

Andrzej Sikora
Politechnika Śląska, Gliwice

IDENTYFIKACJA WARUNKÓW PRACY TRANSFORMATORÓW ZASILAJĄCYCH PRZEKSZTAŁTNIKI AC/DC/AC

IDENTIFYING OPERATING CONDITIONS OF TRANSFORMERS SUPPLYING AC/DC/AC CONVERTERS

Abstract: The upshot of the ongoing development of energy-transforming systems is that devices used in power engineering meet with more difficult operating conditions when they co-operate directly with power electronics circuits. High efficiency of power electronics circuits is achieved by switching power electronics elements on and off, often it is accomplished with PWM modulation. This approach causes emergence of very fast voltage gradients in the circuit, occurring at switching frequency. This may in turn adversely affect some elements of energy-transforming systems. We find such circuits in case of electric motors supplied from power electronic converters, power electronics circuits for battery chargers, power electronics circuits used to transform ecological energy obtained e.g. from solar batteries. We may cite here the example of inverters supplying induction motors; using inverters forced manufacturers to increase insulation level in these motors. Similar problem is encountered in case of using standard power engineering transformer in the circuit with power electronics supply. The conducted tests of transformer oil show that after c. 5 years operation the oil had deeply degraded and this bears negative impact on insulation quality and significantly threatens transformer's life time.

1. Wstęp

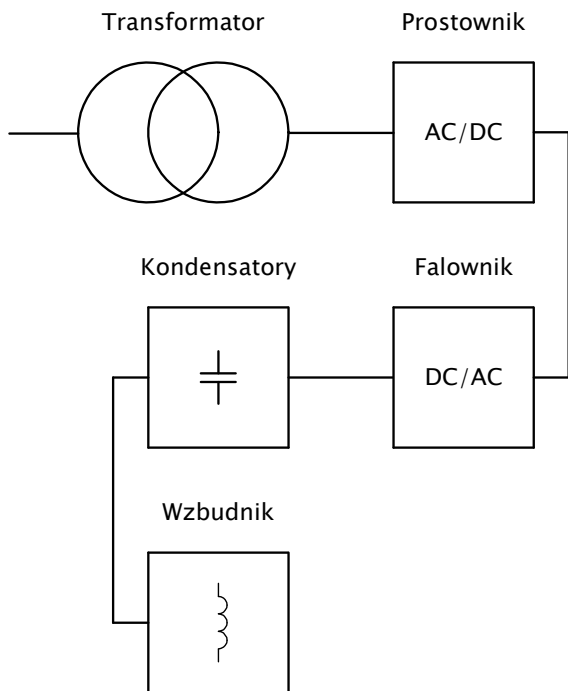
Współczesny rozwój układów przetwarzających energię powoduje, że urządzenia stosowane w energetyce należy dostosować do trudniejszych warunków pracy w przypadku ich bezpośredniej współpracy z układami energoelektronicznymi. Dużą sprawność układów energoelektronicznych uzyskuje się dzięki dwustanowej pracy kluczy energoelektronicznych (załączony/wyłączony) realizowanej często poprzez modulację PWM. Takie podejście powoduje bardzo szybkie skoki napięcia w układzie występujące z częstotliwością przełączania, co może mieć negatywny wpływ na pewne elementy układu przetwarzania energii. Z tego typu układami mamy do czynienia w przypadku: energoelektronicznych układów zasilania silnika^{*)}, energoelektronicznych układów ładowania baterii akumulatorów, energoelektronicznych układów przetwarzających ekologiczną energię np. z baterii słonecznych. Jako przykład można podać, że zastosowanie falowników do zasilania silników indukcyjnych wymusiło podwyższenie poziomu izolacji zwojowej tych silników.

*) badania realizowane w ramach grantu nr N N510 326 637 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Podobny problem pojawia się w przypadku zastosowania standardowego transformatora energetycznego współpracującego z energoelektronicznym układem zasilania. Przeprowadzone badania oleju transformatora pracującego we wspomnianym układzie pokazują, że po upływie około 5 lat olej i papierowa izolacja zwojowa uległy głębokiej degradacji, co negatywnie wpływa na jakość izolacji i istotnie zagraża żywotności transformatora.

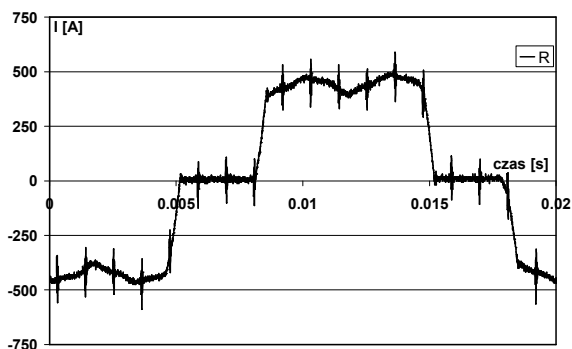
2. Układ zasilania pieca indukcyjnego

Przykładem, który posłuży do dalszych rozważań jest układ zasilania pieca indukcyjnego składający się z transformatora o mocy 670kVA, prostownika i falownika. Schemat układu przedstawiono na rysunku 1. Transformator ten posiada uzwojenie pierwotne połączone w trójkąt zaś jego uzwojenie wtórne połączone jest w gwiazdę z izolowanym punktem neutralnym, co wynika ze specyfiki konstrukcji układu pieca indukcyjnego chłodzonego wodą. Pomimo, że prąd pobierany z transformatora jest znacznie odkształcony, co wynika z pracy transformatora na prostownik, napięcia międzyfazowe mają przebiegi sinusoidalne lekko odkształcone.

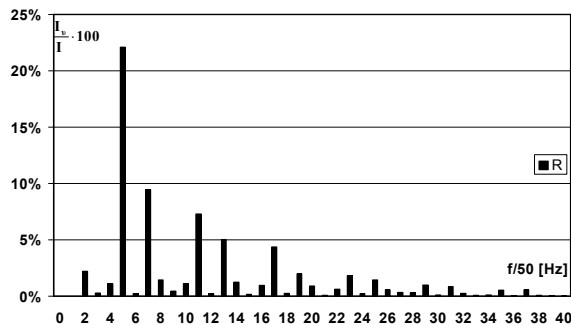


Rys. 1. Schemat układu zasilania pieca indukcyjnego

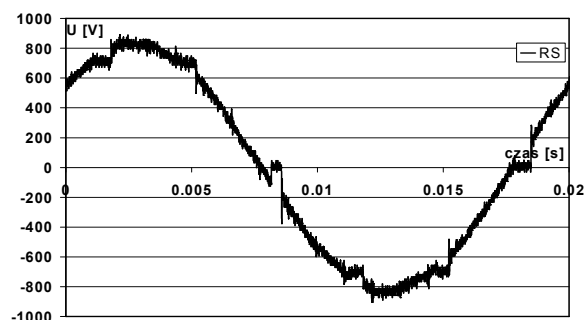
Brak uziemienia punktu neutralnego gwiazdy pozwala na występowanie dowolnego napięcia między punktem neutralnym gwiazdy, a uziemieniem transformatora. Przełączenie kluczy w układzie energoelektronicznym powoduje, że napięcie to ulega zmianie. Klucze falownika pracują dwustanowo szybko zmieniając napięcie na wyjściu falownika, przez co szybko też następuje zmiana napięcia między punktem neutralnym gwiazdy, a uziemieniem transformatora. Ponadto falownik ten pracuje z częstotliwością około 400 Hz, więc napięcie między punktem neutralnym gwiazdy, a uziemieniem transformatora zmienia się z taką samą częstotliwością.



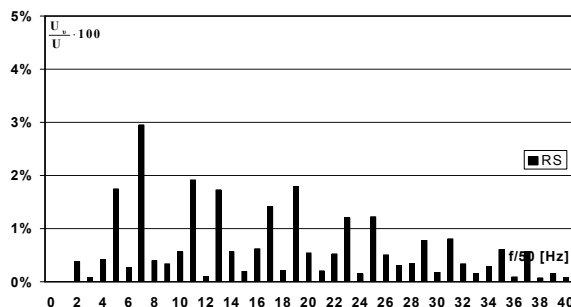
Rys. 2. Przebieg prądu jednej fazy pobieranego z transformatora



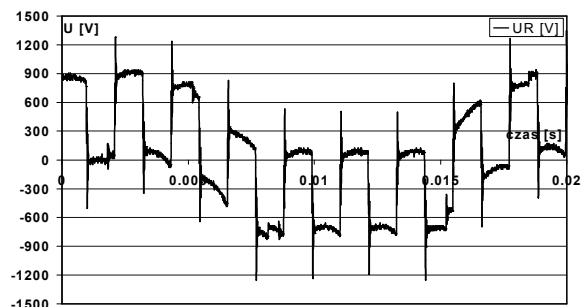
Rys. 3. Widmo wyższych harmonicznych (bez 1-ej) prądu pobieranego z transformatora obliczone z przebiegu przedstawionego na rys. 2



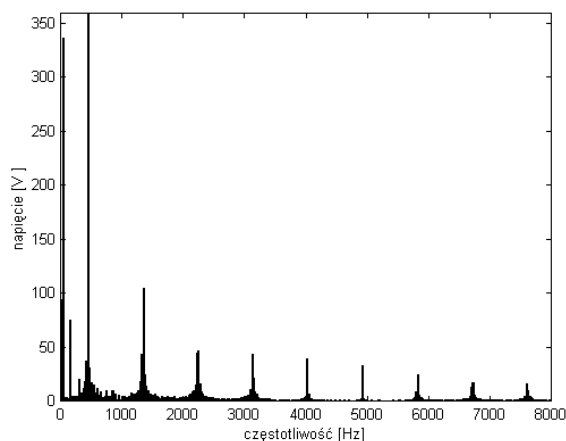
Rys. 4. Przebieg napięcia międzyfazowego po stronie nn transformatora



Rys. 5. Widmo wyższych harmonicznych (bez 1-ej) napięcia międzyfazowego po stronie nn transformatora obliczone z przebiegu przedstawionego na rys. 4



Rys. 6. Przebieg napięcia fazowego po stronie nn transformatora (mierzone względem uziemienia kadzi olejowej transformatora)



Rys. 7. Widmo napięcia fazowego po stronie nn transformatora z rys. 6

3. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że odkształcenia prądów transformatora od strony przekształtnika są znaczne i wynikają z pracy transformatora na prostownik. Zawartość harmonicznnych w prądzie THDi, przedstawionym na rys.2, wynosi 26%. W prądzie tym dominuje 5-ta harmoniczna, co wynika z zastosowania 6-cio pulsowego układu prostownikowego. Napięcia międzyfazowe są odkształcone w niewielkim stopniu. Zawartość harmonicznnych w napięciu międzyfazowym THDu przedstawionym na rys.4 THD wynosi 5.5%. Zawartość harmonicznnych w napięciu między fazą, a uziemieniem kadzi olejowej transformatora przedstawionym na rys.6 THDu_f wynosi 113%. Z wykonanych pomiarów wynika, że zagrożeniem dla izolacji papierowej transformatora jest szybkość zmiany napięcia fazowego. Szybkość zmiany napięcia między fazą, a uziemieniem transformatora, w tym przypadku, wynosi 115V/μs, dla porównania szybkość zmiany napięcia międzyprzewodowego po stronie wtórnej transformatora wynosi około 0.25 V/μs. Duża szybkość narastania napięcia powoduje, że napięcie na zwojach (w czasie tych zmian pikowych napięcia – rys.6) rozkłada się nierównomiernie na poszczególnych zwojach uzwojenia transformatora, co stawia większe wymagania dla izolacji zwojowej transformatorów, a w przykładowym transformatorze doprowadziło do szybkiej i głębokiej degradacji papierowej izolacji zwojowej.

4. Literatura

[1]. Polska Norma PN-83/E-06040. Transformatory. Wymagania ogólne.

[2]. Glinka T., Jakubiec M., Kłapciński K., Kulesz B.: Wyładowania niezupełne w izolacji zwojowej maszyn elektrycznych zasilanych z falowników PWM. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne BOBRME KOMEL, Nr 62/2001, s. 17 – 22, ISSN 0239-3646. Wyd. BOBRME KOMEL, Katowice.

[3]. Ramowa Instrukcja Eksploatacji Transformatorów. ZPBE Energopomiary-Elektryka, Gliwice, 2006r.

[4]. Florkowska, B. Florkowski, M. Roehrich, J. Zydron, P. The influence of PWM stresses on degradation processes in electrical insulation systems .2010 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), 17-20 Oct. 2010, Pages 1 – 4.

[5]. Glinka T., Kulesz B.: Badania wyładowań niezupełnych w izolacji zwojowej maszyn indukcyjnych zasilanych z falowników PWM. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., ELEKTRYKA z.173, str. 7-16. Gliwice 2000. PL ISSN 0072-4688.

[6]. Glinka T., Kulesz B.: Wyładowania niezupełne w izolacji zwojowej silników indukcyjnych zasilanych z falowników PWM. Prace Naukowe Instytutu Maszyn Elektrycznych Pol. Wrocławskiej, 2000 r. nr 49 ISSN 0084-294X str. 96-103.

[7]. Opis patentowy PL 210409 B1: Sposób badania diagnostycznego izolacji zwojowej. Właściciel BOBRME KOMEL.

[8]. Heinemann, L.: An actively cooled high power, high frequency transformer with high insulation capability. Proc. of Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002. APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE, 2002. Volume 1, pages 352 – 357.

[9]. Kulesz B., Duda D., Maźniewski K.: Porównanie pomiaru WNZ w silnikach indukcyjnych małej mocy metodą elektryczną i akustyczną. Zeszyty Problemowe BOBRME KOMEL, Nr 66/2003, str. 141-146. Wyd. BOBRME KOMEL.

[10]. Kohtoh M., Ueta G., Okabe S., Amimoto T.: Transformer insulating oil characteristic changes observed using accelerated degradation in consideration of field transformer conditions . IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, June 2010, volume 17, issue 3, pages 808 – 818.

[11]. Kulesz B.: The Influence of Winding Insulation's Impregnation on Partial Discharges Corona Inception Voltage. Proceedings of 15th International Conference on Electrical Machines ICEM Brugge, Belgium 2002, paper 183 (CD-ROM with Conf.Proc.).

[12]. Hyypio D.B.: Effects of risetime and cable length on motor insulation degradation resulting from operation on PWM voltage source inverters . IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record, 1997, pages TC3/2.1 - TC3/2.3

[13]. Kulesz B., Urbańczyk M., Witos F.: Metoda akustyczna pomiaru wyładowań niezupełnych w izolacji zwojowej silników indukcyjnych małej mocy.

Wiadomości Elektrotechniczne, Nr 7-8/2003, str. 330-333. ISSN 0043-5112.

Autor

dr inż. Andrzej Sikora
Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Elektryczny, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej i Informatyki, Zakład Inżynierii Elektrycznej w Transporcie ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, tel. (32) 237 12 58, Andrzej.Sikora@polsl.pl

Artykuł jest fragmentem grantu finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N510 326637.