

Andrzej TOMASZEWSKI
Główny Urząd Miar
Samodzielne Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu

WPROWADZANIE NOWEJ METODY WZORCOWANIA OBCIĄŻEŃ PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH I NAPIĘCIOWYCH

W artykule opisano zbudowany w Głównym Urzędzie Miar system pomiarowy do wzorcowania obciążeń przekładników prądowych i napięciowych, złożony z wzorcowego licznika energii elektrycznej oraz aplikacji arkusza kalkulacyjnego Excel z makroprogramem.

Słowa kluczowe: obciążenia przekładników, wzorcowy licznik energii elektrycznej.

INTRODUCING OF A NEW METHOD FOR CALIBRATION OF INSTRUMENT TRANSFORMER BURDENS

This paper describes the measurement system built in the Central Office of Measures for the calibration of instrument transformer burdens, composed of standard electricity meter and Excel application with macro.

Keywords: instrument transformer burdens, standard electricity meter.

1. Wstęp

Błędy przekładników prądowych i napięciowych silnie zależą od obciążenia przekładników. Dlatego, przy wzorcowaniu przekładników są one obciążane specjalnymi elementami wyposażenia, stanowiącymi obciążenie o określonej wartości i nazywanymi obciążeniami przekładników. Obciążenia przekładników są również wzorcowane.

Parametrami obciążeń przekładników prądowych są:

- prąd nominalny I_n o wartościach znormalizowanych 1 i 5 A,
- nominalny współczynnik mocy $\cos \varphi_n$ o wartościach znormalizowanych 1 i 0,8 indukcyjne,
- nominalna moc pozorna S_n o wartościach w zakresie od 1 do 60 VA.

Parametrami obciążeń przekładników napięciowych są:

- napięcie nominalne U_n o wartościach znormalizowanych 100/3, 110/3, 100/ $\sqrt{3}$, 110/ $\sqrt{3}$, 100 i 110 V,
- nominalny współczynnik mocy $\cos \varphi_n$ o wartościach znormalizowanych 1 i 0,8 indukcyjne,
- nominalna moc pozorna S_n o wartościach w zakresie od 1 do 600 VA.

Obciążenie przekładników prądowych można przedstawić jako impedancję będącą połączeniem szeregowym rezystancji i reaktancji. Odpowiednie wartości nominalne Z_n , R_n i X_n dane są wzorami 1, 2 i 3.

$$Z_n = \frac{S_n}{I_n^2} \quad (1)$$

$$R_n = Z_n \cos \varphi_n \quad (2)$$

$$X_n = Z_n \sin \varphi_n \quad (3)$$

Spotykane wartości Z_n tworzą zakres od 0,04 do 60 Ω .

Podobnie, obciążenie przekładników napięciowych można przedstawić jako admitancję, będącą połączeniem równoległym konduktancji i susceptancji. Odpowiednie wartości nominalne Y_n , G_n i B_n dane są wzorami 4, 5 i 6.

$$Y_n = \frac{S_n}{U_n^2} \quad (4)$$

$$G_n = Y_n \cos \varphi_n \quad (5)$$

$$B_n = Y_n \sin \varphi_n \quad (6)$$

Spotykane wartości $Z_n = 1/Y_n$ tworzą zakres od 1,85 do 12100 Ω .

Przy wzorcowaniu wyznacza się wartości rzeczywiste R i X obciążeń przekładników prądowych lub G i B obciążeń przekładników napięciowych oraz błędy tych parametrów odpowiednio ze wzorów 7 i 8 lub 9 i 10.

$$\partial_R = \frac{R - R_n}{R_n} \times 100\% \quad (7)$$

$$\partial_X = \frac{X - X_n}{X_n} \times 100\% \quad (8)$$

$$\partial_G = \frac{G - G_n}{G_n} \times 100\% \quad (9)$$

$$\partial_B = \frac{B - B_n}{B_n} \times 100\% \quad (10)$$

Wymaga się aby powyższe błędy nie przekraczały $\pm 3\%$.

Wzorcowanie obciążeń przekładników prądowych przeprowadza się w zakresie od 1 do 200% prądu nominalnego I_n . W rezultacie, podczas wzorcowania występują wartości prądu od 0,01 do 10 A a wartości napięcia – od 0,002 do 120 V.

Dla obciążeń przekładników napięciowych, wzorcowanych w zakresie od 40 do 120% napięcia nominalnego U_n , występują wartości napięcia od 13 do 132 V a wartości prądu – od 0,004 do 22 A.

2. Metoda wzorcowania stosowana dotychczas w GUM

W GUM, wzorcowania obciążeń przekładników wykonywało się za pomocą kompensatora prądu przemiennego równoważonego ręcznie (KLW). Wzorcowane obciążenie przekładnika włączane było w układ technicznego pomiaru impedancji lub admitancji, gdzie rolę amperomierza i woltomierza spełniały odpowiednio: wejście prądowe i wejście napięciowe kompensatora. Dla obciążenia przekładnika prądowego stosowano układ poprawnie mierzonego napięcia, a dla obciążenia przekładnika napięciowego – układ poprawnie mierzonego prądu. Ponadto, dla obciążenia przekładnika prądowego, prąd był wybrany dla kompensatora jako sygnał odniesienia, a napięcie – jako sygnał „mierzony”. Dla obciążenia przekładnika napięciowego – odwrotnie.

Na kompensatorze wybierane były zakresy dla sygnału prądowego I_Z i napięciowego U_Z . Można to interpretować jako normalizację prądu I i napięcia U do wielkości bezwymiarowych I/I_Z i U/U_Z , przy czym jedna z nich była wielkością odniesienia, a druga – mierzona.

Następnie za pomocą dwóch nastaw bezwymiarowych K_C (czynne) i K_B (bierne) doprowadzało się do równowagi kompensatora według wskaźnika zera. Można to zinterpretować tak, że w stanie równowagi składowa wielkości mierzonej, będąca w fazie z wielkością odniesienia była równa wielkości odniesienia pomnożonej przez współczynnik K_C . Podobnie, składowa wielkości mierzonej, prostopadła do wielkości odniesienia, była równa wielkości odniesienia pomnożonej przez współczynnik K_B .

W rezultacie, wartości R i X dla obciążenia przekładnika prądowego wyrażały się wzorami 11 i 12 a wartości G i B dla obciążenia przekładnika napięciowego - wzorami 13 i 14.

$$R = K_C \frac{U_Z}{I_Z} \quad (11)$$

$$X = K_B \frac{U_Z}{I_Z} \quad (12)$$

$$G = K_C \frac{I_Z}{U_Z} \quad (13)$$

$$B = K_B \frac{I_Z}{U_Z} \quad (14)$$

Niepewność rozszerzoną wyznaczenia powyższych wartości oszacowano na podstawie specyfikacji komparatora KLW na 0,1%.

Mankamentami powyższej metody są: żmudne równoważenie ręczne, subiektywna ocena stanu zrównoważenia kompensatora na podstawie wskaźnika zera, duże prawdopodobieństwo awarii bardzo wysłużonego komparatora (kilkadziesiąt lat).

3. Nowa metoda wzorcowania

Zamiast kompensatora prądu przemiennego KLW zastosowano wzorcowy licznik energii elektrycznej prądu przemiennego typu RD-31. Użyto wejścia prądowego i wejścia napięciowego jednej fazy (licznik jest trójfazowy). Oprócz podstawowej funkcji pomiaru błędu energii licznika sprawdzanego, użyty licznik wzorcowy mierzy inne wielkości, między innymi: napięcie U , prąd I , moc czynną P , moc bierną Q , z niepewnością rozszerzoną 0,01%. Z tych wielkości wyznaczane są parametry obciążeń przekładników według wzorów 15, 16, 17 i 18.

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (15)$$

$$X = \frac{Q}{I^2} \quad (16)$$

$$G = \frac{P}{U^2} \quad (17)$$

$$B = \frac{Q}{U^2} \quad (18)$$

Została napisana aplikacja arkusza kalkulacyjnego Excel wraz z makroprogramem. Makroprogram ten importuje do arkusza wartości zmierzone przez licznik wzorcowy, oblicza składowe impedancji lub admitancji obciążenia, oblicza błędy tych składowych, korzystając z parametrów nominalnych obciążenia, podanych w arkuszu i zapisuje w arkuszu wyznaczone błędy.

4. Problemy z wzorcowaniem obciążeń przekładników prądowych

Podczas wzorcowania obciążeń przekładników prądowych występują na nich napięcia w zakresie od 0,002 do 120 V. Dla napięć poniżej 1 V, będących dużo poniżej zakresu licznika wzorcowego RD-31, moce czynna P i bierna Q są mierzone z niewystarczającą dokładnością.

W celu wzmocnienia napięcia próbowano zastosować przekładnik napięciowy o napięciu nominalnym 1/100V. Jednak przy podłączeniu wejścia przekładnika w układzie poprawnie mierzonego napięcia, występuje błąd dodatkowy spowodowany pobieranym przez przekładnik prądem. W układzie poprawnie mierzonego prądu zaś, przy małych wartościach impedancji wzorcowanego obciążenia, występuje błąd dodatkowy spowodowany przez spadek napięcia na wejściu prądowym licznika wzorcowego i połączeniach.

Zamiast przekładnika napięciowego zastosowano więc układ wzmacniający na wzmacniaczu operacyjnym, nieodwracającym, o wybieranych trzech wzmocnieniach: 10, 100 i 1000. Wzmocnienia te ustawione zostały zgrubnie trymerami. Wartości dokładne są wyznaczone bezpośrednio przed wzorcowaniem obciążenia za pomocą wzorcowego bocznika 0,1 Ω dla prądów 5, 0,5 i 0,05 A – napięcie na wyjściu wzmacniacza wynosi około 5 V. Wyznaczone w ten sposób dokładne wartości wzmocnień są wprowadzane do arkusza, do użycia przy wzorcowaniu obciążenia.

5. Zakończenie

Z dotychczasowych prób stosowania nowej metody wzorcowania obciążeń przekładników otrzymano wyniki zbliżone do uzyskanych dotychczasową metodą.

Nowa metoda posiada nie mniejszą dokładność niż dotychczasowa, jest natomiast dużo wygodniejsza. Dzięki napisanemu makroprogramowi, wykonanie pomiaru dla jednej wartości obciążenia sprowadza się do kilku kliknięć. Dotychczasowa metoda oparta jest na ręcznym równoważeniu kompensatora prądu przemiennego, za pomocą dwóch nastaw jednocześnie. Przy braku wprawy, wykonanie tą metodą pomiaru dla jednej wartości obciążenia zajmowało nawet kilka minut. Przy wzorcowaniach obejmujących setki wartości obciążenia, szybkość nowej metody nabiera znaczenia.

Istotą nowej metody jest zauważenie, że wzorcowy licznik energii elektrycznej, dzięki wykorzystaniu jego funkcji pomiaru wielkości „towarzyszących” energii, można zastosować do nietypowego dla niego pomiaru składowych impedancji lub admitancji.

LITERATURA

1. Instrukcja obsługi kompensatora prądu przemiennego KLW
2. Instrukcja obsługi wzorcowego licznika energii elektrycznej prądu przemiennego RD-31