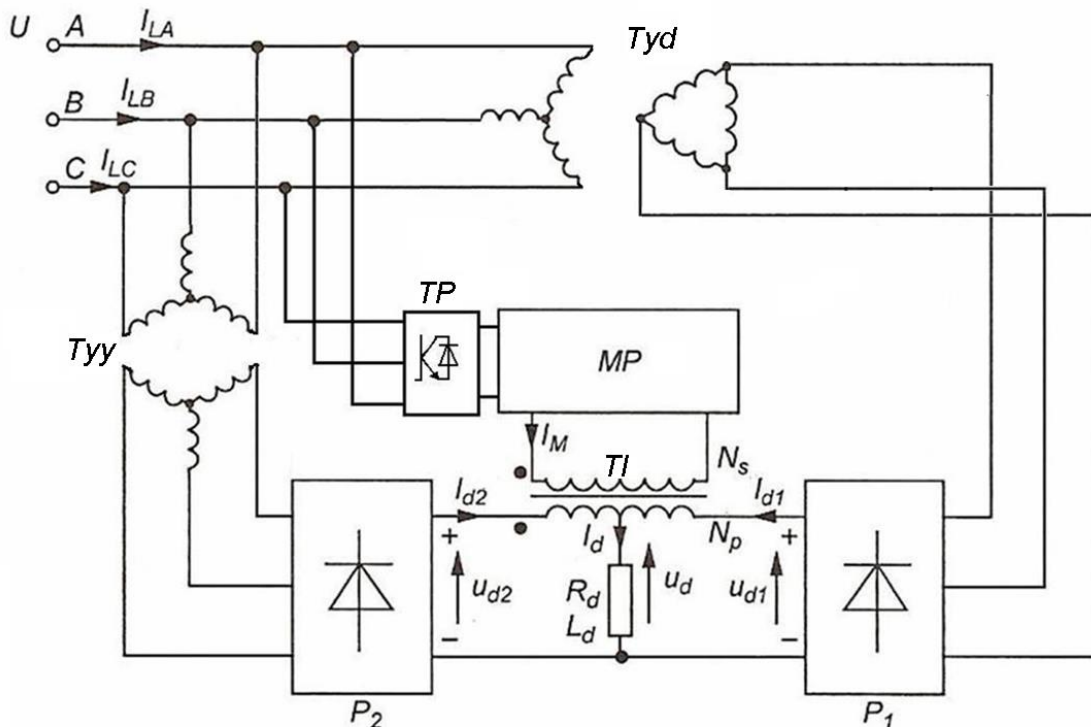


Układ prostownikowy z energoelektronicznym modulatorem prądu

Na rys. 1.1 przedstawiono schemat ideowy układu trójfazowego prostownika diodowego, w którym stosuje się modulację prądów wyjściowych obu mostków połączonych równolegle za pomocą modulatora prądu (MP).

Diodowe mostki prostownicze (P_1) i (P_2) zasilane są z transformatorów energetycznych o połączeniach gwiazda-gwiazda (T_{yy}) oraz gwiazda-trójkąt (T_{yd}) w celu zapewnienia przesunięcia fazowego napięć zasilających o kąt $\frac{\pi}{6}$. Po stronie stałoprądowej mostki połączone są za pomocą transformatora impulsowego (TI) z dodatkowym uzwojeniem, w którego obwód – po stronie pierwotnej – włączony jest energetyczny modulator prądu MP. Jest on energoelektronicznym sterowanym źródłem prądowym.



Rys. 1.1. Obwód silnoprądowy układu prostownika diodowego z modulatorem prądu

Za pośrednictwem transformatora impulsowego TI przemienny prąd modulatora jest odpowiednio dodawany (ze znakiem „+” lub „-”) do prądów wyjściowych każdego z prostowników składowych. W konsekwencji możliwe staje się kształtowanie prądów wejściowych mostków składowych, a zatem i wypadkowego prądu sieci. Jeżeli transformator impulsowy jest nienasycony to równanie przepływów ma następującą postać:

$$N_p (i_{d2}(t) - i_{d1}(t)) = N_s i_M(t) \quad (1.1)$$

gdzie:

$i_{d1}(t), i_{d2}(t)$ – prądy wyjściowe składowych prostowników diodowych, N_s, N_p – liczba zwojów transformatora trójzwojeniowego odpowiednio po stronie pierwotnej i wtórnej, $i_M(t)$ – prąd modulatora.

Zakładając równość wartości średnich prądów wyjściowych prostowników ($I_{d1} = I_{d2}$) oraz wiedząc, że prąd odbiornika I_d jest ich sumą, można wyprowadzić zależności opisane równaniami (1.2) i (1.3).

$$i_{d1}(t) = \frac{1}{2} \left(I_d - \frac{N_s}{N_p} i_M(t) \right) \quad (1.2)$$

$$i_{d2}(t) = \frac{1}{2} \left(I_d + \frac{N_s}{N_p} i_M(t) \right) \quad (1.3)$$

W przypadku nieodkształconego napięcia sieciowego można przyjąć, że moc prądu stałego $P_d = U_d I_d$ jest równa mocy harmonicznej podstawowej prądu sieci

$$3U_L I_{L1} = U_d I_d \quad (1.4)$$

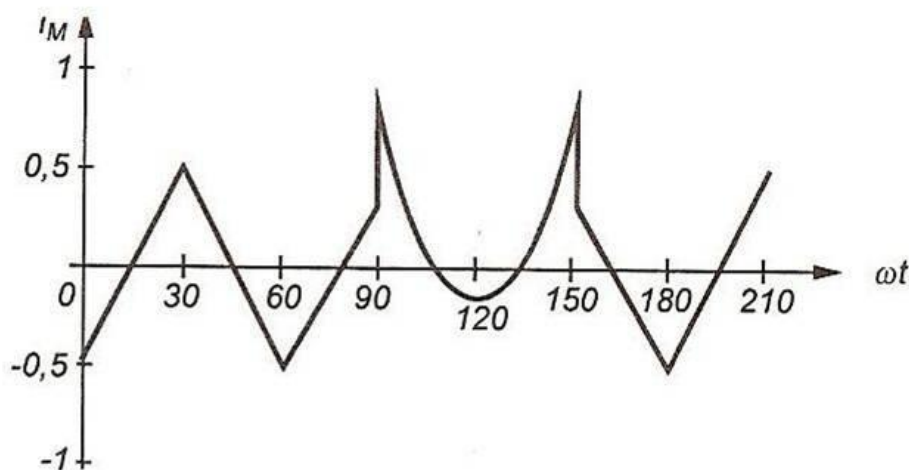
$$U_d = \frac{p}{\pi} U_{LP} \sin \frac{\pi}{p} \quad (1.5)$$

gdzie: U_L – wartość skuteczna fazowego napięcia sieci, U_{LP} – wartość skuteczna przewodowego napięcia sieci, U_d – wartość średnia napięcia odbiornika.

Przekształcając odpowiednio te równania otrzymuje się wyrażenie na podstawową harmoniczną prądu pobieranego z sieci

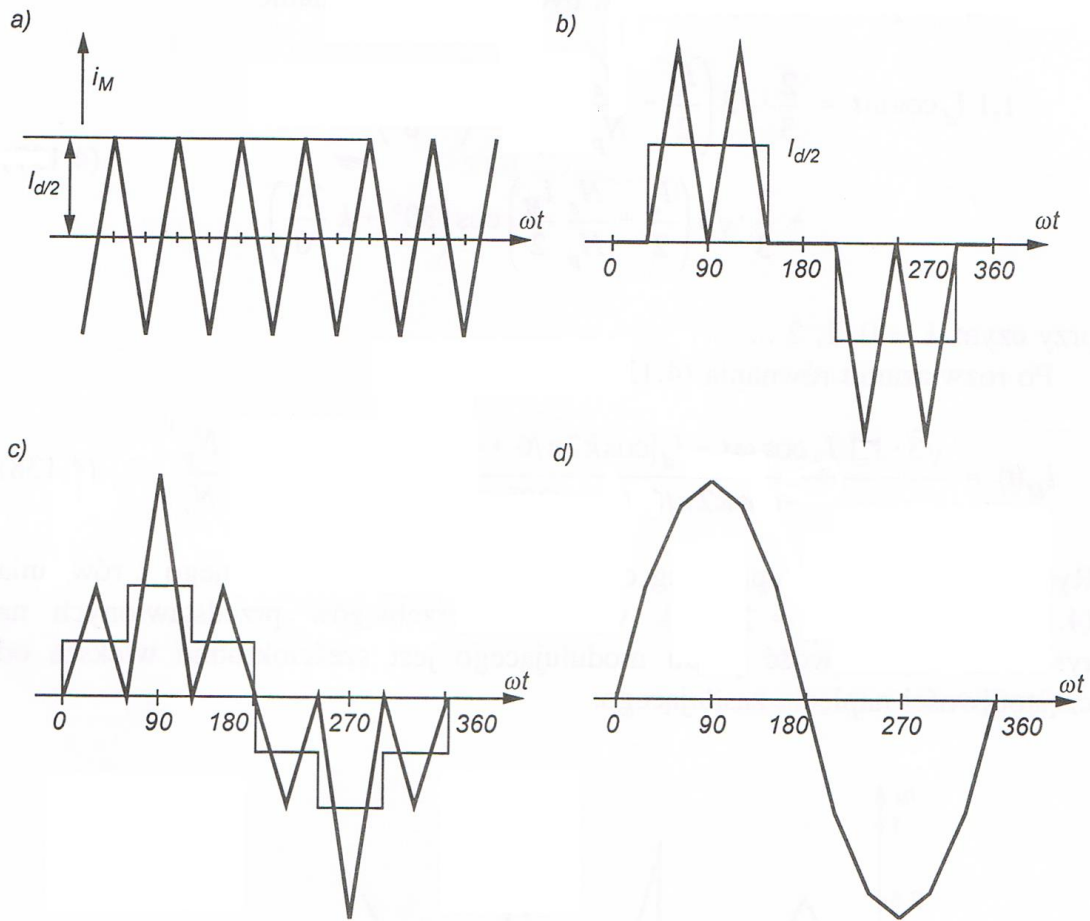
$$i_{L1}(t) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \sin \omega t . \quad (1.6)$$

Przekształcając otrzymane równania otrzymuje się wyrażenie na prąd modulatora $i_M(t)$, jaki musi być wygenerowany w celu uzyskania sinusoidalnego wypadkowego prądu sieci pobieranego przez układ prostownikowy. Graficzną postać tego równania przedstawia rys. 1.2.



Rys. 1.2. Przebieg prądu modulatora opisany równaniem

Częstotliwość prądu modulatora jest sześciokrotnie większa od częstotliwości napięcia sieci a jego przebieg jest zbliżony do trójkątnego. Na rys. 1.3 przedstawiono przebiegi prądów stron pierwotnych transformatorów energetycznych zasilających składowe mostki diodowe oraz wypadkowy prąd sieci będący ich sumą dla trójkątnego sygnału modulatora o amplitudzie $0,5I_d$. Uzyskany w ten sposób prąd źródła jest dobrze przybliżony do przebiegu sinusoidalnego, a jego współczynnik THD wynosi zaledwie około 1%.



Rys. 1.3. Przebiegi prądów dla trójkątnego sygnału modulatora: a) prąd modulujący, b) prąd strony pierwotnej transformatora o połączeniu gwiazda-gwiazda, c) prąd strony pierwotnej transformatora o połączeniu gwiazda-trójkąt, d) wypadkowy prąd sieci

Napięcie indukowane po stronie wtórnej $u_{TI2}(t)$ transformatora międzyfazowego TI równe jest różnicy chwilowych napięć wyjściowych $u_{d2}(t)$ i $u_{d1}(t)$ mostków diodowych

$$u_{TI2}(t) = u_{d2}(t) - u_{d1}(t). \quad (1.9)$$

Skuteczna wartość tego napięcia wynosi $0,1098\sqrt{3}$ wartości skutecznej fazowego napięcia źródła. Znając przekładnię impulsowego transformatora międzyfazowego można wyznaczyć wartość napięcia strony pierwotnej U_{TI1}

$$U_{T11} = U_{T12} \frac{N_s}{N_p} = 0,1098\sqrt{3}U_L \frac{N_s}{N_p}. \quad (1.10)$$

Wartość skuteczną prądu modulatora o przebiegu trójkątnym i amplitudzie równej $0,5I_d$ opisuje zależność (1.11).

$$I_M = \frac{0,5I_d}{\sqrt{3}} \frac{N_p}{N_s} \quad (1.11)$$

Na podstawie równań (1.10) i (1.11) można wyznaczyć moc gabarytową modulatora prądu S_M

$$S_M = U_{T11} I_M \approx 0,0235 P_d. \quad (1.12)$$

Wynika stąd, że moc modulatora prądu stanowi zaledwie 2,35% mocy obciążenia układu prostownikowego, co jest niewątpliwą zaletą rozpatrywanego rozwiązania, sprzyjającą osiągnięciu wysokiego współczynnika sprawności energetycznej.