

Janusz TOKARSKI

## ELEKTRONICZNA KOMPENSACJA BŁĘDÓW INDUKCYJNEGO PRZEKŁADNIKA NAPIĘCIOWEGO

**Streszczenie.** Rozpatrzono sposoby elektronicznej kompensacji błędów i podano ich ocenę. Przeanalizowano zjawiska w przekładniku ze względu na działanie obwodów kompensujących. Podano analizę dokładności. Przytoczono wyniki doświadczalnych danych dla opracowanego prototypu.

### 1. Wprowadzenie

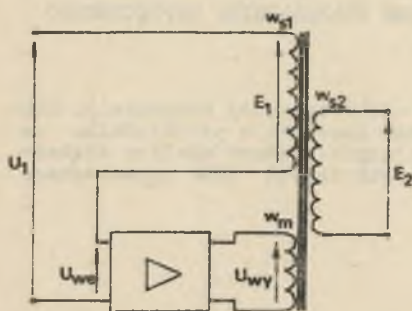
Przekładniki napięciowe i prądowe są niezbędnym i niezastąpionym elementem wielu układów pomiarowych prądu przemiennego. Rozszerzenie zakresów pomiarowych przyrządów oraz zapewnienie odpowiedniego odseparowania obwodów pomiarowych nie ma dotychczas konkurencyjnego rozwiązania. W klasycznym niekorygowanym przekładniku napięciowym głównym źródłem błędów są spadki napięcia na rezystancji uzwojenia pierwotnego i wtórnego oraz na indukcyjności rozproszenia tych uzwojeń. Tradycyjna korekcja błędów katowego polega na dobraniu odpowiedniej wartości indukcyjności rozproszenia uzwojeń tzn. na jej zwiększeniu lub częściowym skompensowaniu szeregową pojemnością włączoną w obwód wtórny. Zmniejszenie błędów amplitudowych uzyskuje się przez zastosowanie tzw. dozwojenia. Korekcja taka skuteczna jest jedynie w przypadku obciążenia przekładnika określoną impedancją. Dodatkowo nieliniowe zmiany prądu magnesującego ograniczają skuteczność tradycyjnej korekcji do wąskiego zakresu napięcia wejściowego. Z tych względów klasyczne konstrukcje są zadawalające do pomiarów elektroenergetycznych.

Niewystarczające do wielu celów metrologicznych właściwości klasycznych przekładników skłaniają do poszukiwania nowych rozwiązań. Chodzi przede wszystkim o zapewnienie dużej dokładności przy dużym zakresie pomiarowym i o uniezależnienie dokładności od zmian impedancji obciążenia. Ze względu na dokładność pomiaru napięcia w dowolnie odległym punkcie, ważne jest również uniezależnienie dokładności od spadku napięcia na przewodach łączących.

W przypadku indukcyjnych przekładników napięciowych wymienione właściwości metrologiczne można uzyskać przez wprowadzenie dodatkowych obwodów magnetycznych, dodatkowych uzwojeń oraz odpowiednich układów elektronicznych.

## 2. Sposoby elektronicznej kompensacji błędów przekładnika

Istnieje wiele rozwiązań elektronicznej kompensacji błędów w indukcyjnych przekładnikach napięciowych. Wydaje się, że celowe byłoby podzielenie znanych rozwiązań przekładników na dwie klasy charakteryzujące się określonym sposobem kompensacji i posiadające w związku z tym pewne charakterystyczne właściwości.



Rys. 1. Schemat przekładnika napięciowego z redukcją prądu w uzwojeniu pierwotnym stosunkowym

Charakterystyczną cechą pierwszego sposobu kompensacji jest generacja prądu magnesującego i prądu obciążenia w dodatkowym uzwojeniu zwanym uzwojeniem magnesującym. Wprowadzenie takiego uzwojenia pozwala na znaczną redukcję prądu w uzwojeniu pierwotnym stosunkowym. Efektem jest wielokrotne zmniejszenie różnicy między napięciem mierzonym, a SEM indukującą się w uzwojeniu pierwotnym. Przykładem może być układ podany w pracy [4] i przedstawiony na rys. 1. Na rdzeniu nawinięte jest uzwojenie pierwotne stosunkowe  $w_{s1}$ , uzwojenie wtórne stosunkowe  $w_{s2}$  i uzwojenie magnesujące  $w_m$ . Przekładnia zwojowa uzwojeń

$w_{s1}$  i  $w_{s2}$  jest równa przekładni znamionowej  $\frac{U_1}{U_2}$ . Przekładnia zwojowa uzwojeń  $w_{s1}$  i  $w_m$  jest równa  $\frac{U_1}{U_{wy}}$ . Uzupełnieniem układu jest wzmacniacz o wzmocnieniu napięciowym  $K$  i dużej rezystancji wejściowej, tak dobranej, by spadek napięcia na impedancji rozproszenia uzwojenia  $w_{s1}$  był pomijalnie mały w stosunku do napięcia wejściowego wzmacniacza  $U_{we}$ . Wzmacniacz poprzez silne ujemne sprzężenie zwrotne powoduje wyindukowanie się w uzwojeniu  $w_{s1}$  SEM  $E_1$  mniejszej od napięcia wejściowego  $U_1$  o spadek na rezystancji wejściowej wzmacniacza. Im większe są wartości współczynnika wzmocnienia  $K$  i przekładni  $\frac{U_1}{U_2}$ , tym mniejsza jest wartość napięcia  $U_{we}$  w stosunku do napięcia  $U_1$ , a tym samym mniejsza różnica napięć  $U_1$  i  $E_1$ .

Na podstawie przytoczonego przykładu można określić cechy charakterystyczne układów z redukcją prądu w uzwojeniu pierwotnym stosunkowym. Do najważniejszych należą:

- bardzo duża impedancja wejściowa przekładnika, niezależna od jego obciążenia (moc potrzebna na namagnesowanie rdzenia oraz moc obciążenia dostarczana jest przez wzmacniacz),
- wymagana jest odpowiednio duża moc wyjściowa wzmacniacza,
- wymagane są duże wartości współczynnika  $K$  i przekładni  $\frac{U_1}{U_2}$  dla osiągnięcia odpowiednio niskiego poziomu błędów,
- brak kompensacji błędu powstającego w obwodzie wtórnym w wyniku obciążenia przekładnika, co ogranicza zakres dopuszczalnych obciążeń do bardzo dużych impedancji.

Drugi sposób kompensacji błędów polega na wygenerowaniu napięć odpowiednio proporcjonalnych do spadków napięcia na impedancji rozproszenia uzwojenia pierwotnego i wtórnego oraz użycie ich do korekcji napięcia wyjściowego przekładnika. Do najważniejszych cech rozwiązań, w których zastosowano ten sposób kompensacji należą:

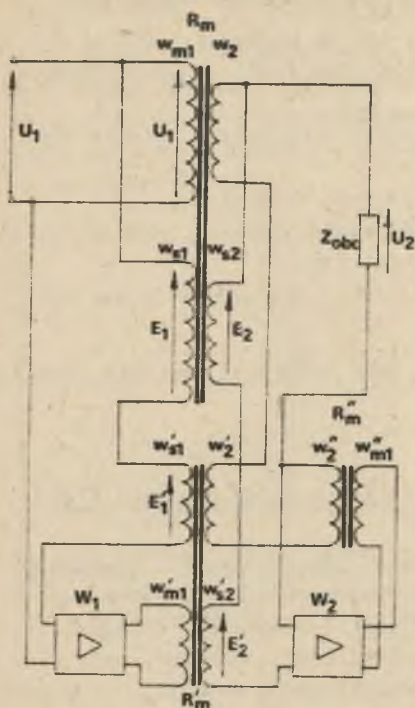
- impedancja wejściowa porównywalna z impedancją wejściową klasycznego przekładnika,
- wymagana jest stosunkowo niewielka moc wyjściowa wzmacniacza,
- wymagana jest wielokrotnie mniejsza wartość współczynnika wzmocnienia wzmacniacza dla uzyskania tego samego poziomu błędu,
- kompensacja w obwodzie wtórnym pozwala na zmiany obciążenia w szerokim zakresie.

Dane doświadczalne podane w tym artykule będą dotyczyły drugiego sposobu kompensacji.

### 3. Opracowany przekładnik napięciowy z elektroniczną kompensacją błędów

Do instalacji automatycznego badania maszyn elektrycznych zbudowano przekładniki napięciowe o szerokim zakresie pomiarowym, przystosowane do współpracy z przetwornikami mocy czynnej o dużej dokładności. Wymagane były następujące własności metrologiczne przekładników: nominalne napięcie wejściowe  $U_{1N} = 480$  V; nominalne napięcie wyjściowe  $U_{2N} = 100$  V; zakres pomiarowy od 10% do 120%  $U_{1N}$ ; niedokładność przetwarzania  $\pm 0,01\%$  wartości mierzonej; zakres zmian mocy obciążenia od 0 do 5 VA, przy zmianie  $\cos\varphi$  od 0 ind. do 1; częstotliwość znamionowa 50 Hz. Równocześnie przekładniki miały być zainstalowane w znacznej odległości od źródła mierzonego napięcia. Ponieważ sposób kompensacji polegający na redukcji prądu w uzwojeniu pierwotnym stosunkowym nie zapewniał uzyskania wymienionych właściwości, wybrano drugi sposób kompensacji. Przyjęto układ podany na rys. 2. W rozwiązaniu tym wykorzystano układ przedstawiony na rys. 1 do transformacji spadku napięcia na impedancji rozproszenia uzwojenia pierwotnego (rdzeń  $R_m'$  wraz z uzwojeniami oraz wzmacniaczem  $W_1$ ). Kompensację błędu w obwodzie wtórnym uzyskano na zasadzie kontroli różnicy napięcia wyjściowego i napięcia odniesienia (SEM indukująca się w nieobciążonym uzwojeniu wtórnym stosunkowym) i dodaniu do napięcia wyjściowego napięcia kompensującego tę różnicę (rdzeń  $R_m''$  wraz z uzwojeniami oraz wzmacniaczem  $W_2$ ).

Skonstruowany przekładnik napięciowy składa się z trzech rdzeni magnetycznych. Rdzeń  $R_m$  wraz z uzwojeniami stanowi właściwy przekładnik (rys. 2). Rdzenie  $R_m'$  i  $R_m''$  wraz z uzwojeniami tworzą transformatory pomocnicze. Na rdzeniu  $R_m$  nawinięte są dwa uzwojenia pierwotne: uzwojenie pierwotne magnesujące  $w_{m1}$  i uzwojenie pierwotne stosunkowe  $w_{g1}$  (o równej liczbie zwojów) oraz dwa uzwojenia wtórne: uzwojenie wtórne stosunkowe  $w_{g2}$  i uzwojenie wtórne prądowe  $w_2$  (również o równej liczbie zwojów). Przekładnia na-



Rys. 2. Schemat przekładnika napięciowego z kompensacją spadków napięcia na impedancji rozproszenia uzwojenia pierwotnego i wtórnego

$w_{s1}$  jest równa spadkowi napięcia  $\Delta U_1$  na impedancji rozproszenia uzwojenia  $w_{m1}$ . Wzmacniacz  $W_1$  przez wymuszenie odpowiedniego strumienia w rdzeniu  $R_m'$  powoduje wyindukowanie w uzwojeniu  $w_{s1}'$  SEM  $E_1'$  bliskiej napięciu  $\Delta U_1$  i odpowiednio w każdym z uzwojeń wtórnych  $w_{s2}'$  i  $w_{m2}'$  SEM  $E_1'/\mathcal{V}_N$ . Wzmacniacz  $W_2$  wzmacnia różnicę między sumą SEM indukujących się w szeregowo połączonych uzwojeniach wtórnych stosunkowych, a napięciem na zaciskach impedancji obciążenia i dzięki silnemu sprzężeniu zwrotnemu powoduje skompensowanie spadku napięcia na impedancji rozproszenia uzwojeń wtórnych  $w_2$ ,  $w_2'$  wywołanego przepływem prądu obciążenia.

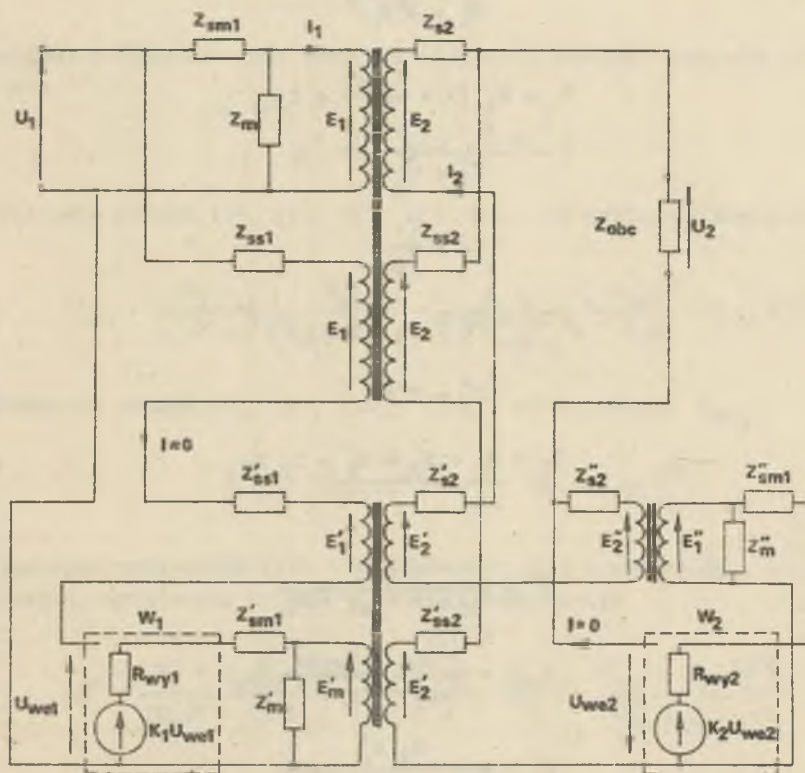
Przedstawiony układ zapewnia kompensację spadku napięcia na przewodach łączących przekładnik ze źródłem oraz z przyrządami po stronie wtórnej. Wymagane jest w takim przypadku połączenie czteroprzewodowe.

pięciowa przekładnika  $\mathcal{V}_N$  jest równa stosunkowi liczby zwojów uzwojenia pierwotnego do liczby zwojów uzwojenia wtórnego. Na rdzeniu  $R_m$  nawinięte jest uzwojenie pierwotne stosunkowe  $w_{s1}'$ , uzwojenie magnesujące  $w_{m1}'$  (stosunek liczby zwojów tych uzwojeń wynosi  $\mathcal{V}'$ ) oraz dwa uzwojenia wtórne: uzwojenie wtórne stosunkowe  $w_{s2}'$  i uzwojenie wtórne prądowe  $w_2'$  (o równej liczbie zwojów). Stosunek liczby zwojów uzwojeń stosunkowych jest równy przekładni napięciowej przekładnika  $\mathcal{V}_N$ . Rdzeń  $R_m$  został wykorzystany do budowy transformatora oddzielającego o przekładni zwojowej  $\mathcal{V}'$ . Nawinięte są na nim uzwojenie pierwotne  $w_{m1}'$  i wtórne  $w_2'$ . Rezystancja wejściowa wzmacniacza  $W_1$  i wzmacniacza  $W_2$  została tak dobrana, by spadek napięcia na impedancji rozproszenia uzwojeń stosunkowych wywołany przepływem prądu wejściowego wzmacniacza był pomijalnie mały w stosunku do jego napięcia wejściowego.

Pod wpływem napięcia wejściowego przekładnika  $U_1$  w każdym z uzwojeń pierwotnych  $w_{m1}$  i  $w_{s1}$  indukuje się SEM  $E_1$  i odpowiednio w każdym z uzwojeń wtórnych  $w_{s2}$  i  $w_2$  SEM  $E_1/\mathcal{V}_N$ . Różnica napięć na zaciskach uzwojenia  $w_{m1}$  i nieobciążonego

4. Analiza błędów przekładnika

Błędy przekładnika z elektroniczną kompensacją celowe jest podzielić na dwie kategorie: błędy kompensacji oraz błędy sprzężeń magnetycznych i pojemnościowych.



Rys. 3. Schemat zastępczy przekładnika z rys. 2 (oznaczenia takie jak na rys. 2, na pierwszym miejscu indeksu dodano literę s lub m określającą rodzaj impedancji)

Analizę błędów kompensacji przeprowadzono w oparciu o schemat zastępczy podany na rys. 3. Założono nieskończenie duże rezystancje wejściowe wzmacniaczy i odpowiednio zerowe prądy w uzwojeniach stosunkowych.

Dla przyjętego schematu zastępczego słuszne są następujące równania:

$$U_1 = E_1 + E'_1 + U_{we1} \quad (1)$$

$$E_1 = \frac{S}{N} E_2 \quad (2)$$

$$E_1 = \delta_N E_2 \quad (3)$$

$$U_2 = E_2 + E_2'' - U_{we2} \quad (4)$$

$$E_m' = K_1' U_{we1} - I_1 Z_{wy1} \delta_1' \quad (5)$$

$$E_1' = \delta_1' E_m' \quad (6)$$

$$U_1 = E_1 \left(1 + \frac{Z_{sm1}}{Z_m}\right) + Z_{sm1} I_1 \quad (7)$$

$$I_1 = \delta_N I_2 \quad (8)$$

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_{obc}} \quad (9)$$

$$E_1'' = K_2' U_{we2} - Z_{wy2} I_2 \delta_1'' \quad (10)$$

$$E_2'' = E_1'' \delta_1'' \quad (11)$$

$$U_2 = E_2 + E_2' + E_2'' - I_2 Z_2 \quad (12)$$

gdzie:

$$K_1' = \frac{K_1 Z_m'}{R_{wy1} + Z_{sm1}' + Z_m'}$$

$$Z_{wy1} = \frac{(Z_{sm1}' + R_{wy1}) Z_m'}{Z_{sm1}' + R_{wy1} + Z_m'}$$

$$K_2' = \frac{K_2 Z_m''}{R_{wy2} + Z_m'' + Z_{sm1}''}$$

$$Z_{wy2} = \frac{(R_{wy2} + Z_{sm1}'') Z_m''}{R_{wy2} + Z_m'' + Z_{sm1}''}$$

$$Z_2 = Z_{s2} + Z_{s2}' + Z_{s2}''$$

Błąd względny wektorowy przekładnika zdefiniowany jest jako

$$\delta^o = \frac{\delta_N U_2 - U_1}{U_1} \quad (13)$$

Względny błąd amplitudowy stanowi część rzeczywistą zależności (13)

$$\delta_u^o = \operatorname{Re}\{\delta^o\} \quad (14)$$

Błąd kątowy jest częścią urojoną zależności (13)

$$\delta = \operatorname{Im}\{\delta^o\} \quad (15)$$

Dokonyjemy przekształcenia równania (13) wykorzystując równania (1), (2), (3), (4)

$$\delta^o = - \frac{U_{we1} + U_{we2} \psi_N}{U_1} \quad (16)$$

Na podstawie równań (1), (5), (6), (7), (8), (9) wyliczamy napięcie  $U_{we1}$

$$U_{we1} = \frac{U_1}{K_1' \psi_1' + 1} \left[ \frac{Z_{sm1}}{Z_m + Z_{sm1}} + \frac{1}{\psi_N^2 Z_{obc}} \left( \frac{Z_m Z_{sm1}}{Z_m + Z_{sm1}} + Z_{wy1} \psi_1'^2 \right) \right] \quad (17)$$

Na podstawie równań (4), (9), (10), (11), (12) wyliczamy  $U_{we2}$

$$U_{we2} = \frac{U_2}{(K_2' \psi_2' + 1) Z_{obc}} (Z_2 + Z_{wy2} \psi_2'^2) \quad (18)$$

Podstawiając zależności (17), (18) do wzoru (16) i zakładając, że  $Z_m \gg Z_{sm1}$  otrzymujemy ostateczną zależność na błąd kompensacji

$$\delta^o = \frac{Z_2 + Z_{wy2} \psi_2'^2}{(K_2' \psi_2' + 1) Z_{obc}} - \frac{1}{K_1' \psi_1' + 1} \left( \frac{Z_{sm1}}{Z_m} + \frac{Z_{sm1} + Z_{wy1} \psi_1'^2}{\psi_N^2 Z_{obc}} \right) \quad (19)$$

Analizę błędu kompensacji przeprowadzono w oparciu o wzór (19) pod kątem uzyskania, jak najmniejszej wartości błędu.

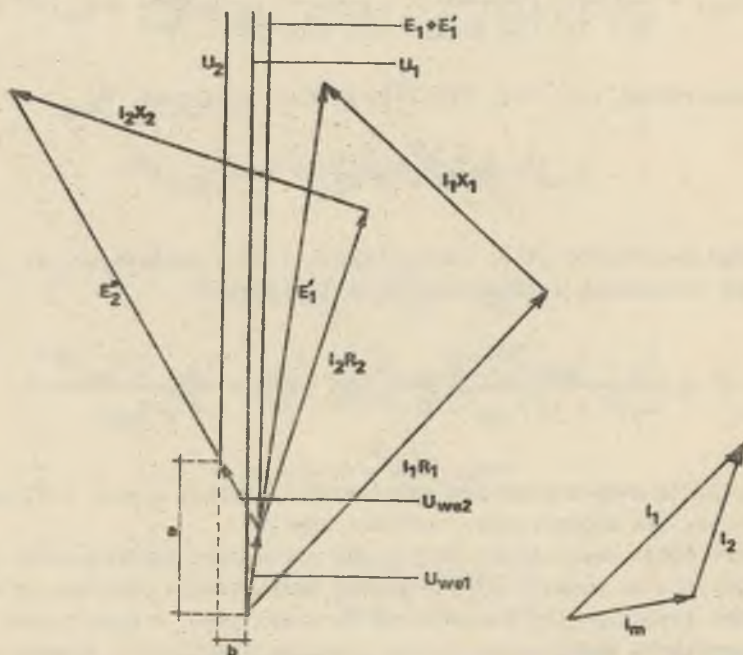
Na poziom błędu kompensacji decydujący wpływ mają współczynniki wzmocnienia napięciowego wzmacniaczy. Ponieważ zastosowanie wzmacniaczy o dużej wartości współczynnika wzmocnienia związane jest z określonymi trudnościami uzyskania stabilności układu (problem stabilności stanowi osobne, obszernie zagadnienie i będzie tematem oddzielnego opracowania), wzmocnienia powinny być tak dobrane, aby zapewniały jednakowy poziom błędu kompensacji oraz błędów sprzężeń magnetycznych i pojemnościowych, jak również jednakowy udział błędu kompensacji po stronie pierwotnej i wtórnej przekładnika. Funkcja  $|\delta^o| = f(\psi_1', \psi_2')$  określającą zależność modułu błędu kompensacji od zmian wartości przekładni transformatorów pomocniczych posiada minimum dla wartości przekładni  $\psi_1'$  i  $\psi_2'$ . Zwiększenie odpowiednich

przekładni powyżej wartości  $\vartheta'_m$  i  $\vartheta''_m$  spowoduje odwrotny skutek do zamierzonego, mianowicie wzrost błędu kompensacji oraz dodatkowe trudności związane z zachowaniem stabilności. Przekładnie  $\vartheta'$  i  $\vartheta''$  nie mogą zatem być dowolne, lecz muszą spełniać nierówności:

$$\vartheta' < \vartheta'_m \quad (22)$$

$$\vartheta'' < \vartheta''_m \quad (23)$$

Z analizy błędu kompensacji wynika, że korzystne jest by stosunek indukcyjności głównej do indukcyjności rozproszenia w transformatorach osiągnął jak największą wartość, co można uzyskać przez odpowiednie nawijanie uzwojeń oraz przez zastosowanie rdzeni o wysokiej przenikalności magnetycznej. Pożądaną jest również, by rezystancja wyjściowa wzmacniaczy była mniejsza lub porównywalna z rezystancją uzwojeń magnesujących  $w'_{m1}$  i  $w''_{m1}$ .



Rys. 4. Wykres wektorowy napięć w przekładniku z rys. 2

Na rys. 4 podano wykres wektorowy napięć przekładnika w celu uzupełnienia analizy błędu kompensacji. Dla uproszczenia założono przekładnie równe jedności oraz pominięto spadki napięcia na impedancjach rozproszenia uzwojeń transformatorów pomocniczych. Przyjęto, że wzmacniacze nie wnoszą przesunięć fazowych. Ponieważ obwody kompensujące znajdują się na



niskim potencjale, na wykresie uwidocznione są początki wektorów napięć  $U_1$  i  $U_2$ . Wykres nie zachowuje skali. Na wykresie odcinek a odwzorowuje błąd amplitudowy, natomiast odcinek b odwzorowuje błąd kątowy.

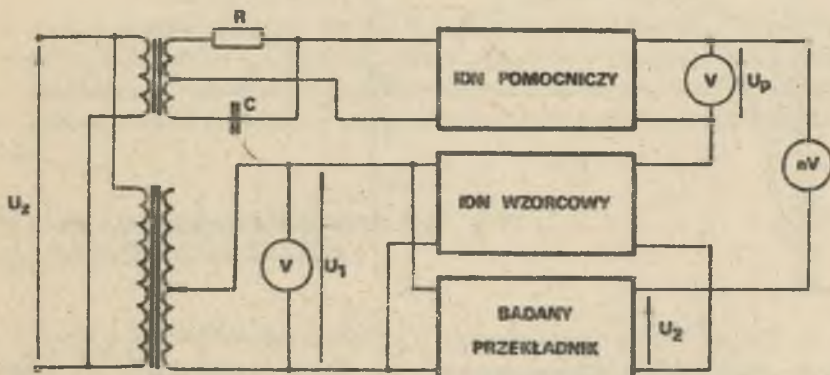
Błędy sprzężeń dodatkowo zmniejszają skuteczność kompensacji. W szczególności ważne są zjawiska:

- niedoskonałe sprzężenie magnetyczne uzwojeń stosunkowych  $w_{s1}$  i  $w_{s2}$ ;
- wpływ strumieni rozproszenia na SEM indukujące się w uzwojeniach stosunkowych;
- istnienie pojemności własnych uzwojeń stosunkowych, które stanowią wewnętrzne obciążenie tych uzwojeń;
- istnienie pojemności między poszczególnymi uzwojeniami, które również stanowią wewnętrzne obciążenie uzwojeń stosunkowych.

Dobre sprzężenie magnetyczne uzwojeń stosunkowych można zapewnić przez zastosowanie rdzenia o dużej przenikalności magnetycznej oraz przez odpowiednie nawinięcie uzwojeń. Dobre sprzężenie magnetyczne wymaga jak najmniejszych odległości między zwojami poszczególnych uzwojeń, co powoduje znaczny wzrost pojemności międzyuzwojeniowych. Ponieważ zmniejszenie pojemności jest sprzeczne z warunkiem uzyskania dobrego sprzężenia magnetycznego, zmniejszenie błędów powstających w wyniku przepływu prądu pojemnościowego w uzwojeniach stosunkowych powinno odbywać się na drodze zmniejszenia impedancji rozproszenia tych uzwojeń.

##### 5. Sposób badania dokładności przekładnika

Błąd amplitudowy i błąd kątowy przekładnika korzystnie jest wyznaczyć stosując metodę równoczesnego, bezpośredniego porównania z wzorcem stosunku dwu napięć [5]. W układzie podanym na rys. 5 dzielnik rezystancyjno-pojemnościowy i pomocniczy IDN tworzą regulowane źródło napięcia  $U_p$  pro-



Rys. 5. Schemat połączeń układu pomiarowego

stopadłego do napięcia wejściowego. Wzorcem stosunku dwu napięć jest autotransformatorowy indukcyjny dzielnik napięcia (IDN) o błędzie  $10^{-6}$ . Nanowoltomierz selektywny stanowi wskaźnik zera. Wejścia IDN wzorcowego i badanego przekładnika są połączone równolegle. Napięcie wyjściowe przekładnika jest porównywane z sumą napięć:  $U_p$  i napięcia wyjściowego wzorcowego IDN. Przez odpowiednią nastawę dekad wzorcowego i pomocniczego IDN uzyskuje się kolejno równość modułów porównywanych napięć i zgodność ich faz.

Pomijając błędy wzorcowego IDN otrzymujemy następujący wzór obliczeniowy na błąd amplitudowy badanego przekładnika:

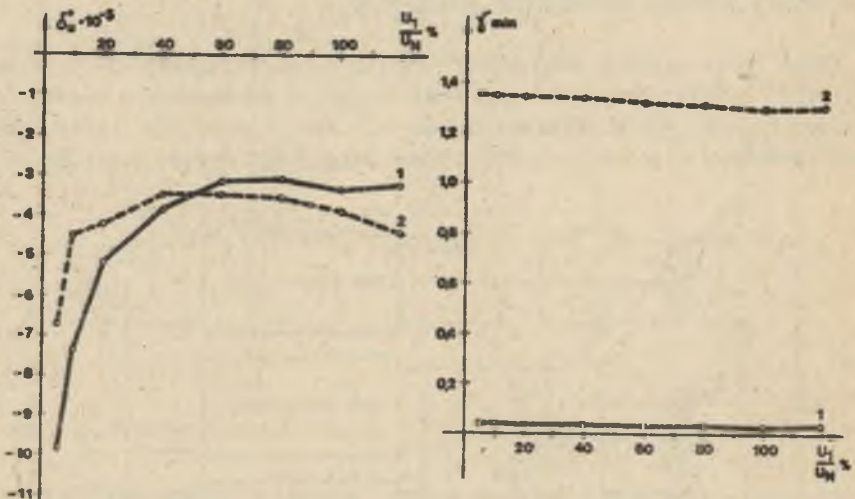
$$\delta_u^0 = \frac{\phi_{rz} |U_2| - |U_1|}{|U_1|} = \frac{\phi_{rz} - \phi_{rz}}{\phi_{rz}}$$

gdzie:

$$\phi_{rz} = \frac{|U_1|}{|U_2|} - \text{przekładnia rzeczywista otrzymana z odczytu nastawy wzorcowego IDN.}$$

Błąd kątowy można wyznaczyć z zależności:

$$\gamma = \angle(U_1; U_2) = \text{tg} \angle(U_1; U_2) = U_p \frac{1}{U_2} = \frac{U_p \phi_{rz}}{U_1}.$$



Rys. 6. Wykres błędów amplitudowego i katowego przekładnika z rys. 2

1 - błędy przekładnika nieobciążonego, 2 - błędy przekładnika obciążonego  
mocą  $P = 5W$

Podanym sposobem badano skonstruowany model przekładnika napięciowego o elektronicznej kompensacji błędów. Na podstawie przeprowadzonych badań modelu ustalono, że w zakresie przetwarzania od 5% do 120% napięcia znamionowego i obciążenia od 0 do 100% mocy znamionowej, względna niedokładność amplitudowa nie przekracza  $\pm 0,01\%$ , a niedokładność kątowa 1,5 minuty. Na rys. 6 podano wykresy błędów amplitudowych i kątowych badanego przekładnika.

#### LITERATURA

- [1] Emschermann H.H., Fuhrmann B.: Low Frequency One-Step Inductive Voltage Divider with Ratio up to 1:1000. IEEE; vol. IM-24, nr 4, 1975.
- [2] Gibbins D.L.H.: A Circuit for Reducing the Exciting Current of Inductive Devices. The Institution of Electrical Engineers; Paper nr 3515 M, 1961.
- [3] Gusiew W.G.: Integralnyje opieracjonnyje usilitieli w cieplach induktywnych i magnitoczuwstwielnich priobrazowateli eliektriczieskich signalow. Priborostrojenije nr 12, 1977.
- [4] Lichtcimbler B.J., Gusiew W.G.: Obobszczennyj analiz izmieritelnych transformatornych ciepiej s korriktirujuszczimi usilitieliami. IWUZ Elektromechanika nr 6, 1971.
- [5] Skubis T.: Pomiaru błędów indukcyjnych dzielników napięcia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka 1976, z. 55.
- [6] Starczakow W.: Przekładniki. PWT, Warszawa 1959.

#### ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИНДУКТИВНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

#### Р е з ю м е

В статье рассматриваются методы электронной компенсации погрешности и приводится их оценка. Приводится анализ эффектов в измерительном трансформаторе напряжения, принимая во внимание функционирование компенсационных цепей. Дается анализ точности и результаты опытных данных разработанного прототипа.

#### THE ELECTRONIC COMPENSATION OF ERRORS OF THE MEASURING VOLTAGE TRANSFORMER

#### S u m m a r y

This paper presents methods of the electronic compensation of errors and their assessment. There have been given the analysis of phenomena in

the measuring voltage transformer with regard for functioning of compensating circuits. The analysis of accuracy as well as results of experiments of the prototype have also been given.