

# Transformator z sześciofazowym uzwojeniem wtórnym stosowany w galwanotechnice

Mirosław Łukiewski

**Trójfazowe prostowniki znajdują wiele zastosowań przemysłowych. W procesach technologicznych galwanizacji szeroko rozpowszechnione są prostowniki sześciopulsowe ze względu na stosunkowo prostą budowę i dobre parametry użytkowe. W artykule przedstawiono transformator z sześciofazowym uzwojeniem wtórnym typu ET6S będący kluczowym elementem prostownika sześciopulsowego z przewodem neutralnym.**

## Galwanotechnika

Galwanizacja wykorzystuje zjawiska elektrochemiczne (opisane prawami Faradaya) towarzyszące przepływowi prądu elektrycznego między elektrodami umieszczonymi w kąpeli galwanicznej. Zabiegi galwanotechniczne mają na celu uzyskanie powierzchni o cechach charakterystycznych dla metali szlachetnych lub półszlachetnych. Uszlachetnione powierzchnie mają zwiększoną odporność na ścieranie, polepszone własności elektryczne, zwiększony stopień odbicia światła czy wyższy połysk powierzchni. Często korzystając z procesów galwanicznych, regeneruje się powierzchnię zniszczonych mechanicznie elementów lub wprowadza się powłokę ochronną antykorozyjną. Powłoki galwaniczne są cienkimi warstwami metalu szlachetnego grubości od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów, silnie osadzone na podłożu [1].

Źródłem energii elektrycznej w procesach galwanizacji są sterowane prostowniki, których moce odpowiadają wymaganiom technologicznym. Możliwość sterowania parametrami energii wyjściowej prostownika galwanicznego jest niezbędna. Istnieje bowiem konieczność dopasowania wartości prądu i napięcia do

wielkości elementu przeznaczonego do galwanizacji.

## Transformator z sześciofazowym uzwojeniem wtórnym

Technologia galwanizacji wymaga prostowników, które umożliwiają uzyskanie dużych prądów wyjściowych rzędu tysięcy amperów oraz niewielkich napięć rzędu kilku, kilkunastu woltów. Przy tak dużych prądach nawet niewielki spadek napięcia na elemencie półprzewodnikowym pociąga za sobą wyraźną zmianę pobieranej z prostownika mocy. Struktura prostownika sześciopulsowego z przewodem neutralnym zapewnia w każdej chwili pracę tylko jednego elementu półprzewodnikowego, czego efektem jest niewielka strata napięcia wyjściowego. Układ ten umożliwia uzyskanie dobrych parametrów wyjściowych prostownika przy ograniczonej mocy transformatora.

Transformator mocy typu ET6S stanowi kluczowy element układu prostownika. Uzwojenie pierwotne transformatora ET6S skojarzone w trójkąt lub gwiazdę

zasilane jest z trójfazowej sieci przemysłowej. Dwa uzwojenia wtórne, skojarzone w gwiazdy o odpowiednich grupach połączeń, trwale połączono poprzez bezpośrednie zwarcie punktów gwiazdowych. Dzięki temu z napięć fazowych uzwojeń wtórnych powstaje symetryczny układ sześciofazowy. Napięcia wtórne transformatora poprzysuwane są wzajemnie o kąty fazowe  $\pi/3$  i mają jednakowe wartości (1).

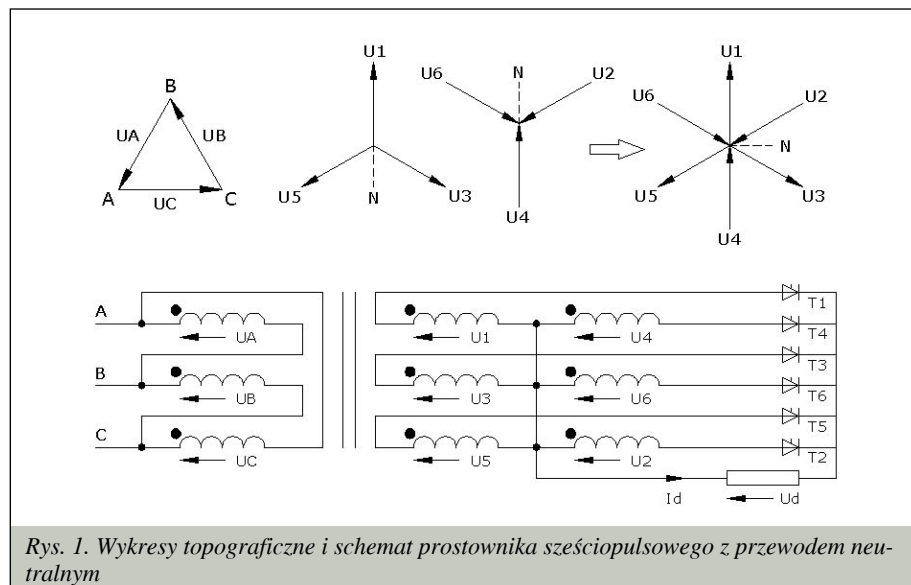
$$U_2 = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \cdot U_d \quad (1)$$

gdzie:  $U_2$  – wartość skuteczna napięcia fazowego uzwojenia wtórnego transformatora,  $U_d$  – wartość średnia napięcia wyprostowanego.

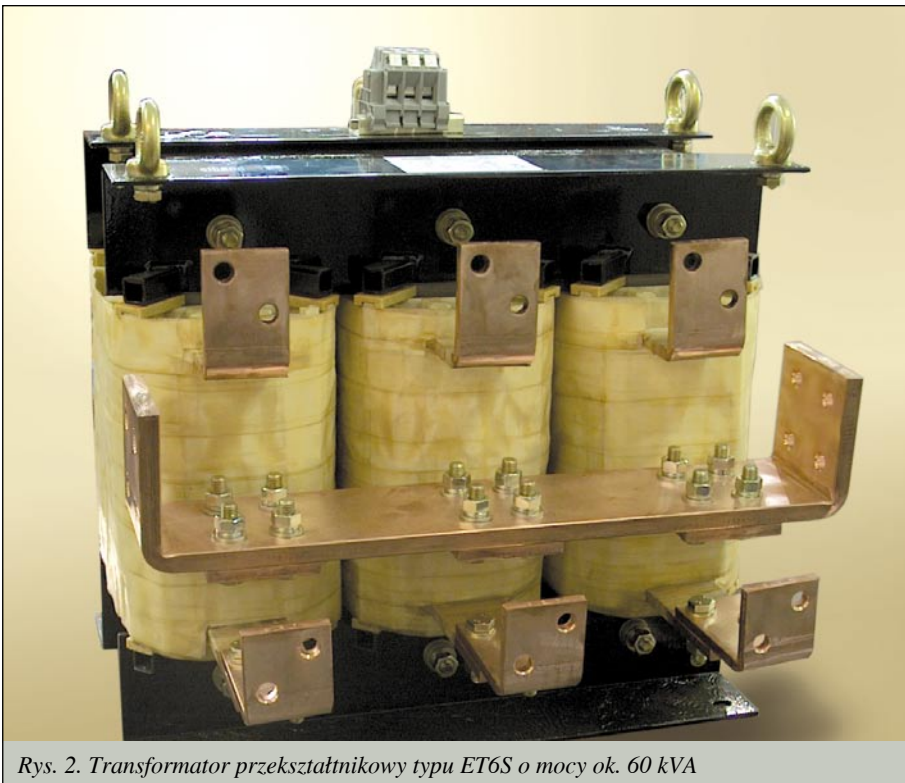
Obwód wtórny transformatora pracującego w prostowniku sześciopulsowym z przewodem neutralnym obciążony jest prostokątnymi, jednokierunkowymi impulsami prądu. Szerokość impulsów prądu odpowiada kątowi  $\pi/3$ . Wartość skuteczna prądu obciążenia transformatora wyrażona jest zależnością (2). Jednokierunkowy prąd wtórny jest niekorzystny, zawiera bowiem składową stałą. Podmagnesowanie rdzenia strumieniem zawierającym składową stałą jest przyczyną przesunięcia punktu pracy transformatora na charakterystyce magnesowania, co skutkuje niewykorzystaniem energetycznym transformatora [2].

$$I_2 = I_T = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot I_d \quad (2)$$

gdzie:  $I_2$  – wartość skuteczna prądu fazowego obciążenia transformatora,  $I_T$  – wartość skuteczna prądu przewodzenia



Rys. 1. Wykresy topograficzne i schemat prostownika sześciopulsowego z przewodem neutralnym



Rys. 2. Transformator przekształtnikowy typu ET6S o mocy ok. 60 kVA

tyrystora,  $I_d$  – wartość średnia prądu wyprostowanego.

Ze względu na niejednakowe obciążenie uzwojeń pierwotnych i wtórnych w transformatorach pracujących w prostownikach sześciopulsowych z przewodem neutralnym moc pozorną obliczeniową transformatora STR wyznacza się, korzystając z zależności:

$$S_1 = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1 \approx 1,28 \cdot P_d \quad (3)$$

$$S_2 = m_2 \cdot U_2 \cdot I_2 \approx 1,81 \cdot P_d \quad (4)$$

$$S_{TR} = \frac{S_1 + S_2}{2} = 1,55 \cdot P_d \quad (5)$$

gdzie:  $S_p, S_2$  – moce pozorne uzwojenia pierwotnego i wtórnego transformatora,  $m_p, m_2$  – liczby faz uzwojenia pierwotnego i wtórnego transformatora,  $I_p, I_2$  – wartości skuteczne prądów uzwojeń pierwotnego i wtórnego transformatora,  $P_d$  – moc obciążenia po stronie prądu stałego [3].

Indukcyjność rozproszenia transformatora przekształtnikowego jest parametrem, który może poprawić niezawodność elementów półprzewodnikowych prostownika. Określa wartość spodziewanego prądu zwarcia oraz wpływa na stromość narastania prądu przewo-

nia tyrystorów. Wskaźnikiem wartości indukcyjności rozproszenia jest wprost proporcjonalne do niej napięcie zwarcia transformatora. Napięcia zwarcia transformatorów przekształtnikowych powinny osiągać wartości od 4% do 10% w zależności od mocy transformatora [2, 3].

#### Literatura

- [1] *Poradnik inżyniera elektryka. Elektrochemia*, tom 1, WNT Warszawa 1999.
- [2] NOWAK M., BARLIK R.: *Poradnik inżyniera energoelektronika*, WNT, Warszawa 1998.
- [3] BARLIK R., NOWAK M.: *Technika tyrystorowa*, WNT, Warszawa 1994.
- [4] Polska Norma PN-EN 61378-1, *Transformatory przekształtnikowe. Transformatory do zastosowań przemysłowych*, PKN czerwiec 2000.
- [5] *Dokumentacje techniczne transformatorów typu ET6S*, Elhand Transformatory.



nawijać  
trzeba umieć