RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **221551** (13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **395491**

(51) Int.Cl. ***H02P 6/18 (2006.01)***

(22) Data zgłoszenia: **01.07.2011**

(54) **Sposób sterowania zaworami komutatora elektronicznego przeznaczonego do zasilania silnika bezszczotkowego prądu stałego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
07.01.2013 BUP 01/13

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
29.04.2016 WUP 04/16

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
TOMASZ BISKUP, Bytom, PL
ALEKSANDER BODORA, Gliwice, PL
ARKADIUSZ DOMORACKI, Bytom, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Urszula Ziółkowska

PL 221551 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób sterowania zaworami komutatora elektronicznego, przeznaczonego do zasilania silnika bezszczotkowego prądu stałego.

Sterowanie silników bezszczotkowych prądu stałego, wymaga wymuszenia przepływu prądu przez uzwojenia silnika, zależnie od położenia wirnika przy ustalonym sposobie jego namagnesowania. Znany jest układ zasilania silnika pokazany, gdzie uzwojenia stojana silnika są dołączone do komutatora elektronicznego, zbudowanego w oparciu o tranzystory T1–T6. Komutator przełącza napięcie zasilania U_{DC} pomiędzy fazami a, b i c silnika, w zależności od kąta elektrycznego α_{e1}, wyznaczonego jako iloraz kąta położenia wirnika α i liczby par biegunów silnika p. Nie jest istotne dla metody, czy położenie wirnika a jest mierzone za pomocą czujnika, czy jest odtwarzane np. na podstawie mierzonej siły elektromotorycznej.

Znaną jest metoda przełączania tranzystorów T1–T6 względem kąta α_{e1} na tle fazowych sił elektromotorycznych silnika e_a, e_b, e_c oraz prądów i_a, i_b, i_c faz a, b, c, w czasie pracy silnikowej i określonego na rysunku kierunku wirowania silnika. Metoda ta wymaga dla regulacji prędkości obrotowej możliwości nastawy napięcia zasilania U_{DC}. W typowych rozwiązaniach napięcie to jest stałe, a regulacja wartości napięcia zasilania (oraz regulacja wartości prądów i_a, i_b, i_c) następuje przez dodanie, do sterowania tranzystorów, sygnału o zmiennym wypełnieniu i stałej wysokiej częstotliwości przełączania PWM. Częstotliwość sygnału PWM jest wielokrotnie wyższa od maksymalnej częstotliwości wirowania silnika. Poprzez realizację iloczynu logicznego sygnału PWM i sterowań dla tranzystorów, formowane są odpowiednie sygnały sterujące tranzystorami T1–T6. Taka metoda sterowania powoduje pojawienie się dużych tętnień chwilowej wartości prądów silnika, zwłaszcza dla małych prędkości obrotowych silnika. Tętnienia te można ograniczyć przez modyfikację sterowania, gdzie tylko jedna grupa tranzystorów jest sterowana z wykorzystaniem sygnału PWM-górna (T1, T3, T5) lub dolna (T4, T6, T2). Takie niesymetryczne sterowanie tranzystorami grupy górnej i dolnej powoduje, że łączne straty mocy wydzielone w tranzystorach grupy górnej i dolnej są różne, zależne od wartości przewodzonego prądu, częstotliwości sygnału PWM i parametrów dynamicznych zaworów.

Z amerykańskiego opisu patentowego US2006/0132075 znana jest metoda w której tranzystory grupy górnej T1, T3, T5 i dolnej T4, T6, T2 są sterowane w taki sposób, że przez ustaloną część cyklu załączenia są wysterowane na stałe, a przez resztę czasu w cyklu są sterowane sygnałem PWM. Celem takiego sterowania jest m.in. wyrównanie strat przełączeniowych i przewodzenia w zaworach grupy górnej i dolnej komutatora. Jednak dla wyżej przedstawionych odmian sterowania, przy zatrzymanym wirniku silnika BLDC, niezależnie od długości czasu trwania takiego stanu tylko jeden tranzystor z grupy (dolnej lub górnej komutatora) jest sterowany wyłącznie sygnałem PWM i jeden z drugiej grupy jest załączony na stałe. Oznacza to, że straty w tych przewodzących tranzystorach komutatora (przełączeniowe i wynikające z przewodzenia prądu), przy zatrzymanym wirniku silnika, są rozłożone nierównomiernie.

Sposób według wynalazku polega na tym, że tranzystory komutatora T1–T6 załącza się w funkcji kąta elektrycznego $\underline{\alpha_{e1}}$ i czasu t następująco: dla $\alpha_{e1} \in <0°, 30°) \cup <330°, 360°)$ tranzystory T1, T3, T2, T4 są wyłączone, a tranzystor T5 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T6 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in <30°, 90°)$ tranzystory T3, T5, T2, T4 są wyłączone, a tranzystor T1 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T6 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in <90°, 150°)$ tranzystory T3, T5, T4, T6 są wyłączone, a tranzystor T1 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T2 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in <150°, 210°)$ tranzystory T1, T5, T4, T6 są wyłączone, a tranzystor T3 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T2 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in <210°, 210°)$ tranzystory T1, T5, T2, T6 są wyłączone, a tranzystor T3 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T4 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in <k\cdot\tau, (k+1/2)\cdot\tau>$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in <270°, 330°)$ tranzystory

T1, T3, T2, T6 są wyłączone, a tranzystor T5 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T4 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; przy czym, kąt α_{e1} liczy się od punktu przejścia przez 0 siły elektromotorycznej silnika w fazie a, a PWM to sygnał o stałej częstotliwości przełączania f=1/T i regulowanym wypełnieniu d, przy tym pomiar czasu t o cyklu τ rozpoczyna się w chwili załączenia komutatora, a liczba $k \in N$.

Wartość czasu x jest stała, niezależna od częstotliwości wirowania silnika i tak dobrana, aby była co najmniej 10 razy większa od okresu sygnału PWM T i jednocześnie τ jest co najmniej 10 razy mniejsza od termicznej zastępczej stałej czasowej układu zasilania to jest komutatora elektronicznego wraz z systemem chłodzenia, korzystnie gdy zachodzi zależność τ=nT, gdzie n-liczba całkowita większa od 10.

Wynalazek umożliwia sterowanie zaworami komutatora, zapewniając równomierne rozłożenie średnich strat w tranzystorach grupy górnej T1, T3, T5 i dolnej komutatora T4, T6, T2, także przy zatrzymanym lub wirującym z niewielką prędkością wirniku silnika, przez co poprawia warunki pracy zaworów.

Przedmiot wynalazku przedstawiono na rysunkach na których fig. 1 przedstawia schemat połączeń układu napędowego z silnikiem bezszczotkowym prądu stałego oraz układem sterowania US; na fig. 2 przedstawiono przebiegi sygnałów sterujących tranzystorami, na fig. 3 przedstawiono przykład cyfrowej realizacji układu sterowania, na fig. 4 przedstawiono działanie proponowanego układu sterowania ilustrują przebiegi czasowe pokazane na rysunku, a na fig. 5 zrównoważenie średnich strat w zaworach komutatora grupy górnej i dolnej.

Fig. 2 ukazuje przebiegi sygnałów sterujących tranzystorami T1–T6 komutatora wraz z sygnałem PWM. na tle sił elektromotorycznych e_a, e_b, e_c i prądów i_a, i_b, i_c silnika.

Na rys. fig. 3 przedstawiono przykład cyfrowej realizacji układu sterowania, który bazuje na informacji o kącie elektrycznym α_{e1} sygnale PWM oraz sygnale wyznaczającym czas τ. Na podstawie kąta α_{e1} wyznaczane są, w komparatorach cyfrowych K1–K6, pomocnicze sygnały T1Z–T6Z określające przedział załączania danego tranzystora. Sygnał τ o wypełnieniu 50% rozdziela, za pomocą bramek OR G i ORD, sygnał PWM na dwa, przeznaczone dla grupy górnej PWMG i dolnej PWMD komutatora elektronicznego. Sygnały sterujące dla tranzystorów grupy górnej komutatora T1, T3, T5 są iloczynem logicznym wcześniej generowanych sygnałów T1Z, T3Z, T5Z oraz sygnału PWMG. zrealizowane za pomocą bramek AND1, AND3, AND5. Analogicznie generowane są sygnały sterujące tranzystorami dolnej grupy komutatora T4, T6, T2 z wykorzystaniem sygnałów T4Z, T6Z, T2Z, PWMD i bramek AND4, AND6, AND2.

Działanie proponowanego układu sterowania ilustrują przebiegi czasowe pokazane na rysunku fig. 4 przy pewnej ustalonej prędkości wirowania silnika, dla dwóch kolejnych okresów kąta elektrycznego α_{e1}. Podstawowa zaleta układu, czyli zrównoważenie średnich strat w zaworach komutatora grupy górnej i dolnej, także przy zatrzymanym wirniku silnika ilustruje rysunek fig. 5. Pokazano tu przebiegi sygnałów z układu zamieszczonego na rysunku fig. 3, w przykładowej sytuacji, gdy wirnik silnika został zatrzymany przy ustalonym kącie elektrycznym α_{e11}=240°. Tranzystory T3 i T4 wymuszające przebieg prądu w uzwojeniach są w tej sytuacji naprzemiennie w stanie załączenia lub sterowane sygnałem PWM, z okresem czasu τ, a pozostałe tranzystory T1, T5, T6, T2 są wyłączone. W ciągu czasu τ i jego wielokrotności suma strat w zaworach górnej grupy T1, T3, T5 jest równa sumie strat w tranzystorach dolnej grupy T4, T6, T2.

Sposób sterowania według wynalazku polega na tym, że tranzystory komutatora T1–T6 są załączane w funkcji kąta elektrycznego α_{e1} i czasu t następująco:

– dla $\alpha_{e1} \in \langle 0°, 30°) \cup \langle 330°, 360°)$

• tranzystory T1, T3, T2, T4 są wyłączone,

• tranzystor T5 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM,

• tranzystor T6 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe;

– dla $\alpha_{e1} \in \langle 30°, 90°)$

• tranzystory T3, T5, T2, T4 są wyłączone,

• tranzystor T1 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM,

•tranzystor T6 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe;

– dla $\alpha_{e1} \in \langle 90°, 150°)$

• tranzystory T3, T5, T4, T6 są wyłączone,

• tranzystor T1 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM,

• tranzystor T2 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe;

-dla $\alpha_{e1} \in \langle 150°, 210°)$

• tranzystory T1, T5, T4, T6 są wyłączone,

• tranzystor T3 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM,

• tranzystor T2 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe;

• tranzystory T1, T5, T2, T6 są wyłączone,

• tranzystor T3 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM,

• tranzystor T4 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe;

– dla $\alpha_{e1} \in \langle 270°, 330°)$

• tranzystory T1, T3, T2, T6 są wyłączone,

• tranzystor T5 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM,

• tranzystor T4 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe;

przy czym, kąt α_{e1} jest liczony od punktu przejścia przez 0 siły elektromotorycznej silnika w fazie a, PWM to sygnał o stałej częstotliwości przełączania f=1/T i regulowanym wypełnieniu d, pomiar czasu t o cyklu τ rozpoczyna się w chwili załączenia komutatora, a liczba $k \in N$.

Cykl zmiany sposobu sterowania tranzystorów danej grupy wynosi τ i jest stały, niezależny od częstotliwości wirowania silnika i tak dobrana, aby była przynajmniej 10 razy większa od okresu sygnału PWM T i jednocześnie τ jest przynajmniej 10 razy mniejsza od termicznej zastępczej stałej czasowej układu zasilania (komutator elektroniczny wraz z systemem chłodzenia), korzystnie gdy zachodzi zależność τ=nT, gdzie n-liczba całkowita większa od 10.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób sterowania tranzystorami komutatora elektronicznego, przeznaczonego do zasilania silników bezszczotkowych prądu stałego, polega na tym, że tranzystory komutatora T1 – T6 załącza się w funkcji kąta elektrycznego α_{e1} i czasu t następująco:

dla $\alpha_{e1} \in \langle 0°, 30°) \cup \langle 330°, 360°)$ tranzystory T1, T3, T2, T4 są wyłączone, a tranzystor T5 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T6 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in \langle 30°, 90°)$ tranzystory T3, T5, T2, T4 są wyłączone, a tranzystor T1 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T6 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in \langle 90°, 150°)$ tranzystory T3, T5, T4, T6 są wyłączone, a tranzystor T1 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T2 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in \langle 150°, 210°)$ tranzystory T1, T5, T4, T6 są wyłączone, a tranzystor T3 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T2 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in \langle 210°, 270°)$ tranzystory T1, T5, T2, T6 są wyłączone, a tranzystor T3 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T4 jest

sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; dla $\alpha_{e1} \in \langle 270°, 330°)$ tranzystory T1, T3, T2, T6 są wyłączone, a tranzystor T5 jest załączony na stałe jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest sterowany sygnałem PWM, oraz tranzystor T4 jest sterowany sygnałem PWM jeśli spełnione jest, że $t \in \langle k \cdot \tau, (k+1/2) \cdot \tau \rangle$, w przeciwnym przypadku jest załączony na stałe; przy czym, kąt α_{e1} liczy się od punktu przejścia przez 0 siły elektromotorycznej silnika w fazie a, a PWM to sygnał o stałej częstotliwości przełączania f=1/T i regulowanym wypełnieniu d, przy tym pomiar czasu t o cyklu τ rozpoczyna się w chwili załączenia komutatora, a liczba $k \in N$.

2. Sposób sterowania według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wartość czasu τ jest stała, niezależna od częstotliwości wirowania silnika i tak dobrana, aby była co najmniej 10 razy większa od okresu sygnału PWM T i jednocześnie t jest co najmniej 10 razy mniejsza od termicznej zastępczej stałej czasowej układu zasilania to jest komutatora elektronicznego wraz z systemem chłodzenia, korzystnie gdy zachodzi zależność τ=nT, gdzie n-liczba całkowita większa od 10.

Rysunki

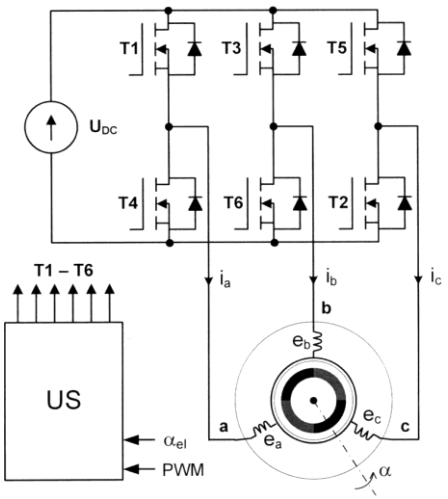

Fig. 1

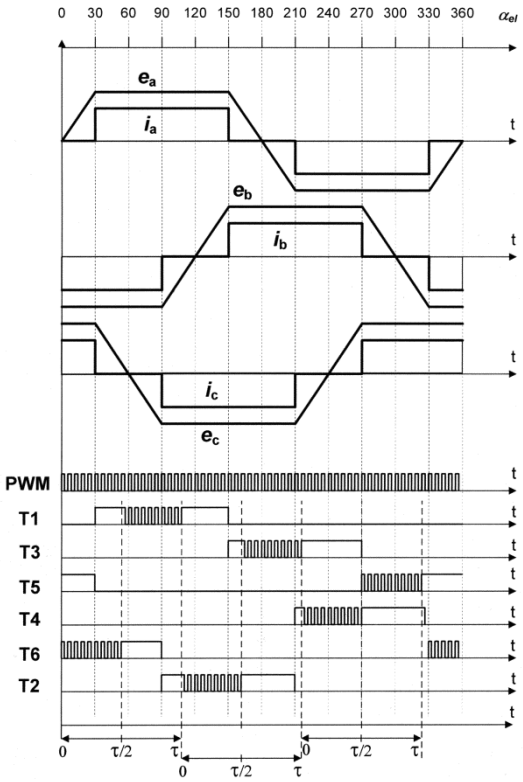

Fig. 2

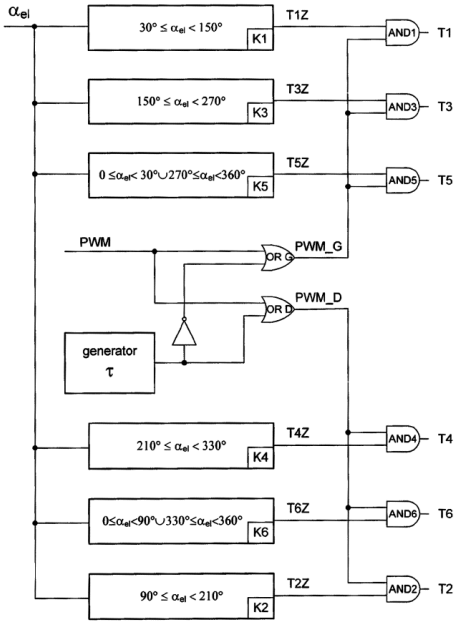

Fig. 3

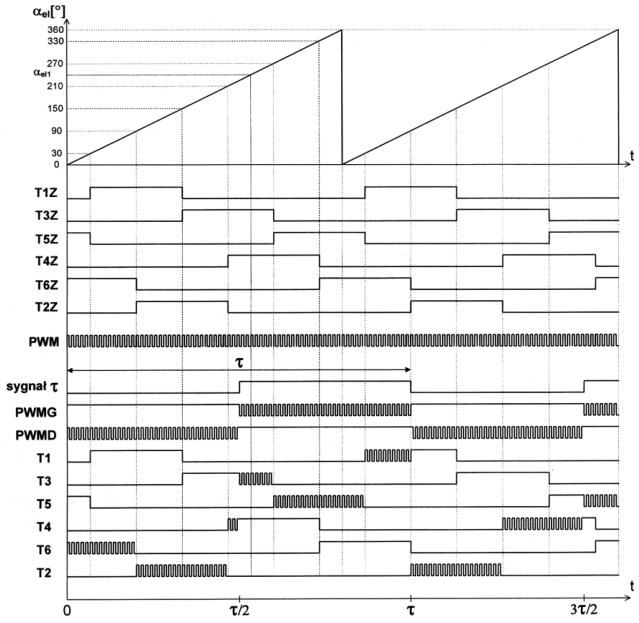

Fig. 4

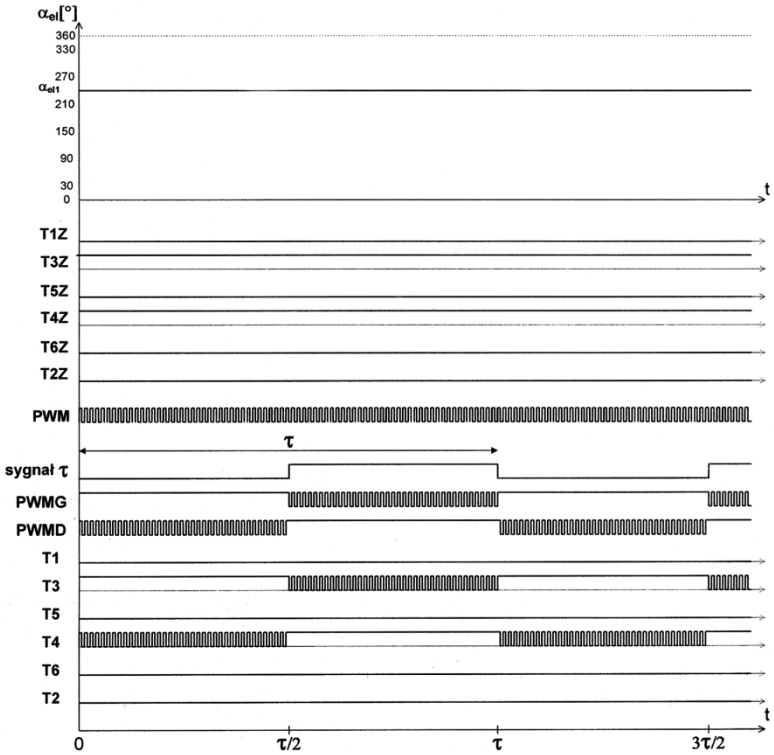

Fig. 5

Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)