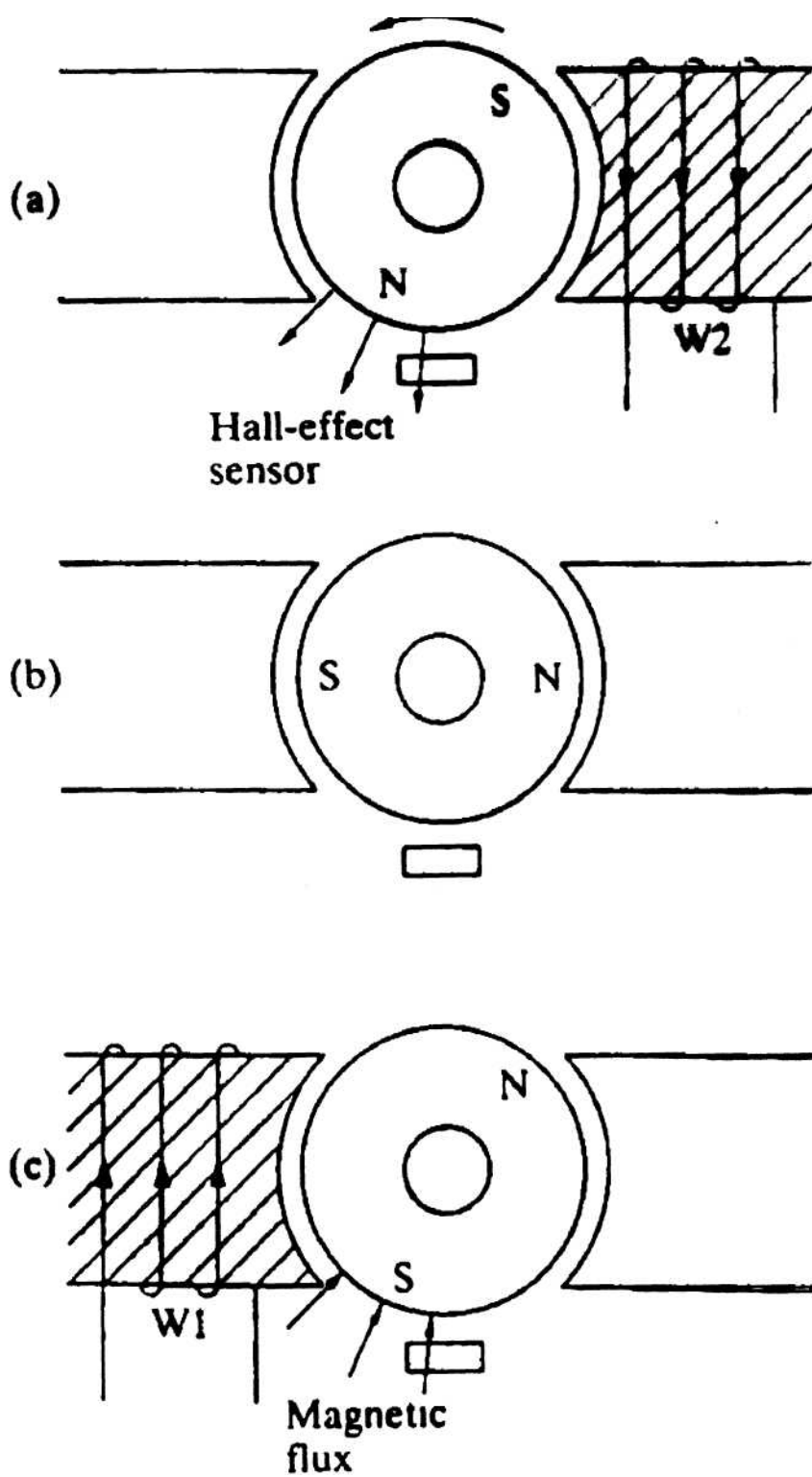
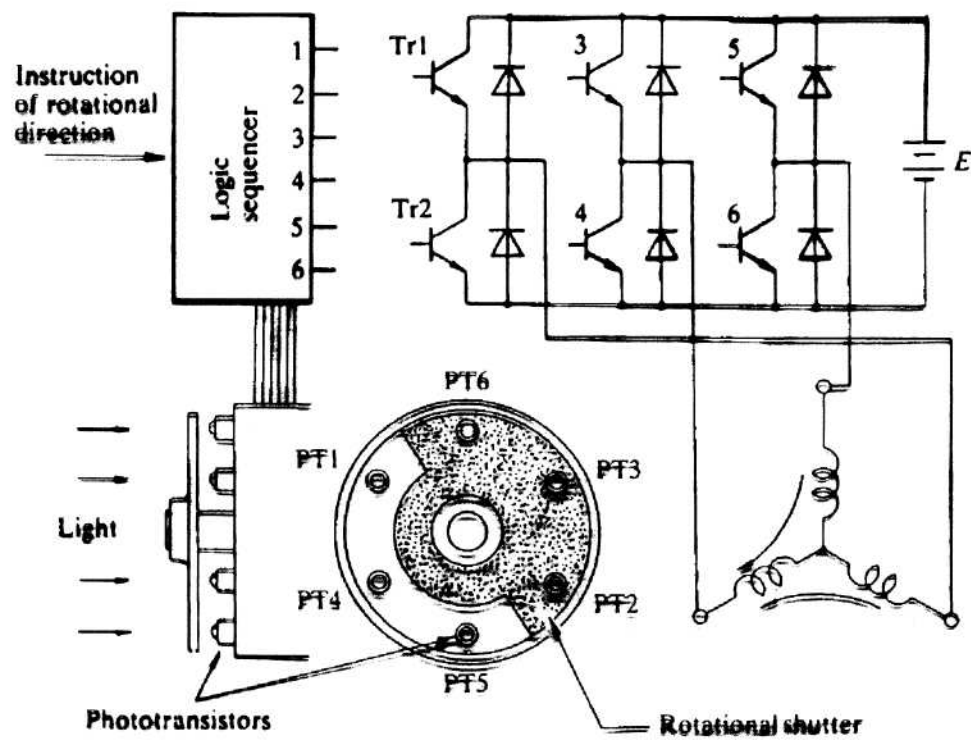
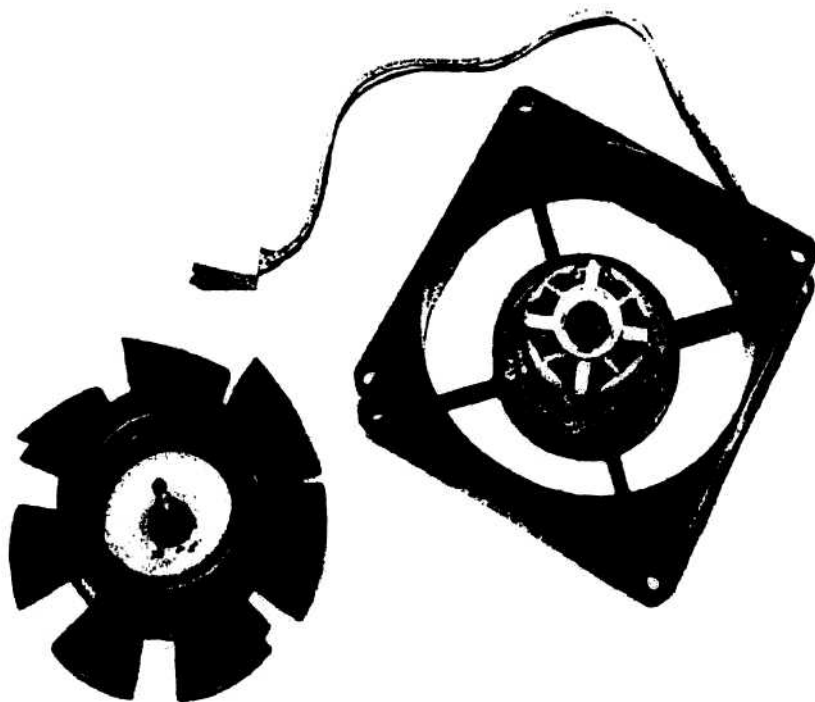


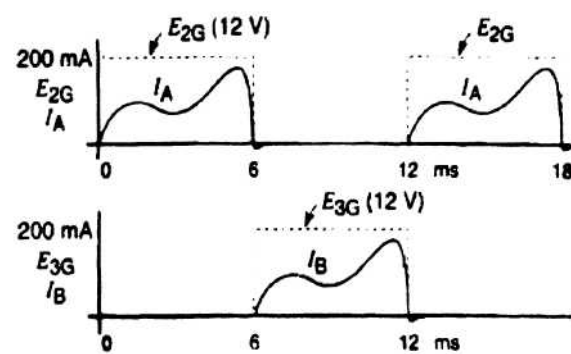
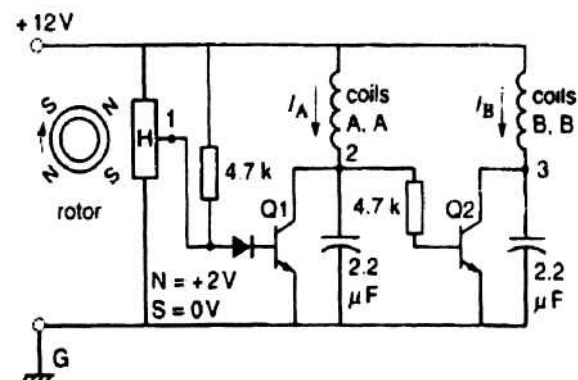
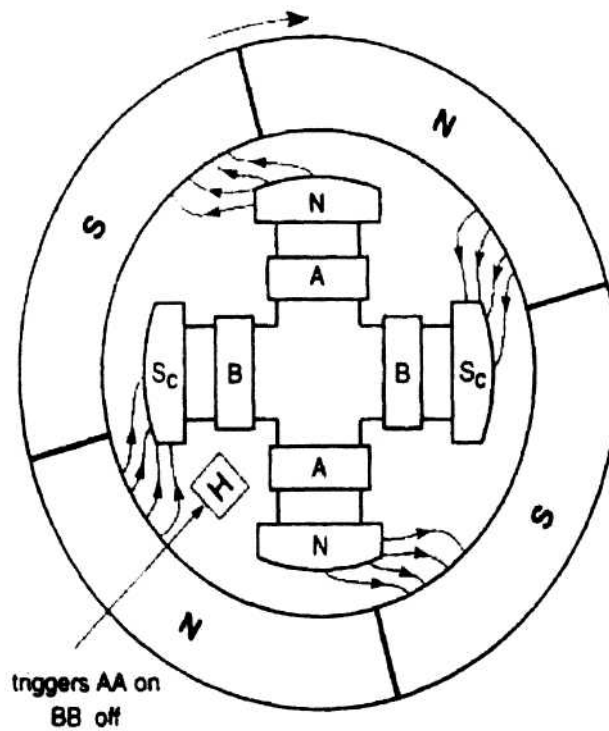
Silniki prądu stałego z komutacją bezstykową (elektroniczną)

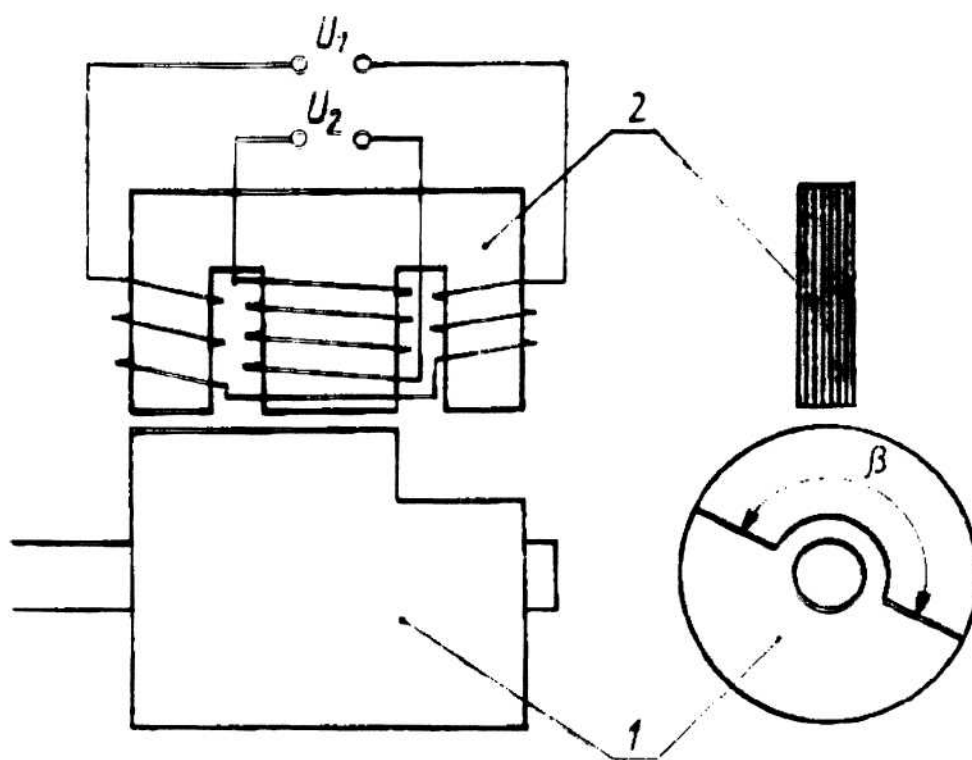
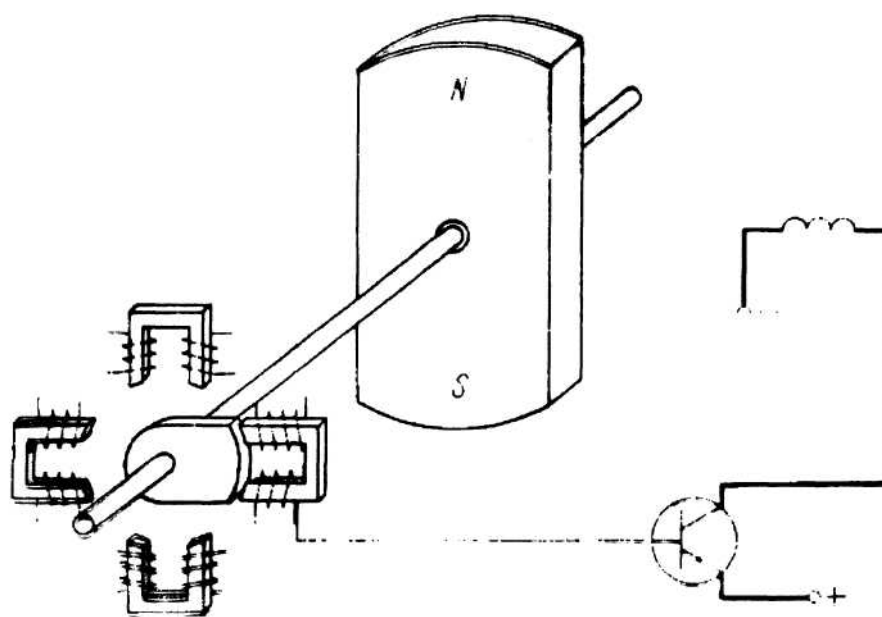


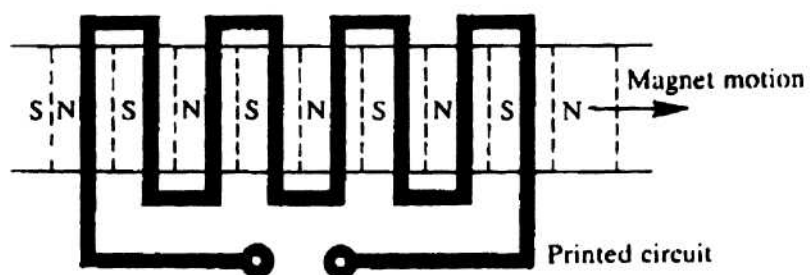
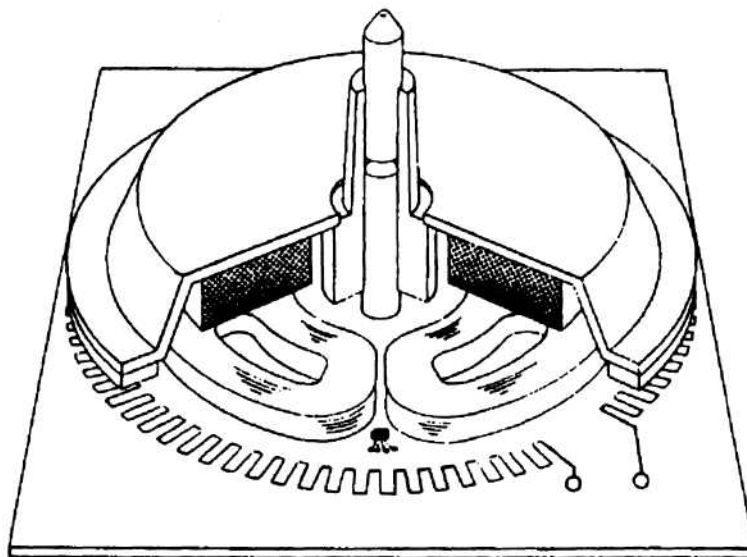
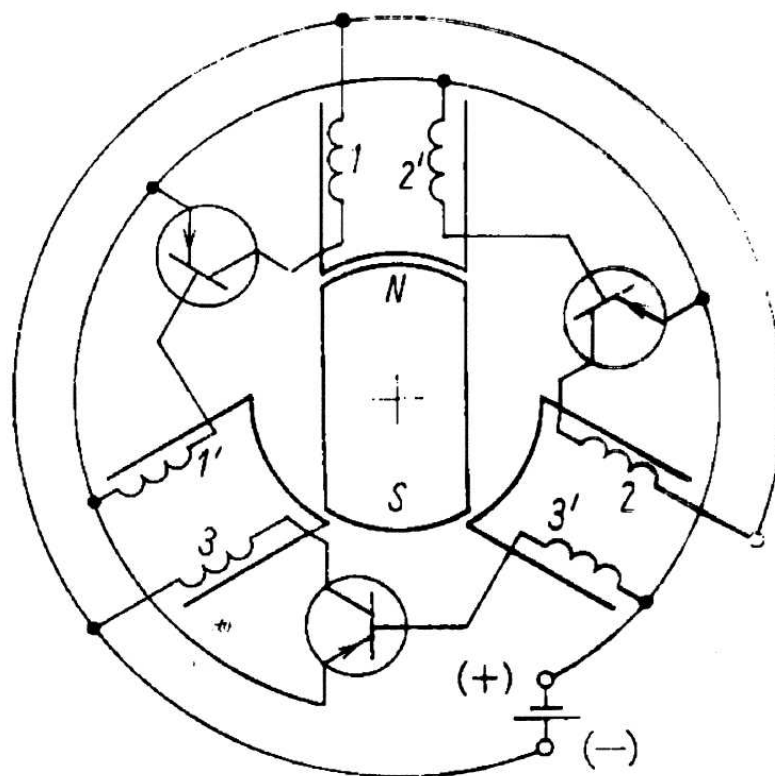


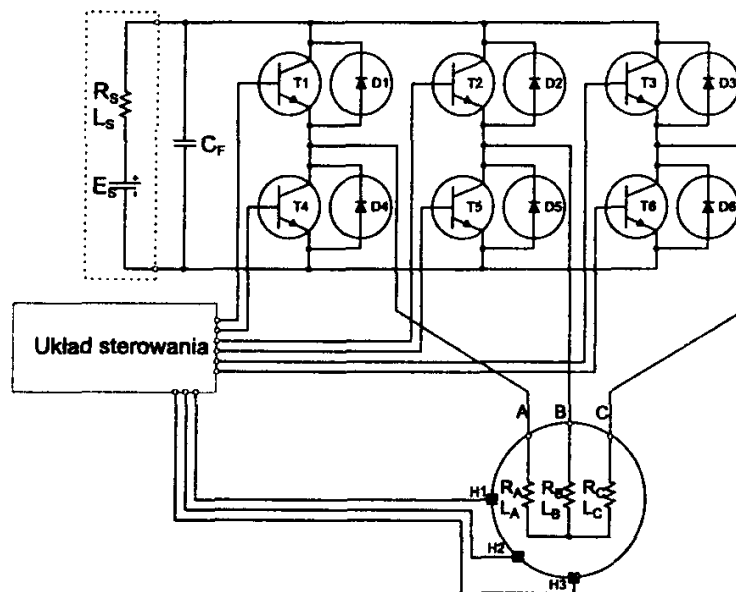
Silnik bezkomutatorowy z fototranzystorami



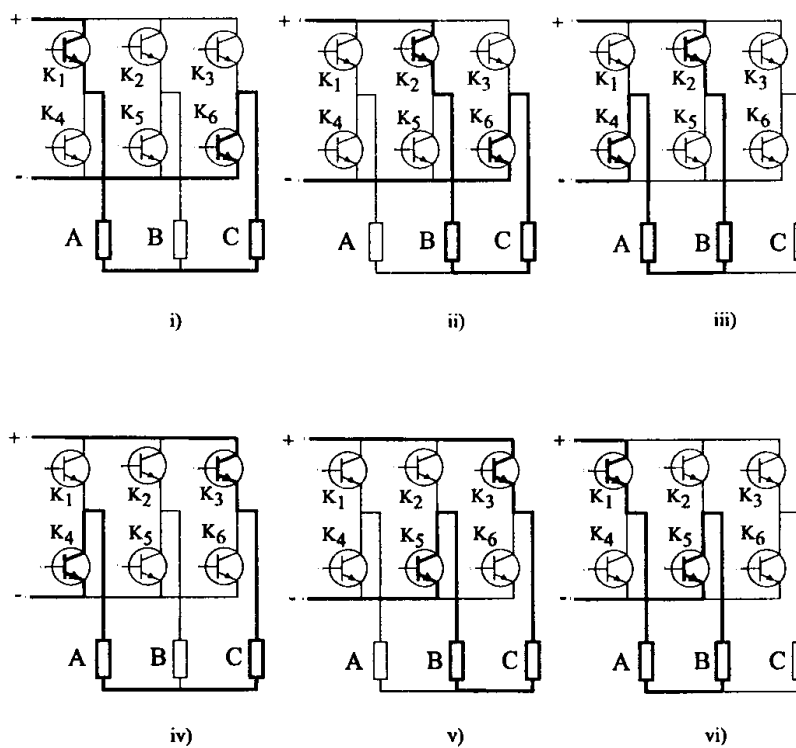




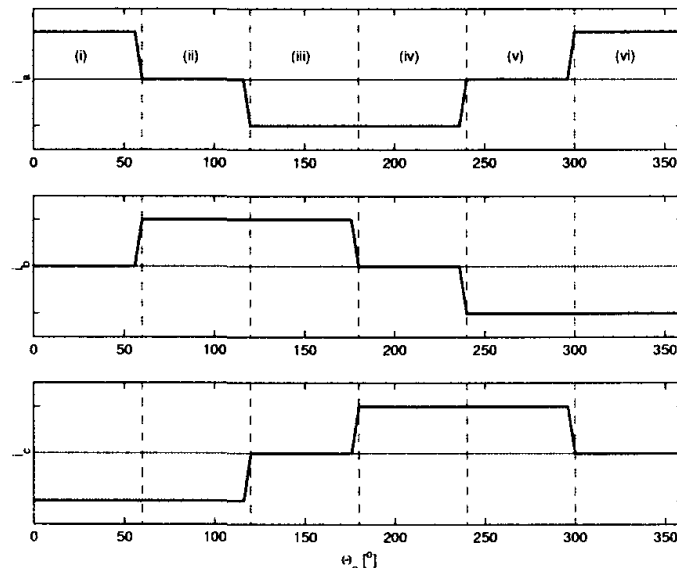




Schemat układu przekształtnikowego zasilającego trójfazowy silnik bezszczotkowy



Pojedynczy cykl pracy tranzystorów elektronicznego komutatora

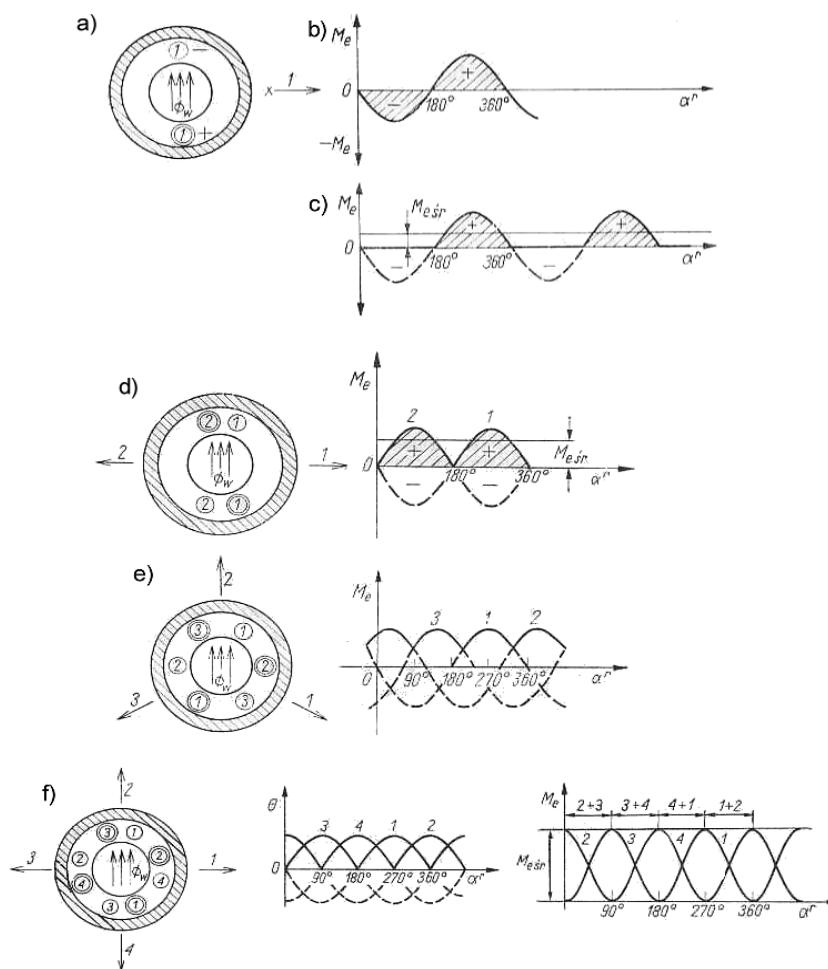


Wyidealizowane zmienności prądów pasmowych przy przewodzeniu prądu przez tranzystor 120° elektrycznych

Największą wadą silników prądu stałego jest obecność komutatora i szczotek. Elementy te stosunkowo szybko się zużywają i przez to wymagają okresowej kontroli. Zniszczenie komutatora mikrosilnika prądu stałego kwalifikuje go do wymiany. Dodatkowo iskrzenie na komutatorze wytwarza zakłócenia radioelektryczne oraz ogranicza możliwość stosowania tych silników w atmosferze zagrożonej wybuchem. Ta podstawowa wada została wyeliminowana w silniku z komutatorem elektronicznym. Trwałość silników tego typu jest bardzo duża i ograniczona jedynie trwałością jego łożysk. Silnik nie wymaga konserwacji. Przez zastąpienie komutatora bezzestykowym sterownikiem prądu w uzwojeniach silnika oraz przy możliwej bezzłobkowej konstrukcji stojana i wirnika maszyny uzyskuje się cichobieżność nawet przy dużych prędkościach obrotowych. Lepsze są własności rozruchowe i sprawność w porównaniu do konstrukcji klasycznej.

W silniku komutatorowym moment obrotowy powstaje w wyniku współdziałania strumienia magnetycznego stojana i prądu uzwojeń wirnika. Właściwe zmiany kierunku prądu w cewkach wirnika w czasie jego obrotu zapewnia komutator. W silniku z komutatorem bezzestykowym konstrukcja jest odwrócona. Pole magnetyczne wytwarza magnes trwały będący wirnikiem, uzwojenia natomiast umieszczone są nieruchomo na stojanie. Są one zasilane poprzez tranzystory sterowane za pomocą bezzestykowych czujników położenia wirnika. Czujniki położenia mogą być oparte na zasadzie wykorzystania zjawiska optoelektronicznego, magnetoelektrycznego lub indukcyjnego.

Do budowy komutatora elektronicznego często wykorzystuje się hallotrony. Napięcie wyjściowe hallotyonu jest proporcjonalne do indukcji pola magnetycznego. Może ono w zależności od położenia wirnika względem stojana sterować tranzystor zastępujący komutator. Za pomocą tranzystora możemy regulować wartość prądu, nie można natomiast zmieniać kierunku jego przepływu. Narzuca to układ połączeń uzwojeń, przy którym zasilanie jest doprowadzone do tego uzwojenia, które przy danym położeniu wirnika będzie wytwarzało moment obrotowy we współdziałaniu z polem magnetycznym wirnika. Końce czterech cewek rozłożonych równomiernie na obwodzie stojana są zwarte i przyłączone do jednego bieguna źródła zasilania. Zasilając początki uzwojeń kolejno z drugiego bieguna zasilania uzyskujemy obrót wirnika skokami po 90° .



Przebiegi momentu obrotowego w silnikach o komutacji bezzestykowej.

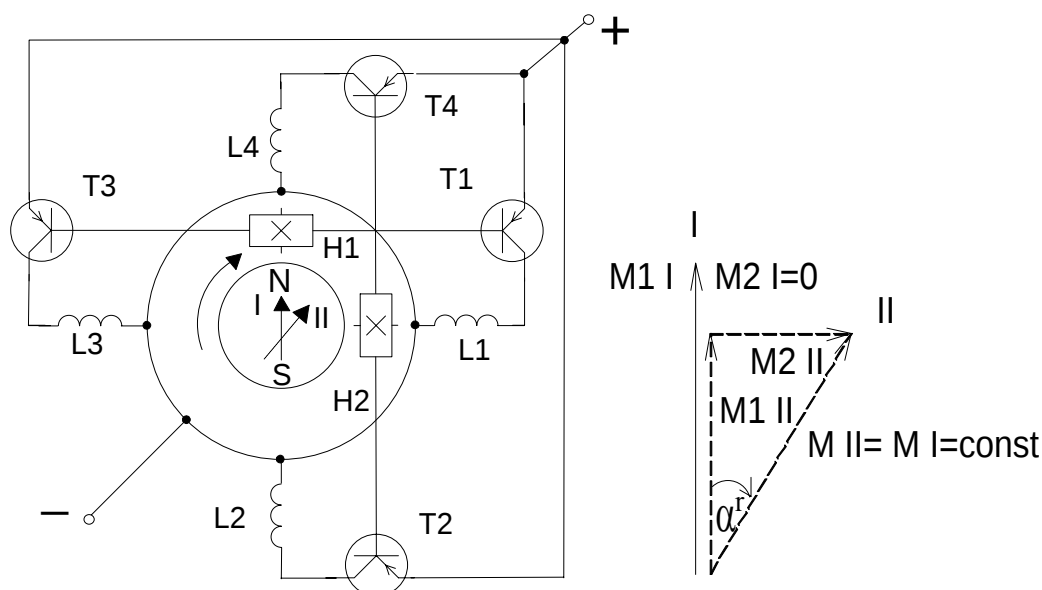
Przebieg momentu obrotowego w czasie obrotu wirnika zależy od liczby kierunków strumieni wytwarzanych przez uzwojenia umieszczonych na stojanie. Na rysunkach pokazane są silniki o wirniku z promieniowo namagnesowanym magnesem trwałym, wytwarzającym strumień Φ_w w szczelinie maszyny. Uzwojenia umieszczone są na bezzłobkowym stojanie, przez który zamyka się strumień wzbudzenia. Początek uzwojenia jest oznaczony podwójnym kółkiem. Zakładamy praktycznie sinusoidalny rozkład strumienia Φ_w w szczelinie. Wtedy przebieg momentu obrotowego w funkcji obrotu wirnika dla silnika z jednym uzwojeniem będzie miał kształt jak na rysunku 3.6 b. Jest to przebieg sinusoidalny, którego wartość średnia wynosi zero. Wyłączając zasilanie uzwojenia, w czasie gdy moment jest ujemny, uzyskamy wartość średnią momentu różną od zera. Niestety przy położeniu wirnika w zakresie $0^\circ \leq \alpha^r \leq 180^\circ$, gdzie napięcie jest odłączone i $M_e = 0$, silnik nie będzie mógł ruszyć.

Niezerowy moment rozruchowy w każdym momencie zapewnia dopiero zastosowanie trzech uzwojeń na stojanie przesuniętych względem siebie o 120° . Przy wyłączaniu zasilania kolejnych uzwojeń w zakresach kątów odpowiednio:

- dla cewki 1 $-30^\circ \leq \alpha^r \leq 210^\circ$
- dla cewki 2 $90^\circ \leq \alpha^r \leq 330^\circ$
- dla cewki 3 $-150^\circ \leq \alpha^r \leq 90^\circ$

Moment obrotowy nie ma stałej wartości. Wahania momentu mogą być szkodliwe dla wielu rodzajów napędów. Praktycznie stałą wartość momentu obrotowego w funkcji obrotu wału silnika można uzyskać dopiero przy zastosowaniu czterech uzwojeń.

Schemat zasilania silnika z czterema uzwojeniami przesuniętymi względem siebie o 90° pokazano na rysunku 3.7. Jako czujniki położenia wału zastosowano tu dwa hallotrony umieszczone w jarzmie i przesunięte o 90° .



Układ połączeń uzwojeń, hallotronów i tranzystorów w silniku o komutacji bezzestykowej oraz momenty w położeniach I i II wirnika

Zakładając stałość prądu sterującego hallotrony i sinusoidalny rozkład indukcji wzdłuż szczeliny, otrzymamy na wyjściu hallotyonu sinusoidalnie zmienne napięcie Halla w czasie obrotu wirnika. Zasilane tym napięciem bazy tranzystorów (pracujących na liniowej części charakterystyki) sterują zasilaniem uzwojeń. Przy tych założeniach prąd kolektora, a tym samym przepływ uzwojeń silnika jest sinusoidalnie zmienny. Na rysunku biegun N wirnika znajduje się bezpośrednio pod hallotronem H₁, a więc jego napięcie wyjściowe osiąga wtedy maksimum. Tranzystor T₁ o ujemnieysterowanej bazie przewodzi wtedy maksymalną wartość sinusoidalnie zmiennego prądu kolektora. Uzwojenie L₁ wytwarza maksymalną wartość przepływu Φ_s , który jest przesunięty względem strumienia wytworzonego przez magnes trwały wirnika Φ_w o kąt $\beta=90^\circ$. Dzięki temu powstaje moment obrotowy:

$$M_e = C\Phi_w \Phi_s \sin \beta = C\Phi_w \Phi_s$$

Tranzystor T₃ jest zablokowany ponieważ jego baza jestysterowana dodatnio. Tranzystory T₂, T₄ są również zablokowane, gdyż hallotron H₂ znajduje się w zerowym polu magnetycznym. Proporcjonalność napięcia Halla do wartości strumienia zapewnia kosinusoidalne zmiany przepływu uzwojenia L₁ sterowanego hallotronem H₁. Zmiany przepływu uzwojenia L₂ sterowanego hallotronem H₂ są sinusoidalne. W chwili gdy wirnik obróci się o kąt α^r od położenia I, hallotron H₂ znajdzie się w polu magnetycznym i moment zaczną wytwarzać dwa uzwojenia L₁ oraz L₂. Zmiany momentów obrotowych wywołanych przez te uzwojenia opisane są zależnościami:

$$M_I = C\Phi_w \Phi_s \cos^2 \alpha^r$$

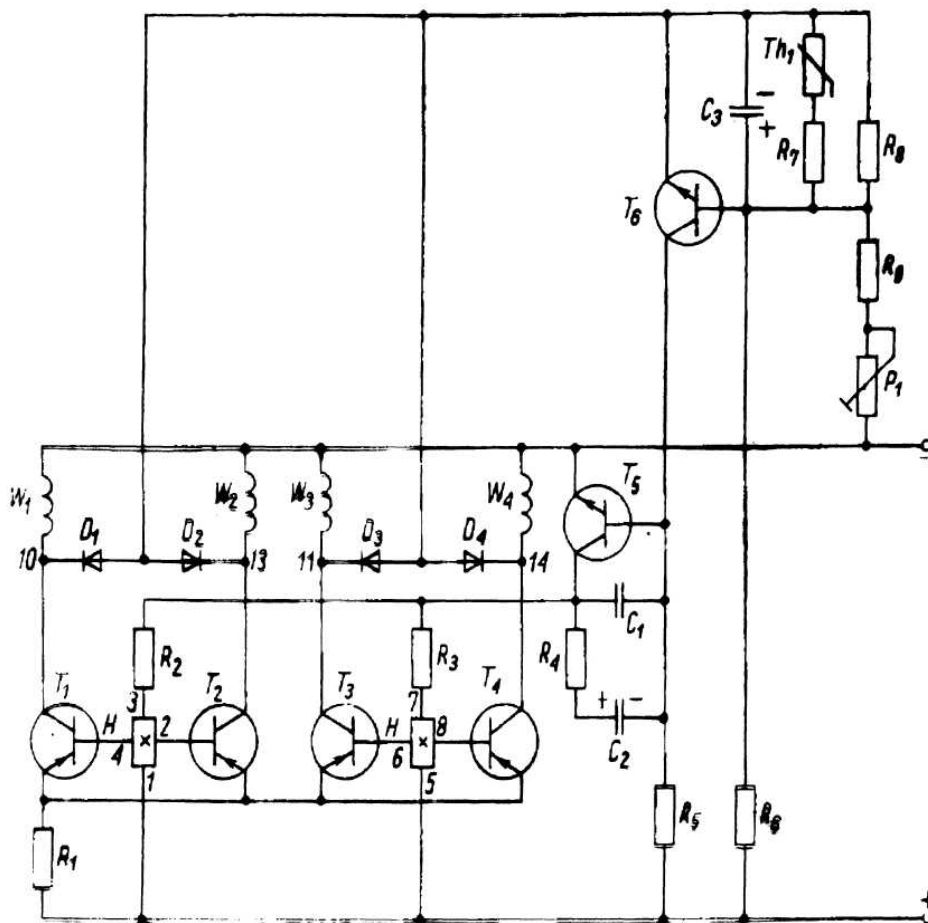
$$M_{II} = C\Phi_w \Phi_s \sin^2 \alpha^r$$

Moment wypadkowy M_e będący sumą momentów M_I i M_{II} wyniesie:

$$M_e = M_I + M_{II} = C\Phi_w \Phi_s (\cos^2 \alpha^r + \sin^2 \alpha^r) = C\Phi_w \Phi_s$$

i będzie stały w całym przedziale zmienności $0^\circ \leq \alpha^r \leq 90^\circ$.

W chwili gdy wirnik osiągnie położenie $\alpha^r = 90^\circ$, uzwojenie L_2 przejmuje funkcję uzwojenia L_1 , natomiast L_3 funkcję L_2 itd., a więc wypadkowy moment pozostanie stały w czasie pełnego obrotu wirnika. Nieznaczne wahania momentu obrotowego jakie mogą wystąpić w omawianym układzie są powodowane nieliniowościami charakterystyk użytych hallotronów i tranzystorów. Nierównomierność biegu podczas jednego obrotu wirnika będąca skutkiem tych wahań jest o rząd wielkości mniejsza niż w silniku z uzwojeniem trójcewkowym.



Układ regulacji prędkości obrotowej opisywanego wyżej silnika