

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI WYBRANYCH PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH PRZY PRĄDZIE RÓŻNICOWYM O PODWYŻSZONEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Stanisław CZAPP¹

1. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk
tel.: (58) 347 13 98 fax: (58) 347 18 98 e-mail: s.czapp@ely.pg.gda.pl

Streszczenie: Jednym z podstawowych elementów wyłącznika różnicowoprądowego jest przekładnik prądowy. Dla zapewnienia skutecznej ochrony przeciwporażeniowej konieczna jest transformacja prądu różnicowego umożliwiająca zadziałanie wyzwalacza znajdującego się w obwodzie wtórnym przekładnika. Jak wynika z badań, podwyższona częstotliwość prądu różnicowego może niekorzystnie wpływać na przekładnik. W przypadku niektórych przekładników wraz ze wzrostem częstotliwości prądu pętla histerezy się znacznie poszerza, co uniemożliwia uzyskanie odpowiedniego napięcia w uzwojeniu wtórnym. W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wybranych przekładników prądowych przy prądach różnicowych o podwyższonej częstotliwości. Na tej podstawie można stwierdzić, że przekładnik prądowy może się przyczynić do nieprawidłowego działania wyłącznika różnicowoprądowego, jeżeli częstotliwość prądu różnicowego przekracza znamionową.

Słowa kluczowe: instalacje elektryczne, prądy różnicowe, przekładniki prądowe

1. INFORMACJE OGÓLNE

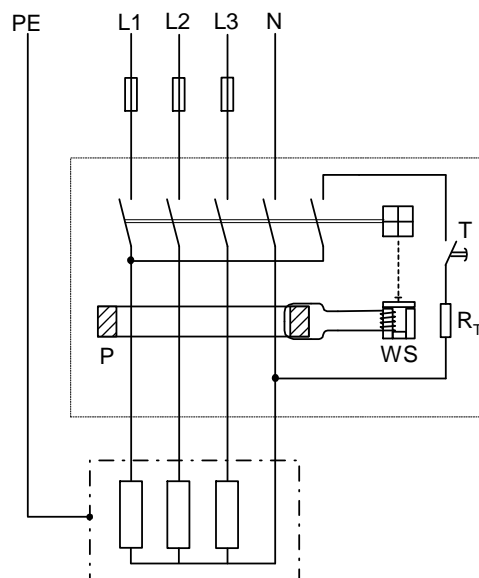
Charakterystyki powszechnie stosowanych wyłączników różnicowoprądowych są określane dla prądu o częstotliwości znamionowej, a więc 50/60 Hz [1]. Nie stawia się wymagań i nie bada działania wyłączników różnicowoprądowych przy przepływie prądu o podwyższonej częstotliwości. Wyjątkiem są wyłączniki do przetwornic częstotliwości i wtedy powinny prawidłowo wyzwalać najczęściej w zakresie 50÷400 Hz. W niektórych przemysłowych zastosowaniach, instaluje się wyłączniki wyzwalające przy prądach stałych oraz prądach przemiennych o różnej częstotliwości. Są to wyłączniki o specjalnej konstrukcji, stosuje się je sporadycznie ze względu na bardzo wysoką cenę, a ponadto do prawidłowego działania wymagają napięcia pomocniczego (wyzwalanie pośrednie) i w niniejszym opracowaniu nie będą analizowane.

Coraz szersze zastosowanie różnego rodzaju przetwornic częstotliwości powoduje, że w praktyce prądy różnicowe mogą mieć podwyższoną częstotliwość [2, 3]. Z przeprowadzonych badań wynika, że prąd zadziałania wyłączników różnicowoprądowych zależy od częstotliwości prądu różnicowego, do czego w dużej mierze przyczynia się przekładnik wyłącznika. Z reguły podwyższenie częstotliwości skutkuje pogarszaniem czułości zabezpieczenia, a w niektórych wa-

runkach powoduje, że zabezpieczenie w ogóle nie reaguje na prąd różnicowy, mimo że jego wartość znacznie przekracza znamionowy prąd różnicowy zadziałania.

2. ZAKRES I WYNIKI BADAŃ

Przekładnik prądowy jest jednym z podstawowych elementów wyłączników różnicowoprądowych. Przez okno przekładnika P powinny przechodzić wszystkie przewody czynne obwodu. Rysunek 1 przedstawia schemat wyłącznika różnicowoprądowego. Jeżeli stan izolacji obwodu jest poprawny i nie ma błędów w połączeniach, to suma wartości chwilowych prądów w przewodach czynnych jest równa zero, tzn. nie występuje prąd różnicowy I_{Δ} , w rdzeniu przekładnika P nie powstaje strumień magnetyczny i wyłącznik pozostaje zamknięty.



Rys. 1. Budowa wyłącznika różnicowoprądowego o działaniu niezależnym od napięcia sieci

Jeżeli w obwodzie pojawi się prąd różnicowy, np. w wyniku uszkodzenia izolacji, to suma prądów w przewodach czynnych nie będzie już równa zero. Pojawi się strumień

magnetyczny w rdzeniu przekładnika, który spowoduje przepływ w obwodzie wtórnym prądu wtórnego. Zadaniem przekładnika jest dostarczenie odpowiedniej mocy do wyzwalacza elektromechanicznego WS, który znajduje się w obwodzie wtórnym przekładnika. Moc dostarczana do wyzwalacza zależy będzie od wartości prądu wtórnego, natomiast wartość tego prądu jest uzależniona od wartości napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym.

Napięcie indukowane w uzwojeniu wtórnym przekładnika przy przepływie prądu różnicowego jest określone następującym równaniem:

$$E_s = 4,44 \cdot f \cdot N_s \cdot \Phi = 4,44 \cdot f \cdot N_s \cdot B \cdot s_{Fe} \quad (1)$$

gdzie:

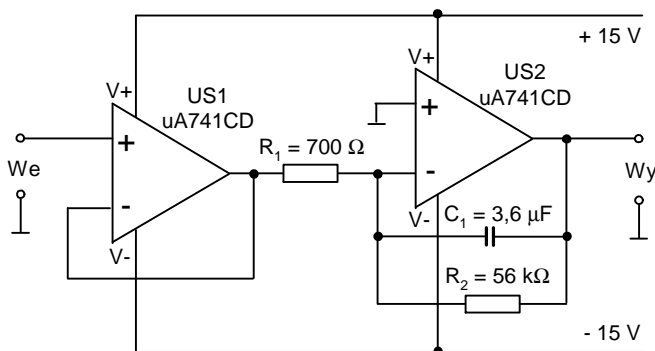
- f – częstotliwość prądu różnicowego,
- N_s – liczba zwojów uzwojenia wtórnego,
- Φ – strumień magnetyczny w rdzeniu przekładnika,
- B – indukcja w rdzeniu przekładnika,
- s_{Fe} – przekrój poprzeczny rdzenia.

Z równania (1) wynika, że przy niezmiennych innych wartościach, napięcie indukowane jest proporcjonalne do częstotliwości. Zatem wzrost częstotliwości powoduje zwiększanie się napięcia indukowanego, co jest tu zjawiskiem korzystnym. W praktyce dla oceny napięcia indukowanego po stronie wtórnej należy znać rzeczywisty przebieg indukcji w funkcji prądu różnicowego przy danej częstotliwości.

Jak wynika z badań napięcie indukowane w uzwojeniu wtórnym przekładników stosowanych do budowy wyłączników różnicowoprądowych nie zawsze wzrasta proporcjonalnie do rosnącej częstotliwości. Przebadano dwa rodzaje przekładników, przekładnik o zaokrąglonej pętli histerezy oraz przekładnik o płaskiej pętli histerezy. Przekładniki o zaokrąglonej pętli histerezy nadają się do budowy wyłączników typu AC, czyli takich, które mają wykrywać tylko prądy różnicowe sinusoidalnie zmienne. Przekładniki o płaskiej pętli histerezy stosuje się w wyłącznikach typu A, czyli takich, które oprócz prądów sinusoidalnie zmiennych powinny wykrywać prądy stałe o dużym tętnieniu.

Zakres badań obu przekładników obejmował pomiary pętli histerezy i napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym przy częstotliwościach z zakresu 50÷1000 Hz.

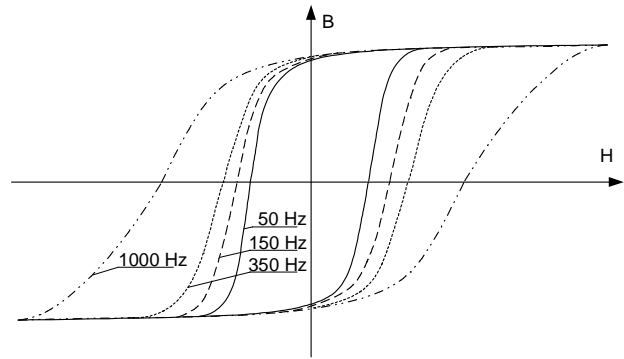
Badania pętli histerezy wykonano w układzie przedstawionym na rysunku 2. Zastosowano układ ze wzmacniaczami operacyjnymi, a do rejestracji odpowiednich przebiegów użyto oscyloskopu cyfrowego.



Rys. 2. Układ do badania pętli histerezy przekładników prądowych

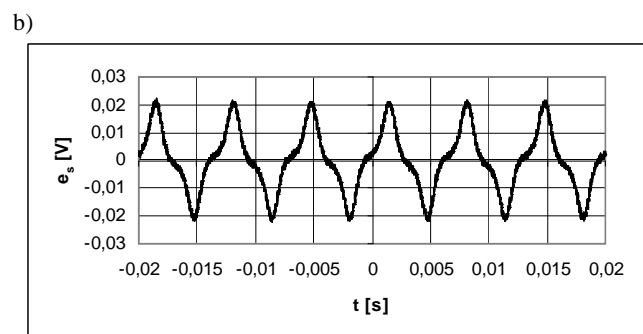
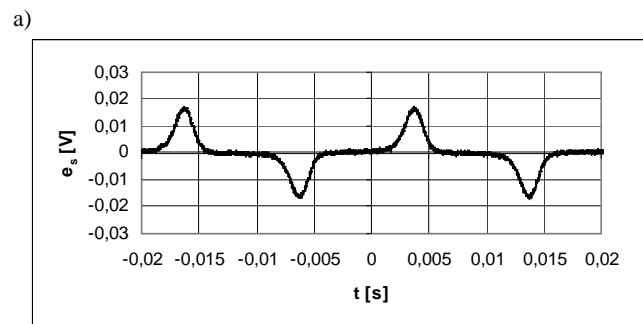
Rysunek 3 przedstawia pętle histerezy przy różnych częstotliwościach prądu pierwotnego dla przekładnika wy-

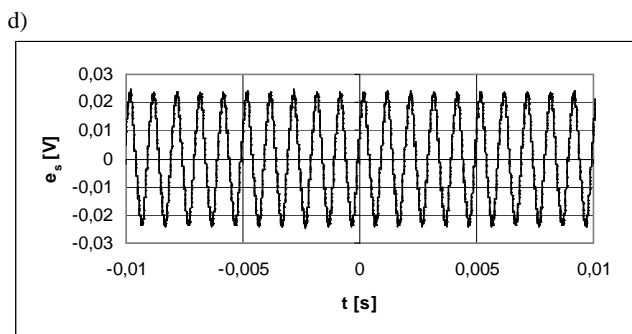
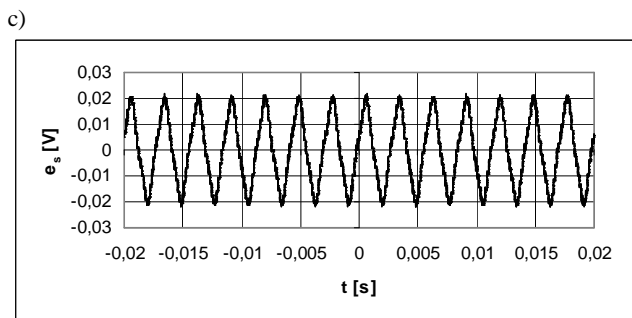
łącznika typu AC. Widać, że częstotliwość silnie wpływa na szerokość pętli histerezy. Poszerzająca się pętla histerezy wpływa niekorzystnie na wartość napięcia indukowanego. Aby otrzymać tę samą wartość indukcji, przy podwyższonej częstotliwości należy zwiększyć wartość natężenia pola, co jest związane z koniecznością zwiększenia prądu różnicowego. W takim przypadku wyłącznik różnicowoprądowy może zadziałać dopiero przy prądzie różnicowym wyraźnie wyższym niż przy częstotliwości 50 Hz, co może prowadzić do nieskutecznej ochrony przeciwporażeniowej.



Rys. 3. Pętle histerezy materiału magnetycznego przekładnika wyłącznika różnicowoprądowego typu AC o $I_{\Delta n} = 300$ mA przy przepływie prądu różnicowego $5I_{\Delta n} = 1500$ mA dla częstotliwości 50 Hz, 150 Hz, 350 Hz i 1000 Hz

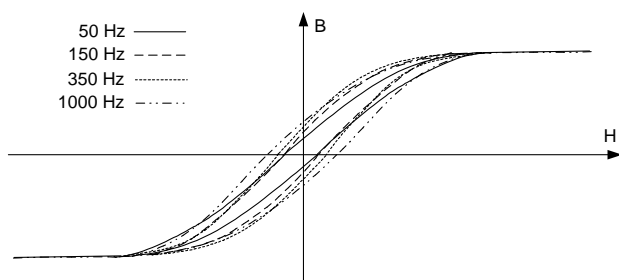
Rysunek 4 przedstawia przebiegi napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym przekładnika wyłącznika typu AC przy różnej częstotliwości prądu pierwotnego. Z przebiegów tych można wnioskować, że kilkukrotny wzrost częstotliwości prądu powoduje nieznaczny wzrost napięcia indukowanego. Przy rosnącej, wraz z częstotliwością, impedancji elementów znajdujących się w obwodzie wtórnym przekładnika oznacza to pogorszenie czułości wyłącznika różnicowoprądowego.





Rys. 4. Przebieg napięcia indukowanego po stronie wtórnej przekładnika wyłącznika różnicowoprądowego typu AC o $I_{\Delta n} = 300$ mA przy przepływie prądu różnicowego $I_{\Delta} = 300$ mA dla częstotliwości: a) 50 Hz, b) 150 Hz, c) 350 Hz, d) 1000 Hz

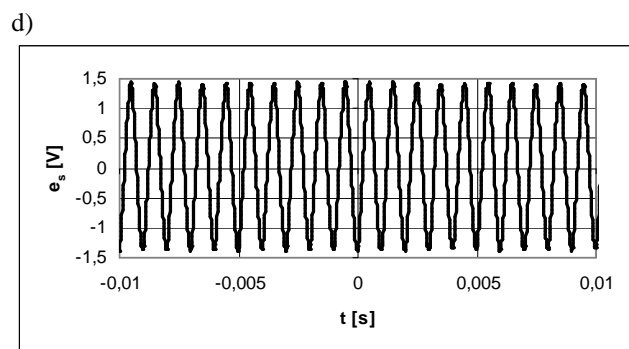
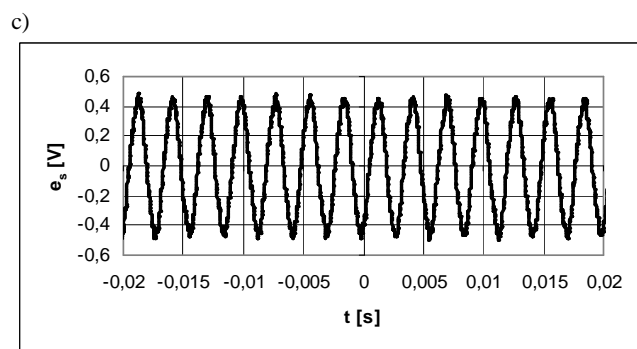
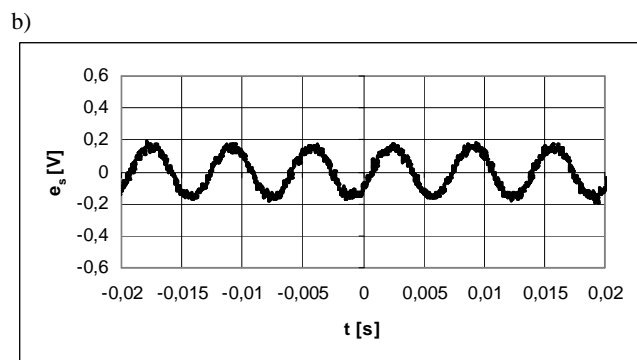
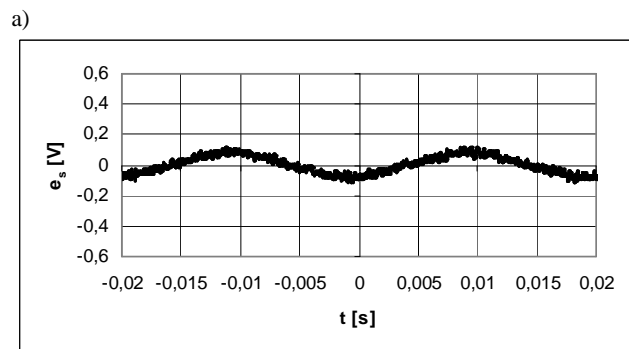
Rysunek 5 przedstawia pętle histerezy przy różnych częstotliwościach prądu pierwotnego dla przekładnika wyłącznika typu A. W przypadku tego przekładnika wyraźnie widać mniejszy wpływ częstotliwości na kształt pętli histerezy. Wraz z podwyższającą się częstotliwością prądu pierwotnego pętla histerezy poszerza się stosunkowo mało. Te korzystne właściwości mają odzwierciedlenie w przebiegach napięcia indukowanego (rys. 6).



Rys. 5. Pętle histerezy materiału magnetycznego przekładnika wyłącznika różnicowoprądowego typu A o $I_{\Delta n} = 30$ mA przy przepływie prądu różnicowego $5I_{\Delta n} = 150$ mA dla częstotliwości 50 Hz, 150 Hz, 350 Hz i 1000 Hz

Napięcie indukowane rośnie niemal proporcjonalnie do częstotliwości. Oprócz prawie liniowej zależności napięcia indukowanego od częstotliwości kształt napięcia indukowanego jest wyraźnie bardziej zbliżony do sinusoidalnego niż w przypadku przekładnika typu AC.

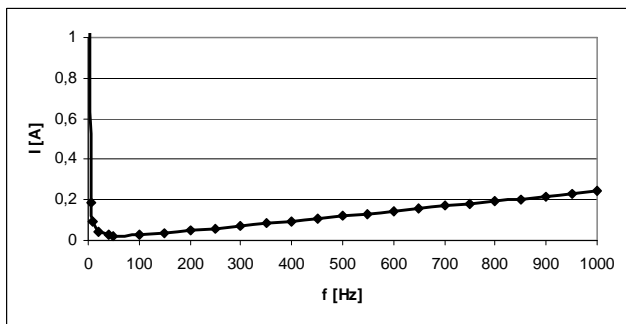
Stwarza to korzystniejsze warunki do działania wyzwalacza elektromechanicznego oraz ewentualnego układu elektronicznego, który jest instalowany w obwodzie wtórnym przekładnika, np. do zapewnienia zwłoki w działaniu w wyłącznikach selektywnych.



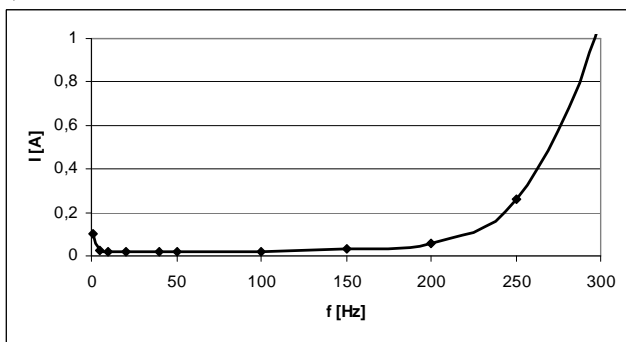
Rys. 6. Przebieg napięcia indukowanego po stronie wtórnej przekładnika wyłącznika różnicowoprądowego typu A o $I_{\Delta n} = 30$ mA przy przepływie prądu różnicowego $I_{\Delta} = 30$ mA dla częstotliwości: a) 50 Hz, b) 150 Hz, c) 350 Hz, d) 1000 Hz

Właściwości przekładnika wpływają na charakterystykę działania wyłącznika różnicowoprądowego. Wzrastająca częstotliwość prądu różnicowego, m.in. w wyniku poszerzenia się pętli histerezy rdzenia przekładnika, powoduje pogorszenie czułości zabezpieczenia. Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe charakterystyki działania wyłączników różnicowoprądowych typu AC o $I_{\Delta n} = 30$ mA.

a)



b)



Rys. 7. Prąd zadziałania w funkcji częstotliwości dla wyłączników różnicowoprądowych 30 mA typu AC, a) krótkozwłocznego, b) bezzwłocznego

W przypadku wyłącznika, którego charakterystyka działania w funkcji częstotliwości jest przedstawiona na rysunku 7a częstotliwość powoduje wzrost prądu zadziałania, ale w całym badanym zakresie (do 1000 Hz) wyłącznik wyzwał.

Wyłącznik o charakterystyce z rysunku 7b wyzwał tylko do częstotliwości 300 Hz, powyżej tej częstotliwości

nie reagował na prądy o wartości nawet kilku amperów. Do takiej charakterystyki działania w dużym stopniu przyczynia się przekładnik.

3. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone badania właściwości przekładników stosowanych w wyłącznikach różnicowoprądowych wykazały, że podwyższona częstotliwość prądu różnicowego może silnie wpływać na przekładnik. Jest to oddziaływanie niekorzystne. W przypadku niektórych typów przekładników pętla histerezy poszerza się na tyle, że uniemożliwia uzyskanie odpowiedniego napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym. Właściwości przekładnika są jedną z przyczyn nieprawidłowego działania zabezpieczeń różnicowoprądowych przy podwyższonej częstotliwości prądu różnicowego.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy.

4. BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN 61008-1:2005 (U) Sprzęt elektroinstalacyjny – Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnego RCCB – Część 1: Postanowienia ogólne.
2. PN-EN 61800-5-1:2005 Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości. Część 5-1: wymagania dotyczące bezpieczeństwa – elektryczne, cieplne, energetyczne.
3. PN-EN 50178:2003 Urządzenia elektroniczne do stosowania w instalacjach dużej mocy.

TESTING OF THE SELECTED CURRENT TRANSFORMERS UNDER RESIDUAL CURRENT FREQUENCY HIGHER THAN THE RATED VALUE

Key-words: electrical installations, residual currents, current transformers

One of the most important components inside residual current devices is a current transformer. Frequency of residual current impacts the current transformer behaviour. A hysteresis loop of some types of current transformers is significantly wider for higher frequency. It is a negative effect, because to achieve the same level of magnetic flux density in the current transformer core a higher value of residual current is necessary. In the paper results of the laboratory testing of the current transformers are described. The laboratory test proves that the current transformers properties under higher frequency may cause improper tripping of residual current devices.