

Piotr MYSIAK¹

WIELOPULSOWY PRZEKSZTAŁTNIK DIODOWY – ANALIZA PRACY ZASTOSOWANEGO TRÓJFAZOWEGO DŁAWIKA SPRZĘŻONEGO

W artykule przedstawiono analizę pracy trójfazowego dławika sprzężonego TDS, zastosowanego w układzie dwunastopulsowego przekształtnika diodowego. Dzięki zastosowaniu zestawu sieciowych trójfazowych dławików sprzężonych, prezentowany przekształtnik pozwala, niewielkim kosztem, znacznie zredukować niepożądane wyższe harmoniczne, głównie rzędu 5 i 7, w przebiegu prądu sieciowego.

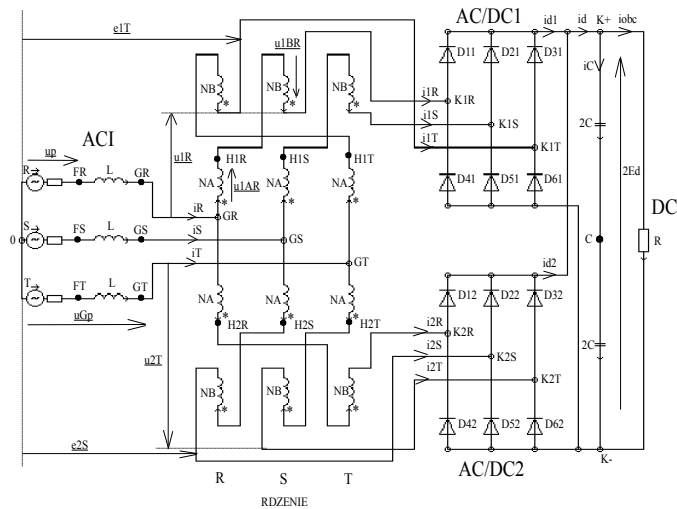
1 WSTĘP

Przekształtnik będący przedmiotem artykułu jest układem charakteryzującym się bardzo niskim poziomem zawartości wyższych harmonicznych prądu, generowanych do sieci zasilającej (6-7%) [5]. Główny zakres zastosowań układu dotyczy zasilania odbiorników wymagających stałego napięcia, w tym także obwodów pośredniczących napięcia stałego w złożonych przemiennikach częstotliwości [3]. Wielopulsowy charakter pracy układu decyduje o redukcji głównie 5 i 7 harmonicznej prądu pobieranego z sieci. Koszt układu jest relatywnie niski, ponieważ nie jest wymagany transformator sieciowy, a moce zastosowanych układów magnetycznych stanowią mniej niż 20% mocy po stronie prądu stałego. Prostota struktury układu stanowi o dużej jego niezawodności. Do innych korzystnych właściwości rozpatrywanego układu należy zaliczyć: wysoką sprawność energetyczną, niski pobór mocy biernej przesunięcia i odkształcenia, dobre właściwości dynamiczne oraz wysoką przeciążalność.

2 UKŁAD PRZEKSZTAŁTNIKA WIELOPULSOWEGO Z SIECIOWYM TRÓJFAZOWYM DŁAWIKIEM SPRZĘŻONYM

Na rysunku 1 przedstawiono schemat ideowy 12-pulsowego prostownika niesterowanego z trójfazowym dławikiem sprzężonym. Przekształtnik zasilany jest z sieci trójfazowej o napięciu fazowym u_p ($p = R, S, T$). W jego obwodzie wejściowym znajdują się dławiki sieciowe L i trójfazowy dławik sprzężony TDS, który sprzęga dwa symetryczne systemy trójfazowe. Po stronie DC występują dwa jednakowe sprzętowo układy, obciążone jedną impedancją (AC/DC1 i AC/DC2). Zaciski wyjściowe dławika TDS są połączone z gałęziami fazowymi dwóch diodowych, trójfazowych układów mostkowych o równolegle połączonych zaciskach wyjściowych, do których jest podłączony kondensator filtrujący o pojemności C.

¹ Akademia Morska w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej, 81-225 Gdynia, ul. Morska 81-87, tel. (0-58) 6901471, e-mail: mysiak@am.gdynia.pl



Rys.1. Schemat ideowy prostownika dwunastopulsowego z układem TDS

Dławik TDS wykonany jest w postaci trzech oddzielnych rdzeni jednofazowych bez szczeliny powietrznej, na których nawinięto po trzy wzajemnie sprzężone uzwojenia. Zadaniem zespołu dławików składających się na TDS, jest wytworzenie trzech napięć przemiennych u_{Gp} , których przebiegi czasowe przyjmują kształt sinusoidalny przy pracy jałowej i kształt dwunastoschodkowy na okres T_1 napięcia linii zasilającej przy obciążeniach znamionowych. Warunkiem uzyskania dwunastoschodkowych przebiegów czasowych napięć u_{Gp} jest, aby wszystkie diody przewodziły prąd przez pół okresu napięcia linii zasilającej. Symetria dwunastoschodkowych napięć u_{Gp} wynika bezpośrednio z kąta przesunięcia fazowego między stanami przewodzenia odpowiednich zaworów obu mostków, równego $2\pi/12$. Dławiki sieciowe L redukują dodatkowo do żądanej wartości, harmoniczne wyższych rzędów prądów i_p , wywołane odpowiednimi harmonicznymi dwunastoschodkowych przebiegów czasowych napięć trójfazowych u_{Gp} [6].

2.1 Analiza pracy dławika sprzęgającego

Analizę pracy układu przedstawionego na rysunku 1 przeprowadza się przy następujących założeniach [5]:

- każdy komplet składa się z czterech uzwojeń nawiniętych na oddzielnych, nie zawierających szczeliny i nieskojarzonych magnetycznie rdzeniach
- jeżeli dławik sprzęgający wykonany jest na trójfazowym rdzeniu skojarzonym, to powinien to być rdzeń pięciokolumnowy (bez szczeliny)
- na każdym rdzeniu umieszczone są dwa uzwojenia o liczbie zwojów N_A i dwa o liczbie zwojów N_B
- w czasie znamionowej pracy układu rdzenie pracują w stanie nienasyconym

- system ACI zawiera symetryczne trójfazowe SEM (niekoniecznie sinusoidalne, lecz symetrycznie przesunięte w fazie po 120°) oraz jednakowe indukcyjności L
- systemy AC/DC1 i AC/DC2 są parametrycznie i topologicznie jednakowe, a w przypadku gdy są aktywne (sterowane) umożliwiają spełnienie warunków nominalnej pracy dławika sprzęgającego
- w analizie pomija się rezystancje systemu ACI oraz indukcyjności rozproszenia uzwojeń dławika

Zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1, system ACI jest rzeczywistą linią trójfazowego zasilania, zaś systemy AC/DC - prostownikami diodowymi. Można również brać pod uwagę systemy AC/DC, jako przekształtniki sterowane fazowo, przekazujące energię elektryczną w obie strony i obciążone prądowo (dławikiem). Oznaczając chwilowe wartości strumieni magnetycznych w rdzeniach przez:

$$\varphi_R(t), \varphi_S(t), \varphi_T(t), \quad (1)$$

zakłada się jednocześnie, że tworzą one trójfazowy, symetryczny w czasie układ zmiennych trójfazowych. Można przy tym założeniu utworzyć wektor przestrzenny strumieni, opisany równaniem:

$$\vec{\varphi} = \frac{2}{3} \left(\varphi_R + \underline{a} \varphi_S + \underline{a}^2 \varphi_T \right), \quad (2)$$

gdzie $\underline{a} = e^{-j2\pi/3}$, przy czym strumienie fazowe są na mocy założenia, rzutami wektora $\vec{\varphi}$ na osie symetrycznego przestrzennie układu trzech osi w płaszczyźnie zespolonej. Siły elektromotoryczne indukowane w uzwojeniach na wspólnym rdzeniu fazy R opisują zależność:

$$u_{BR} = N_B \frac{d\varphi_R}{dt} \quad (3)$$

$$u_{AR} = N_A \frac{d\varphi_R}{dt} \quad (4)$$

Analogicznie jest w pozostałych rdzeniach. Te siły elektromotoryczne można przedstawić za pomocą następujących wektorów:

$$\vec{u}_B = N_B \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \quad (5)$$

$$\vec{u}_A = N_A \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \quad (6)$$

Napięcie sumaryczne na dławiku w części odpowiadającej systemowi AC/DC1 opisują równania:

$$u_{R1} = N_A \frac{d\varphi_R}{dt} - N_B \frac{d\varphi_S}{dt} \quad (7)$$

$$u_{S1} = N_A \frac{d\varphi_S}{dt} - N_B \frac{d\varphi_T}{dt} \quad (8)$$

$$u_{T1} = N_A \frac{d\varphi_T}{dt} - N_B \frac{d\varphi_R}{dt} \quad (9)$$

Mnożąc równanie (8) przez \underline{a} oraz (9) przez \underline{a}^2 otrzymuje się wektor napięcia dławika w części zasilającej system AC/DC1:

$$\vec{u}_1 = N_A \frac{d\bar{\varphi}}{dt} - \underline{a}^2 N_B \frac{d\bar{\varphi}}{dt} = \vec{u}_{1A} + \vec{u}_{1B} \quad (10)$$

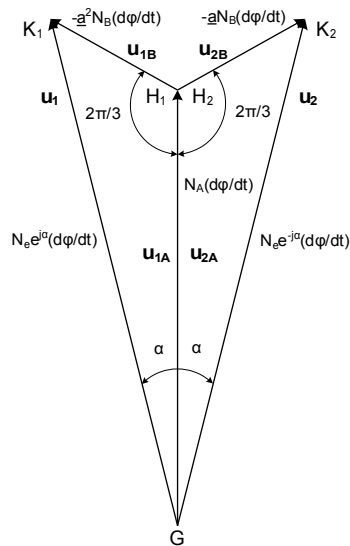
Napięcie to składa się z dwóch składników:

$$\vec{u}_{1A} = N_A \frac{d\bar{\varphi}}{dt} \quad (11)$$

$$\vec{u}_{1B} = -N_B \frac{d\bar{\varphi}}{dt} \underline{a}^2 \quad (12)$$

Obydwa napięcia rozsunięte są o stały kąt równy $2\pi/3$ (rys.2). W analogiczny sposób uzyskuje się napięcie w części zasilającej system AC/DC2:

$$\vec{u}_2 = N_A \frac{d\bar{\varphi}}{dt} - \underline{a} N_B \frac{d\bar{\varphi}}{dt} = \vec{u}_{2A} + \vec{u}_{2B} \quad (13)$$



Rys.2. Składowe napięcie na dławiku sprzęgającym

Kąt rozchyłu między napięciami \bar{u}_1 i \bar{u}_2 wynosi (odpowiednio do wzorów (5) i (6) oraz rys.2):

$$S(\bar{u}_1; \bar{u}_2) = \alpha \quad (14)$$

czyli:

$$\bar{u}_1 = \bar{u}_2 e^{j2\alpha} \quad (15)$$

gdzie:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{3} N_B}{2N_A + N_B} \quad (16)$$

Kąt ten jest zależny tylko od stosunku zwojów i nie zależy od obciążenia dławika, którego miernikiem jest amplituda strumienia w rdzeniu [5].

W celu określenia warunków poprawnej pracy dławika, wyznacza się przepływy w jego rdzeniach. Odpowiednio do oznaczeń na rysunku 1 dla rdzenia R otrzymuje się:

$$\Theta_R = (i_{1R} N_A - i_{1T} N_B) - (i_{2R} N_A - i_{2T} N_B) = \Theta_{R1} - \Theta_{R2} \quad (17)$$

Przez analogię do wzorów (7-9), (10), (13) można napisać równania wektorowe dla przepływu dławika:

$$\bar{\Theta} = \bar{\Theta}_1 - \bar{\Theta}_2 = \bar{i}_1 (N_A - \underline{a}^2 N_B) - \bar{i}_2 (N_A - \underline{a} N_B) = \bar{i}_1 e^{j\alpha} N_e - \bar{i}_2 e^{j\alpha} N_e \quad (18)$$

Wyrażenia w nawiasach można zapisać w postaci zespolonej:

$$N_A - \underline{a}^2 N_B = N_e \exp(j\alpha) \quad (19)$$

$$N_A - \underline{a} N_B = N_e \exp(-j\alpha) \quad (20)$$

gdzie N_e oznacza pewną zastępczą liczbę zwojów.

Nasylenie rdzeni (przy pominięciu prądów magnesowania) nie wystąpi, jeżeli:

$$\bar{\Theta} = \bar{\Theta}_1 - \bar{\Theta}_2 = 0 \quad (21)$$

Możliwe to jest tylko wówczas, gdy prądy \bar{i}_1 i \bar{i}_2 spełniają następujące warunki:

$$\bar{i}_1 = \bar{i} e^{-j\alpha} \quad (22)$$

$$\bar{i}_2 = \bar{i} e^{j\alpha} \quad (23)$$

Oznacza to, że prądy obu systemów AC/DC muszą być identyczne, co do kształtu, lecz przesunięte względem siebie w fazie o kąt 2α , czyli:

$$\bar{i}_1 = \bar{i}_2 e^{j2\alpha} \quad (24)$$

Warunek ten nie dotyczy przesunięcia fazowego między prądem a napięciem wejściowym każdego z obu systemów AC/DC. Wzór (24) narzuca sztywny warunek poprawnej pracy dławika sprzęgającego [5]. Konsekwencją zależności (24) jest to, że w

węzle sumowania się prądów \vec{i}_1 i \vec{i}_2 występuje suma geometryczna, co ma wpływ na projektowanie całego systemu.

3 PODSUMOWANIE

Główna korzyść ze stosowania dławika sprzęgającego polega w sposób widoczny na zmniejszeniu udziału prądów wyższych harmonicznnych w systemie ACI. Jeżeli prądy \vec{i}_1 i \vec{i}_2 spełniają równanie (24), to ich pierwsze harmoniczne dodają się pod kątem 2α , zaś harmoniczne wyższe pod kątem $2n\alpha$, gdzie n jest rzędem harmonicznnej, co w sposób rzeczywisty tłumi zawartość harmonicznnych w linii zasilającej systemu AC/DC.

4 LITERATURA

1. Depenbrock M. *A new 18-pulse rectifier circuit with line-side interphase transformer and nearly sinusoidal line currents*. IAS 1990.
2. Humphrey A. J., Mokrytzki B. *Inverter paralleling reactors*. International Power Conference, Baltimore, Mai, 1972; IEEE New York 1972, p.244-246.
3. Miyairi S. *New method for reducing harmonics involved in input and output of rectifier with interphase transformer*. IEEE Trans. on Ind. Aplic. 1986.
4. Mysiak P. *System trójfazowych dławików sprzężonych zasilający przekształtnik wielopulsowy o wyjściu stałoprądowym - algorytm projektowania oraz wyniki badań symulacyjnych*, SENE, Łódź, 2001.
5. Mysiak P. *Przekształtnik wielopulsowy o wyjściu stałoprądowym w warunkach zasilania z sieci autonomicznej*, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, W-wa 1996.
6. Niermann C. *Netzfreundliche Gleichrichterschaltungen mit netzseitiger Saugdrossel zur Speisung von Gleichspannungszwischenkreisen*. Bochum 1990.
7. Singh Bhim, Bhuvaneswari G., and Garg Vipin. *T-connected autotransformer-based 24-pulse AC-DC converter for variable frequency induction motor driver*. IEEE transactions on energy conversion, Vol. 21, No. 3, September 2006.

A MULTIPULSE DIODE CONVERTER –ANALYSIS OF THE WORK OF THREE-PHASE COUPLED REACTOR APPLICATED

The article presents the analysis of the work of three-phase coupled reactor TDS applicated in twelve-pulse diode converter. In consideration of using three sets of coupled three-phase power network reactors, the presented converter makes it possible, by low costs, to considerably reduce undesired higher harmonics, mainly of an order of 5 and 7 in the power network current.