_q	0,00005 Ω				
$u_B(R_{Sn})$	$2.88675 * 10^{-5} \Omega$	$2.88675 * 10^{-5} \Omega$	$2.88675 * 10^{-4} \Omega$	$2.88675 * 10^{-4} \Omega$	$2.88675 * 10^{-4} \Omega$

- błąd wzorca (max. błąd przyrządu MI42-32 METREL), oraz niepewność wynikająca z błędu wzorca:

$$\Delta_{wz} = \pm (0.0025 * \text{wartości zmierzonej} + \text{dwie cyfry})$$

$$u_c = \frac{\Delta_{wz}}{\sqrt{3}}$$

	R _{S1}	R _{S2}	R _{S3}	R _{S4}	R _{S5}
Δ _{wz}	0,0007 Ω	0,0016 Ω	0,005 Ω	0,007 Ω	0,013 Ω
u _c (R _{sn})	0,0004 Ω	0,0009 Ω	0,0026 Ω	0,0040 Ω	0,0072 Ω

- całkowitą niepewność pomiaru rezystorów szeregowych R_{S1} – R_{S5}

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2 + u_C^2}$$

R _{S1}	R _{S2}	R _{S3}	R _{S4}	R _{S5}
0,000427 Ω	0,000925 Ω	0,002641 Ω	0,004040 Ω	0,007246 Ω

- całkowitą rozszerzoną niepewność pomiaru rezystorów szeregowych R_{S1} – R_{S5} dla k=2

R _{S1}	R _{S2}	R _{S3}	R _{S4}	R _{S5}
0,000854 Ω	0,001850 Ω	0,005282 Ω	0,008080 Ω	0,014492 Ω

Ostatecznie wartości rezystorów R_{S1} – R_{S5} na podstawie pomiarów i obliczeń :

$$R_{S1} = 0.2143 \pm 0.00085 \Omega$$

$$R_{S2} = 0.5539 \pm 0.00185 \Omega$$

$$R_{S3} = 1.0170 \pm 0.00528 \Omega$$

$$R_{S4} = 1.9920 \pm 0.00808 \Omega$$

$$R_{S5} = 4.2160 \pm 0.01449 \Omega$$

5. Przykładowe pomiary miernika MPI-530 firmy SONEL

Scenariusz pomiarowy.

Zostaną przeprowadzone cztery serie pomiarów. W każdej serii będzie mierzone Z_0 a następnie $Z_0 + Z_{L-N}$. Pomiędzy przełączeniami pomiędzy kolejnymi R_S będą wykonywane trzy pomiary Z_0 , tak aby zminimalizować wpływ zmiany impedancji sieci na wyniki.

Seria pierwsza – pomiar impedancji pętli zwarcia Z_{L-N} dużym prądem, miernik zostanie podłączony przewodami pomiarowymi 1,2 m, zakończonymi wtykami bananowymi.

Seria druga – pomiar impedancji pętli zwarcia Z_{L-PE} – bez wyzwalania RCD, pomiar małym prądem, miernik zostanie podłączony przewodami pomiarowymi 1,2 m, zakończonymi wtykami bananowymi.

Seria trzecia – pomiar impedancji pętli zwarcia Z_{L-N} dużym prądem, miernik zostanie podłączony sondą pomiarową WS-04 podłączoną poprzez gniazdo 16A.

Seria czwarta – pomiar impedancji pętli zwarcia Z_{L-PE} – bez wyzwalania RCD, pomiar małym prądem, miernik zostanie podłączony sondą pomiarową WS-04 podłączoną poprzez gniazdo 16A.

SPRAWDZENIE MIERNIKA IMPEDANCJI PĘTLI ZWARCIA POPRZEZ POMIAR Z_0 i $(R_s + Z_0)$ – miernik MPI-530 SONEL, pomiar Z L-N, przewody 1,2m						
błąd miernika	Z_0	% wartości zmierzonyej	ilość cyfr	wartość stała		
		5	0	0,03		
wyniki pomiarów	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
	0,472	0,679	1,021	1,502	2,481	4,697
	0,462	0,681	1,022	1,503	2,481	4,692
	0,469	0,680	1,022	1,501	2,479	4,694
	0,465	0,675	1,023	1,502	2,479	4,689
	0,461	0,678	1,014	1,503	2,481	4,692
	0,470	0,680	1,014	1,505	2,482	4,699
	0,465					
	0,464					
	0,468					
	0,470					
	0,469					
	0,464					
	0,470					
	0,468					
	0,468					
średnia	0,467	0,679	1,019	1,503	2,481	4,694
odchylenie standardowe	0,003	0,002	0,004	0,001	0,001	0,004
niepewność serii pomiarów	0,0008	0,0009	0,0017	0,0006	0,0005	0,0015
rozdzielcość	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
błąd rozdzielcości	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
niepewność związana z rozdzielcością	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029
niepewność związana z błędem wzorca R_{sn}		0,00043	0,00093	0,00260	0,00400	0,00720
niepewność procedury sprawdzenia (standardowa k=1)	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004	0,007
niepewność procedury sprawdzenia (rozszerszona k=2)	0,002	0,002	0,004	0,005	0,008	0,015
wartości R_{sn} zmierzona		0,212	0,552	1,036	2,014	4,227
wartości R_{sn} rzeczywista		0,2143	0,5539	1,0170	1,9920	4,2160
błąd		0,0025	0,0016	0,0187	0,0215	0,0108
max. błąd miernika	0,0300	0,0406	0,0576	0,0818	0,1307	0,2413
ocena: błąd + niepewność procedury sprawdzenia rozszerszona <= max. błąd miernika		OK	OK	OK	OK	OK
stabilność sieci = niepewność serii pomiarów / $Z_0 * 100\%$ ≤ 0,2% sieć bardzo stabilna idealne warunki pomiarowe 0,2–0,5% sieć stabilna zmienność pomiarowa 0,5–1,0% sieć umiarkowanie stabilna widoczna zmienność 1,0–2,0% sieć niestabilna zalecane zwiększenie liczby pomiarów > 2,0% sieć bardzo niestabilna wyniki mogą być niewiarygodne	0,18%	SIEĆ STABILNA	OCENA KOŃCOWA	MIERNIK DZIAŁA POPRAWNIE		

SPRAWDZENIE MIERNIKA IMPEDANCJI PĘTLI ZWARCIA POPRZEZ POMIAR Z_0 i $(R_s + Z_0)$ – miernik MPI-530 SONEL, pomiar Z L-PE bez wyzwalania RCD, przewody 1,2m						
błąd miernika		% wartości zmierzonyj	ilość cyfr	wartość stała		
		6			10	0
		Z_0	$R_{s1} + Z_0$	$R_{s2} + Z_0$	$R_{s3} + Z_0$	$R_{s4} + Z_0$
wyniki pomiarów	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
	0,66	0,88	1,22	1,72	2,68	
	0,67	0,90	1,23	1,72	2,69	
	0,67	0,87	1,24	1,72	2,70	
	0,67	0,88	1,23	1,74	2,68	
	0,68	0,89	1,24	1,72	2,68	
	0,66	0,89	1,24	1,72	2,67	
	0,66					
	0,67					
	0,68					
średnia	0,67	0,89	1,23	1,72	2,68	
odchylenie standardowe	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
niepewność serii pomiarów	0,002	0,004	0,003	0,003	0,004	
rozdzielcość	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
błąd rozdzielcości	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
niepewność związana z rozdzielcością	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0
niepewność związana z błędem wzorca R_{sn}		0,00043	0,00093	0,00260	0,00400	0,0
niepewność procedury sprawdzenia (standardowa k=1)	0,004	0,005	0,005	0,005	0,006	0
niepewność procedury sprawdzenia (rozszerzona k=2)	0,007	0,010	0,009	0,010	0,013	0
	R_{s1}	R_{s2}	R_{s3}	R_{s4}	R_{s5}	
wartości R_{sn} zmierzona	0,214	0,562	1,052	2,012	4,4	
wartości R_{sn} rzeczywista	0,2143	0,5539	1,0170	1,9920	4,2	
błąd	0,0006	0,0081	0,0350	0,0200	0,0	
max. błąd miernika	0,1000	0,1128	0,1337	0,1631	0,2207	0,3
ocena: błąd + niepewność procedury sprawdzenia rozszerzona <= max. błąd miernika		OK	OK	OK	OK	OK
stabilność sieci = niepewność serii pomiarów / $Z_0 * 100\%$	0,32%	SIEĆ STABILNA	OCENA KOŃCOWA	MIERNIK DZIAŁA POPRAWNIE		
≤ 0,2% sieć bardzo stabilna idealne warunki pomiarowe 0,2–0,5% sieć stabilna zmienność pomijalna 0,5–1,0% sieć umiarkowanie stabilna widoczna zmienność 1,0–2,0% sieć niestabilna zalecane zwiększenie liczby pomiarów > 2,0% sieć bardzo niestabilna wyniki mogą być niewiarygodne						

SPRAWDZENIE MIERNIKA IMPEDANCJI PĘTLI ZWARCIA POPRZEZ POMIAR Z_0 i $(R_s + Z_0)$ – miernik MPI-530 SONEL, pomiar Z L-N, przewody WS-04						
błąd miernika		% wartości zmierzonyej	ilość cyfr	wartość stała		
		5	0	0,03		
		Z_0	$R_{S1} + Z_0$	$R_{S2} + Z_0$	$R_{S3} + Z_0$	$R_{S4} + Z_0$
wyniki pomiarów		Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
	0,440		0,659	1,000	1,481	2,452
	0,440		0,659	0,994	1,485	2,449
	0,439		0,657	0,998	1,484	2,453
	0,441		0,657	1,003	1,483	2,455
	0,439		0,654	1,001	1,486	2,454
	0,440		0,654	1,000	1,484	2,456
	0,441					
	0,440					
	0,445					
średnia	0,440	0,657	0,999	1,484	2,453	4,669
odchylenie standardowe	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001
niepewność serii pomiarów	0,0006	0,0009	0,0013	0,0007	0,0010	0,0006
rozdzielcość	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
błąd rozdzielcości	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
niepewność związana z rozdzielcością	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029	0,00029
niepewność związana z błędem wzorca R_{sn}		0,00043	0,00093	0,00260	0,00400	0,00720
niepewność procedury sprawdzenia (standardowa k=1)	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004	0,007
niepewność procedury sprawdzenia (rozszerszona k=2)	0,001	0,002	0,003	0,005	0,008	0,014
wartości R_{sn} zmierzona		0,216	0,559	1,043	2,013	4,228
wartości R_{sn} rzeczywista		0,2143	0,5539	1,0170	1,9920	4,2160
błąd		0,0019	0,0050	0,0264	0,0207	0,0120
max. błąd miernika	0,0300	0,0408	0,0579	0,0822	0,1306	0,2414
ocena: błąd + niepewność procedury sprawdzenia rozszerszona <= max. błąd miernika		OK	OK	OK	OK	OK
stabilność sieci = niepewność serii pomiarów / $Z_0 * 100\%$	0,14%	SIEĆ STABILNA	OCENA KOŃCOWA	MIERNIK DZIAŁA POPRAWNIE		
≤ 0,2% sieć bardzo stabilna idealne warunki pomiarowe 0,2–0,5% sieć stabilna zmienność pomijalna 0,5–1,0% sieć umiarkowanie stabilna widoczna zmienność 1,0–2,0% sieć niestabilna zalecane zwiększenie liczby pomiarów > 2,0% sieć bardzo niestabilna wyniki mogą być niewiarygodne						

SPRAWDZENIE MIERNIKA IMPEDANCJI PETLI ZWARCIA POPRZEZ POMIAR Z_0 i $(R_s + Z_0)$ – miernik MPI-530 SONEL, pomiar Z L-PE bez wyzwalania RCD, przewody WS-04

6. Podsumowanie przeprowadzonych pomiarów i wnioski końcowe

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie poprawności działania miernika impedancji pętli zwarcia **MPI-530 firmy SONEL** w warunkach eksploatacyjnych za pomocą omawianego testera. Badania miały charakter **sprawdzenia funkcjonalnego**, a nie procedury wzorcowania, i zostały przeprowadzone w rzeczywistej sieci zasilającej niskiego napięcia.

W ramach badań wykonano **cztery serie pomiarowe**, różniące się konfiguracją pomiaru, trybem pracy miernika oraz sposobem jego podłączenia:

- **Seria pierwsza** – pomiar impedancji pętli zwarcia **Z L–N** metodą **dużego prądu**, przy podłączeniu miernika przewodami pomiarowymi o długości **1,2 m**, zakończonymi wtykami bananowymi.
- **Seria druga** – pomiar impedancji pętli zwarcia **Z L–PE** w trybie **bez wyzwalania wyłącznika różnicowoprądowego (RCD)**, z zastosowaniem **małego prądu pomiarowego**, również przy użyciu przewodów pomiarowych o długości **1,2 m**.
- **Seria trzecia** – pomiar impedancji pętli zwarcia **Z L–N** metodą **dużego prądu**, z wykorzystaniem **sondy pomiarowej WS-04**, podłączonej bezpośrednio do **gniazda 16 A**.
- **Seria czwarta** – pomiar impedancji pętli zwarcia **Z L–PE** w trybie **bez wyzwalania RCD**, z zastosowaniem **małego prądu pomiarowego**, przy użyciu **sondy WS-04**, podłączonej do **gniazda 16 A**.

Dla każdej serii wykonywano pomiary impedancji sieci **Z₀** oraz impedancji **Z₀ + R_S**, gdzie **R_S** stanowiły zestawy rezystorów szeregowych o znanych wartościach, dobranych w celu symulacji zmian impedancji pętli zwarcia.

Impedancję sieci **Z₀** wyznaczano na podstawie serii powtarzalnych pomiarów, a jej zmienność w czasie wykorzystano do oceny stabilności warunków pomiarowych. Poziom stabilności sieci, określony jako stosunek niepewności serii pomiarów do wartości średniej impedancji **Z₀**, zawierał się w przedziale **0,18–0,44%**, co pozwala zaklasyfikować sieć jako **stabilną**. Oznacza to, że wpływ fluktuacji parametrów sieci na wyniki pomiarów był pomijalny w porównaniu z innymi składnikami niepewności.

Rezystancje **R_{S1}– R_{S5}** zostały wyznaczone **bezpośrednio jako kompletne układy rezystancyjne**, z uwzględnieniem rezystancji połączeń. Każdy zestaw **R_S** był mierzony niezależnie, dlatego pomiędzy wynikami pomiarów poszczególnych rezystancji nie występowała korelacja. Niepewności rezystorów **R_S** określono na podstawie:

- analizy statystycznej serii pomiarów,
- ograniczonej rozdzielnictwa przyrządu pomiarowego,
- niepewności wzorcowania omówionego referencyjnego.

W analizowanej procedurze impedancje Z_0 oraz $Z_0 + R_S$ nie były traktowane jako wzorce odniesienia w sensie metrologicznym. Miernik MPI-530 pełnił jednocześnie rolę przyrządu sprawdzającego i sprawdzanego, co stanowi ograniczenie metody. Z tego względu procedura została jednoznacznie zaklasyfikowana jako **test funkcjonalny**, a nie wzorcowanie.

Oceny poprawności działania miernika dokonano wyłącznie z zastosowaniem **reguły decyzyjnej z pasmem bezpieczeństwa (guard band)**, uwzględniającej niepewność procedury sprawdzenia. Przyjęto następujące kryterium:

$$|\Delta| + U_{\text{proc}} \leq \Delta MPE$$

- Δ jest błędem wskazania miernika ,
- U_{proc} – niepewność rozszerzoną ($k=2$) procedury sprawdzenia ,
- ΔMPE – maksymalnym dopuszczalnym błędem miernika , deklarowanym przez producenta .
↳
↳

Dla wszystkich badanych konfiguracji pomiarowych spełniony został powyższy warunek, co oznacza, że miernik **MPI-530 firmy SONEL działał poprawnie w całym badanym zakresie impedancji**, zarówno w konfiguracji **L-N**, jak i **L-PE**, niezależnie od trybu pomiaru oraz sposobu podłączenia (przewody pomiarowe / sonda WS-04).

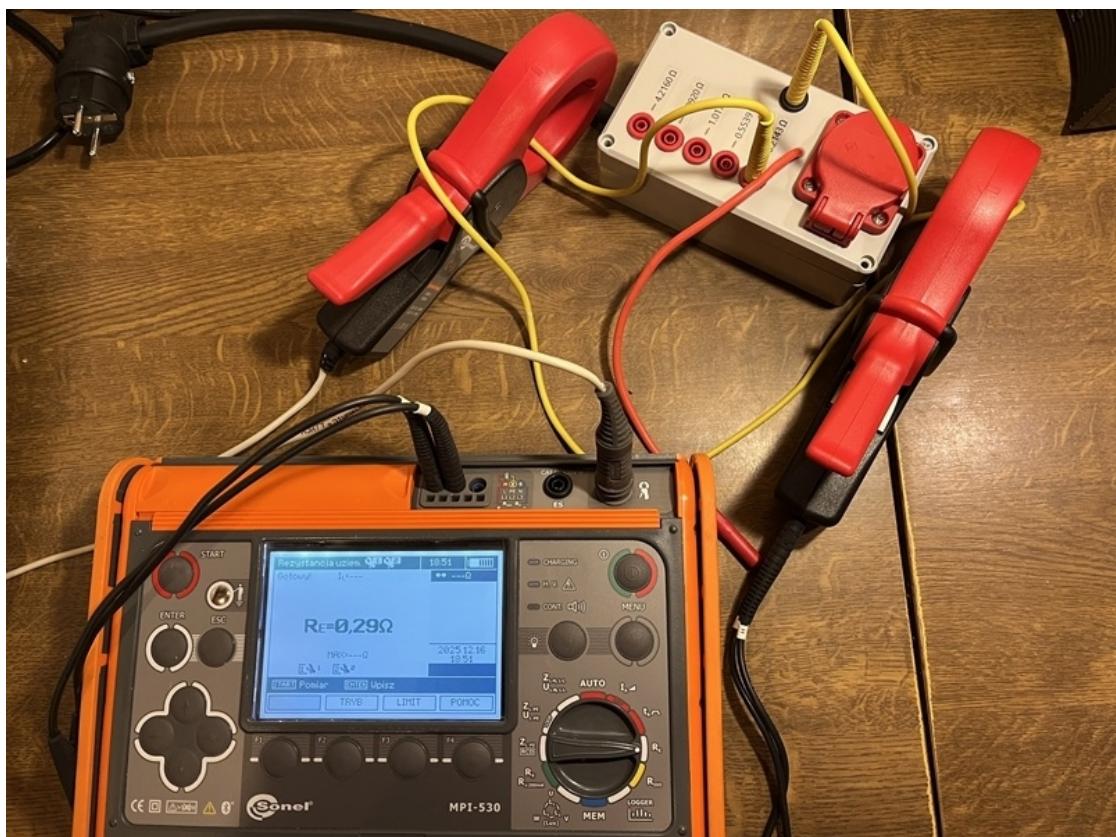
Przeprowadzone badania potwierdziły, że:

- miernik poprawnie rejestruje zmiany impedancji pętli zwarcia,
- zastosowane sposoby podłączenia nie mają istotnego wpływu na ocenę poprawności działania miernika,
- zmienność parametrów sieci nie wpłynęła istotnie na wyniki pomiarów,
- zaproponowana procedura stanowi skuteczne narzędzie do **bieżącego sprawdzania funkcjonalnego miernika pomiędzy kolejnymi wzorcowaniami laboratoryjnymi**.

Należy podkreślić, że przedstawiona metoda **nie zastępuje wzorcowania**, lecz umożliwia praktyczną ocenę poprawności działania miernika w warunkach rzeczywistych, zgodnie z zasadami dobrej praktyki metrologicznej.

6. Dodatkowe możliwości testera.

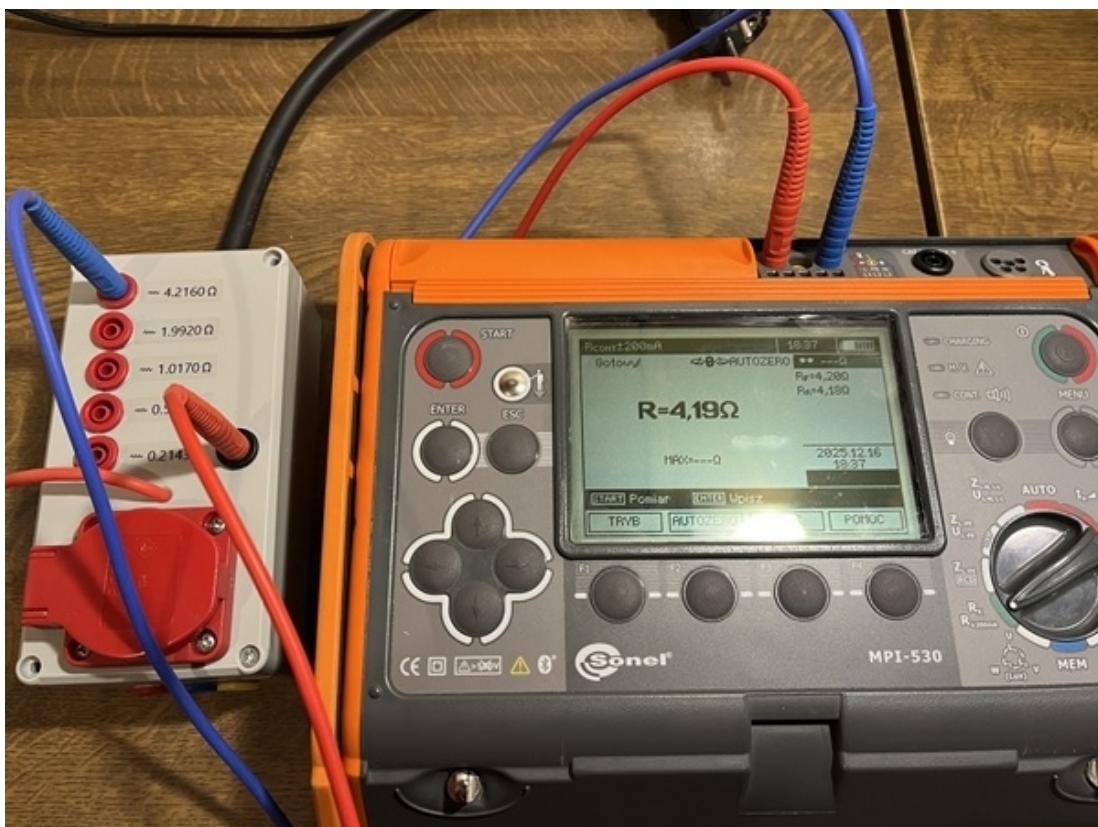
Testowanie poprawności pomiaru rezystancji uziemienia metodą dwucengową



Pomiary analizatorem zasilania – obciążenie dołączone do gniazda schuko, pomiar napięcia na gniazdach bananowych.



Testowanie poprawności pomiaru ciągłości R_{cont}



Testowanie poprawności pomiaru rezystancji uziemienia

