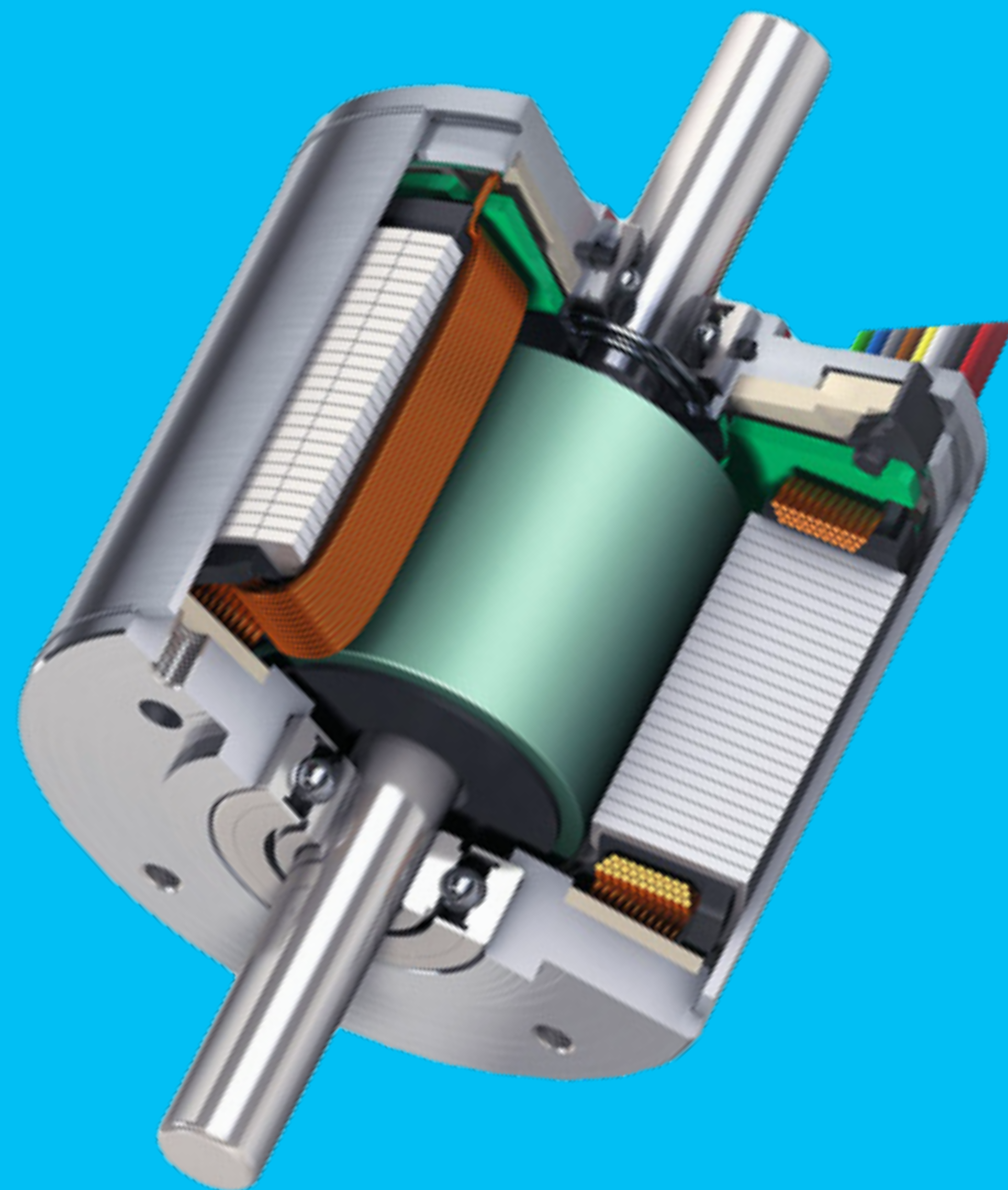


KACPER MAJCHRZAK 4 TE

ROZRUCHY I STEROWANIE SILNIKAMI PRĄDU STAŁEGO



SILNIKI PRĄDU STAŁEGO

to silniki, które zamieniają energię napięcia i prądu stałego w energię mechaniczną w postaci ruchu obrotowego.

MASZYNY ELEKTRYCZNE PRĄDU STAŁEGO

BEZSZCZOTKOWE

Z KOMUTACJĄ
ELEKTRONICZNĄ

SILNIKI

SZCZOTKOWE

BEZKOMUTATOROWE

KOMUTATOROWE

OBCOWZBUDNE

SZEREGOWE

BOCZNIKOWE

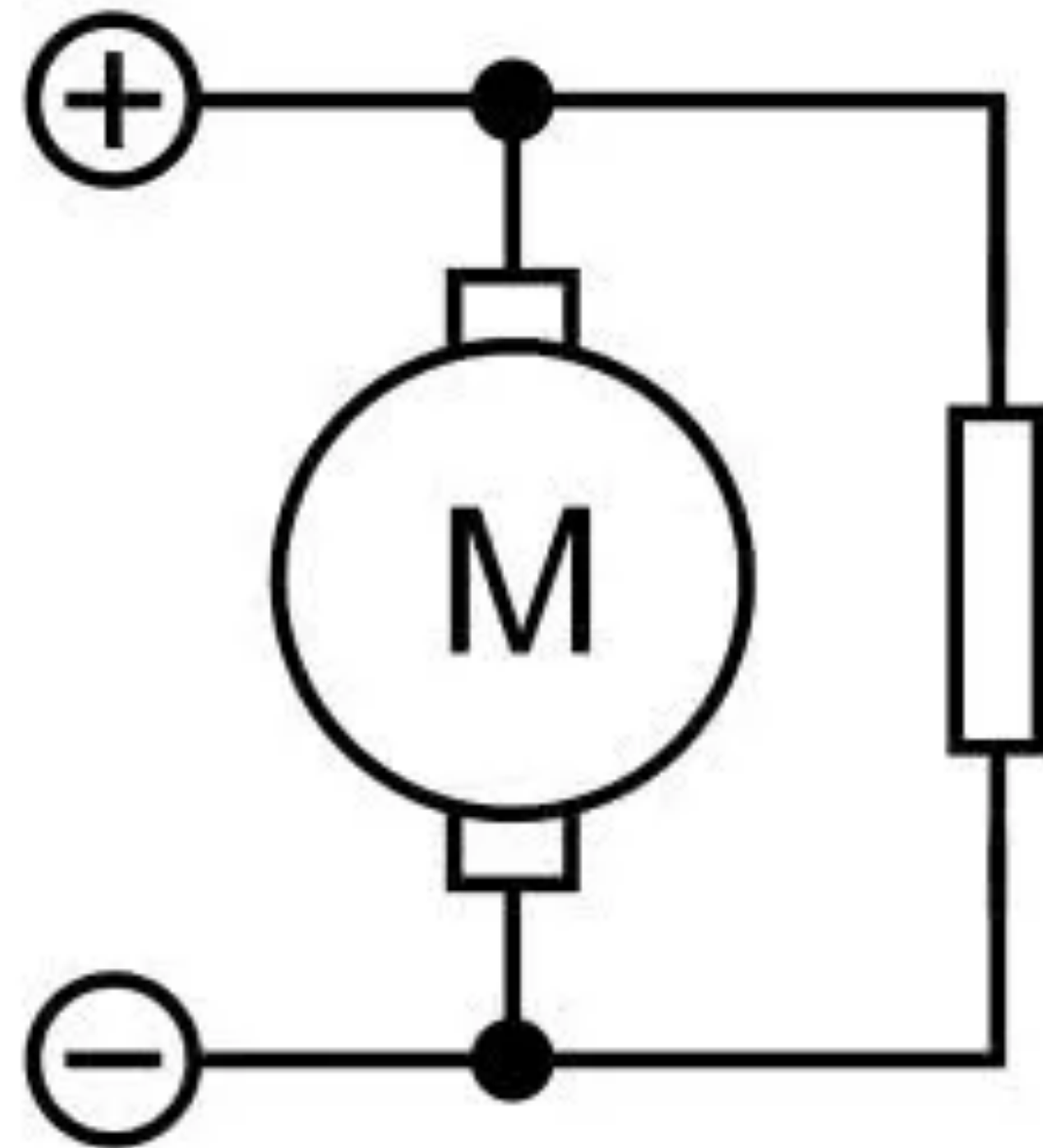
SZEREGOWO-BOCZNIKOWE

SILNIKI

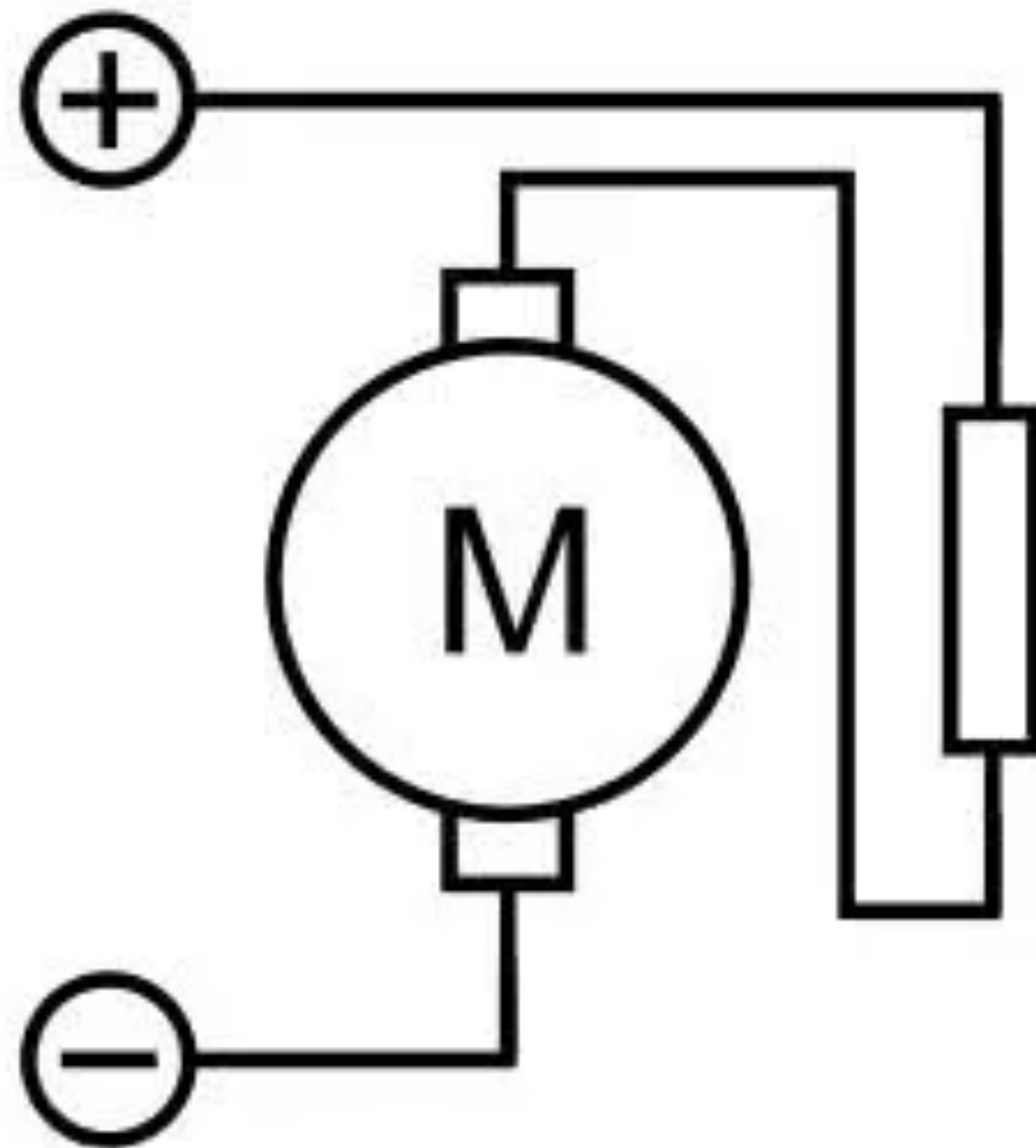
PRĄDNICE

WZMACNIACZE
ELEKTROMASZYNOWE

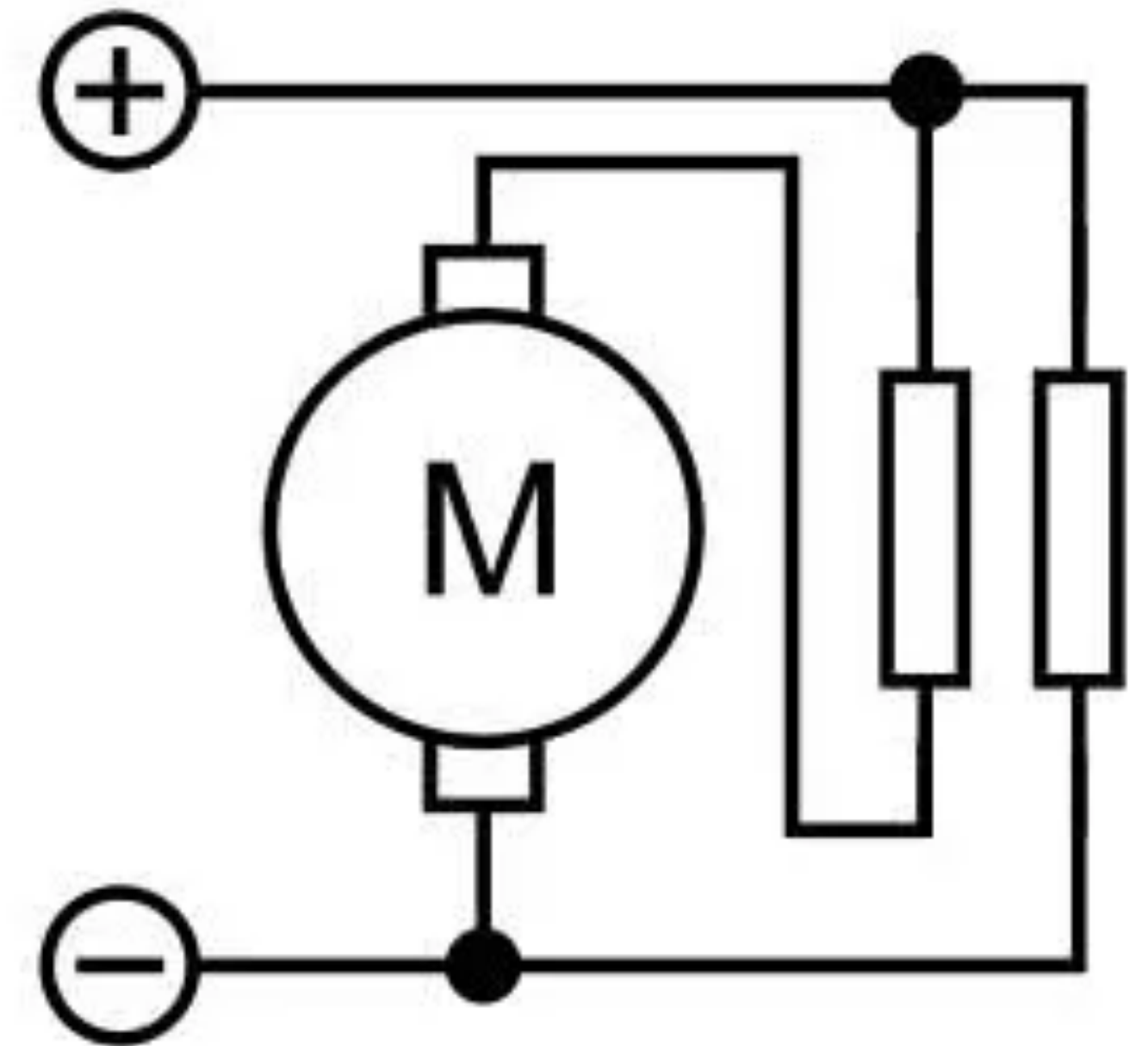
KONFIGURACJE UZWOJEŃ SZCZOTKOWEGO SILNIKA PRĄDU STAŁEGO:



BOCZNIKOWA



SZEREGOWA



SZEREGOWO-BOCZNIKOWA

SPOSOBY ROZRUCHU SILNIKA PRĄDU STAŁEGO:

- a) Rozruch za pomocą bezpośredniego włączenia do sieci – może być stosowany tylko do silników małych, o mocy znamionowej nie większej niż 1 kW;**
- b) Rozruch za pomocą rozrusznika oporowego włączonego szeregowo w obwodzie twornika – może być prowadzony przy wymaganym momencie oraz prądzie rozruchowym;**
- c) Rozruch silnika obcowzbudnego za pomocą regulowanego napięcia twornika; jest powszechnie stosowany dzięki rozwojowi sterowanych układów półprzewodnikowych;**
- d) Rozruch silnika szeregowego następuje za pomocą rozrusznika oporowego lub za pomocą regulowanego napięcia zasilania.**

PRZEBIEG ROZRUCHU SILNIKA PRĄDU STAŁEGO

W pierwszej chwili rozruchu, gdy prędkość silnika jest równa zero, siła elektromotoryczna

$E = 0$, równanie napięć dla silnika prądu stałego $U = E + R_a I_a$ przyjmuje postać:

$$U = R_a I_r.$$

Prąd rozruchowy pobierany przez silnik jest wielokrotnie większy od prądu znamionowego:

$$I_r = \frac{U}{R_r}$$

osiąga dużą wartość w porównaniu z prądem pobieranym w czasie pracy:

$$I_a = \frac{U - E}{\Sigma R_a}$$

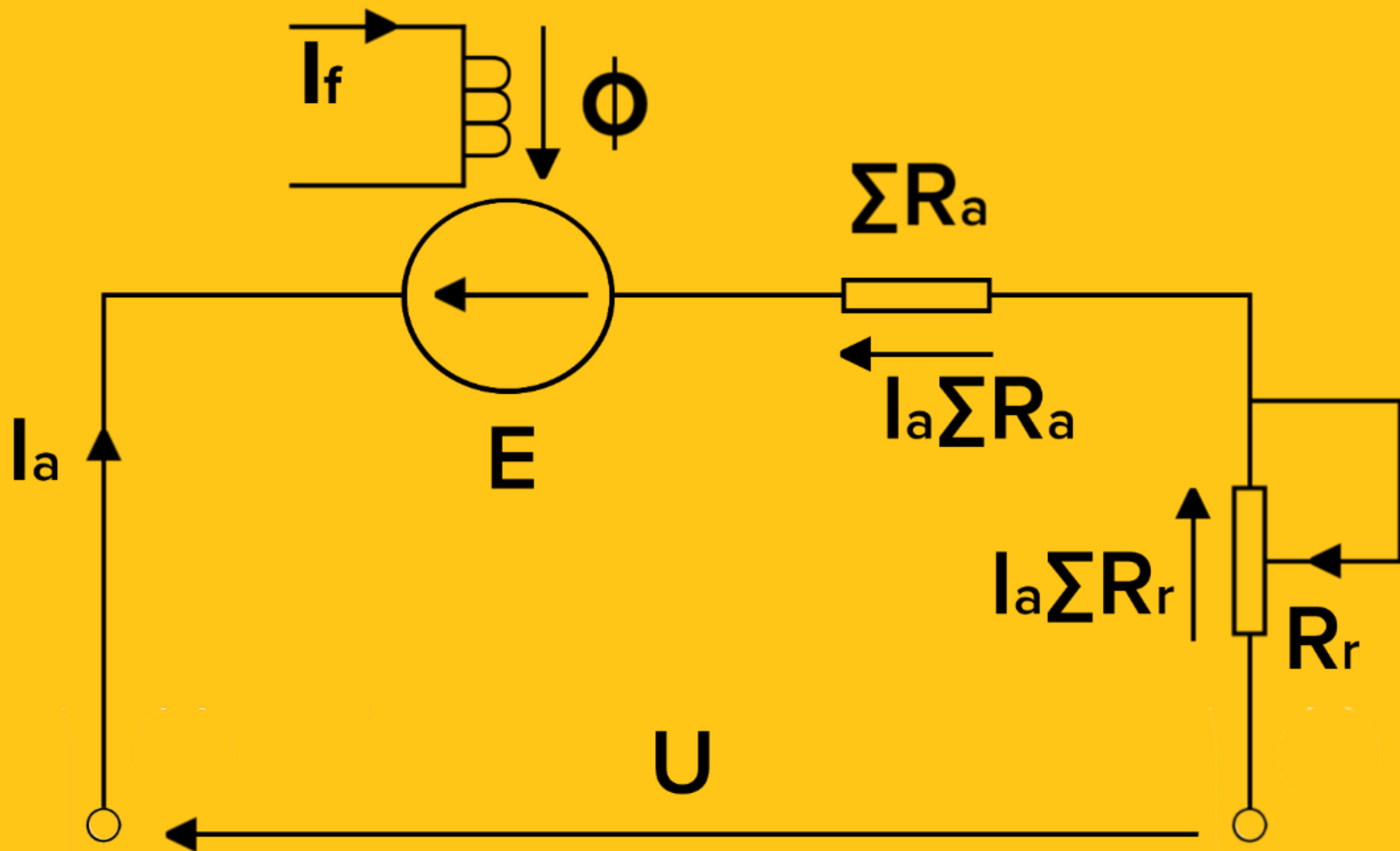
Prąd twornika włączonego bezpośrednio na napięcie znamionowe może być bardzo duży (20 – 30 razy większy od znamionowego), co mogłoby doprowadzić do zniszczenia silnika.

Celem jego ograniczenia w obwód twornika jest włączany, na czas rozruchu, rezystor R, zwany **rozrusznikiem**.

$$I_{roz} = I_a = \frac{U}{\Sigma R_a + R_r}$$

Innym sposobem zmniejszenia prądu rozruchowego jest włączenie twornika na obniżone napięcie.

ROZRUCH SILNIKA PRĄDU STAŁEGO



CAŁKOWITĄ REZYSTANCJĘ ROZRUSZNIKA OBLICZA SIĘ ZE WZORU:

$$R_{roz} \geq \frac{U_N}{I_{roz}} - \sum R_a$$

gdzie:

I_{roz} – dopuszczalny prąd twornika przy wymaganym rodzaju rozruchu, w A;

U_N – napięcie znamionowe, w V;

$\sum R_a$ – suma rezystancji w obwodzie twornika, w Ω .

ELEKTROMAGNETYCZNY MOMENT OBROTOWY PRZY ROZRUCHU

zależy od wymagań napędowych i rezystancji rozrusznika; typowy silnik jest przystosowany przez wytwórcę do momentu rozruchowego nie mniejszego niż:

- a) silnik obcowzbudny – $1,8 M_N$
- b) silnik bocznikowy – $1,8 M_N$
- c) silnik bocznikowo-szeregowy – $2,0 M_N$
- d) silnik szeregowy – $2,5 M_N$

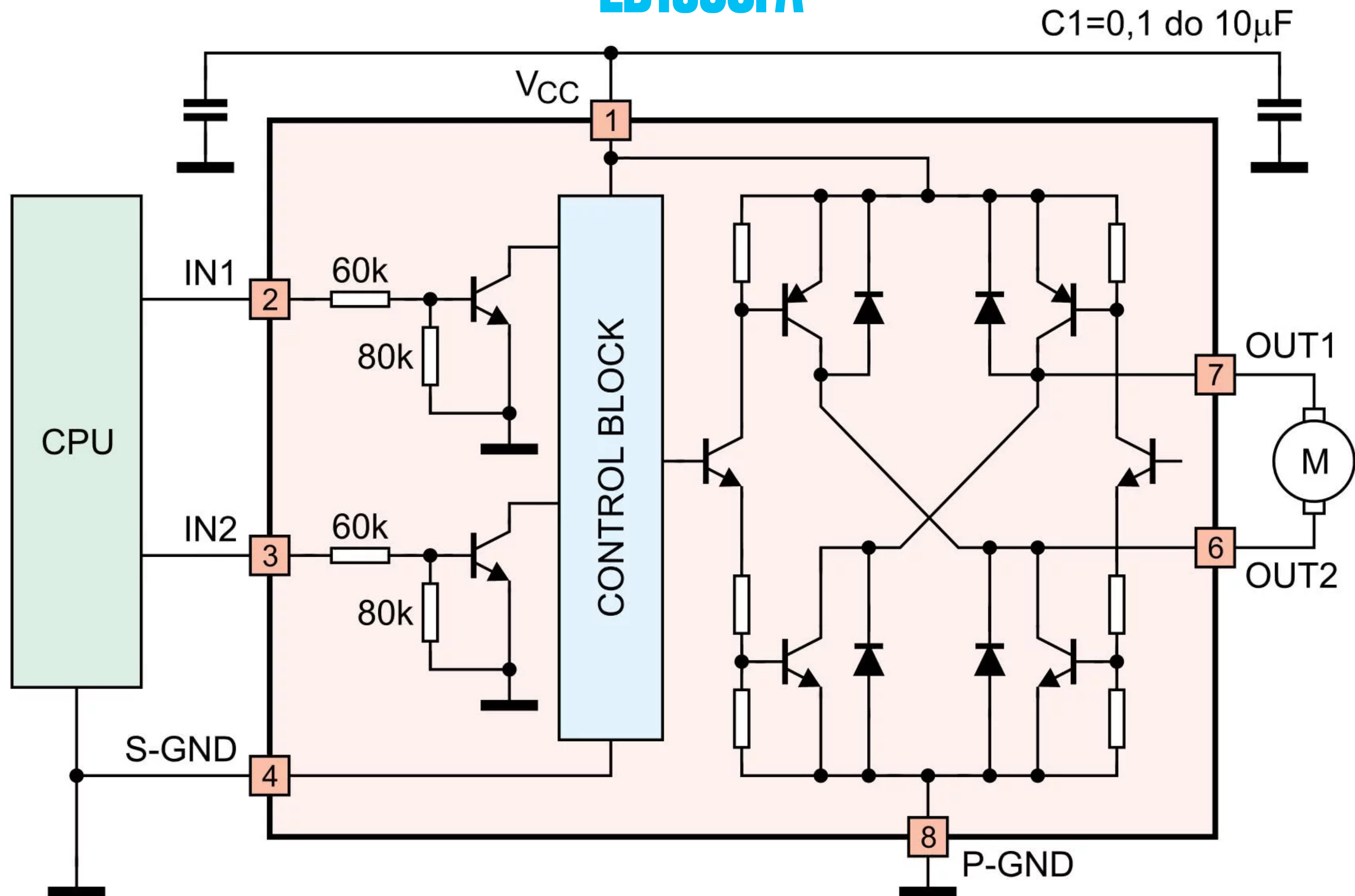
STEROWANIE SILNIKAMI PRĄDU STAŁEGO

STEROWANIE SZCZOTKOWYMI SILNIKAMI DC

Mimo prostej budowy i zasady działania silników szczotkowych DC sterowanie nimi nie jest bynajmniej łatwe. W najprostszych aplikacjach silnik może być zasilany bezpośrednio ze źródła, a do regulacji prędkości można użyć potencjometru. Ewentualna zmiana kierunku obrotu jest uzyskiwana za pomocą zwykłego przełącznika elektrycznego. W bardziej skomplikowanych aplikacjach konieczne jest stosowanie specjalnych układów scalonych – sterowników wykorzystujących wbudowaną logikę.

Na rysunku poniżej przedstawiono przykładowe rozwiązanie takiego drivera. Jest to układ LB1938FA produkowany przez ON Semiconductor. Sterownik ten ma jeden kanał umożliwiający przełączanie kierunku obrotów, a wyjścia o niskim nasyceniu zapewniają poprawną pracę nawet przy niskich napięciach zasilających. Silnik jest sterowany mostkiem H zabezpieczonym diodami tłumiącymi przepięcia generowane podczas przełączania komutatora. Parametry takie, jak prędkość i kierunek obrotów, są zadawane przez wbudowane CPU. Sterownik LB1938FA zapewnia tryby pracy: do przodu, do tyłu, hamowania i gotowości w zależności od dwóch sygnałów wejściowych. Układ znajduje zastosowanie w notebookach, kamerach cyfrowych, telefonach komórkowych i innych urządzeniach przenośnych.

SCHEMAT SCALONEGO STEROWNIKA SZCZOTKOWEGO SILNIKA PRĄDU STAŁEGO – LB1938FA



STEROWANIE 1-FAZOWYMI SILNIKAMI BEZSZCZOTKOWYMI (BLDC)

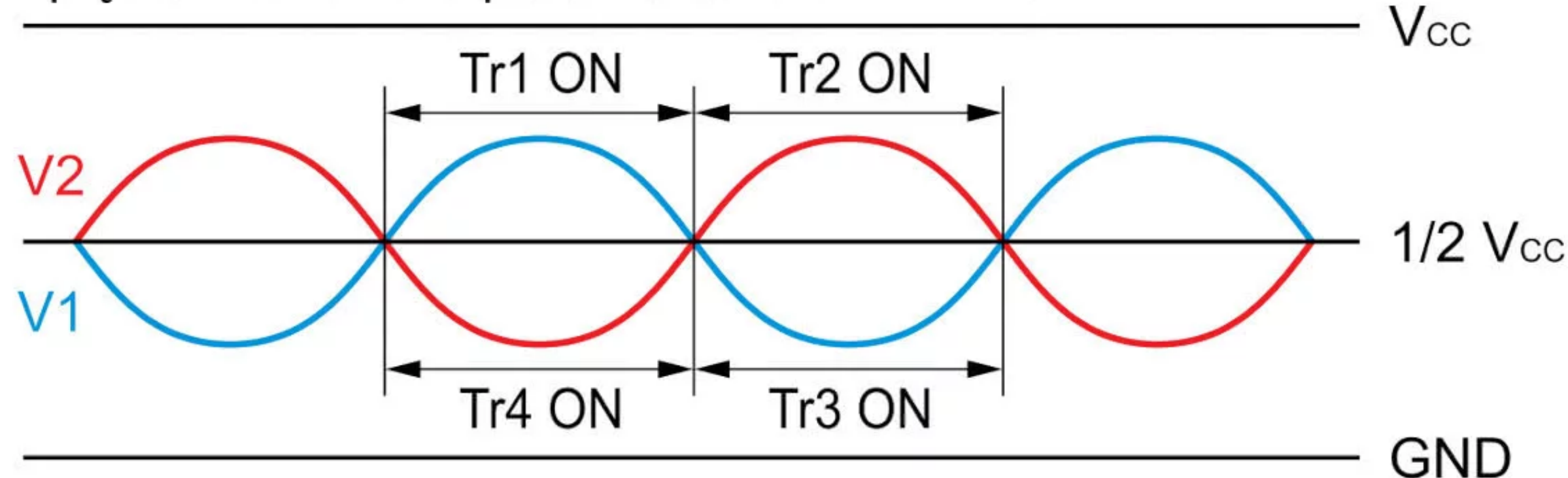
1-fazowe silniki BLDC mają dwa równoległe uzwojenia tworników sterowanych napięciem PWM za pośrednictwem mostka H. Wyjście z pojedynczego czujnika Halla odwraca w sposób ciągły polaryzację prądu płynącego przez uzwojenie twornika, podtrzymując tym samym ciągłe obroty wirnika.

1-fazowe silniki BLDC są bardzo proste w sterowaniu. Do ich obsługi wystarczy jeden układ scalony, np. LB11970RV (1-fazowy sterownik pełnookresowy).

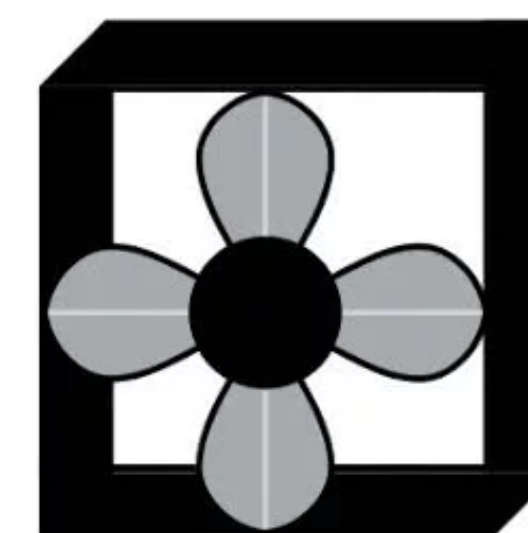
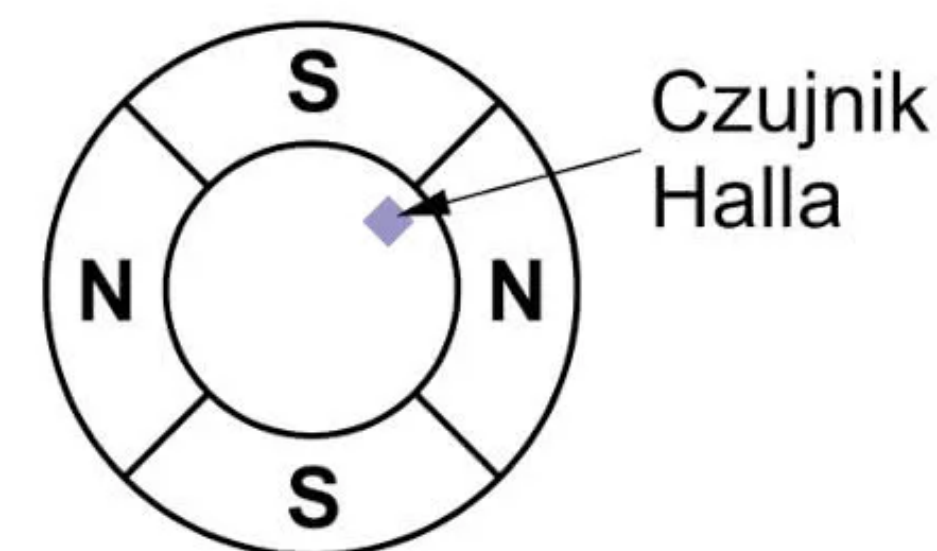
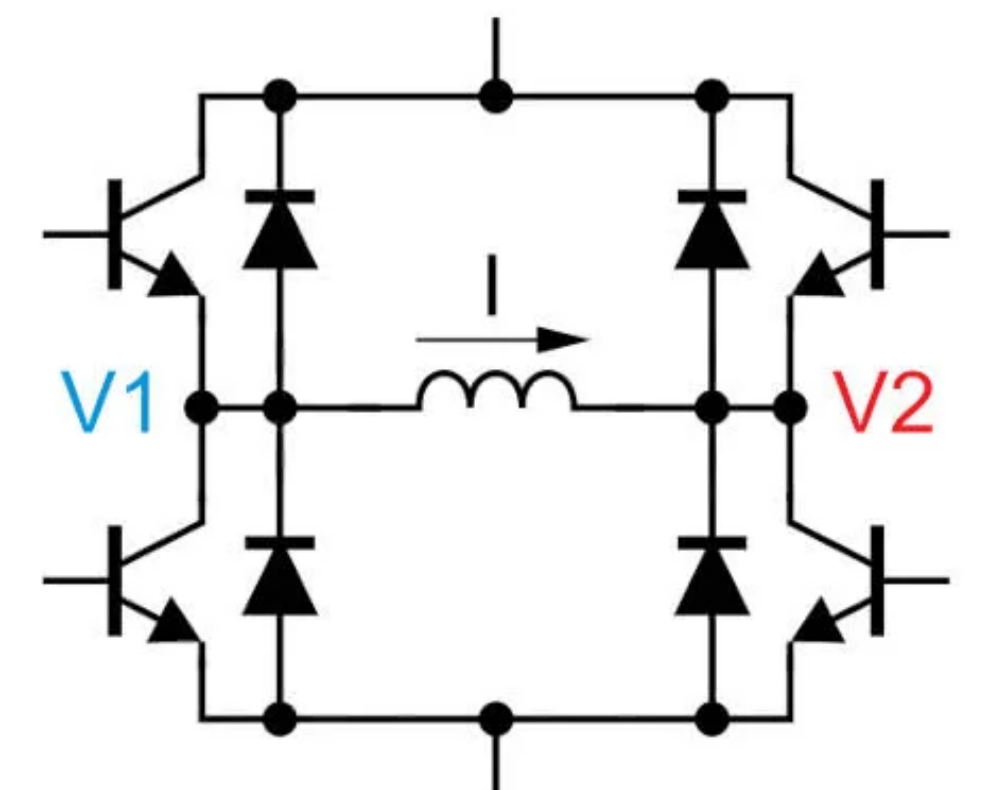
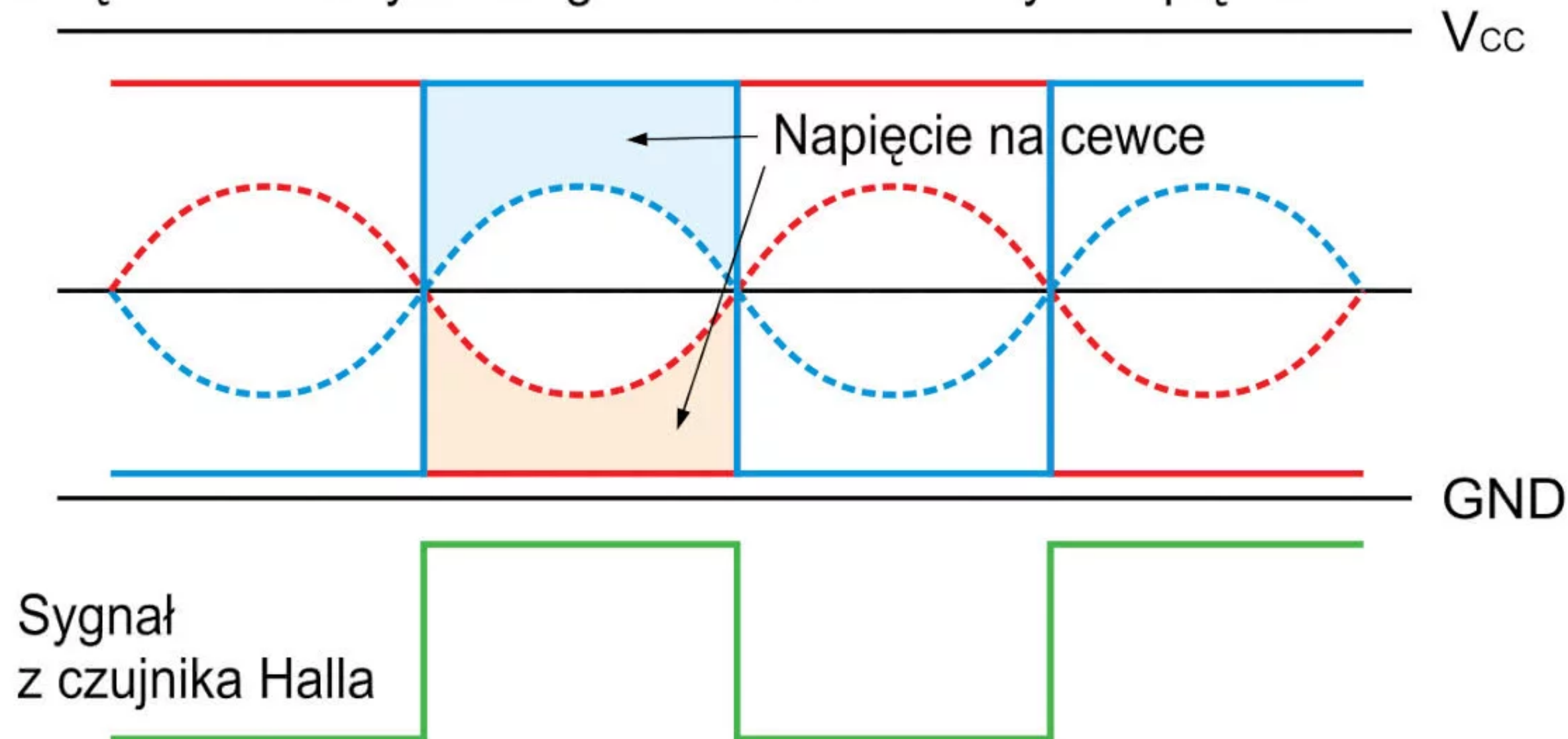
ILUSTRACJA ZASADY STEROWANIA 1-FAZOWEGO SILNIKA BLDC

1-fazowy sterownik pełnookresowy

Napięcie indukowane podczas obrotów wirnika



Włączenie tranzystora zgodnie z indukowanym napięciem



Momenty przełączania tranzystorów są wyznaczone przez czujnik Halla

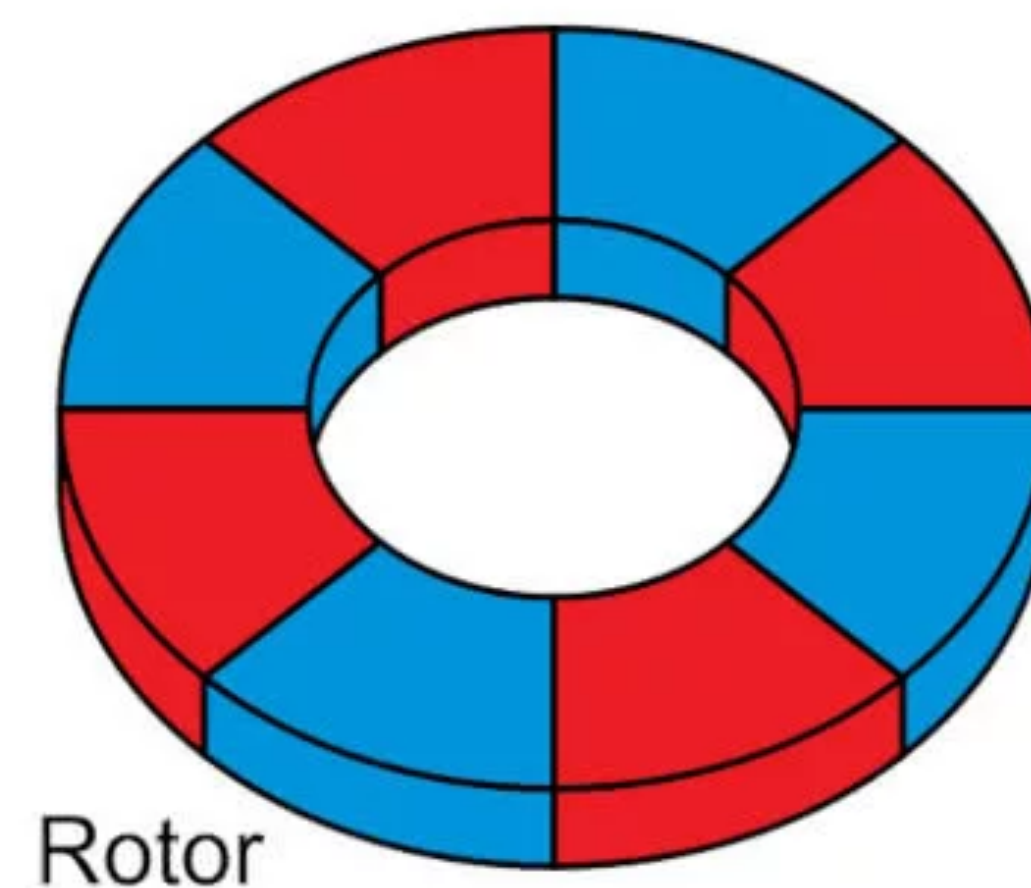
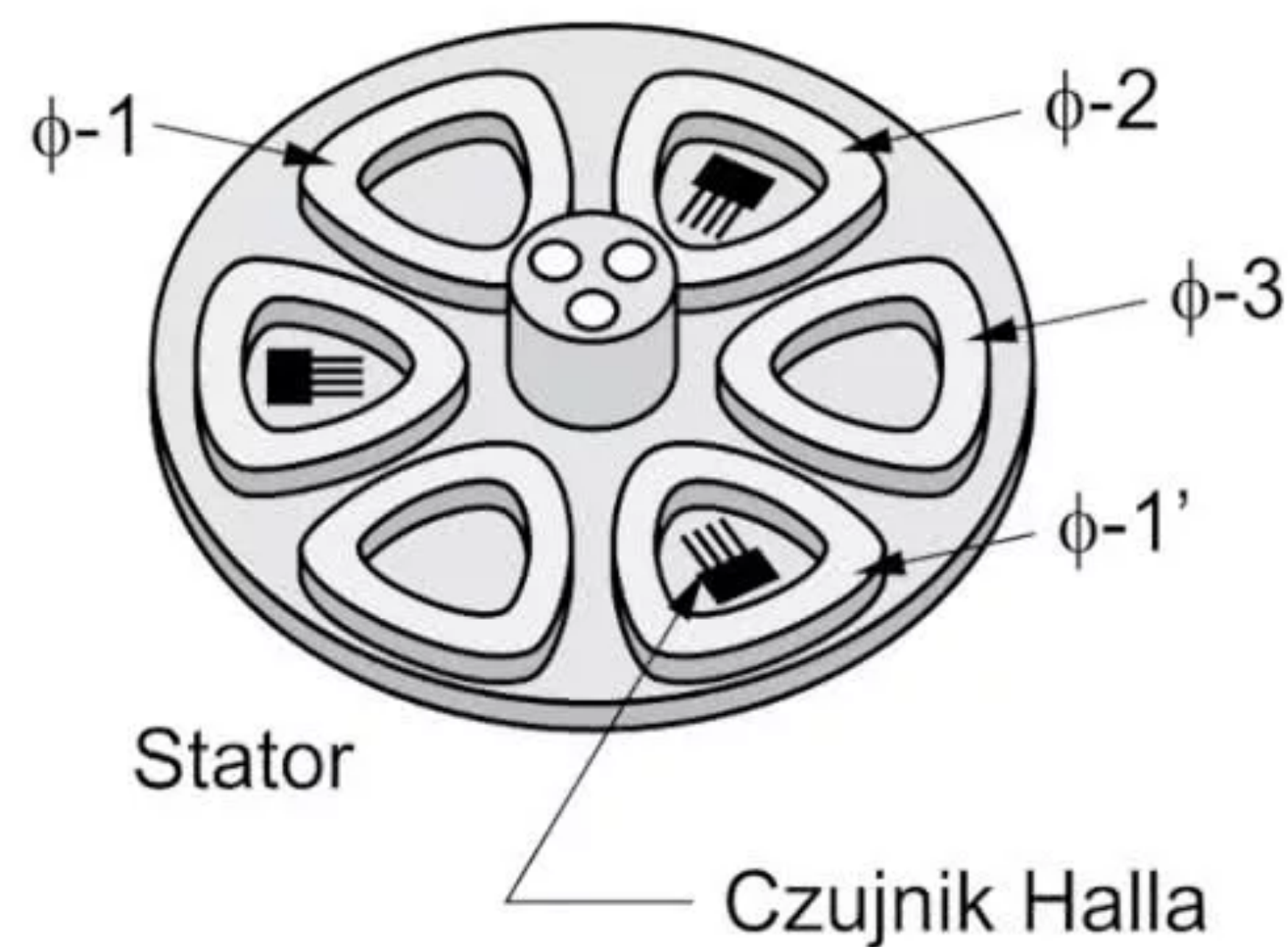
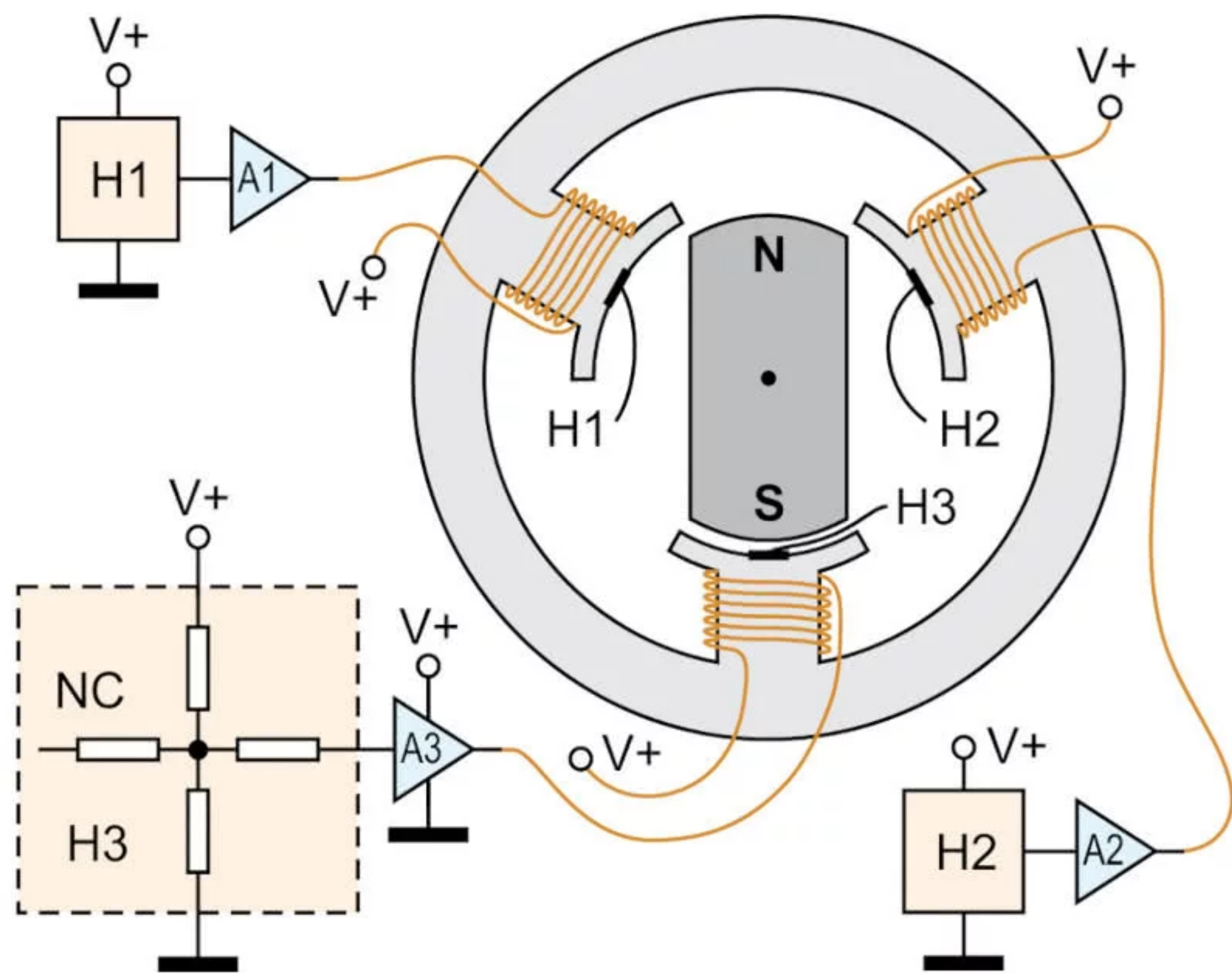
STEROWANIE 2-FAZOWYMI SILNIKAMI BLDC

Nieco bardziej skomplikowane w sterowaniu są silniki 2-fazowe. Twornik jest w nich złożony z 4 cewek, a pole magnetyczne jest wytwarzane przez 4 pary magnesów stałych. Cewki twornika są pogrupowane w pary, dzięki czemu silniki 2-fazowe charakteryzują się większym momentem obrotowym niż 1-fazowe. Silniki 2-fazowe są stosowane typowo w niekrytycznych aplikacjach niskiego poziomu, jak np. duże wentylatory, nie wymagają więc wyrafinowanych sterowników. W rezultacie silniki 2-fazowe są silniejsze i tańsze. Do ich obsługi mogą być używane sterowniki ON Semiconductor, np. LB1668M (idealny do sterowania silnikiem wentylatora).

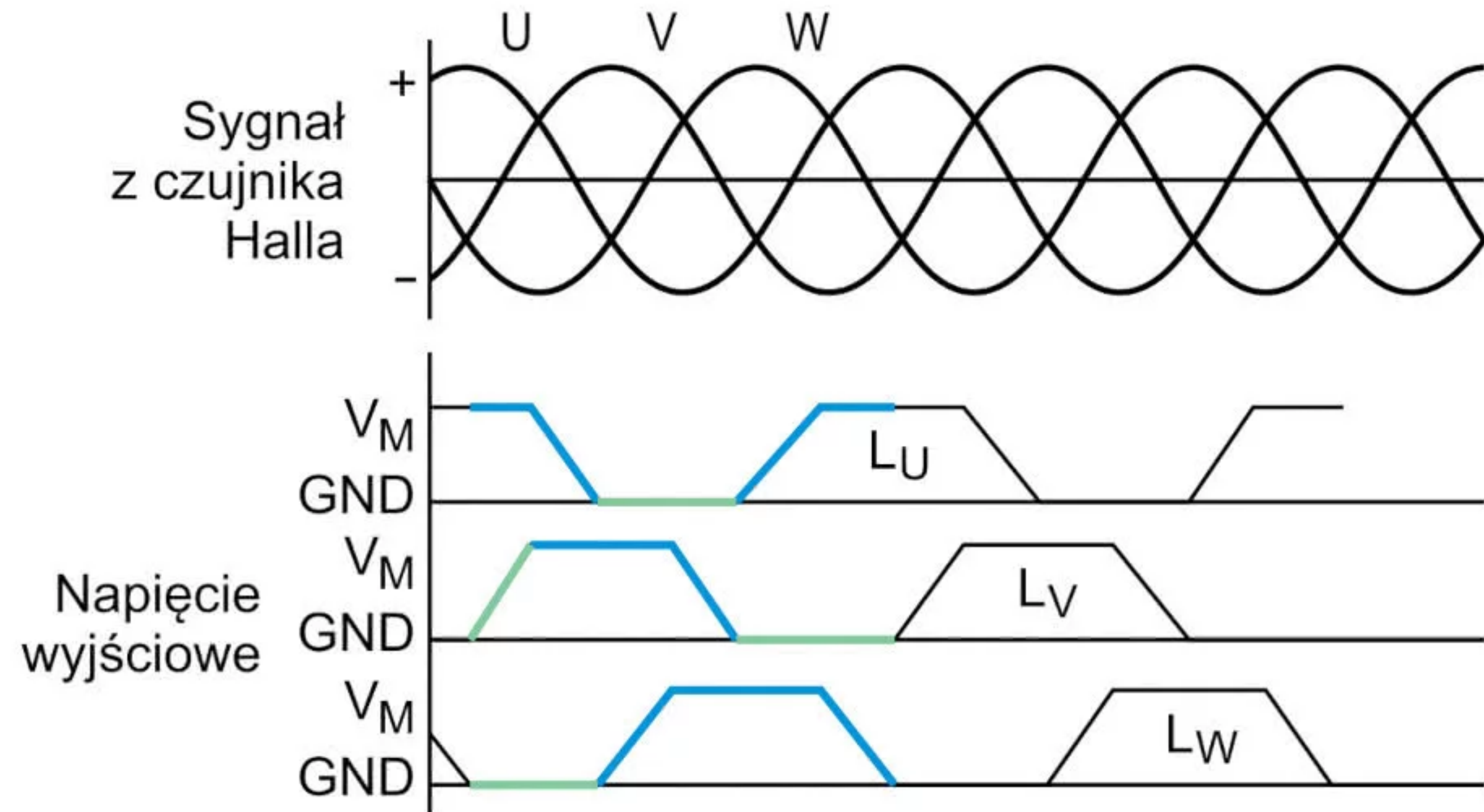
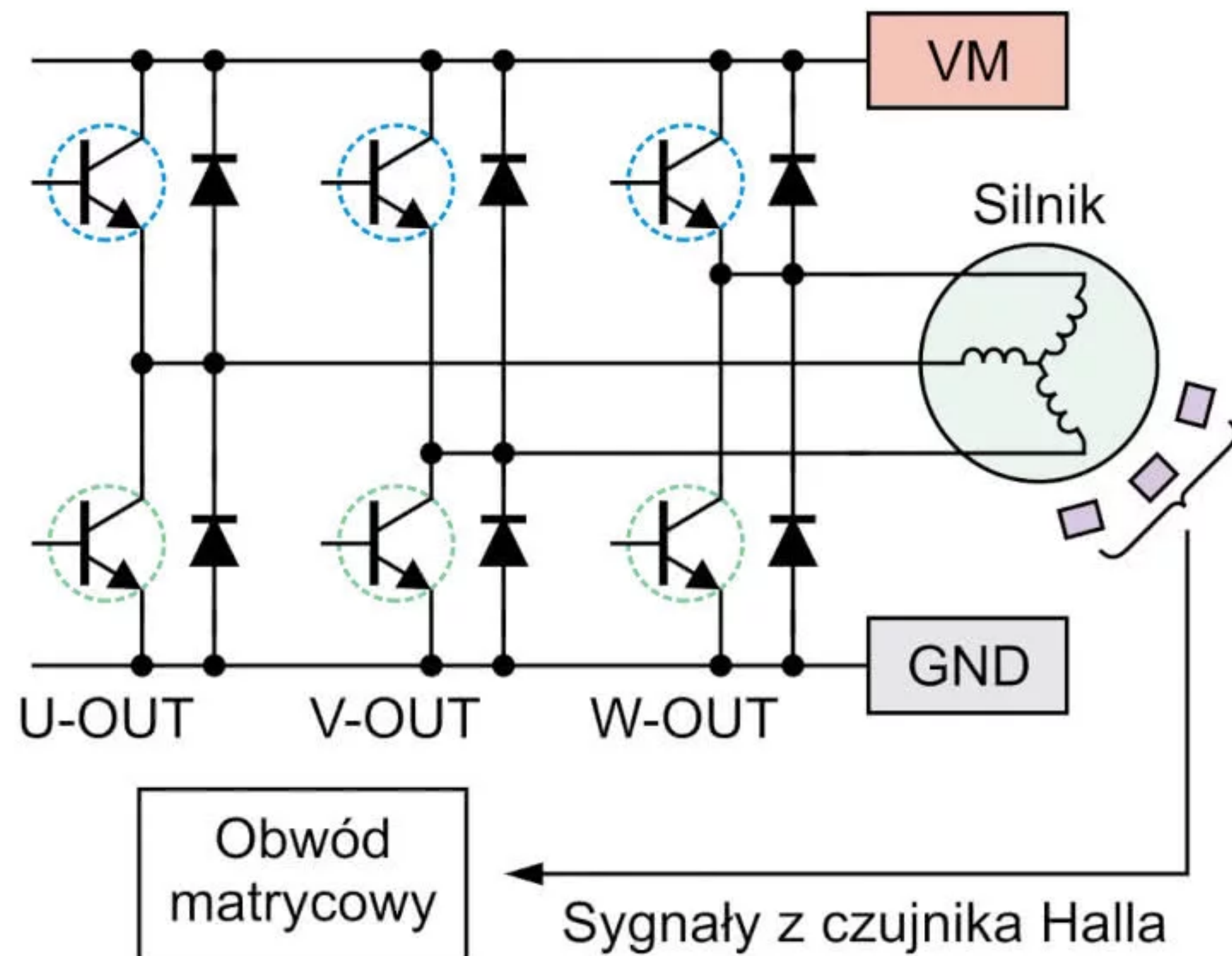
STEROWANIE 3-FAZOWYMI SILNIKAMI BLDC

Silniki 3-fazowe BLDC mają 3 cewki tworników, co odpowiada 6 stanom komutacji. W każdej z cewek są zwykle umieszczane czujniki Halla reagujące na przejścia nad nimi magnesów stałych będących elementami wirnika. Zasadę wykorzystywania sygnałów z czujników Halla przedstawiono na rysunku poniżej. I w tym przypadku sygnały z czujników Halla określają momenty przełączania. Sygnały te poprzez odpowiedni układ połączeń załączają tranzystory sterujące bezpośrednio cewkami silnika. W silnikach 3-fazowych przełączanie odbywa się oczywiście 3 razy szybciej niż w silnikach 1-fazowych. Skutkuje to mniejszymi wibracjami i większą precyzją regulacji obrotów. Przykładem sterownika 3-fazowego silnika BLDC z czujnikami Halla jest układ LB1976 (ON Semiconductor).

BUDOWA SILNIKA BLDC Z CZUJNIKAMI HALLA

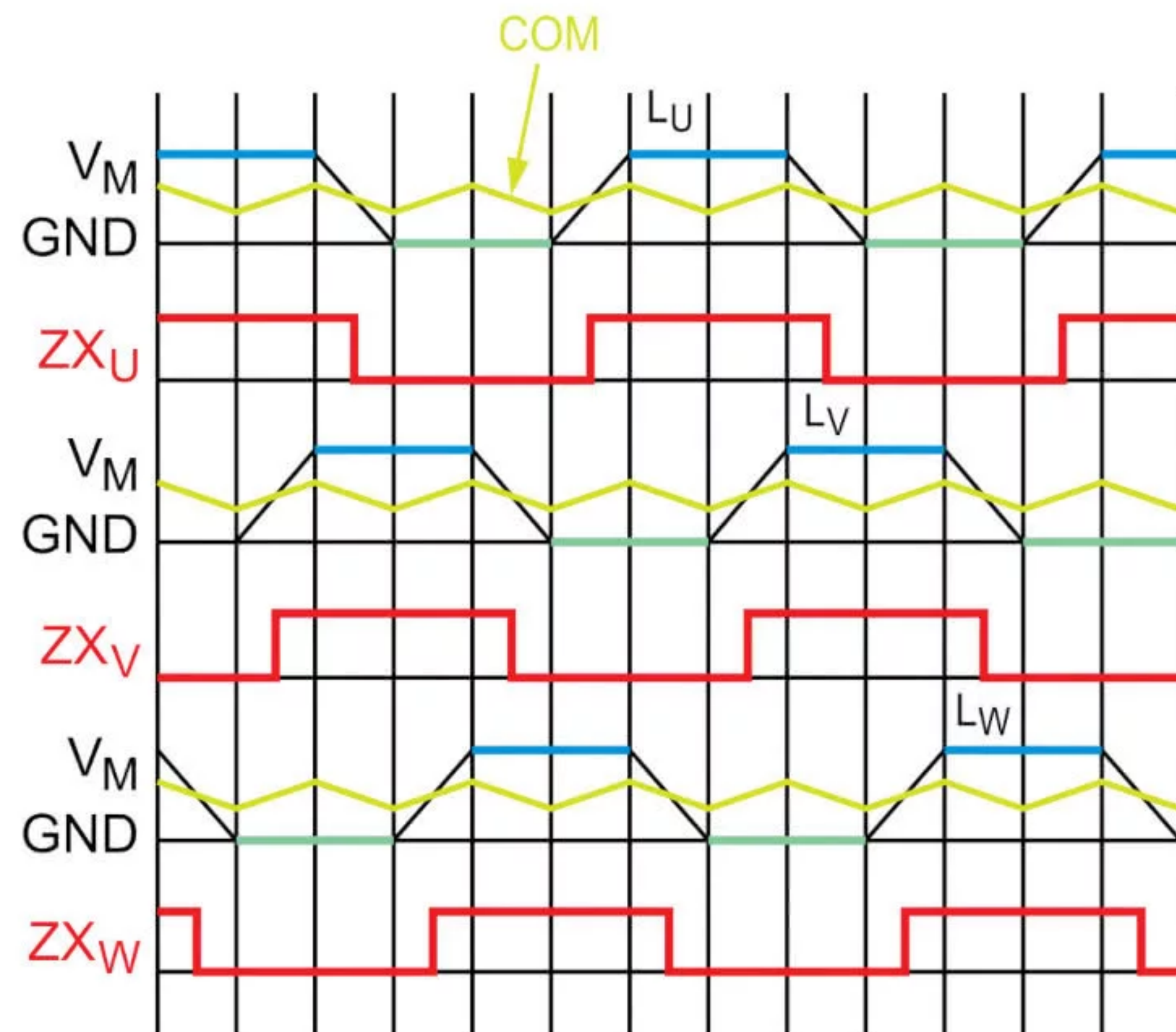
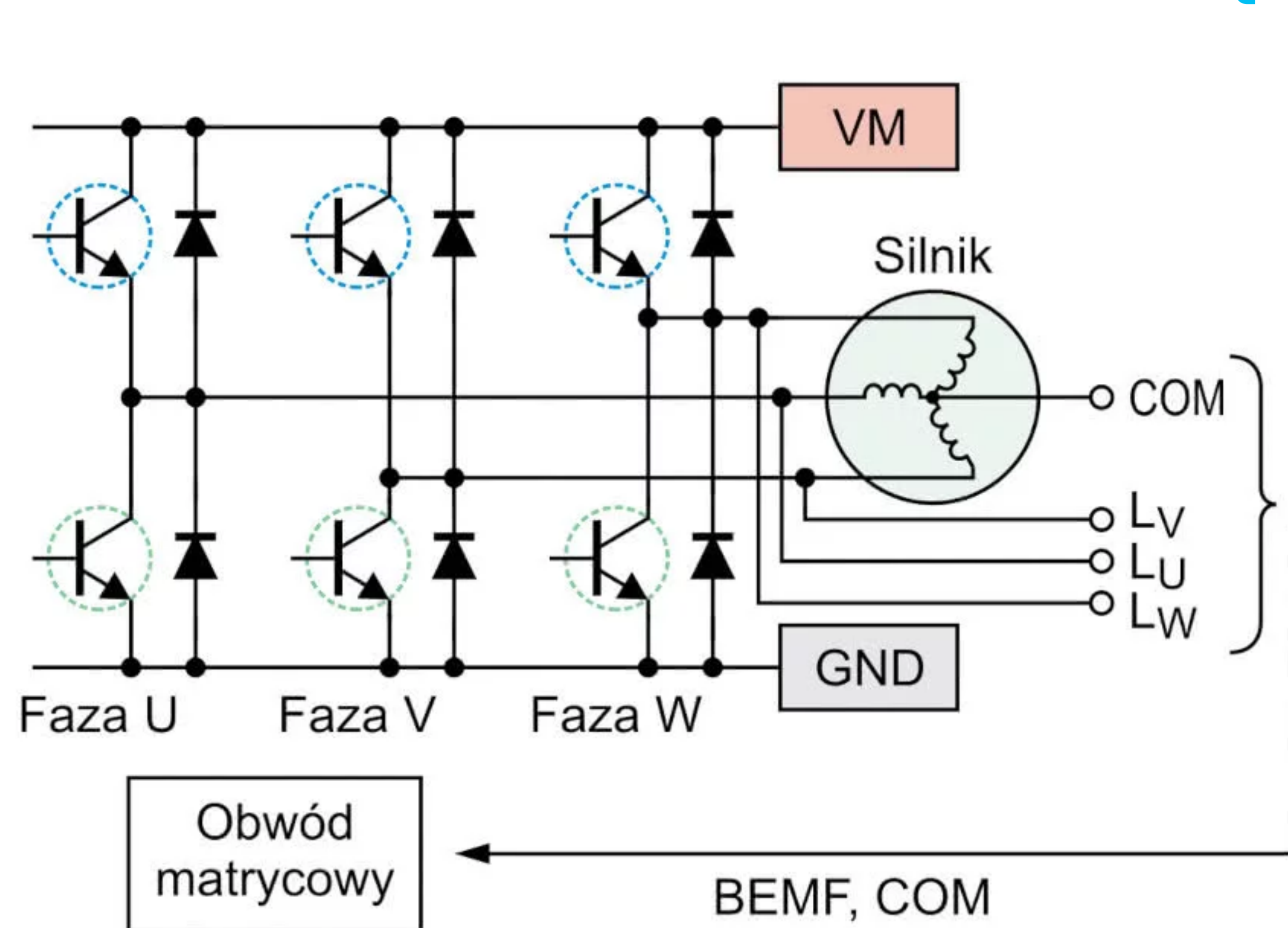


ILUSTRACJA ZASADY STEROWANIA SILNIKIEM BLDC Z UŻYCIEM CZUJNIKÓW HALLA



Sterowanie silnikami może być prowadzone także bez czujników Halla, wykorzystując sygnał BEMF (Back EMF) pochodzący z każdej cewki. Sygnał taki uzyskuje się przez porównanie napięcia indukowanego w każdej z trzech cewek z napięciem środkowym (punkt COM). Wynik takiego sprzężenia jest wzmacniany, podawany na układ detekcji położenia wirnika. Sygnały z trzech cewek są przekształcane w przebiegi impulsowe przesunięte względem siebie o 120° . Niektóre sterowniki używają prostych komparatorów do określenia fazy każdego uzwojenia, inne wymagają stosowania zewnętrznych MCU. 3-fazowy, bezczujnikowy scalony sterownik firmy ON Semiconductor LB11983 zawiera detektor położenia wirnika z układami: rozruchowym, taktującym, przełączającym, zabezpieczenia termicznego i sterowania nasyceniem. Układ ten nie wymaga zewnętrznego MCU, jednak w obwodach bardziej złożonych mogą być stosowane wspomagające układy zewnętrzne.

ILUSTRACJA ZASADY STEROWANIA SILNIKIEM BLDC WYKORZYSTUJĄCEJ SYGNAŁ BEMF

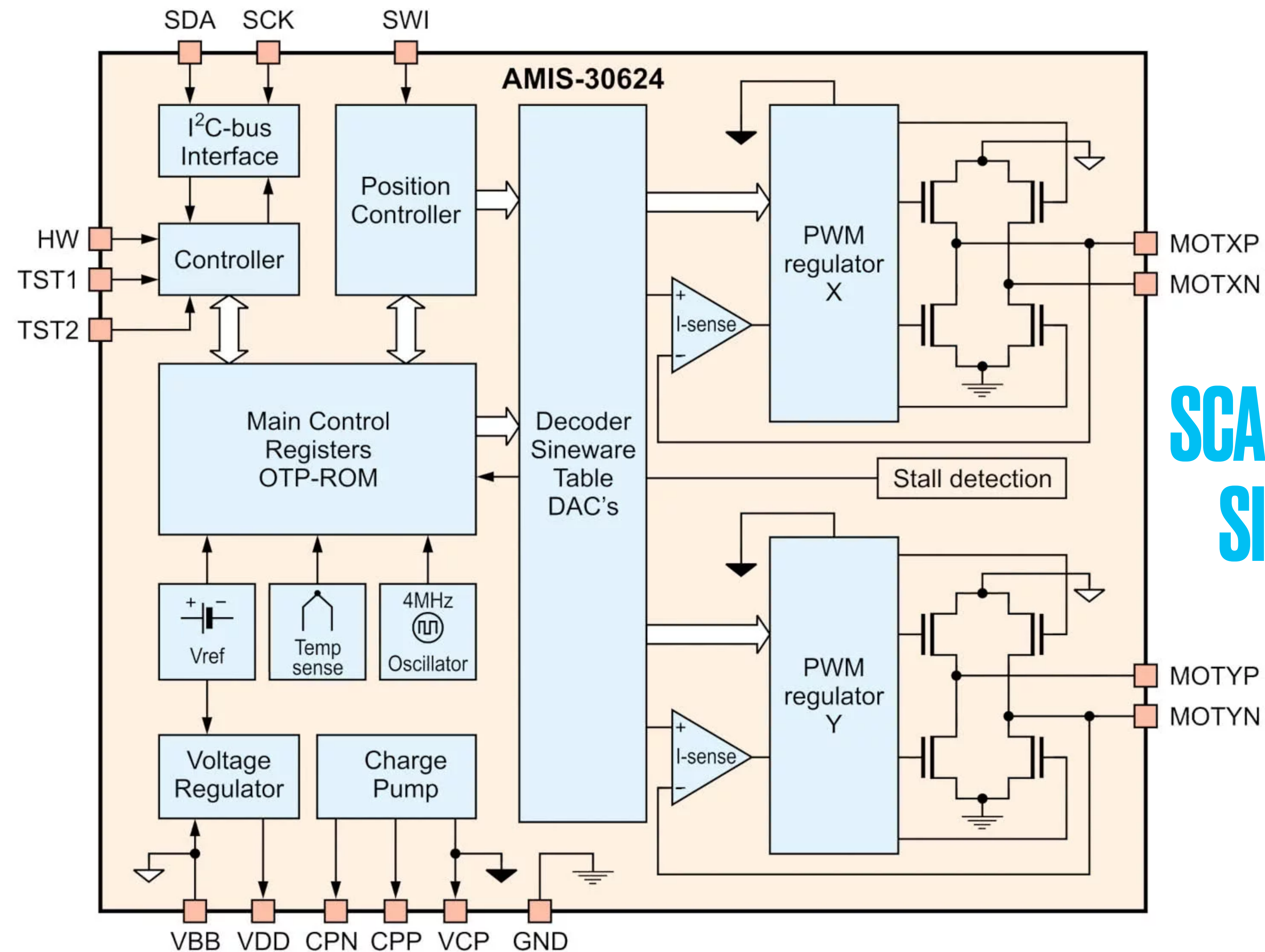


Sterowniki silników BLDC wykorzystujące sygnały BEMF mają problem z określeniem pozycji wirnika w chwili startu, gdyż sygnały te nie są jeszcze generowane. W tym przypadku silnik startuje z nieznanej pozycji, tzn. nie jest wiadome położenie stojana względem wirnika. Pozycja ta musi być szybko rozpoznana już w trakcie pracy, gdyż włączenie nieodpowiedniej fazy może spowodować zmianę kierunku obrotów silnika, a nawet uniemożliwić jego pracę.

STEROWANIE SILNIKAMI KROKOWYMI

Uzwojenia silników krokowych są najczęściej sterowane przebiegiem PWM za pośrednictwem mostków H, po jednym na uzwojenie. Kąt obrotu jest proporcjonalny do liczby impulsów, a prędkość obrotowa do ich częstotliwości. Podczas pracy z pełnymi krokami występuje dość duży hałas i drgania. Niestety, mogą wystąpić też przypadki gubienia kroków ("step-out"), a zatem utraty kontroli położenia wirnika. Problem ten jest rozwiązywany przez zastosowanie mikrokroków, a więc zasilając uzwojenia tak, aby wirnik, wykonując jeden pełny krok, przechodził przez położenia pośrednie.

Jeśli podczas szybkiego zatrzymania silnika wykonuje on jeszcze kilka kroków, bardzo istotna jest prawidłowa detekcja stanu przeciągania i stanu zatrzymywania. W tym przypadku wysoce wskazane jest sterowanie w zamkniętej pętli w odróżnieniu od pozycjonowania bezwzględne w otwartej pętli, polegającego na zliczaniu kroków. Pozostaje jeszcze adaptacyjne sterowanie prędkością silnika krokowego pozwalające na zatrzymanie go najszybciej jak to możliwe, mimo ewentualnego zwiększania obciążenia w tej fazie. Jest to możliwe na podstawie obserwacji wzrostu BENF i odpowiedniego zwiększania częstotliwości impulsów zasilających silnik. Powyższy algorytm jest realizowany w scalonym, jednochinowym sterowniku AMIS-30624. Jest on konfigurowany do pracy z różnymi typami silników krokowych, zakresów pozycjonowania oraz takich parametrów jak prędkość, przyspieszenie i opóźnienie. Ma wbudowany bezczujnikowy detektor step-loss zabezpieczający pozycjoner przed utratą kroków i zatrzymujący silnik, gdy wchodzi on w stan przeciągnięcia. Zapewnia to cichą, a jednocześnie dokładną kalibrację podczas przebiegu referencyjnego i pozwala na pracę z półzamkniętą pętlą. Układ AMIS-30624 zawiera zarówno analogowe obwody wysokonapięciowe, jak i cyfrowe bloki sterujące. Jest przeznaczony do małych aplikacji branży motoryzacyjnej, przemysłowej i budowlanej.



SCHEMAT SCALONEGO STEROWNIKA SILNIKA KROKOWEGO - AMIS-30624

REGULACJA PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKA PRĄDU STAŁEGO

**PRĘDKOŚĆ OBROTOWA SILNIKA PRĄDU STAŁEGO Z DODATKOWĄ
REZYSTANCJĄ W OBWODZIE TWORNIKA R_r JEST WYRAŻONA WZOREM:**

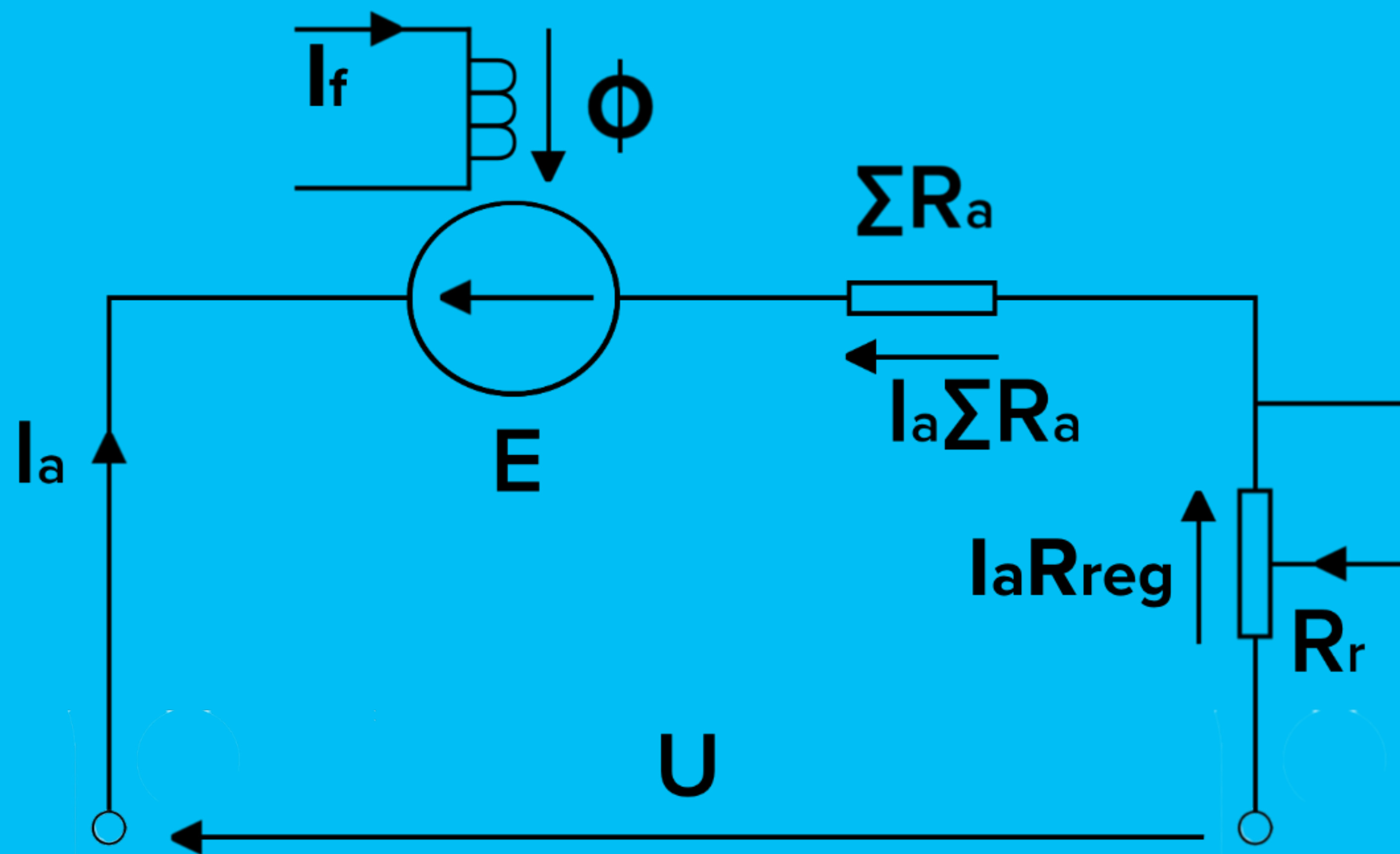
$$n = \frac{U - I_a (\Sigma R_a + R_r)}{c\emptyset}$$

Z ZALEŻNOŚCI TEJ WYNIKA, ŻE PRĘDKOŚĆ OBROTOWĄ SILNIKA PRĄDU STAŁEGO MOŻNA REGULOWAĆ ZMIENIAJĄC:

- prąd wzbudzenia,
- napięcie zasilania twornika,
- rezystancję obwodu twornika, oraz
- strumień Φ .

Włączenie dodatkowej rezystancji w obwód wzbudzenia powoduje zmniejszenie strumienia i przy określonym prądzie powoduje wzrost prędkości obrotowej. Zwiększa się przy tym prędkość biegu jałowego oraz nachylenie charakterystyki mechanicznej.

REGULACJA PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKA PRĄDU STAŁEGO



RODZAJE REGULACJI PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKÓW PRĄDU STAŁEGO

REGULACJA SZEREGOWA

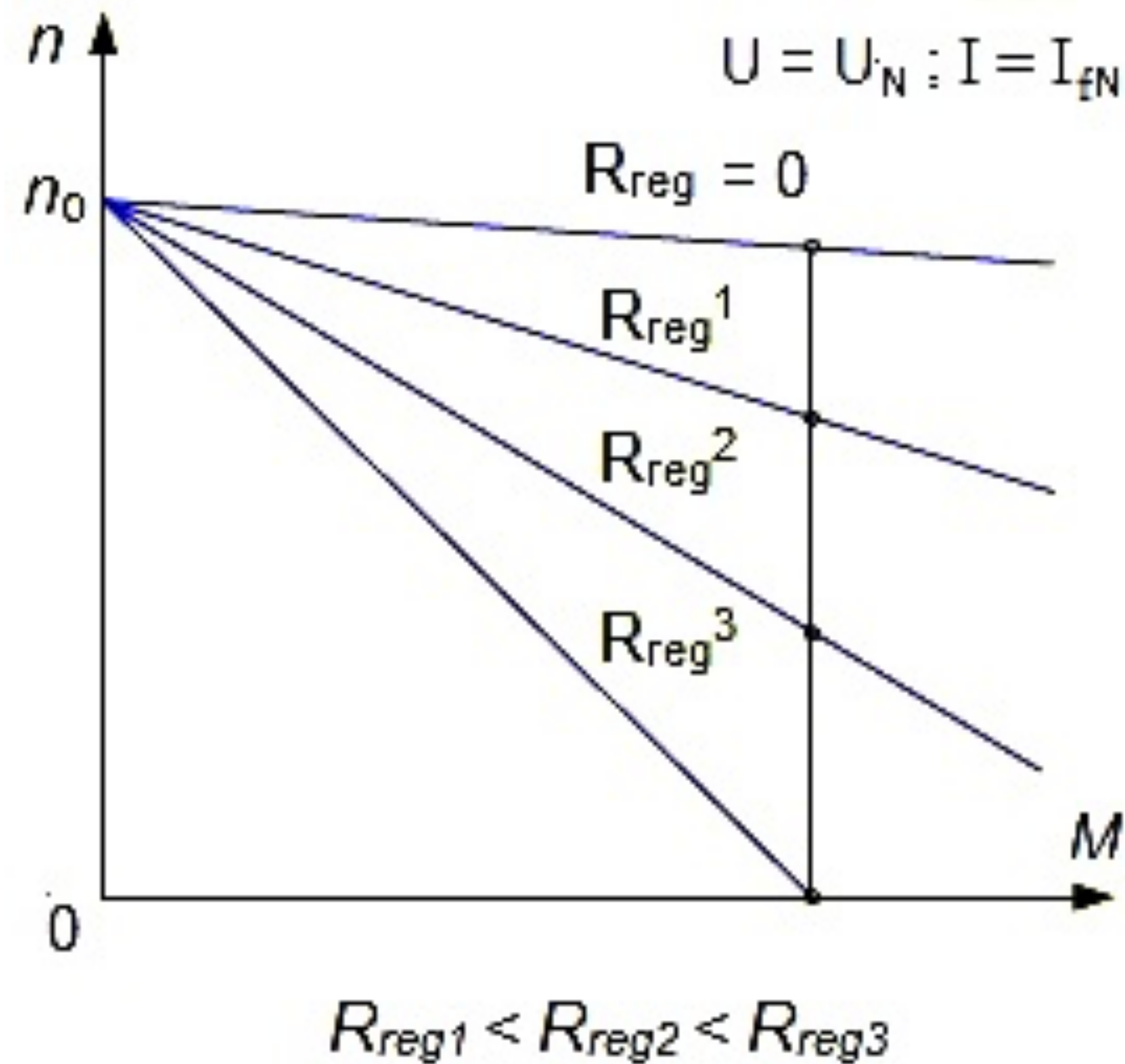
polega na włączeniu rezystancji R_r w szereg z obwodem twornika, umożliwiając regulację w granicach od prędkości znamionowej do zera.

Ten sposób regulacji jest nieekonomiczny, ponieważ przy zmniejszeniu prędkości obrotowej do połowy w oporniku regulacyjnym jest tracone dodatkowo 50% mocy pobieranej z sieci. Z tego względu ten sposób regulacji stosuje się tylko w silnikach małej mocy.

REGULACJA BOCZNIKOWA

polega na osłabieniu strumienia. Jak wynika z równania na prędkość obrotowa silnika prądu stałego, włączenie dodatkowej rezystancji w obwód wzbudzenia powoduje zmniejszenie strumienia i przy określonym prądzie powoduje wzrost prędkości obrotowej. Ten sposób regulacji jest regulacją w górę od wartości nN do ok. $3nN$. Straty powstałe w rezystancji R_{reg} są pomijalnie małe;

CHARAKTERYSTYKA REGULACJI PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKA BOCZNIKOWEGO PRZY WŁĄCZANIU RÓŻNYCH DODATKOWYCH REZYSTANCJI W OBWÓD WZBUDZENIA



REGULACJA PRZEZ ZMIANĘ NAPIĘCIA TWORNIKA

można uzyskać zmieniając napięcie zasilające twornik, przy znamionowym obciążeniu.

Regulację prędkości przeprowadza się od zera do wartości większej od prędkości znamionowej. Prąd twornika nie ulega zmianie i zależy tylko od obciążenia. Ten sposób regulacji prędkości obrotowej można uzyskać np. przez zastosowanie tyrystorowych regulatorów napięcia.

HAMOWANIE ELEKTRYCZNE URZĄDZENIA NAPĘDZANEGO

HAMOWANIE

Hamowanie elektryczne urządzenia napędzanego za pomocą maszyny prądu stałego występuje przy jej pracy prądnicowej.

Wytwarzana wówczas energia może być:

- a) zwracana do sieci (hamowanie odzyskowe) lub
- b) wytracana w zamkniętym obwodzie twornika po jego odłączeniu od sieci (hamowanie dynamiczne).

Hamowanie dynamiczne stosuje się zarówno w silnikach obcowzbudnych, bocznikowych jak i szeregowych.

Hamowanie elektryczne silnika może wystąpić również na skutek zmiany kierunku elektromagnetycznego momentu obrotowego (np. przez zmianę zwrotu prądu w uzwojeniu twornika).

Jest to tzw. hamowanie przy przeciwwłłączeniu. Polega ono na nagłej zmianie biegunowości napięcia na zaciskach twornika i jednoczesnym włączeniu opornika w szereg z twornikiem. Ten rodzaj hamowania stosuje się do wszystkich rodzajów silników prądu stałego.

**DZIEKUJĘ
,
ZA
UWAGĘ**