

621.314.57  
62-83.025  
621.3.014.7

Wojciech BERKAN  
Piotr MAZUREK  
Andrzej MICHALSKI  
Andrzej PYTLAK  
Henryk ŚWIĄTEK

## ANALIZA PRĄDÓW ZASILANIA I PRĄDÓW UPŁYWU W PRZEWODACH OCHRONNYCH PRZEKSZTAŁTNIKA CZĘSTOTLIWOŚCI Z FALOWNIKIEM TRANZYSTOROWYM W UKŁADZIE NAPĘDOWYM PRĄDU PRZEMIENNEGO<sup>\*)</sup>

**STRESZCZENIE**      *Artykuł dotyczy przekształtnika częstotliwości sterowanego metodą PWM.*

*Dokonano analizy wpływu indukcyjności wejściowej na poziom harmonicznych generowanych do sieci zasilającej. Przeprowadzono pomiary prądu upływowego, płynącego w przewodzie ochronnym łączącym sieć zasilającą z przekształtnikiem oraz w przewodzie ochronnym łączącym przekształtnik z silnikiem. Mierzono również przebieg napięcia fazowego.*

---

<sup>\*)</sup> Praca wykonana w ramach projektu badawczego Nr 8 T10A 014 20, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2001 – 2002.

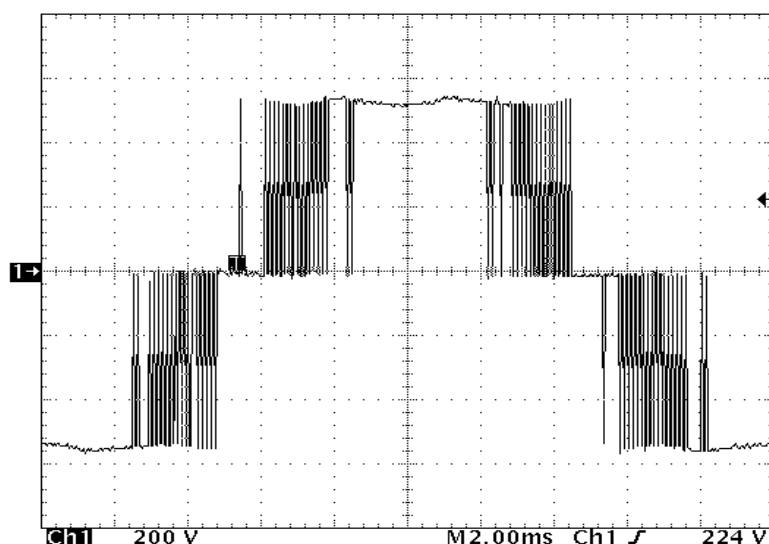
---

**mgr inż. W. BERKAN, mgr inż. P. MAZUREK, mgr inż. A. MICHALSKI,  
mgr inż. A. PYTLAK, mgr inż. H. ŚWIĄTEK**

Zakład Przekształtników Mocy  
Instytut Elektrotechniki

## 1. WPROWADZENIE

W układach napędowych prądu przemiennego małej i średniej mocy z częstotliwościową regulacją prędkości kątowej, znajduje powszechne zastosowanie przekształtnik częstotliwości z pośrednim obwodem prądu stałego. Przekształtnik składa się z prostownika diodowego oraz tranzystorowego falownika napięcia z modulacją szerokości impulsów (ang. PWM). W obwodzie prądu stałego przekształtnika jest stosowana bateria kondensatorów o dużej pojemności uwarunkowana zasadą działania falownika. Prąd pobierany z sieci energetycznej przez taki prostownik charakteryzuje się bardzo dużym odkształceniem od sinusoidy i szerokim spektrum harmonicznych odkształcających napięcie na zaciskach sieci szczególnie w miejscu przyłączenia przekształtnika.



**Rys.1. Oscylogram napięcia wyjściowego falownika tranzystorowego z modulacją szerokości impulsów PWM.**

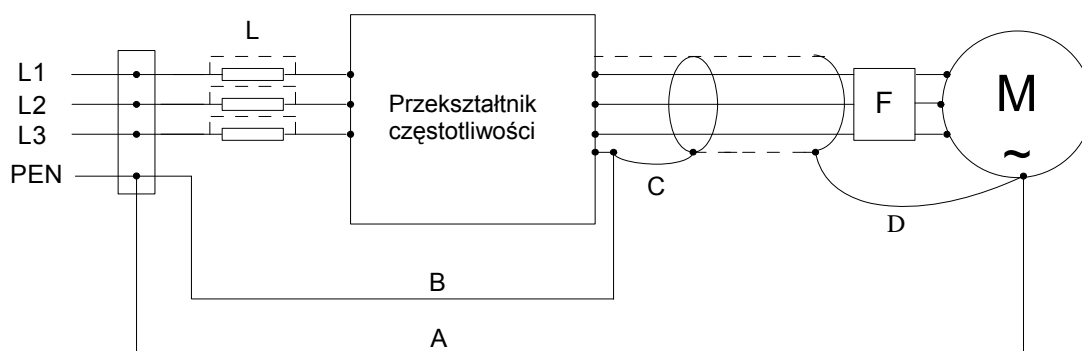
Napięcie wyjściowe falownika tranzystorowego z modulacją szerokości impulsów PWM, ma charakter ciągu prostokątnych impulsów o zmieniającej się szerokości oraz sekwencji powtarzania i biegunowości. Typowy przebieg napięcia wyjściowego jest przedstawiony na rys. 1. Szybkości zmian napięcia przy narastaniu i opadaniu przekraczają wartości  $1000 \text{ V}/\mu\text{s}$ . Tak szybkie zmiany napięcia wywołują prądy upływu przez: pojemności układu przekształtnikowego do obudowy, pojemności między uzwojeniami silnika, pojemności uzwojeń silnika do jego obudowy oraz pojemności przewodów fazowych łączących falownik z silnikiem do ich ekranu. Indukcyjności połączeń elektrycznych w fa-

lowniku jak i w obwodach połączeń z silnikiem, powodują, że przebiegi prądów upływu mają charakter oscylacyjny o wysokiej częstotliwości, emitując zakłócenia radioelektryczne o wysokim poziomie. Ponadto upływowy prąd pojemnościowy płynący w przewodzie ochronnym może utrudniać zastosowanie urządzenia różnicowo-prądowego jako środka ochrony przeciwporażeniowej pośredniej.

W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań prądu fazowego pobieranego z sieci energetycznej i prądu upływu w układzie napędowym z częstotliwościową regulacją prędkości kątowej przedstawionym na rys.2. Badany układ napędowy składa się z przekształtnika częstotliwości w wykonaniu przemysłowym oraz trójfazowego silnika asynchronicznego o mocy 7,5 kW.

## 2. KONFIGURACJA BADANEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO

Uproszczony schemat badanego układu przestawiono na rys.2. Zgodnie z zaleceniem producenta przekształtnika, połączenie z silnikiem zostało wykonane przewodami umieszczonymi w ekranie w celu ograniczenia emisji zakłóceń radioelektrycznych



**Rys.2. Uproszczony schemat badanego układu napędowego.**

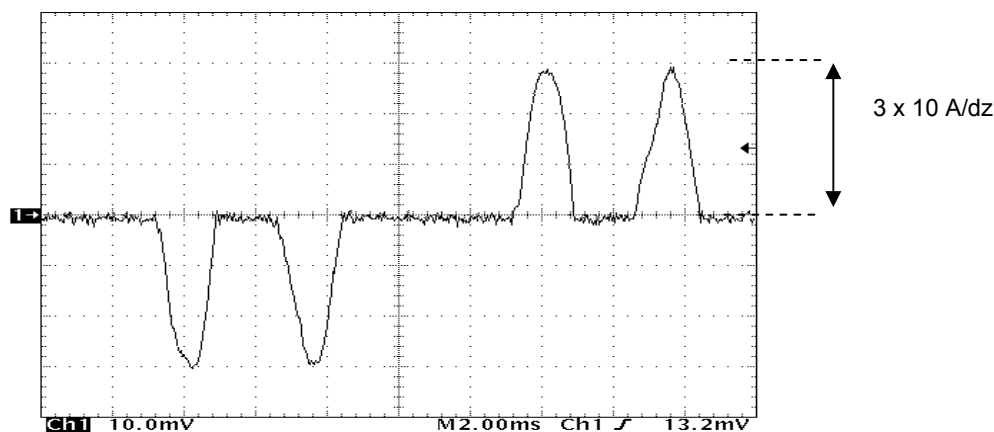
L – dławiki sieciowe, F – filtr LC.

Dla potrzeb pomiaru prądu upływu w ekranie wprowadzono zwory „C” i „D” umożliwiające założenie sondy prądowej. Przekształtnik był zasilany z sieci energetycznej trójfazowej  $3 \times 380$  V typu TNS, o mocy zainstalowanej 500 kVA.

### 3. PRĄD ZASILANIA PRZEKSZTAŁTNIKA I ODDZIAŁYWANIE NA SIĘĆ

Wprowadzane akty prawne i normatywne [1, 2, 3, 4] zobowiązują dostawców energii elektrycznej jak i odbiorców do przestrzegania wymagań dotyczących jakości energii elektrycznej tj. częstotliwości i napięcia. Jakość napięcia jest określana wieloma parametrami między innymi zawartością harmonicznymi.

Harmoniczne prądu pobieranego przez przekształtnik powodują na indukcyjnościach sieci zasilającej odkształcenia napięcia w punkcie przyłączenia przekształtnika jak również w innych odległych punktach sieci. Odkształcenia te nakładają się na odkształcenia wywołane przez inne odbiorniki dołączone do tej sieci. Znajomość harmonicznymi prądu pobieranego przez odbiornik oraz impedancji sieci i przyłącza są punktem wyjścia do określenia harmonicznymi napięcia generowanych przez odbiornik w punkcie jego przyłączenia do sieci zasilającej. Wytyczne dla określania harmonicznymi napięcia omówione zostały szczegółowo w normie PN-EN 61800-3.



Rys.3. Oscylogram prądu pobieranego z sieci przez przekształtnik bez dławików sieciowych. Skala prądu: 10 A/dz.

Harmoniczne prądu wpływają negatywnie na efektywność przesyłania energii elektrycznej szczególnie przy zasilaniu układów przekształtnikowych większej mocy.

W rozpatrywanym przypadku przekształtnika, z trójfazowym prostownikiem diodowym z dużą pojemnością i małą indukcyjnością w obwodzie prądu

stałego, zawartość harmonicznego prądu jest szczególnie wysoka i zależy jedynie od indukcyjności sieci i przyłącza do przekształtnika.

Przy doborze zabezpieczeń nadprądowych przekształtnika częstotliwości szczególnie w omawianej topologii należy:

1. Dobrać znamionową wartość prądu wyłącznika instalacyjnego do skutecznej wartości odkształconego przebiegu prądu zasilania przy znamionowym obciążeniu przekształtnika.
2. Dobrać wartość zadziałania wyzwalacza elektromagnetycznego wyłącznika instalacyjnego do prądu ładowania pojemności w obwodzie pośredniczącym przekształtnika, bezpośrednio po załączeniu napięcia.

Na rysunku 3 przedstawiono oscylogram prądu pobieranego z sieci energetycznej przez przekształtnik w warunkach pracy znamionowej układu napędowego. Prąd ma kształt charakterystyczny dla prostownika diodowego obciążonego pojemnością. Na rysunku 4 przedstawiono analizę zawartości harmonicznego prądu zasilania przekształtnika z której wynika, że znaczący udział mają harmoniczne 5, 7, 11 i 13, a wartości ich amplitud w stosunku do amplitudy harmonicznej podstawowej wynoszą odpowiednio 88,58 %, 65,64 %, 43,16 % i 19,68 %. Obliczony współczynnik zniekształceń prądu THD według zależności (1) wynosi 122%. Wartość szczytowa prądu wynosi około 30 A i jest prawie trzykrotnie wyższa od wartości skutecznej, co prowadzi do konieczności przewymiarowania urządzeń zabezpieczających w stosunku do mocy czynnej pobieranej przez układ napędowy.

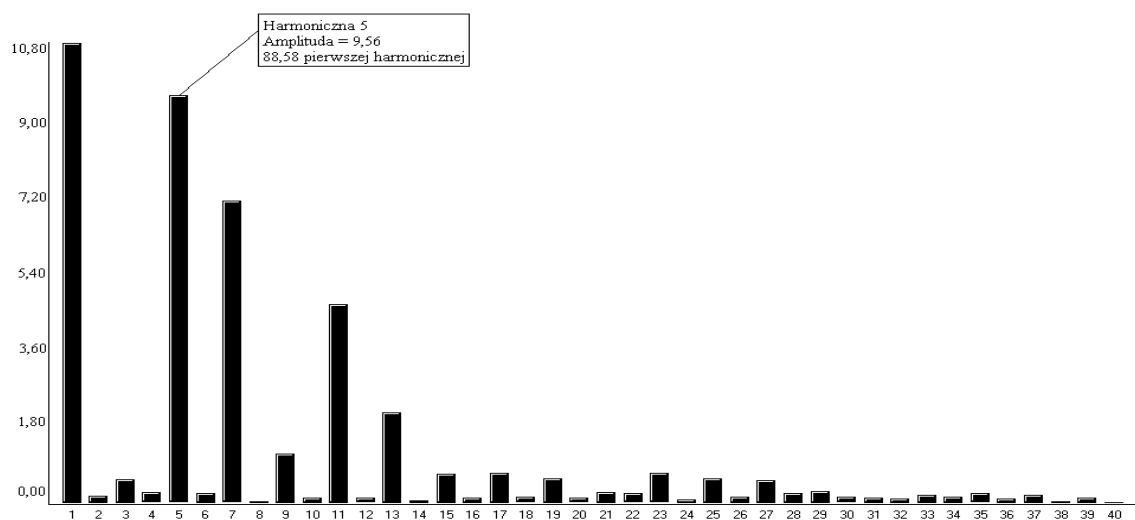
$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{n=H} \left(\frac{Q_n}{Q_1}\right)^2} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

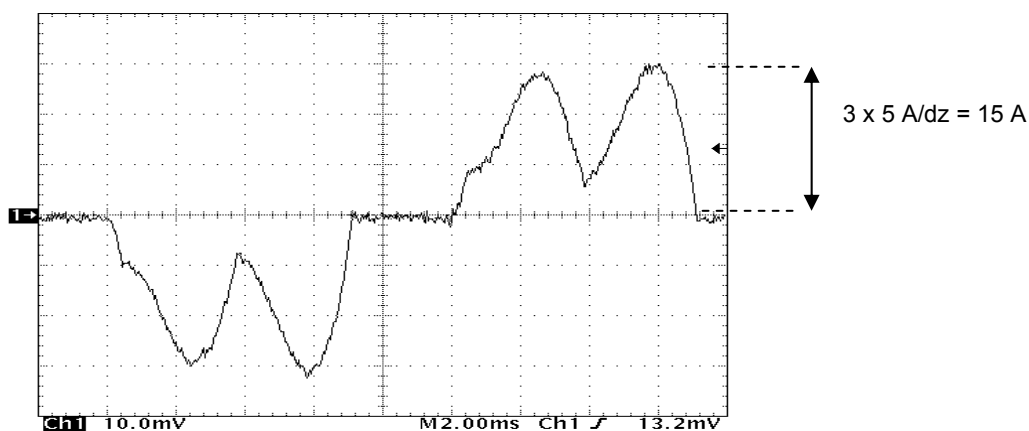
- $Q_1$  – wartość skuteczna składowej podstawowej (pierwszej harmonicznej),
- $Q_n$  – wartość skuteczna harmonicznej rzędu „n”,
- $N$  – rząd harmonicznej,
- $H$  – harmoniczna 40 – ta, przyjęta jako standardowa wg. [7]

Najprostszym i powszechnie stosowanym środkiem łagodzącym odkształcenie prądu są dławiki sieciowe włączane na wejściu przekształtnika. Na rysunku 5 przedstawiono oscylogram prądu pobieranego przez przekształtnik, w warunkach obciążenia układu napędowego jak na rys.3, ale po włączeniu w obwód zasilania przekształtnika typowego dławika trójfazowego L (rys.2).

Z pośród wielu odmian dławików dostępnych na rynku podzespołów energoelektronicznych zastosowano specjalnie przeznaczony dla tranzystorowych układów napędowych, dławik trójfazowy z firmy REO o parametrach: napięcie znamionowe  $3 \times 400 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ , prąd znamionowy  $16 \text{ A}$ , indukcyjność  $1,8 \text{ mH}$ , napięcie zwarcia  $4\%$ . W układzie zasilania przekształtnika poprzez dławik sieciowy, amplituda prądu pobieranego z sieci energetycznej jest dwa razy mniejsza w porównaniu z prądem pobieranym przy braku dławika. Wynika to z rys.3 i 5.

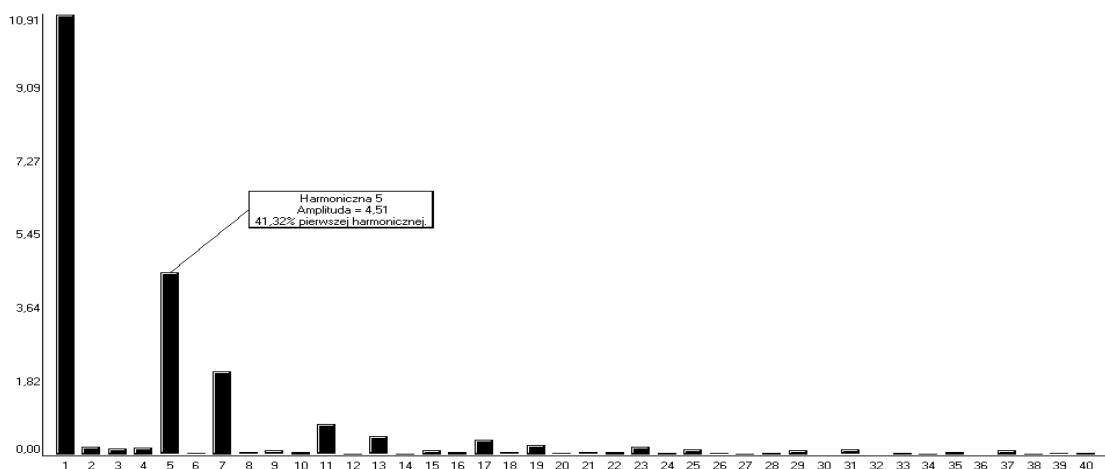


Rys.4. Udział harmoniczných w prądzie zasilania przekształtnika (bez dławików sieciowych).



Rys.5. Oscylogram prądu pobieranego z sieci przez przekształtnik z dławikami sieciowymi. Skala prądu:  $5 \text{ A/dz}$ .

Na rysunku 6 przedstawiono wykres udziału harmoniczných w prądzie zasilania przekształtnika po włączeniu dławika. Z przedstawionej analizy zawartości harmoniczných prądu zasilania przekształtnika wynika, że po włączeniu dławika udział harmoniczných 5, 7, 11 i 13, w stosunku do amplitudy harmonicznej podstawowej obniżył się do poziomów odpowiednio: 41,32%, 18,96%, 6,87% i 4,05%. Obliczony współczynnik zniekształceń prądu THD według zależności (1) wynosi 46,5%.



Rys.6. Udział harmoniczných w prądzie zasilania przekształtnika (z dławikami sieciowymi).

Przytoczone przykłady pokazują jak ważnym jest problem oddziaływania na sieć energetyczną przekształtnika częstotliwości z prostownikiem diodowym w obwodzie wejściowym i baterią kondensatorów w pośrednim obwodzie prądu stałego.

Przykładowy układ napędowy o mocy 7,5 kW ma poważne ograniczenia stosowania w sieciach publicznych jeśli moc zwarciova tych sieci jest mała. W takich przypadkach jest niezbędne stosowanie, niezależnie od dławików sieciowych, filtrów pojemnościowych w punkcie przyłączenia układu przekształtnikowego do sieci, zmniejszających zawartość wyższych harmoniczných napięcia do poziomu wymaganego aktami normatywnymi.

#### 4. PRĄDY UPŁYWU

Szybkie zmiany napięcia na zaworach prostownika w procesie komutacji prądu oraz w falowniku w wyniku komutacji tranzystorów realizujących modu-

lację PWM, generują do środowiska zakłócenia radioelektryczne oraz zakłócenia w pracy innych urządzeń elektronicznych. W celu eliminacji tych zakłóceń na wejściu prostownika stosuje się filtr od zakłóceń radioelektrycznych, zaś na wyjściu falownika ekranuje się przewody zasilające silnik.

Szybkie zmiany napięcia międzyprzewodowego na zaciskach silnika (rys.1) są źródłem symetrycznego prądu upływowego o znacznej wartości, płynącego przez pojemności międzyprzewodowe silnika. Przepływający symetryczny prąd upływowy istotnie nagrzewa zarówno uzwojenia silnika jak i przewody zasilające

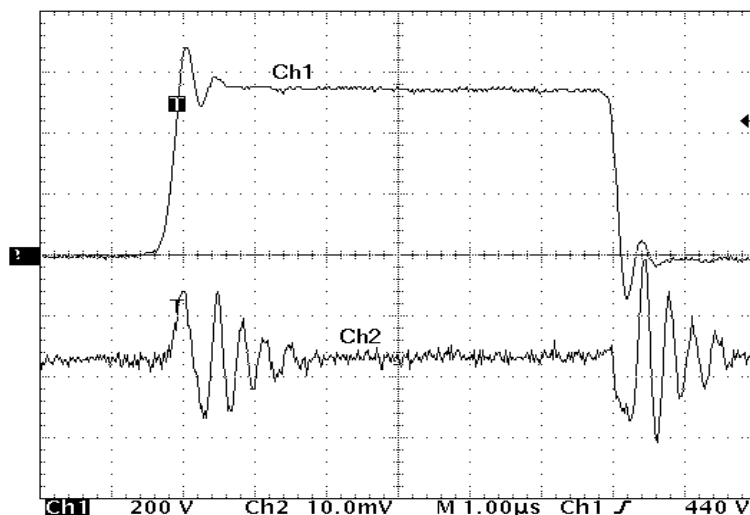
Natomiast przez pojemności przewodów zasilających, oraz uzwojeń silnika względem jego korpusu przepływa asymetryczny prąd upływu, który ma wpływ na prawidłowe funkcjonowanie wyłączników różnicowoprądowych. W przypadku złego wykonania ekranu lub jego uszkodzeniu, prąd ten może być przyczyną powstania niebezpiecznego dla obsługi napięcia dotykowego. Połączenie galwaniczne obudów przekształtnika i silnika za pomocą ekranu jest więc niewystarczające z punktu widzenia ochrony przeciwporażkowej.

Duże wartości stromości narastania napięcia w obwodzie wyjściowym przekształtnika wywołują prądy upływu przez pojemności między uzwojeniami silnika, pojemności uzwojeń do korpusu silnika oraz między przewodami fazowymi i ekranem tych przewodów. Wśród konstruktorów silników elektrycznych i przekształtników panuje przekonanie, że nadmierna stromość narastania napięcia na zaciskach silnika ma negatywny wpływ na trwałość izolacji. Występuje duże zróżnicowanie poglądów odnośnie stopnia intensywności degradacji izolacji w odniesieniu do wartości  $du/dt$ . W normie PN-EN 61800-1 dotyczącej układów napędowych z silnikami prądu stałego zasilanych z łącznika prądu stałego typu „czoper”, wprowadza się zalecenie ograniczenia stromości narastania napięcia do wartości  $du/dt \leq 500 \text{ V}/\mu\text{s}$ . Natomiast w normie PN-EN 61800-2 dotyczącej układów napędowych prądu przemiennego, wprowadza się zalecenie ograniczenia stromości narastania napięcia do wartości wyższej  $du/dt \leq 1500 \text{ V}/\mu\text{s}$  pomimo, że częstotliwość występowania impulsów napięcia na zaciskach silnika jest znacznie wyższa niż w układach napędowych prądu stałego. W publikacji [8] przedstawiono wyniki analizy zjawiska nierównomiernego rozkładu napięcia międzyzwojowego w cewkach fazowych silnika oraz między cewkami, wynikającego z dużej stromości narastania napięcia na zaciskach silnika. Brak jest jednak wystarczających doświadczeń eksploatacyjnych dla ilościowego zdefiniowania wpływu stromości narastania napięcia na trwałość izolacji silnika.

Przedstawione wyniki pomiarów dają obraz wartości prądów upływu w konkretnym układzie napędowym prądu przemiennego z falownikiem tranzystorowym. Rysunek 7 przedstawia oscylogram pojedynczego impulsu napięcia międzyprzewodowego na zaciskach silnika pracującego przy obciążeniu zna-

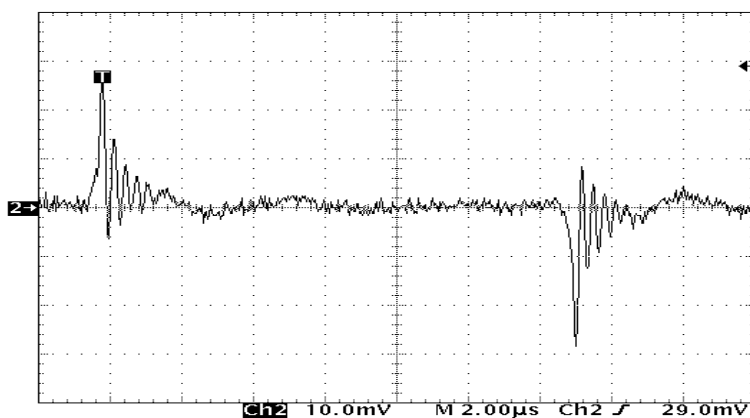


mionowym oraz prąd dopływający z falownika do silnika w wybranym przedziale czasu.



**Rys.7.** Pojedynczy impuls napięcia międzyprzewodowego na zaciskach silnika (Ch1 – 200V/dz) i prąd roboczy jednej fazy (CH2 – 10 A/dz).

W momentach narastania i opadania napięcia, na prąd roboczy silnika nakłada się prąd upływu o charakterze oscylacyjnym o wartości szczytowej osiągającej wartość 15 A. Prąd upływu ma składową zamykającą się przez pojemności międzyfazowe silnika oraz pojemności uzwojeń do obudowy silnika.

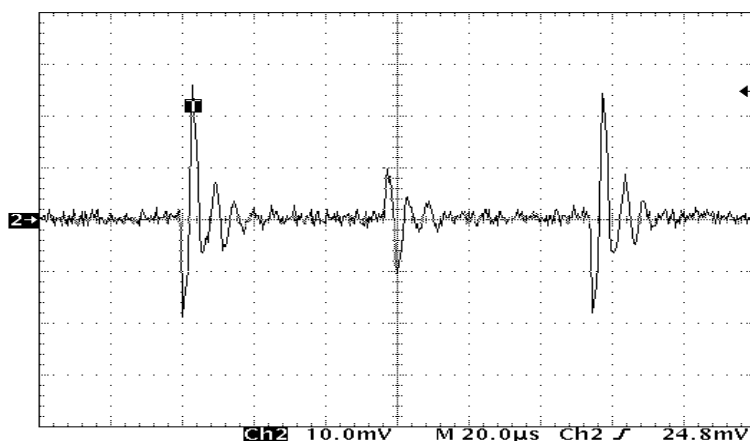


**Rys.8.** Prąd upływu w ekranie przewodów od strony silnika (pętla „C” na rys.2). Skala prądu 5 A/dz.

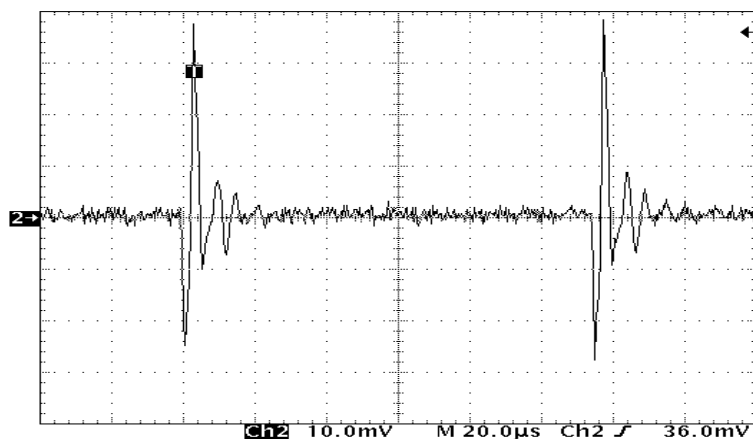
Rysunek 8 przedstawia oscylogram prądu upływu w ekranie od strony zacisków silnika zarejestrowany przy pomocy sondy prądowej związanej na pętli pomiarowej „C” (rys.2). W chwili narastania napięcia fazowego prąd upływu ma charakter oscylacyjny gasnący wysokiej częstotliwości o najwyższej amplitudzie 13,8 A. Przytoczone przykłady oscylogramów prądów upływu przez izolację silnika, o dużych amplitudach i wysokiej częstotliwości, wskazują na zagrożenie degradacją właściwości izolacyjnych.

## 5. PRĄD UPŁYWU W PRZEWODACH OCHRONNYCH

Na rysunku 9 i rys.10 przedstawiono oscylogramy prądów upływu w przewodach ochronnych „A” i „B” (rys.2), w wybranych przedziałach czasu, w stanie pracy ustalonej układu napędowego przy obciążeniu znamionowym. Prądy upływu są generowane w chwilach szybkich zmian napięcia na zaciskach silnika w stosunku do obudowy i mają charakter oscylacyjny gasnący o amplitudzie kilku amperów i częstotliwości podstawowej powyżej 150 kHz. Prądy upływu o tak dużych wartościach w przewodach ochronnych są źródłem silnych zakłóceń radioelektrycznych.



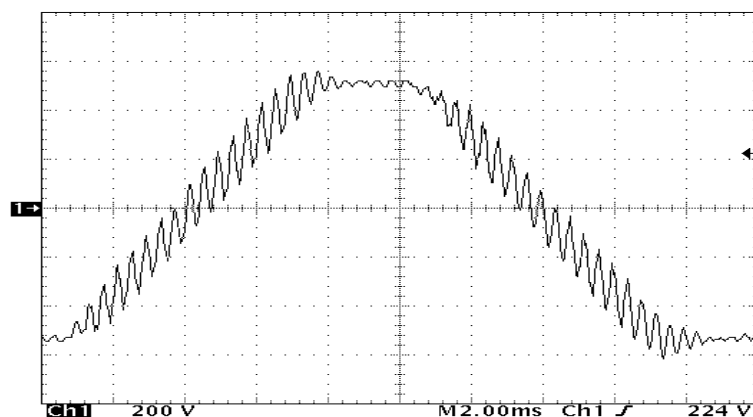
Rys.9. Prąd upływu w przewodzie ochronnym „A” (rys.2).  
Skala prądu 1 A/dz.



Rys.10. Prąd upływu w przewodzie ochronnym „B” (rys.2).  
Skala prądu 1 A/dz.

## 6. OGRANICZANIE SZYBKOŚCI ZMIAN NAPIĘCIA

Ograniczanie szybkości narastania napięcia na zaciskach silnika, a tym samym ograniczenie prądów upływu, można zrealizować przy pomocy filtrów LC lub odpowiednich dławików włączonych w przewody fazowe łączące falownik z silnikiem.

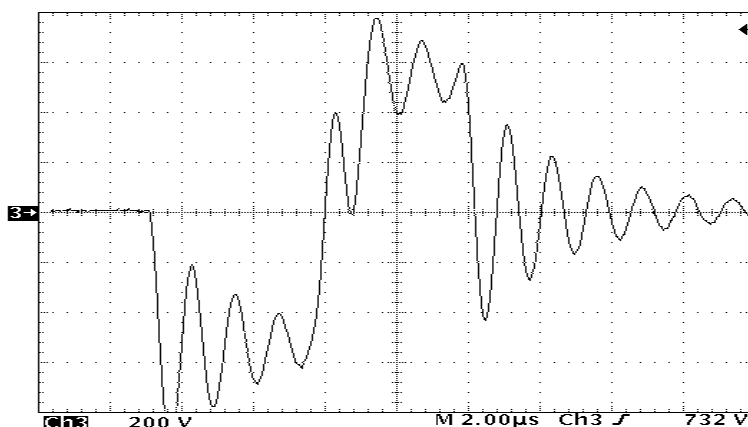


Rys.11. Oscylogram napięcia międzyprzewodowego na zaciskach silnika napędowego po włączeniu filtra sinusoidalnego.

Na rysunku 11 przedstawiono oscylogram napięcia międzyprzewodowego na zaciskach silnika napędowego w warunkach pracy znamionowej, po włączeniu standardowego filtra LC firmy REO, na prąd znamionowy 16 A. Sku-

teczność takiego filtru można ocenić porównując oscylogram napięcia na rys.11 z oscylogramem napięcia na rys.1. Filtr zdecydowanie ogranicza szybkość zmian napięcia na zaciskach silnika do wartości wynikającej z narastania sinusoïdy o częstotliwości ok. 2,5 kHz tj. częstotliwości modulacji PWM falownika tranzystorowego.

Stosowanie dławików jest mniej skutecznym środkiem, bowiem dodatkowa indukcyjność włączona w przewody fazowe powoduje jedynie obniżenie częstotliwości drgań gasnących napięcia generowanego w chwilach komutacji tranzystorów, co pokazuje oscylogram na rys.12.



**Rys.12. Oscylogram napięcia międzyprzewodowego na zaciskach silnika napędowego (w wybranym przedziale czasu) – po włączeniu dławików zmniejszających  $du/dt$ .**

## 7. WNIOSKI

1. Przekształtnik częstotliwości z prostownikiem diodowym i baterią kondensatorów w obwodzie pośrednim prądu stałego, oraz z falownikiem tranzystorowym, z modulacją szerokości impulsów PWM stosowany do częstotliwościowej regulacji prędkości kątowej silników prądu przemiennego, pobiera impulsowo z sieci energetycznej prąd o dużej wartości szczytowej w stosunku do wartości skutecznej. W każdym przypadku podejmowania decyzji instalowania i przyłączania do sieci przekształtnika, niezależnie od jego mocy znamionowej, należy analizować stopień kompatybilności elektromagnetycznej na zgodność z obowiązującymi normami i przepisami. Rozpatrywany przekształtnik częstotliwości dla spełnienia wymagań kompatybilności elektromagnetycznej

napięcia wymaga włączania dławików sieciowych, a jeśli to jest niewystarczające, włączenia filtrów pojemnościowych.

2. Prądy upływowe w przekształtnikowym układzie napędowym z modulacją PWM, są spowodowane szybkimi zmianami napięcia  $du/dt$  na wyjściu falownika i pojemnościami między uzwojeniami silnika, pojemnościami uzwojeń silnika do obudowy oraz pojemnościami przewodów zasilających silnik do ich ekranu. Prądy upływu płynące w przewodach zasilających silnik, generowane z częstotliwością PWM mają charakter drgań gasnących wysokiej częstotliwości o dużej amplitudzie osiągającej wartość 15 A.

3. Duże szybkości zmian napięcia  $du/dt$  na zaciskach silnika oraz prądy upływowe mogą mieć negatywny wpływ na trwałość izolacji silnika elektrycznego.

4. Prądy upływu mają istotny wpływ na dobór prądu zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego. Dobór znamionowego prądu wyłącznika różnicowego jest zależny od sumarycznego prądu z przewodów ochronnych. Badany układ, bez dławików sieciowych i filtrów, wymagał zastosowania w warunkach pracy znamionowej, wyłącznika różnicowoprądowego o prądzie zadziałania  $\Delta = 300$  mA.

5. Zastosowanie filtra sinusoidalnego między falownikiem i silnikiem napędowym eliminuje harmoniczne napięcia rzędu wyższego od częstotliwości modulacji PWM przekształtnika (2,5 kHz) co zdecydowanie ogranicza prądy upływu.

## LITERATURA

1. *Prawo energetyczne*. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r., Dz. U. RP nr 54 z 04. 06 1997 r., poz. 348.
2. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, pokrywania kosztów przyłączenia, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego, eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców*. Dz. U. RP nr 135 z 21.10.1998 r., poz. 881.
3. PN-EN 61000-2-4, 1997 r.: *Kompatybilność elektromagnetyczna. Środowisko. Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych*.
4. PN-EN 61000-3-2, 1997 r.: *Kompatybilność elektromagnetyczna. Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika  $\leq 16$  A)*
5. PN-EN 61800-1, 2000 r.: *Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości. Wymagania ogólne. Dane znamionowe niskonapięciowych układów napędowych mocy prądu stałego o regulowanej prędkości*.
6. PN-EN 61800-2, 2000 r.: *Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości. Wymagania ogólne. Dane znamionowe niskonapięciowych układów napędowych mocy prądu przemiennego o regulowanej częstotliwości*.

7. PN-EN 61800-3, 1999 r.: *Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości. Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) z uwzględnieniem specjalnych metod badań.*
8. Gubbala L., Von Jouanne A., Enjeti P., Singh C., Toliyat H.: „Voltage Distribution in the windings of an AC motor subjected to high du/dt PWM voltages”, PESC 95 Conf. Proc., Atlanta USA.

*Rękopis dostarczono, dnia 18.04.2003 r.*

**Opiniował: prof. dr hab. Marian P. Kaźmierkowski**

## ANALYSIS OF SUPPLYING AND LEAKAGE CURRENTS OF TRANSISTOR CONVERTER IN A.C. DRIVE SYSTEM

W. BERKAN, P. MAZUREK, A. MICHALSKI,  
A. PYTLAK, H. ŚWIĄTEK

**SUMMARY**      *The paper deal with input current of frequency converter with transistor inverter, which is controlled in PWM system.*

*Input inductance influence on the level of currents harmonic in the network is analyzed. Leakage current protective conductors between network and converter as well between converter and motor are measured. The waveform of voltage between phase and neutral line is measured, too.*

**Mgr inż. Wojciech Berkan** absolwent Wydziału Komunikacji (1959) i Wydziału Elektrycznego (1963) Politechniki Warszawskiej. Jest pracownikiem Instytutu Elektrotechniki od 1963 r., obecnie adiunkt w Zakładzie Przekształtników Mocy. Specjalizuje się w zakresie projektowania przekształtników energoelektronicznych do zastosowań nienapędowych, zwłaszcza dla nagrzewania indukcyjnego podwyższonej częstotliwości. Autor lub współautor blisko pięćdziesięciu artykułów publikowanych w prasie naukowo-technicznej i materiałach konferencji zagranicznych i krajowych oraz czterech patentów. Laureat kilku zespołowych nagród w ogólnopolskich konkursach na prace z dziedziny energoelektroniki, kilkakrotnie nagradzany nagrodami resortowymi. Kilkanaście nagród zespołowych w konkursach Dyrektora IEL na najlepszą pracę naukowo – badawczą. Członek SEP.



**Mgr inż. Piotr Mazurek** urodził się w roku 1975. Stopień magistra uzyskał na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lubelskiej w 2001 roku. W tym samym roku rozpoczął pracę w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie. Specjalizuje się w energoelektronicznych układach przekształtnikowych dla napędów elektrycznych i grzejnictwa indukcyjnego.