

Impulsowe SNP z komutacją wieloschodkową

Edward Greczko

Streszczenie: Rozpatrzono podstawowe układy impulsowych trójfazowych sterowników napięcia przemiennego z zastosowaniem łączników prądu przemiennego sterowanych na podstawie komutacji wieloschodkowej.

Słowa kluczowe: sterowniki napięcia przemiennego, łączniki prądu przemiennego, komutacja wieloschodkowa

1. WPROWADZENIE

W chwili obecnej wielu publikacji poświęcono badaniu sterowników napięcia przemiennego (SNP) ze sterowaniem impulsowym typu MSI ze względu na ich jakościowe wskaźniki przetwarzania energii elektrycznej [1,2]. Poza tym impulsowe SNP charakteryzują się swobodną cyrkulacją energii biernej, jednak zawierają problemy z komutacją łączników prądu przemiennego, które rozwiązują zadanie cyklicznej zmiany obwodów przepływu prądów w obwodach SNP.

W realizacji praktycznej należy uwzględnić parametry rzeczywistości łączników, w szczególności czasy włączania i wyłączania, w celu eliminacji zwarć międzyfazowych pod czas komutacji. Najczęściej stosowanym algorytmem sterowania łącznikami w SNP z MSI jest algorytm sterowania z „czasem martwym”, a mianowicie z wprowadzeniem w ciągu impulsów sterujących krótkich pauz, aby uniknąć nakładania impulsów sterowania łączników. W tym przypadku jednak występują procesy nagromadzenia energii w dławikach i kondensatorach. W [1] w celu redukcji powyższych wad SNP ze sterowaniem z „czasem martwym” zaprezentowano układ trójfazowy SNP z MSI zrealizowany na podstawie łączników prądu przemiennego ze sterowaniem wieloschodkowym (cztery- lub dwuschodkowym) z kontrolą wyłącznie biegunowości napięć zasilających. Poza tym, należy zauważyć, że komutacja schodkowa może być zrealizowana w SNP wyłącznie na podstawie łączników dwukierunkowych dwusterowalnych.

Celem referatu jest omówienie podstawowych układów impulsowych sterowników napięcia przemiennego (SNP) z transformatorem dodawczym (TD) na podstawie łączników prądu przemiennego z komutacją schodkową.

2. PODSTAWOWE SCHEMATY SNP

Podstawowymi zasadami budowy impulsowych SNP są rozdzielenie kanałów sterowanej i niesterowalnej mocy oraz wykorzystanie łączników ze sterowaniem

schodkowym [1]. Schemat takiego sterownika z transformatorem dodawczym przedstawiono na Rys.1.

Kanał mocy sterowanej zbudowano z zastosowaniem czterech łączników Ł1÷Ł4. Poszczególne łączniki Ł1÷Ł4 przedstawia sobą schemat mostkowy z dwoma tranzystorami mocy i diod w plecach mostka, czyli łącznik dwukierunkowy dwusterowalny. Łączniki Ł1 i Ł3 włączono szeregowo z uzwojeniami pierwotnymi transformatora sumującego, a łączniki Ł2 i Ł4 włączono pomiędzy ich zaciskami wejściowymi A',B',C'. Uzwojenia wtórne transformatora włączono szeregowo pomiędzy zaciskami trójfazowej sieci zasilającej oraz zaciskami wejściowymi A,B,C trójfazowego RL-obciążenia.

Załączenie obuch łączników Ł1 i Ł3 do stanu przewodzenia (przy zablokowanych Ł2 i Ł4) podłącza uzwojenia pierwotne transformatora do zacisków trójfazowej sieci zasilania i stwarza możliwość formowania bezpośrednio na nich trójfazowego napięcia sinusoidalnego, a zablokowanie Ł1 i Ł3 odcina uzwojenia pierwotne transformatora od zacisków sieci zasilania. Zatem załączenie Ł2 i Ł4 (przy zablokowanych Ł1 i Ł3) stwarza możliwość formowania zerowych napięć na uzwojeniach pierwotnych transformatora (pomijając spadki napięć na łącznikach w stanie przewodzenia prądów przez tranzystory i diody mostków), ze względu zwarcia zacisków wejściowych A',B',C' między sobą. Załączenie łączników Ł1 i Ł3 (przy zablokowanych Ł2 i Ł4) powoduje transformację napięcia sieci na uzwojenia wtórne transformatora i tym samym wzrost napięcia na zaciskach A,B,C odbiornika w wyniku jego sumowania z napięciem sieci zasilania.

Algorytm sterowania SNP polega na cyklicznym przełączaniu łączników Ł1, Ł3 na przemian z łącznikami Ł2, Ł4 z częstotliwością impulsowania f_{imp} i regulacji czasu przewodzenia łącznika Ł1, Ł3 względem czasu przewodzenia łącznika Ł2, Ł4 przy $f_{imp} = const$. Bezpośrednie przełączanie łączników w rozpatrywanym układzie można zrealizować na podstawie komutacji dwuschodkowej KDN [1,2], która będzie opisana niżej.

Jeśli czas stanu przewodzenia łączników Ł1, Ł3 oznaczmy przez τ , a czas stanu przewodzenia łączników Ł2, Ł4 przez τ_z , to okres częstotliwości modulacyjnej jest równy:

$$\tau_i = \tau + \tau_z, \quad (1)$$

zatem stosunek czasu przewodzenia łączników Ł1, Ł3 do okresu częstotliwości modulacyjnej jest znany, jak współczynnik głębokości modulacji $\gamma = \tau/\tau_i$.

Algorytm sterowania SNP polega na zmianach τ przy $\tau_i = const$. Długość czasu τ określa się w zależności od zadanej wartości napięcia wyjściowego, a długość

czasu τ_z określa się jak funkcja różnicy maksymalnej i zadanej wartości napięć wyjściowych SNP.

Maksymalna wartość napięcia fazowego na odbiorniku określa się przy włączonych na stałe Ł1, Ł3:

$$U_{0\max} = U_s (1 + z_2 / z_1), \quad (2)$$

gdzie z_1 i z_2 – liczba zwojów uzwojeń odpowiednio pierwotnych i wtórnych transformatora, U_s – napięcie fazowe sieci zasilania.

Minimalne możliwa wartość napięcia fazowego na odbiorniku określa się przy włączonych na stałe Ł2, Ł4 i wyłączonych Ł1, Ł3 oraz jest ono równe napięciu fazowemu sieci zasilania. Zakładając, przykładowo, stosunek liczb zwojów $z_1/z_2 = 4$, zakres regulacji napięcia na odbiorniku wynosi $D = 25\%$.

Zaletą SNP z jednobiegunową modulacją napięcia sumacyjnego jest możliwość regulacji napięcia sumacyjnego od zero do maksymalnej wartości przy formowaniu napięcia quasi sinusoidalnego na odbiornikach. Wadą przedstawionego na Rys.1 schematu SNP jest możliwość tylko dodawania napięcia sumacyjnego do napięcia zasilania.

Zastosowanie łączników ze sterowaniem schodkowym, jak również transformatora dodatkowego stwarza możliwość budowy SNP z rewersyjną jednobiegunową modulacją napięcia dodawanego. Na Rys.2 przedstawiono schemat budowy SNP, który posiada możliwość dodawania i odejmowania napięcia dodawanego do napięcia zasilania. Stąd wynika, że SNP z Rys.2 przy podobnej mocy pozornej transformatora dodatkowego, jak SNP z Rys.1, i gabarytach odpowiednio, posiada dwukrotnie większy zakres regulacji napięcia na odbiorniku.

Kanał mocy sterowanej zbudowano z zastosowaniem dwóch grup łączników, każda z których składa się z pięciu łączników (odpowiednio Ł1÷Ł5 i Ł1'÷Ł5') oraz podłączonych odpowiednio do początków A'B'C' i końców A''B''C'' pierwotnych uzwojeń transformatora. Poszczególne łącznik przedstawia sobą schemat mostkowy, zawierający dwie pary tranzystorów mocy I diody w plecach mostka.

Przy włączonych na stałe łącznikach Ł1, Ł3, Ł5 i Ł2', Ł4' oraz odpowiednio zablokowanych Ł2, Ł4 i Ł1', Ł3', Ł5' napięcie transformowane na uzwojeniach wtórnych transformatora T_r będzie znajdować w fazie napięciem sieci zasilającej i odpowiednio będzie sumować się z tym napięciem. Zatem, przy włączonych na stałe łącznikach Ł1', Ł3', Ł5' i Ł2, Ł4 oraz odpowiednio zablokowanych Ł2', Ł4' i Ł1, Ł3, Ł5 napięcie transformowane w uzwojeniach wtórnych transformatora T_D będzie znajdować w przeciw fazie z napięciem sieci zasilającej i odpowiednio będzie od niego odejmować się. Maksymalne możliwa wartość napięcia fazowego na odbiorniku określa się przez wyrażenie (2), minimalne możliwa wartość napięcia fazowego na odbiorniku określa się, jak $U_{0\min} = U_s (1 - z_2/z_1)$. Zakładając, przykładowo, stosunek liczb zwojów $z_1/z_2 = 4$, zakres regulacji napięcia na odbiorniku wynosi $D = 50\%$.

Algorytm sterowania SNP jest następującym. Dla kształtowania regulowanego napięcia znajdującego w fazie z napięciem sieci zasilającej należy przy włączonych na stałe łącznikach Ł2' i Ł4' na przemian

cyklicznie przełączać łączniki Ł1, Ł3, Ł5 z łącznikami Ł2, Ł4 z nośną częstotliwością modulacji f_{imp} , regulując czas włączonego stanu łączników Ł1, Ł3, Ł5 odnośnie czasu włączonego stanu łączników Ł2, Ł4 przy $f_{\text{imp}} = \text{const}$. Dla kształtowania regulowanego napięcia znajdującego w przeciw fazie z napięciem sieci zasilającej należy przy włączonych na stałe łącznikach Ł2, Ł4 na przemian cyklicznie przełączać łączniki Ł1', Ł3', Ł5' z łącznikami Ł2' i Ł4' z nośną częstotliwością modulacji f_{imp} , regulując czas włączonego stanu łączników Ł1', Ł3', Ł5' odnośnie czasu włączonego stanu łączników Ł2', Ł4' przy $f_{\text{imp}} = \text{const}$.

Schematy SNP z Rys.1 i Rys.2 realizują odpowiednio nierewersyjną i rewersyjną jednobiegunową modulację napięć sumujących.

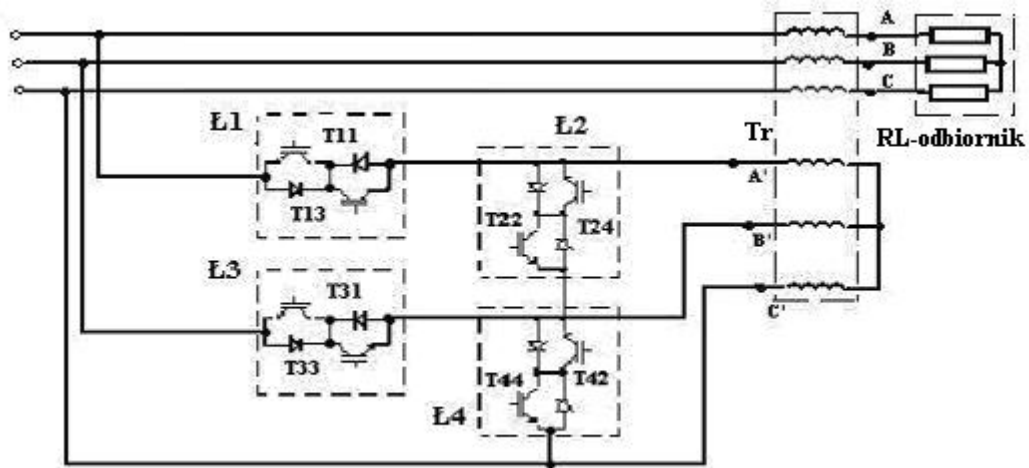
3. KANAŁ STERUJĄCY

Stosowanie metody KDN w sterującym kanale SNP nie będzie powodować dodatkowych strat komutacyjnych oraz eliminuje krótkotrwałe prądy zwarciove i przepięcia napięciowe. Na przykładzie trójfazowego sterującego kanału SNP z Rys.1 rozpatrzono algorytm komutacji łączników prądu przemiennego na podstawie informacji o biegunowości napięć fazowych sieci zasilającej. Schemat kanału sterującego SNP jest pokazany na Rys.3, zawierający łączniki Ł1÷Ł4 (sterowalne, dwukierunkowe) i trójfazowy odbiornik Z_A', Z_B', Z_C' , parametry którego zastępują RL- odbiornik sprowadzony do uzwojeń pierwotnych. Poszczególne łączniki jest to układy mostkowy ze zwartą przekątną oraz dwoma tranzystorami i dwoma diodami w poszczególnych ramionach każdego mostka. Łączniki Ł1 i Ł3 połączone szeregowo z poszczególnymi odbiornikami fazy A i B, a łączniki Ł2 i Ł4 podłączone odpowiednio pomiędzy trzema zaciskami A', B', C' odbiornika.

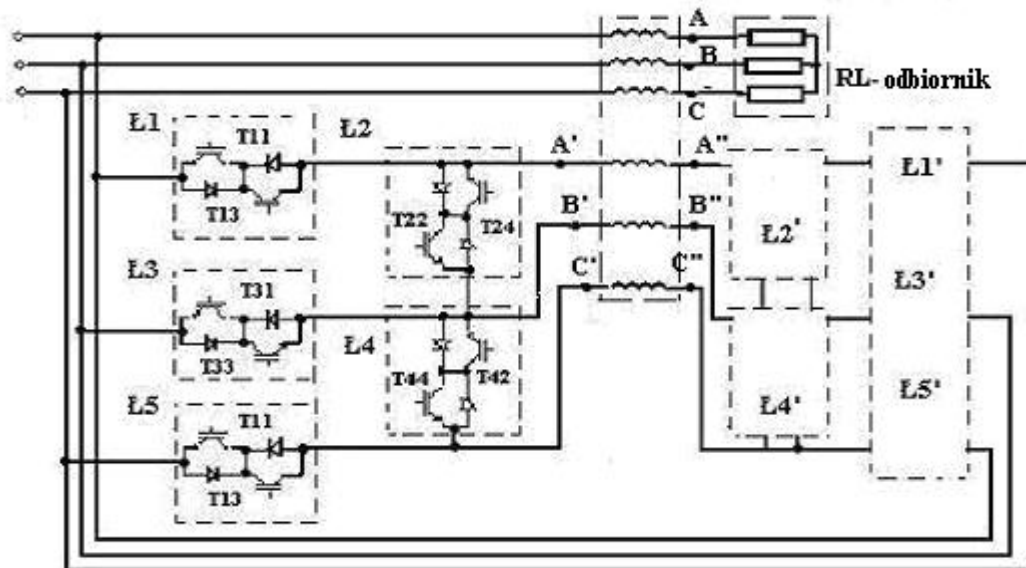
Algorytm sterowania polega na cyklicznym przełączaniu łączników Ł1, Ł3 wg Ł2, Ł4 z częstotliwością impulsowania f_{imp} i regulacji czasu przewodzenia łączników Ł1, Ł3 względem czasu przewodzenia łącznika Ł2, Ł4 przy $f_{\text{imp}} = \text{const}$

Bezpośrednio przełączanie łączników w rozpatrywanym układzie zrealizowano na podstawie komutacji dwu schodkowej KDN [2] z kontrolą znaku wartości chwilowych dwóch napięć fazowych zasilających $u_{LA}(t)$ i $u_{LB}(t)$. Rozpatrzmy na przykładzie fazy A algorytm komutacji łącznikami prądu przemiennego na podstawie KDN.

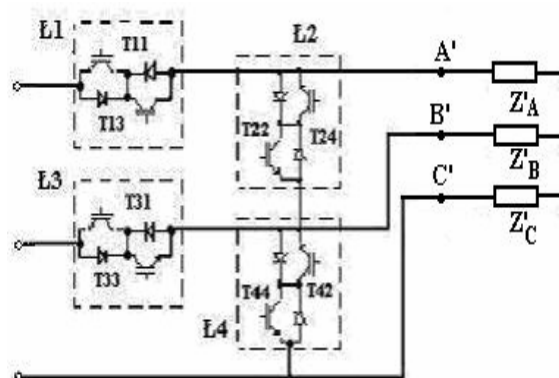
Przy dodatniej wartości napięcia zasilającego w ciągu całego półokresu załączony są tranzystory T11, T24, natomiast tranzystory T22 i T13 przełączają się częstotliwością impulsowania i odpowiednią głębokością modulacji. Pomiędzy kolejnymi przełączeniami tranzystorów T13 i T22, biorąc pod uwagę skończone czasy włączania i wyłączania tranzystorów i możliwość powstania krótkotrwałych zwarczeń źródła zasilania, wprowadzony krótki paazy czasowe.



Rys.1. Trójfazowy SNP z MSI jednobiegunową



Rys.2. Trójfazowy SNP z MSI rewersyjną jednobiegunową

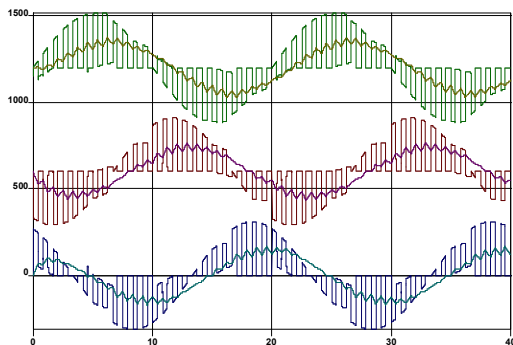


Rys.3. Schemat kanału sterującego SNP

Pod czas tych pauz czasowych obydwa tranzystory T13 i T22 wyłączone. Prąd obciążenia może płynąć w każdym z dwóch kierunków przez włączone na tym półokresie na stałe tranzystory T11 i T24, które występują jako zwrotne diody dla danej biegunowości napięcia zasilającego na tym półokresie. W wyniku przełączania tranzystorów T13 i T22 odbywa się na podstawie komutacji dwusiodkowej.

Należy zauważyć, że w odróżnieniu od algorytmów sterowania z „czasem martwym”, w których w obwodzie siłowym SNP na czas martwy muszą być wyłączone wszystkie tranzystory, to w prezentowanym algorytmie komutacji KDN pod czas wprowadzenia pauz czasowych zawsze pozostają włączone w każdej fazie kanału po dwa tranzystory, które występują jako zwrotne diody dla danej biegunowości napięcia zasilającego.

Badania symulacyjne kanału sterującego z Rys.3 z przełączaniem łączników na podstawie metody KDN przeprowadzono na częstotliwości impulsowania 1.2kHz oraz wartości współczynnika wypełnienia $\gamma = 0.5$. Na Rys.4 przedstawiono przebiegi napięć i prądów wyjściowych faz A,B,C.



Rys.4. Przebiegi $u_{LA}(t)$, $i_{LA}(t)$, $u_{LB}(t)$, $i_{LB}(t)$, $u_{LC}(t)$, $i_{LC}(t)$

Przerwy czasowe pod czas poszczególnych komutacji w modelu symulacyjnym przyjęte zostały o 10-krotnie podwyższonej wartości - $40\mu\text{s}$. Jak widać z przedstawionych przebiegów, ich obecność nie wywołuje przepięć napięciowych. W wyniku można wnioskować, że stosowania metody KDN w trójfazowym kanale sterującym nie powoduje dodatkowych strat komutacyjnych, eliminuje prądy zwarciove oraz przepięcia napięciowe.

Ważną zaletą metody KDN jest to, że w większości przypadków kształt przebiegów napięć fazowych źródeł zasilania E1÷E3 nie jest zdeformowany i nadaje się do pomiarów. W innych przypadkach, wprowadzając w SNP filtr wejściowy, zawsze można ulepszyć napięcia zasilające do wymaganej jakości.

4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie łączników prądu przemiennego w trójfazowych strukturach SNP na podstawie komutacji kilku schodkowej redukuje możliwość powstania przepięć napięciowych z powodu komutacji, nie wprowadzając dodatkowych strat komutacyjnych. Dana właściwość pozwala bardziej skutecznie stosować metody modulacyjne do sterowania trójfazowymi sterownikami

napięcia prądu przemiennego z częstotliwością przełączeń łączników o znacznie większej częstotliwości niż częstotliwość sieci zasilającej

LITERATURA

- [1] Greczko E., Golubiew W., Kaczmarek E. „Komutacja łączników prądu przemiennego w obwodach sterowników napięcia przemiennego” Materiały 2-j Lubuskiej konferencji MITEL-2002, Gorzów Wlkp., 2002, s.89-96.
- [2] Greczko E., Smoleński R. „Stabilizatory napięcia przemiennego typu modulacyjnego” Materiały konferencyjne KDS-98, Szczecin, 1998, s. 151-158.



prof. dr hab. inż. Edward Greczko
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Elektrotechniki,
Informatyki i Telekomunikacji
Instytut Informatyki i Elektroniki

ul. Podgórna 50,
65-246 Zielona Góra

tel.: 68 328 23 50
E-mail: E.Greczko@iie.uz.zgora.pl