

Zastosowanie woltomierza homodynowego w pomiarach mocy elektrycznej AC

Application of the Lock-in Amplifier in AC Power Measurement

Grzegorz Sadkowski, Jerzy Szutkowski (Zakład Elektryczny GUM)

W artykule zaprezentowano układy pomiarowe, w których istotnym elementem jest woltomierz homodynowy (Lock-In Amplifier). Układy te mogą służyć do wzorcowania mierników mocy oraz prądowych i napięciowych obciążeni przekładników. Zamieszczono też wyniki porównań z urządzeniami dedykowanymi do tego typu pomiarów.

The article presents measurement systems where Lock-in Amplifier is an important element. These systems can be used to calibrate the power meters and burdens of voltage and current transformers. The paper also includes results of the comparisons with the devices dedicated to this type of measurements.

Układ do pomiarów mocy elektrycznej czynnej i biernej z woltomierzem homodynowym (lock-in amplifier)

Lock-in Amplifier jest urządzeniem pomiarowym, pozwalającym zmierzyć bardzo zaszumiony sygnał wejściowy U_{in} o małej wartości. Znając równocześnie sygnał odniesienia U_{ref} , można sygnał mierzony przedstawić w postaci zespolonej algebraicznej Re i Im lub wykładniczej R i φ [1].

Możliwość przedstawienia napięcia wejściowego U_{in} w postaci zespolonej została wykorzystana do pomiaru przesunięcia fazowego pomiędzy prądem I i napięciem U w układzie do pomiarów mocy czynnej i biernej przedstawionym na rys. 1.

Układ do pomiarów mocy czynnej i biernej składa się ze źródła mocy, w tym przypadku z kalibratora Fluke 5520A, który umożliwia zadawanie równocześnie napięcia U i prądu I oraz przesunięcia

fazowego pomiędzy nimi φ . Napięcie U i prąd I , wytwarzane przez kalibrator, mierzone są odpowiednio przez multimetry Agilent 3458A i Fluke 8508A.

Kąt φ (wyrażany w stopniach) mierzony jest z rozdzielczością do trzeciego miejsca dziesiątego przez woltomierz homodynowy SR850. Sygnał odniesienia U_{ref} , niezbędny do wyznaczenia tego kąta, pobierany jest z dzielnika napięcia R_1 i R_2 , który jest włączony w tor napięciowy. Natomiast sygnał mierzony U_{in} jest spadkiem napięcia na boczniku R włączonym w tor prądowy układu [2].

Wszystkie urządzenia pomiarowe, oprócz kalibratora, są sterowane przez aplikację zainstalowaną na komputerze. Program komputerowy na podstawie pomiarów U , I , φ oraz liczby pomiarów oblicza średnie wartości mocy czynnej i biernej ze wzorów (1) i (2) oraz ich odchylenia standardowe.

$$P = UI \cos\varphi, \quad (1)$$

$$Q = UI \sin\varphi, \quad (2)$$

gdzie: P – moc czynna, Q – moc bierna.

Wyniki pomiarów systemu do pomiaru mocy

W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów mocy czynnej i biernej dla napięcia 50 V i prądu 5 A przy dziewięciu różnych przesunięciach fazowych. Wielkości z indeksem X oznaczają wartości zmierzone przy pomocy układu z rys. 1, a wielkości z indeksem N – zmierzone licznikiem wzorcowym Radian RD-33.

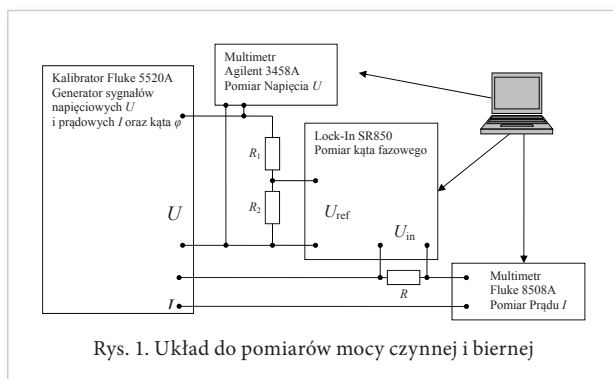


Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarowych dla układu z rys. 1

φ_X (°)	P_X (W)	Q_X (var)	φ_N (°)	P_N (W)	Q_N (var)	$\Delta\varphi$ (°)	δP (ppm)	δQ (ppm)
0	249,872	0	-0,013	249,900	0,058	0,013	-112	-
29,946	216,516	124,731	29,987	216,454	124,904	-0,041	286	-1385
45,000	176,688	176,688	44,985	176,759	176,663	0,015	-402	142
60,057	124,720	216,522	59,984	125,015	216,392	0,073	-2360	601
90,000	0	249,880	89,986	0,062	249,916	0,014	-	-144
-90,000	0	-249,879	-90,006	-0,025	-249,913	0,006	-	-136
-60,054	124,735	-216,520	-60,006	124,936	-216,446	-0,048	-1609	342
-45,000	176,687	-176,687	-45,012	176,678	-176,751	0,012	51	-362
-29,943	216,529	-124,725	-30,003	216,428	-124,970	0,06	467	-1960

W ostatnich trzech kolumnach znajdują się: błąd bezwzględny $\Delta\varphi$ i błędy względne δP , δQ wyrażone poniższymi wzorami:

$$\Delta\varphi = \varphi_X - \varphi_N, \quad (3)$$

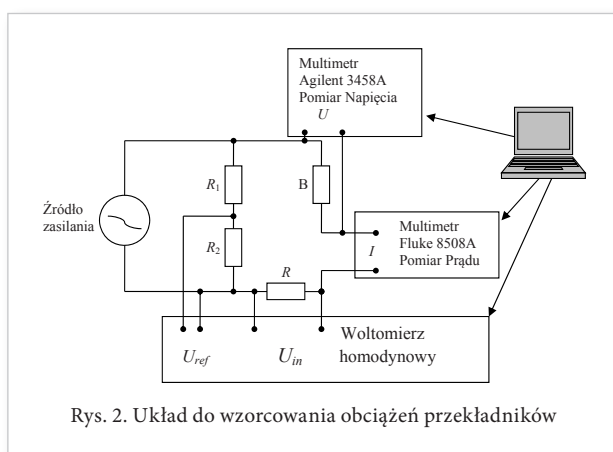
$$\delta P = \frac{P_X - P_N}{P_N}, \quad (4)$$

$$\delta Q = \frac{Q_X - Q_N}{Q_N}. \quad (5)$$

Układ do wzorcowania obciążeń przekładników z woltomierzem homodynowym

Obciążenia przekładników, ze względu na wielkość przetwarzaną, dzielą się na napięciowe i prądowe. Rozróżnia się także charakter współczynnika mocy obciążenia (rezystancyjny ($\cos\varphi = 1$) i indukcyjny ($\cos\varphi = 0,8$)).

Wzorcowanie obciążeń przekładników polega na wyznaczeniu składowych impedancji danego obciążenia



przy znamionowym prądzie lub napięciu [3]. W zastosowanym systemie (rys. 2) przebiega to następująco: multimetr 3458A mierzy napięcie U na obciążeniu badanym B, multimetr 8508A mierzy prąd I przepływający przez obciążenie, woltomierz homodynowy mierzy kąt φ przesunięcia fazowego pomiędzy prądem i napięciem.

Składowe impedancji oblicza się z następujących wzorów:

$$R = \frac{U}{I} \cos\varphi, \quad (6)$$

$$X = \frac{U}{I} \sin\varphi, \quad (7)$$

gdzie: R – składowa czynna impedancji, X – składowa bierna impedancji.

Wyniki pomiarów systemu do pomiaru składowych impedancji obciążeń przekładników

Tabela 2 zawiera wyniki pomiarów prądowego obciążenia przekładników typ NTT1. Pomiary zostały wykonane przy prądzie znamionowym tego obciążenia wynoszącym 5 A, dla trzynastu różnych wartości impedancji obciążeń. Wielkości z indeksem X oznaczają wartości zmierzone układem z rys. 2, a wielkości z indeksem N zmierzone kompensatorem prądu przemiennego KLV. W ostatnich dwóch kolumnach znajdują się błędy względne δR , δX wyrażone wzorami:

$$\delta R = \frac{R_X - R_N}{R_N} 100\%, \quad (8)$$

$$\delta X = \frac{X_X - X_N}{X_N} 100\%. \quad (9)$$

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarowych dla układu z rys. 2

$R_x (\Omega)$	$X_x (\Omega)$	$R_N (\Omega)$	$X_N (\Omega)$	$\delta R (\%)$	$\delta X (\%)$
0,0156	0,0282	0,0154	0,0283	1,50	-0,35
0,0571	0,0598	0,0564	0,0603	1,17	-0,71
0,0979	0,0900	0,0969	0,0909	0,99	-0,91
0,1395	0,1206	0,1385	0,1218	0,78	-0,96
0,1781	0,1510	0,1766	0,1525	0,86	-0,98
0,2178	0,1822	0,2165	0,1839	0,63	-0,95
0,2962	0,2432	0,2943	0,2450	0,65	-0,73
0,3813	0,3062	0,3796	0,3086	0,44	-0,77
0,4640	0,3681	0,4621	0,3708	0,41	-0,72
0,6192	0,4888	0,6163	0,4908	0,47	-0,40
0,7719	0,6118	0,7692	0,6140	0,36	-0,36
0,9343	0,7313	0,9312	0,7340	0,34	-0,36
1,2698	0,9775	1,2662	0,9794	0,29	-0,19

Podsumowanie

Zaprezentowane układy pomiarowe pokazują, że woltomierz homodynamiczny może być istotnym elementem systemu pomiarowego, w którym konieczny jest pomiar kąta przesunięcia fazowego pomiędzy sygnałami elektrycznymi, np. pomiar pojemności i stratności dielektrycznej kondensatorów, pomiar indukcyjności i dobroci cewek.

Wszystkie zastosowane przyrządy pomiarowe były sterowane komputerowo, za pomocą programu napisanego w środowisku LabView. Program obliczał wartości mocy i impedancji oraz generował raport z pomiarów, co eliminowało błędy związane z ręcznym spisywaniem wyników pomiarów i znacznie skróciło czas ich wykonywania.

Uzyskane wyniki dla opisanych układów były powtarzalne, więc otrzymane błędy można zastosować jako poprawki. Wyniki pomiarów są zadowalające

i dają podstawę do kontynuowania prac nad opisanymi układami, co może się przyczynić do zmniejszenia niepewności pomiaru na stanowiskach do wzorcowania liczników energii elektrycznej i obciążen przekładników w Głównym Urzędzie Miar.

Literatura

- [1] SR850 DSP Lock-In Amplifier Operating Manual and Programming Reference, Revision 2.0 (01/2009).
- [2] Piaskowy A., Skórkowski A., Skubis T.: *Pomiary mocy strat własnych wybranych liczników energii elektrycznej stosowanych w systemach SMART GRID*, Wydawca PAK, „Pomiary i Automatyka” nr 06 rok 2013, s. 532-536.
- [3] Draxler K., Styblikova R., Ulvr M.: *Advanced Procedures for Calibration of Instrument Transformer Burdens*, Wydawca IEEE rok 2011, DOI: 10.1109/ISIE.2011.5984293.