



Politechnika
Wrocławska

Elektronika w automatyce

Silniki krokowe, silniki trójfazowe układy sterowania

Wojciech Tarnawski

wojciech.tarnawski@pwr.edu.pl

www.w-tarnawski.pl



Silniki II

- Wstęp
- Silnik krokowy
- Zastosowanie
- Sterowanie
- Silnik BLDC
- Zastosowanie
- Sterowanie
- Rampa trapezoidalna
- Podsumowanie

Definicja:



Silnik krokowy to silnik, który przekształca ciąg impulsów elektrycznych na przesunięcia wirnika o dany kąt. Droga ta jest proporcjonalna do liczby podawanych impulsów, a prędkość poruszania się proporcjonalna jest do częstotliwości tych impulsów. Im szybciej będą podawane impulsy tym szybciej poruszać się będzie silnik.

Silniki II

Sterowanie pełnokrokowe

W sterowaniu pełnokrokowym pracują dwa uzwojenia jednocześnie w silniku bipolarnym i dwa z czterech uzwojeń w silniku unipolarnym. Wirnik silnika sterowany pełnym krokiem nie ustawia się naprzeciwko biegunów stojana, lecz pomiędzy nimi, tym samym zwiększając moc i moment silnika.

Sterowanie półkrokowe

Podczas sterowania półkrokowego na przemian zasilane są dwa i jedno uzwojenie stojana, zasada ta dotyczy zarówno sterowania silnikiem bipolarnym jak i unipolarnym. Takie sterowanie zmniejsza wydajność silnika, gdyż są momenty, w których zasilane jest tylko jedno uzwojenie. Zaletą natomiast jest redukcja rezonansu mechanicznego.

Sterowanie mikrokrokowe

Sterowanie mikrokrokowe wymaga najbardziej skomplikowanego układu sterującego. W tym rodzaju sterowania konieczne jest zapewnienie dużego zróżnicowania wartości napięć płynących w uzwojeniach stojana. Daje to dużą liczbę kroków pośrednich pomiędzy pełnymi krokami, co sprawia, że ruch jest bardziej płynny, drgania są mniejsze, a pozycjonowanie jest dokładniejsze. Zastosowanie tego sterowania wpływa na zwiększenie rozdzielczości.

$1/1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, \dots$

Silniki II

Zalety:

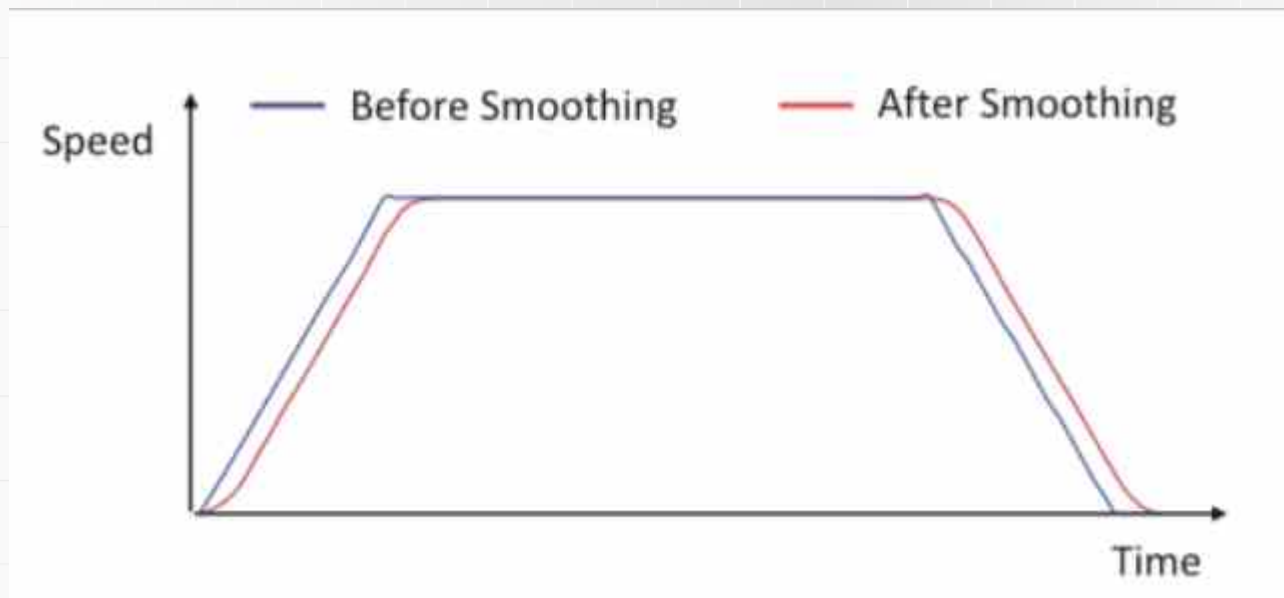
- Precyzyjny obrót wału
- Duży moment obrotowy
- Brak elementów zużywających się
- Brak iskrzenia

Wady:

- Wymagający sposób sterowania
- Ciągła kontrola prądu cewki
- Wolne – mała prędkość obrotowa
- Malejący moment obrotowy z prędkością
- Gubienie kroków

Gubienie kroków:

- dobierać z odpowiednim zapasem mocy
- stosować rampy sterowania



Silniki II

Wpływ prądu, napięcia na moment obrotowy silnika krokowego:



Za duże wartości prądu/napięcia mogą doprowadzić do przegrzewania silnika i trwale go uszkodzić.

Sterowania chopperowe (czopperowe) - aktywne źródło prądowe



Napięcie
sterujące

$V_{zaś}$

0V

Prąd
uzwojenia

I_{sr}

zadana wartość
prądu

Silniki II

Parametry silnika krokowego:

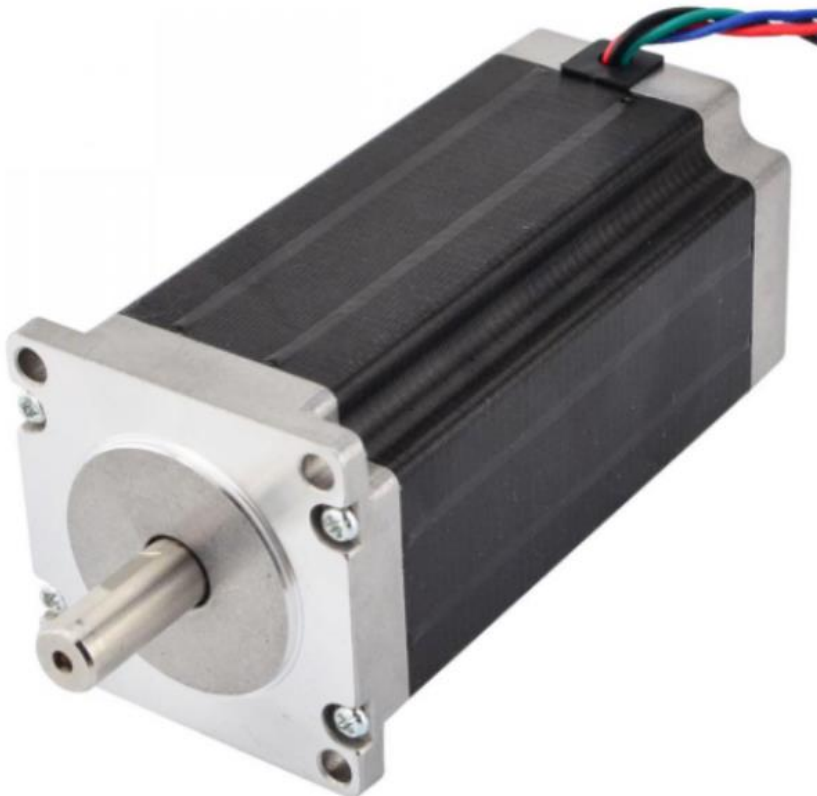
- Model
- Krok - > ilość kroków na obrót
- Rozmiar, masa, ilość przewodów
- Rezystancja cewki, prąd cewki, napięcie cewki – prawo Ohma
- Moment trzymający

Model No.		Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weight	Detent Torque	Length
Single Shaft	Double Shaft	V	A	Ω	mH	Kg-cm		g-cm ²	kg	g-cm	mm
FL42STH25-0404A	FL42STH25-0404B	9.6	0.4	24	36	1.7	4	20	0.15	75	25
FL42STH33-0956A	FL42STH33-0956B	4	0.95	4.2	2.5	1.6	6	35	0.22	120	34
FL42STH33-0406A	FL42STH33-0406B	9.6	0.4	24	15	1.6	6				
FL42STH33-0316A	FL42STH33-0316B	12	0.31	38.5	21	1.6	6				
FL42STH33-1334A	FL42STH33-1334B	2.8	1.33	2.1	2.5	2.2	4				
FL42STH38-1206A	FL42STH38-1206B	4	1.2	3.3	3.2	2.6	6	54	0.28	150	40
FL42STH38-0806A	FL42STH38-0806B	6	0.8	7.5	6.7	2.6	6				
FL42STH38-0406A	FL42STH38-0406B	12	0.4	30	30	2.6	6				
FL42STH38-1684A	FL42STH38-1684B	2.8	1.68	1.65	3.2	3.6	4				

Rozmiary:

- Nema 8 – rozmiar 20 x 20mm (długość od 28 do 33mm)
- Nema 11 – rozmiar 28 x 28mm (długość od 28 do 50mm)
- Nema 14 – rozmiar 35 x 35mm (długość od 20 do 34mm)
- Nema 16 – rozmiar 39 x 39mm (długość od 20 do 40mm)
- Nema 17 – rozmiar 42 x 42mm (długość od 28 do 48mm)
- Nema 23 – rozmiar 57 x 57mm (długość od 41 do 112mm)
- Nema 24 – rozmiar 60 x 60mm (długość od 45 do 90mm)
- Nema 34 – rozmiar 86 x 86mm (długość od 63 do 150mm)
- Nema 43 – rozmiar 110 x 110mm (długość od 115 do 165mm)

Silniki II

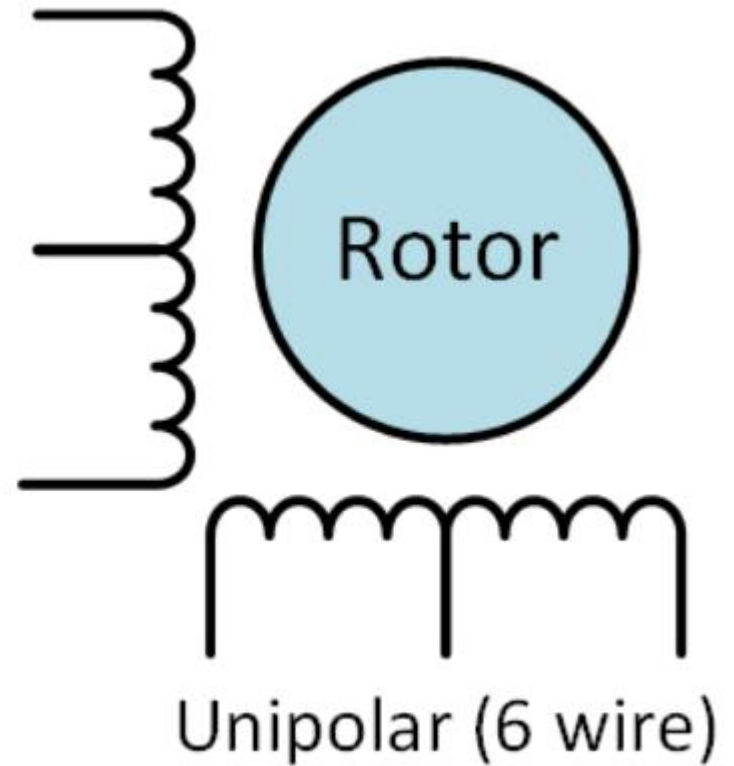
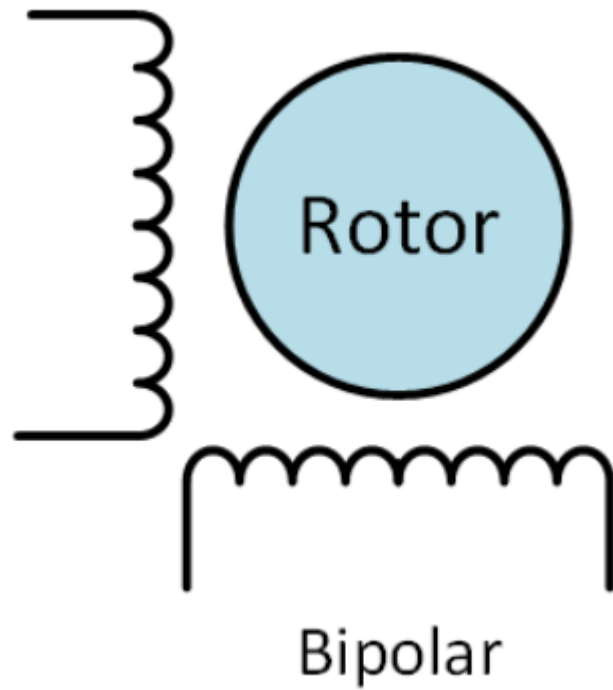


Zastosowanie silników krokowych:

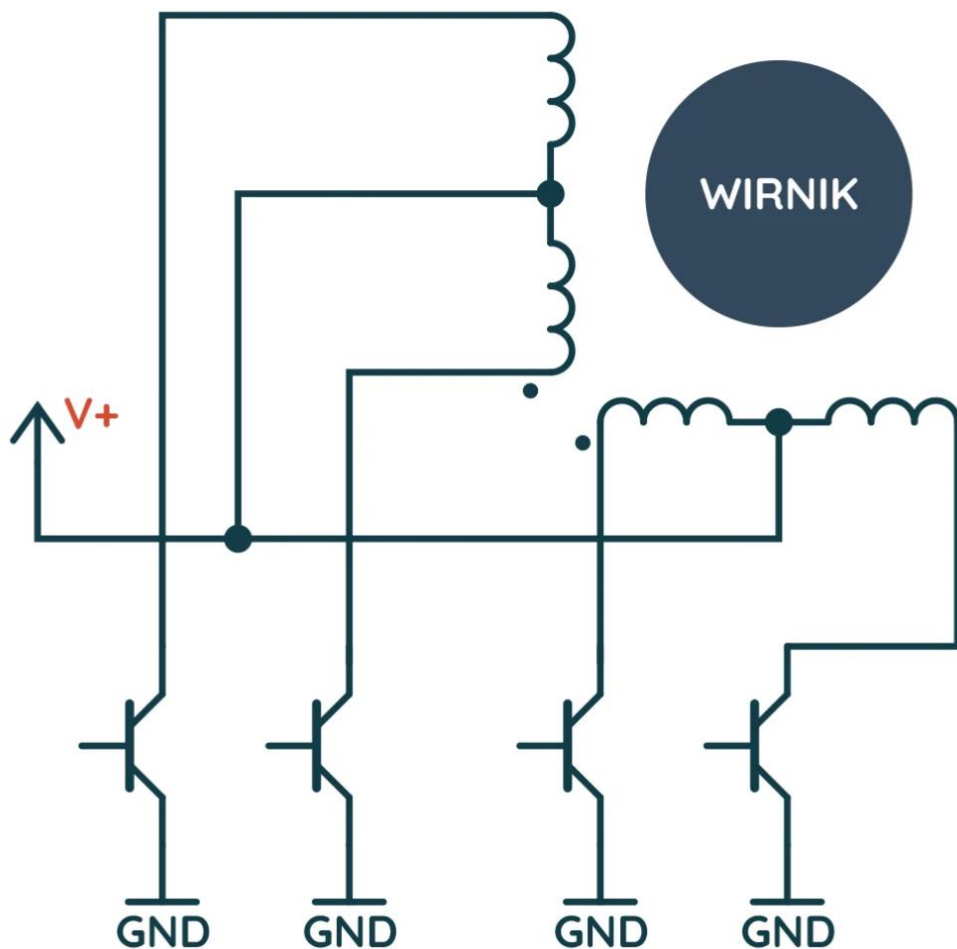
- **obrabiarki numeryczne (CNC):**
 - **Frezarki**
 - **Tokarki**
- **Drukarki 3D**
- **Plotery (laserowe, wycinarki)**
- **Drukarki biurkowe**
- **Slidery fotograficzne**
- **...**

Wszędzie gdzie zachodzi potrzeba wykonania precyzyjnego ruchu bez dodatkowego sprzężenia zwrotnego - sterowanie w otwartej pętli.

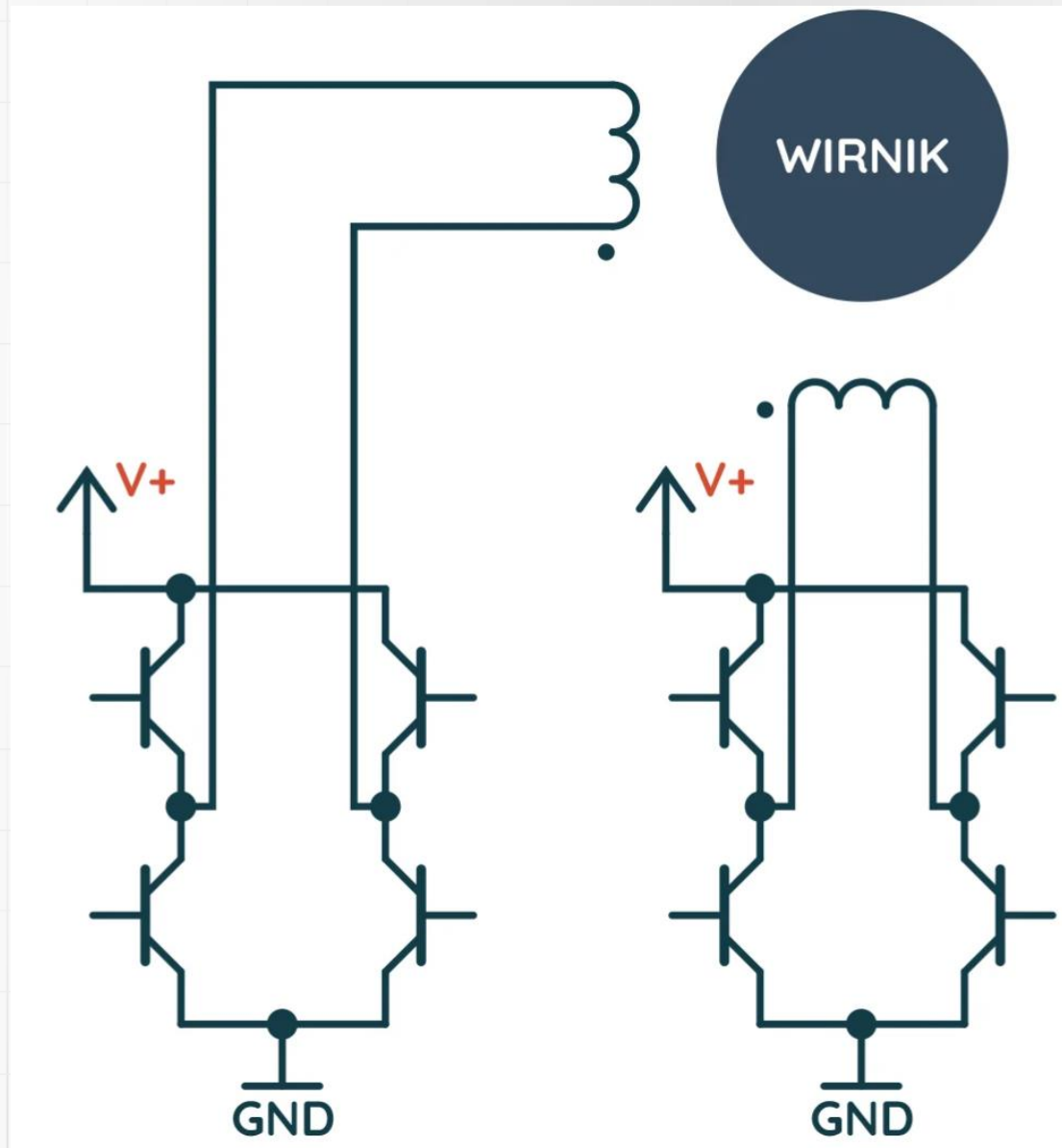
Podział silników:



Sterowanie silnika unipolarnego



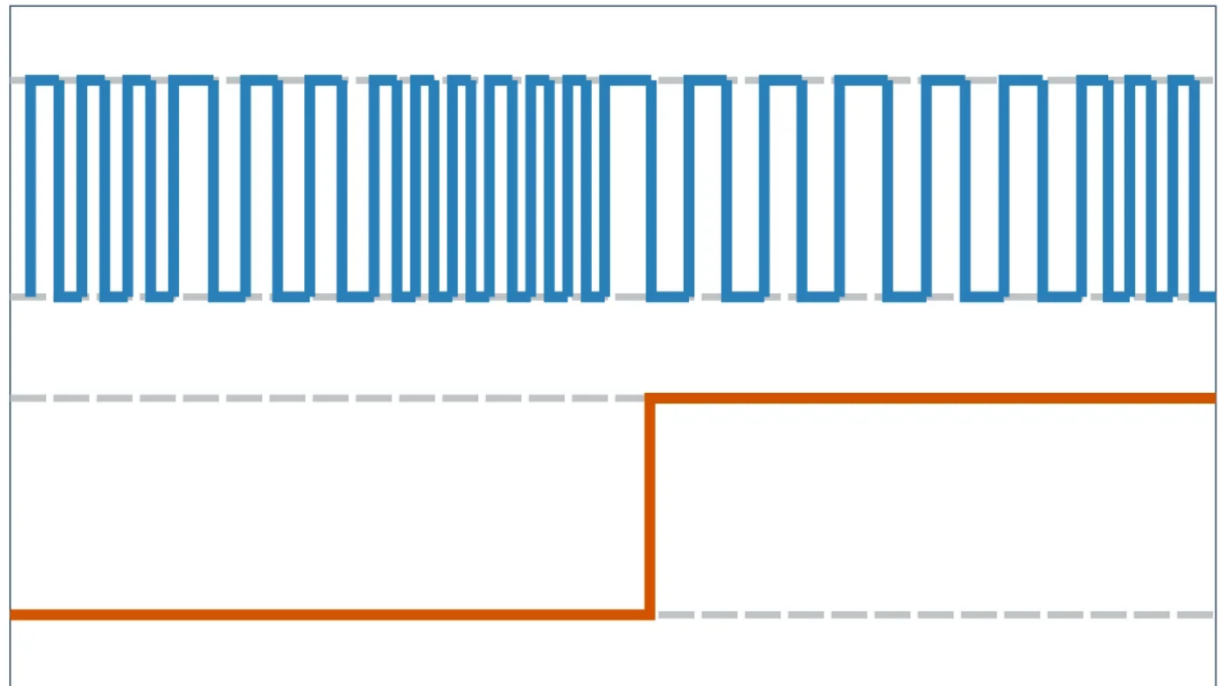
Sterowanie silnika bipolarnego



Sterowanie silnikiem krokowym – sterowniki:

STEP
(krok)

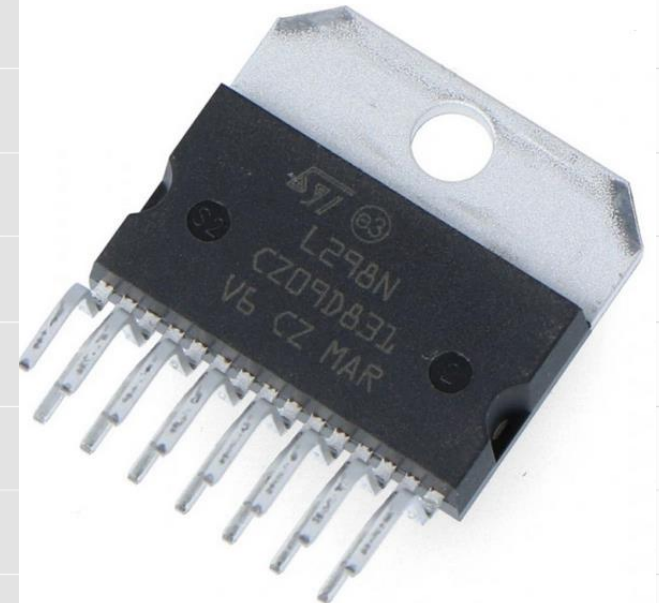
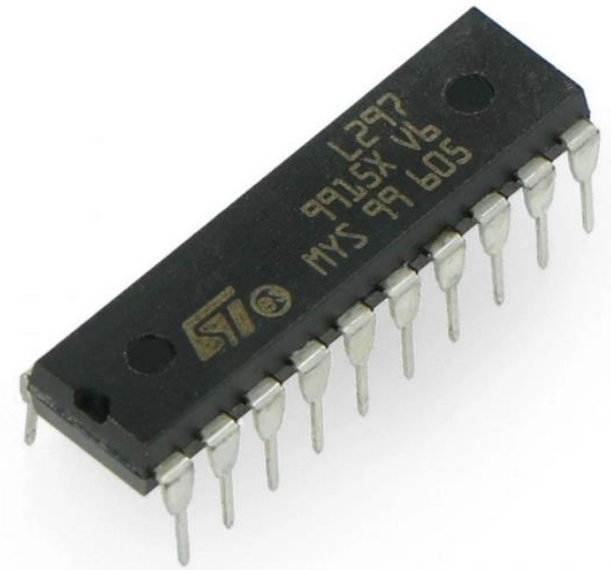
DIR
(kierunek)



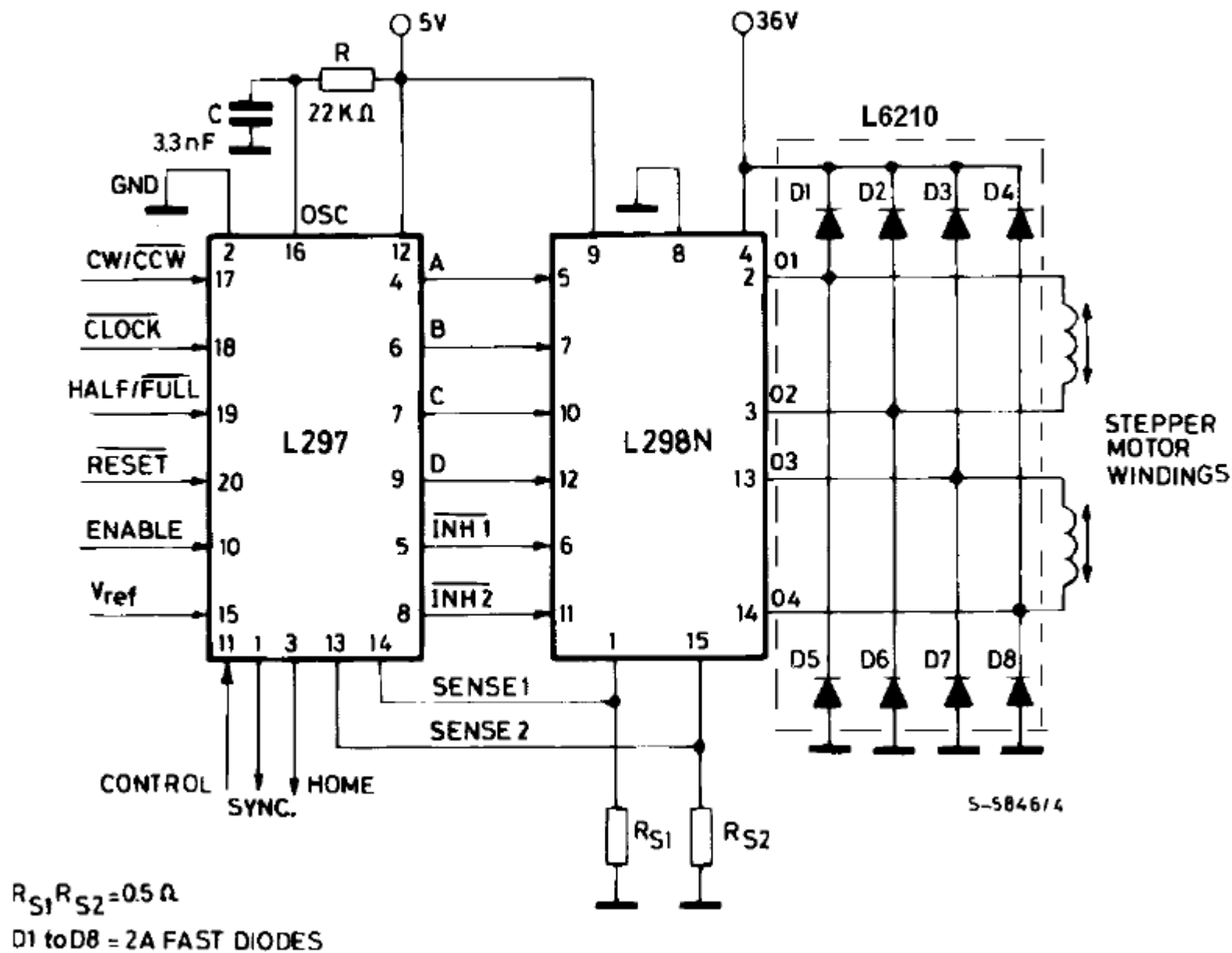
Silniki II – sterownik silników krokowych

Układ L297 i L298:

- maksymalne napięcie: 46V
- maksymalny prąd: 2A
- Obudowa: Multiwatt15



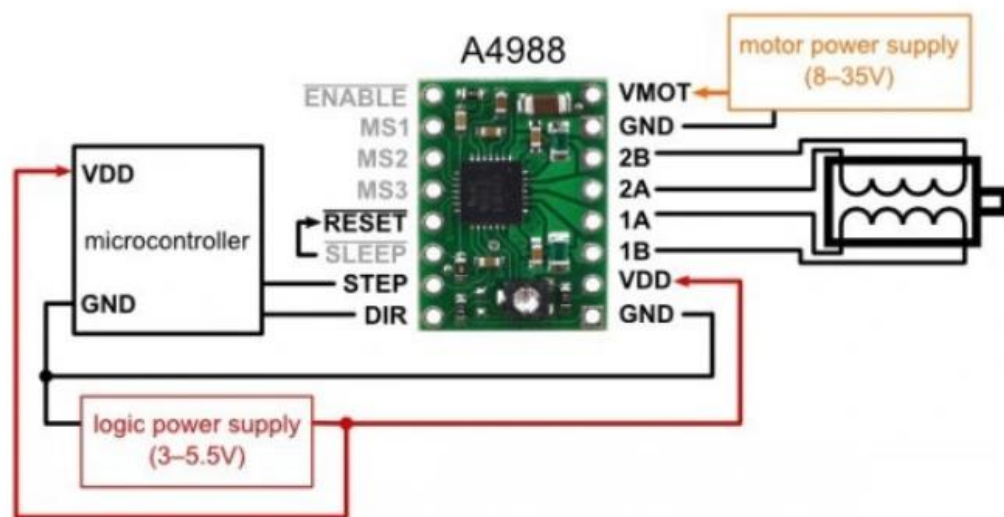
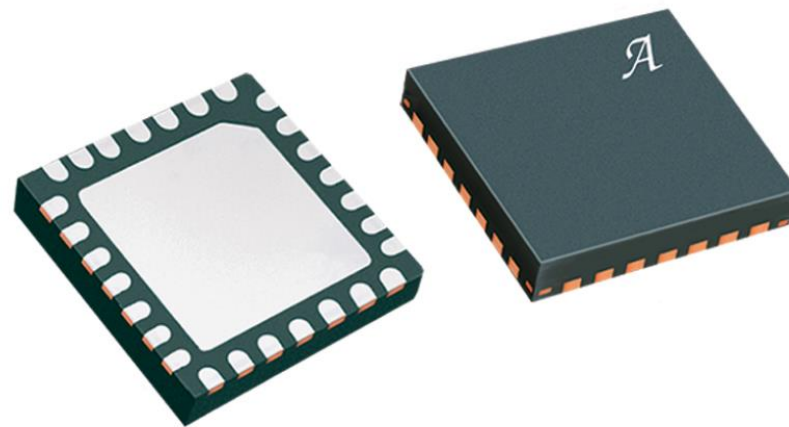
Silniki II – sterownik silników krokowych



Silniki II – sterownik silników krokowych

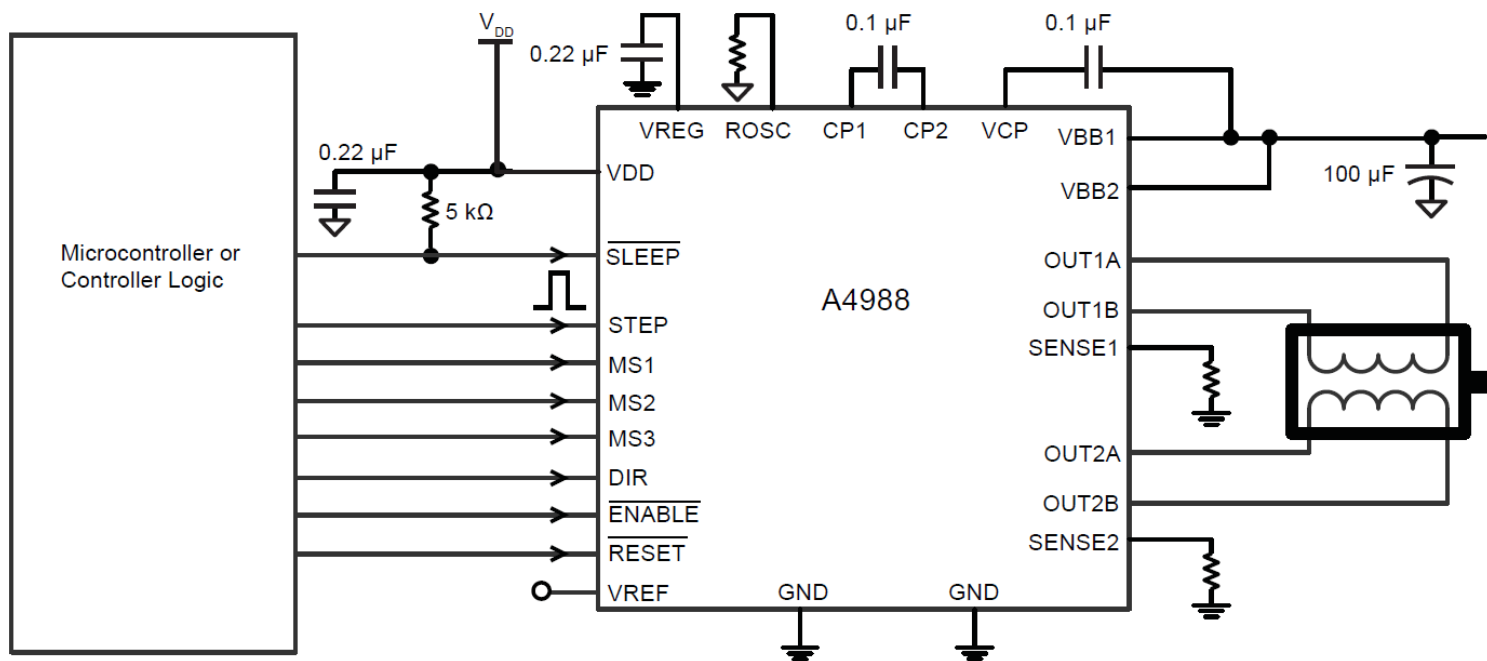
Układ A4988:

- maksymalne napięcie: 35V
- maksymalny prąd: 2A
- Obudowa: QFN28

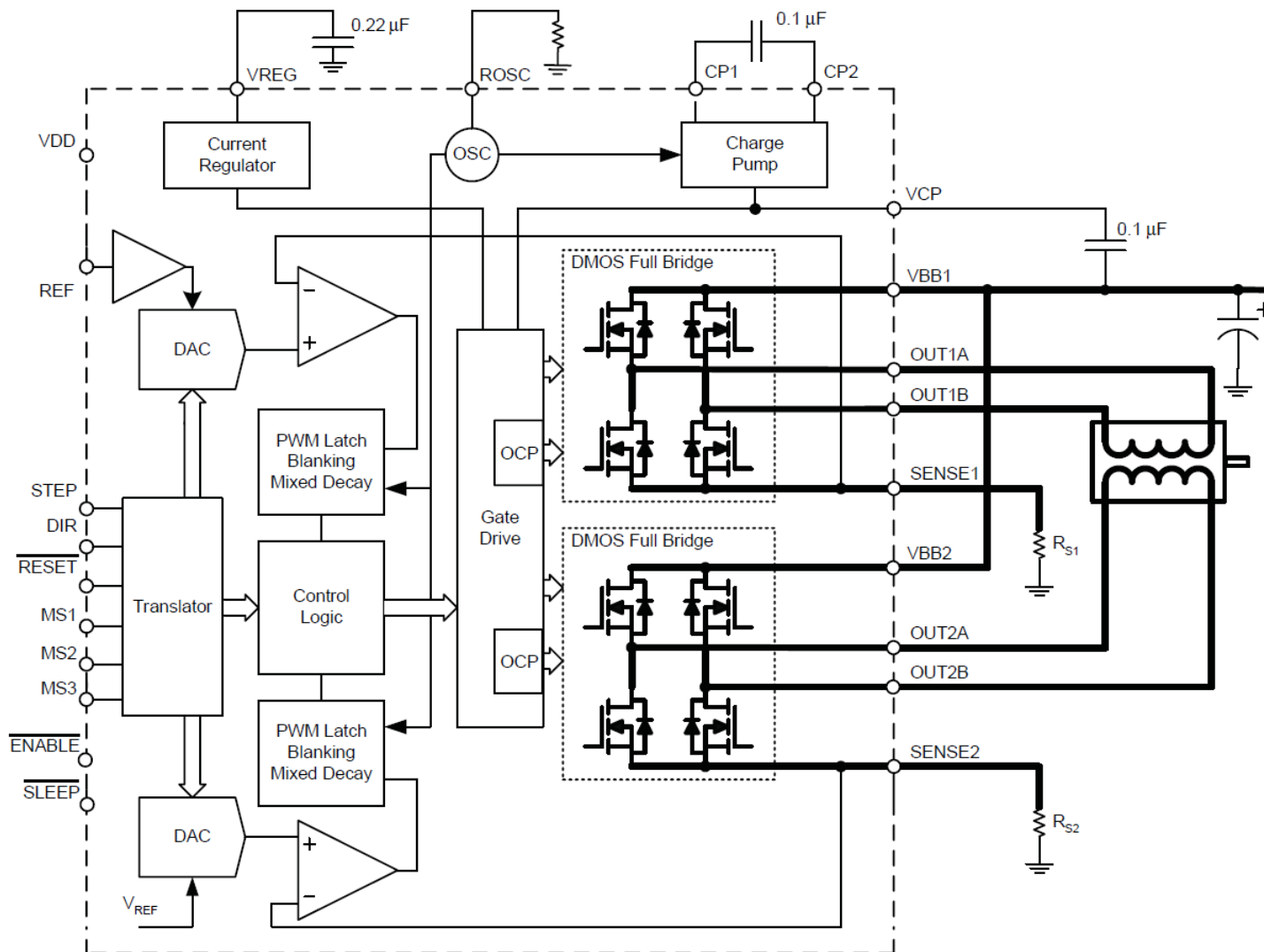


Układ A4988

Typical Application Diagram



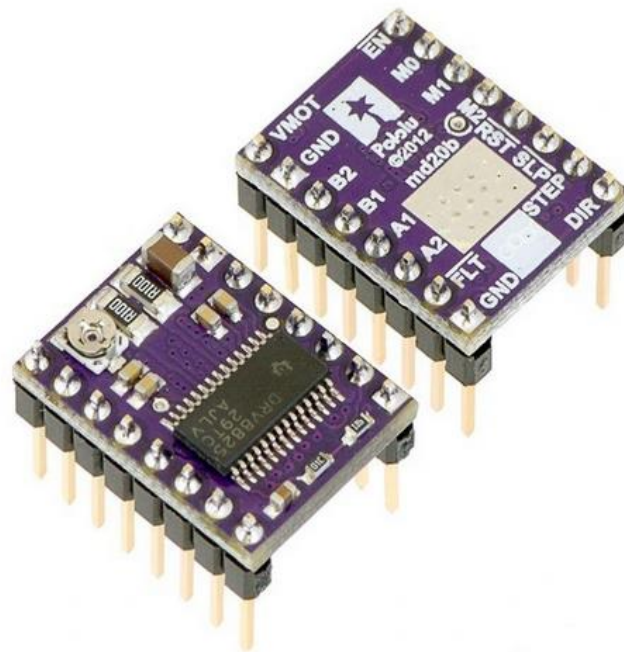
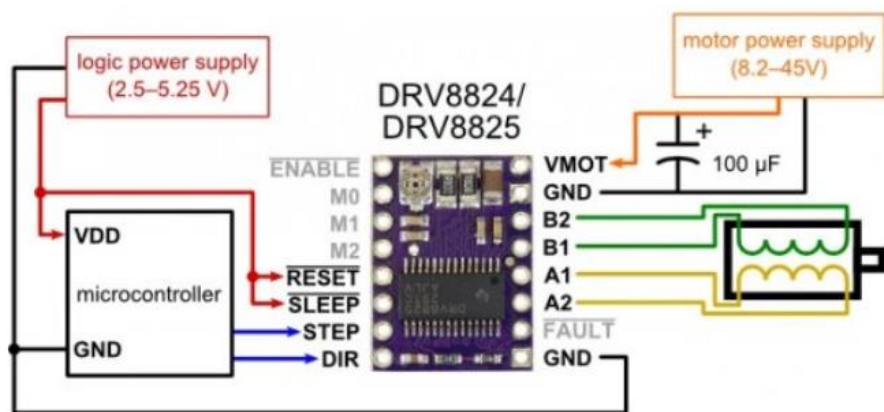
Układ A4988



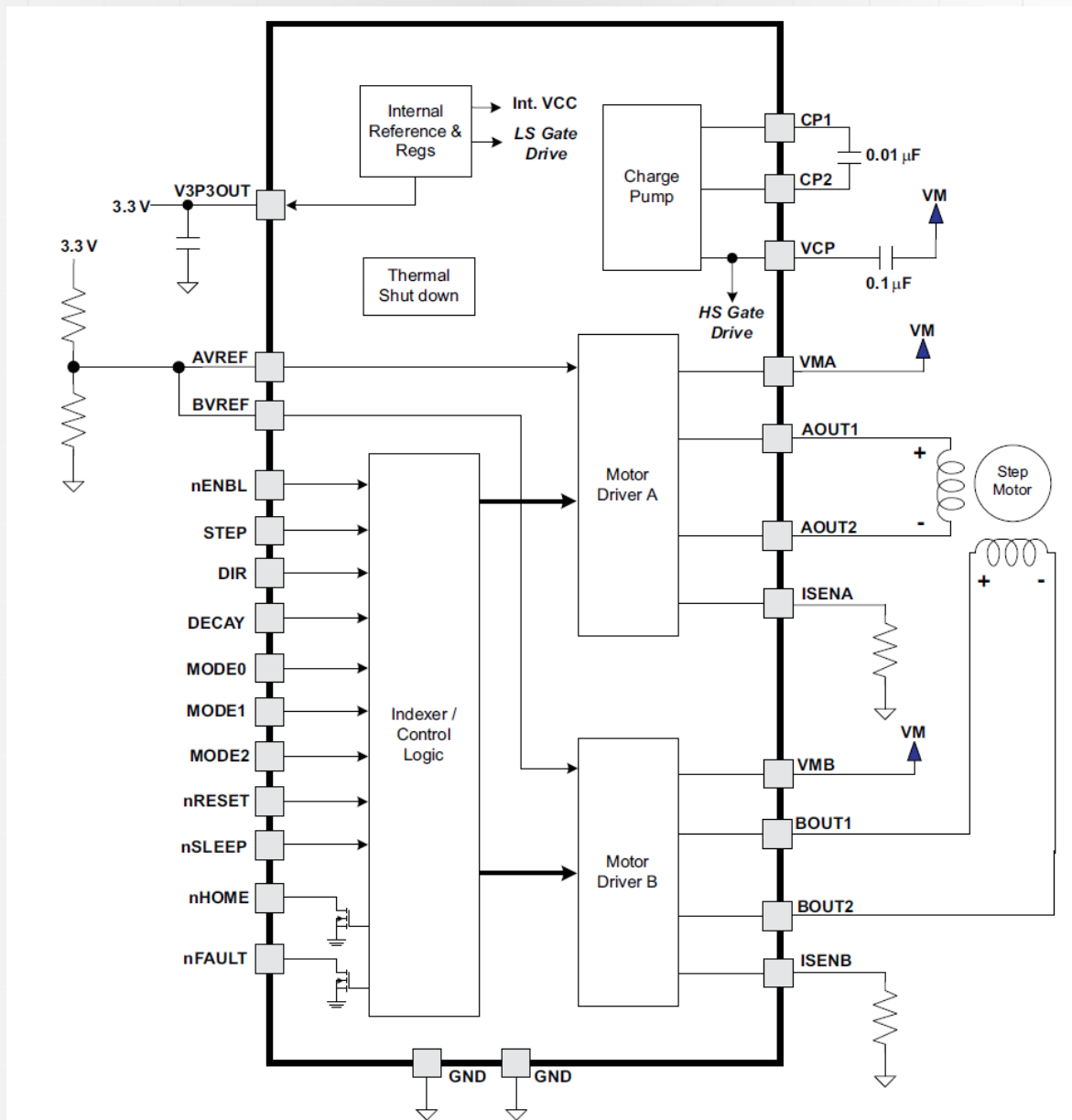
Silniki II – sterownik silników krokowych

Układ DRV8825:

- maksymalne napięcie: 47V
- maksymalny prąd: 2.5A
- Obudowa: 28 HTSSOP



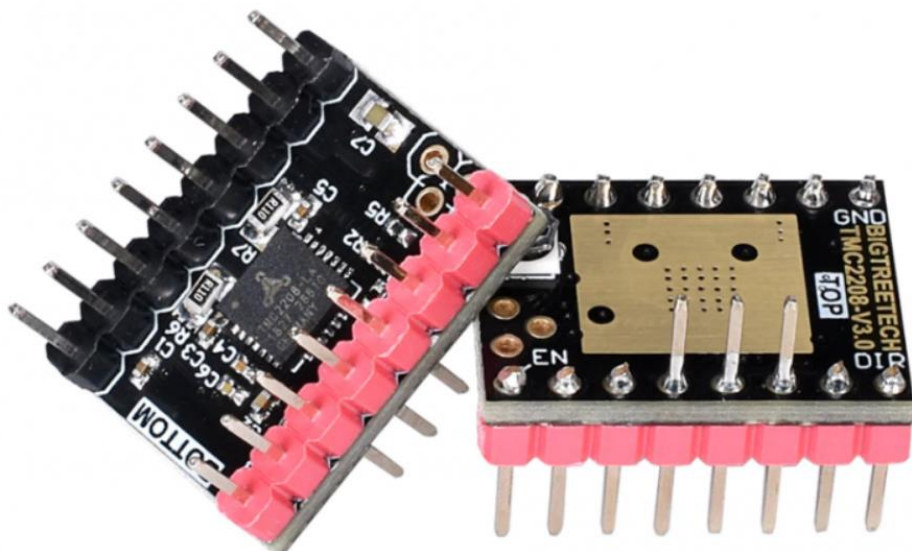
Układ DRV8825



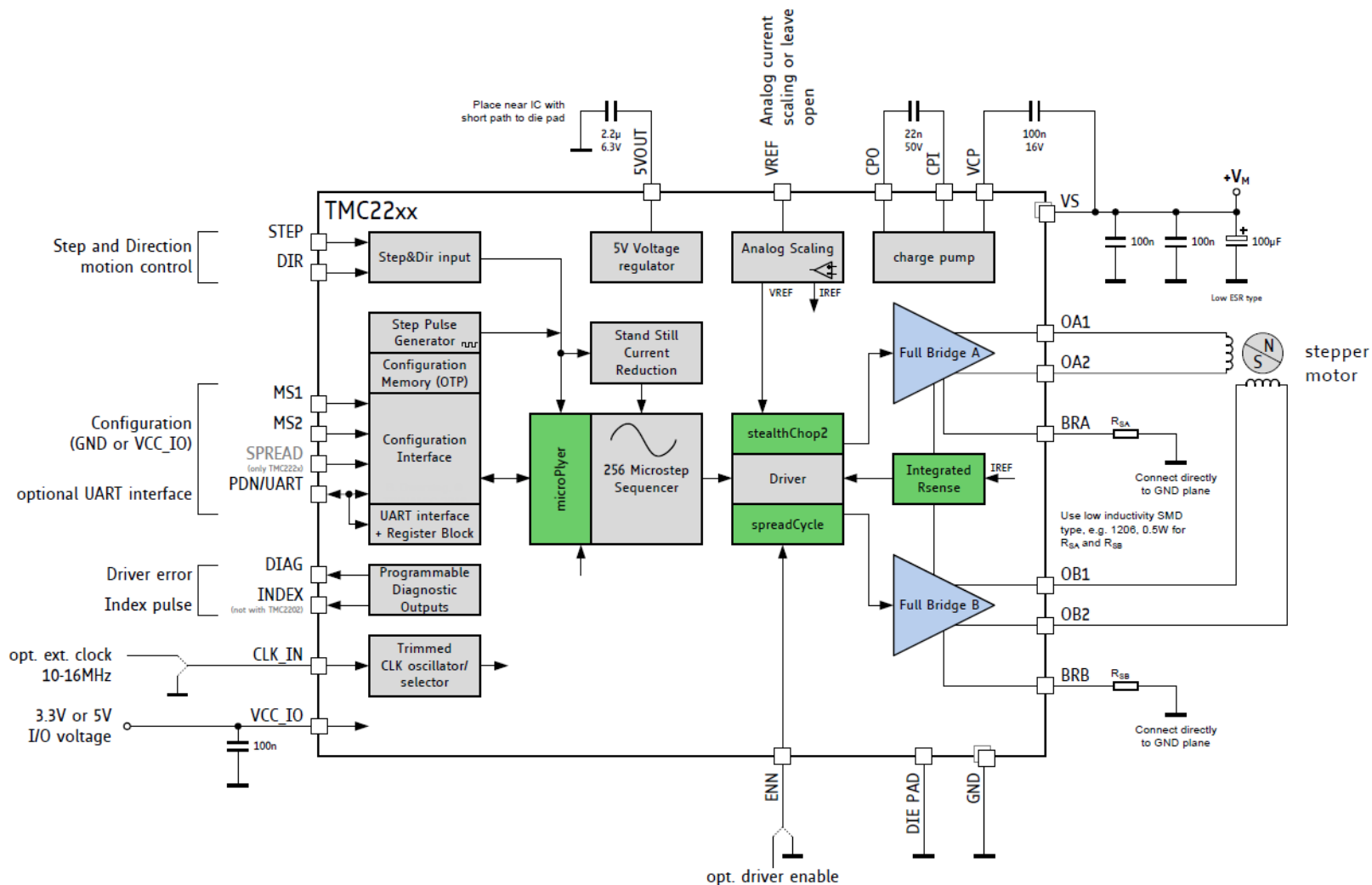
Silniki II – sterownik silników krokowych

Układ TMC2208:

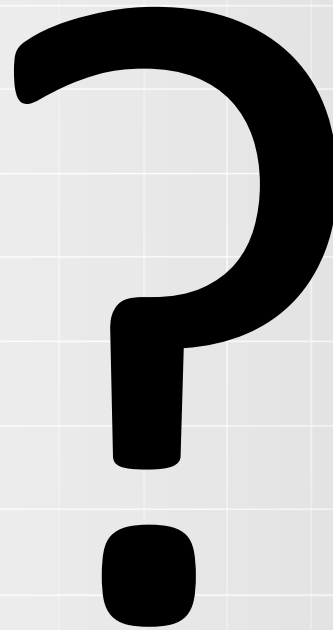
- maksymalne napięcie: 36V
- maksymalny prąd: 2.0A
- obudowa: 28 QFN
- komunikacja: UART
- Smooth Running 256 microsteps by MicroPlyer™ interpolation
- StealthChop2™ silent motor operation



Układ DRV8825





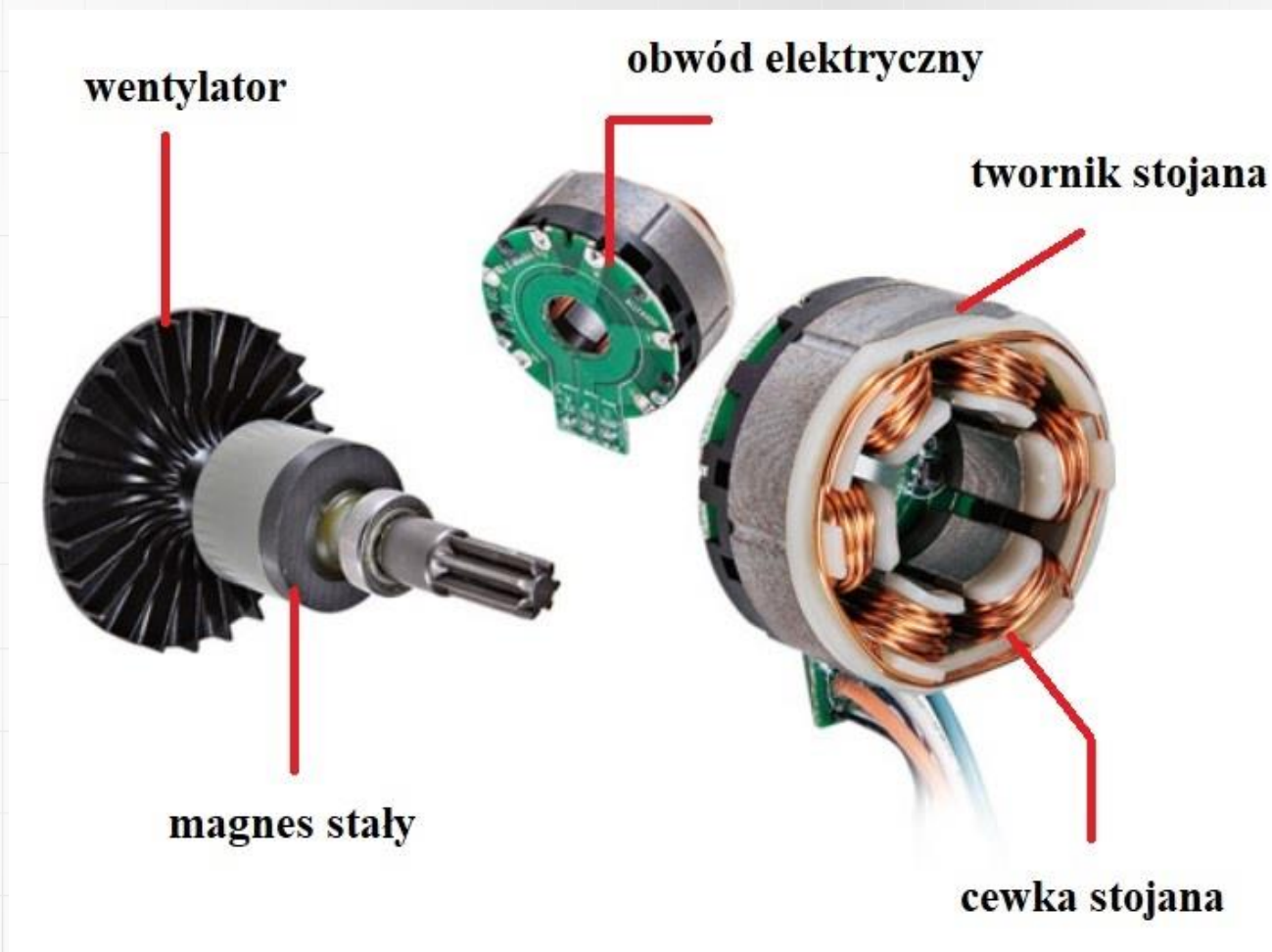


Silniki II

Silnik BLDC



Silnik BLDC



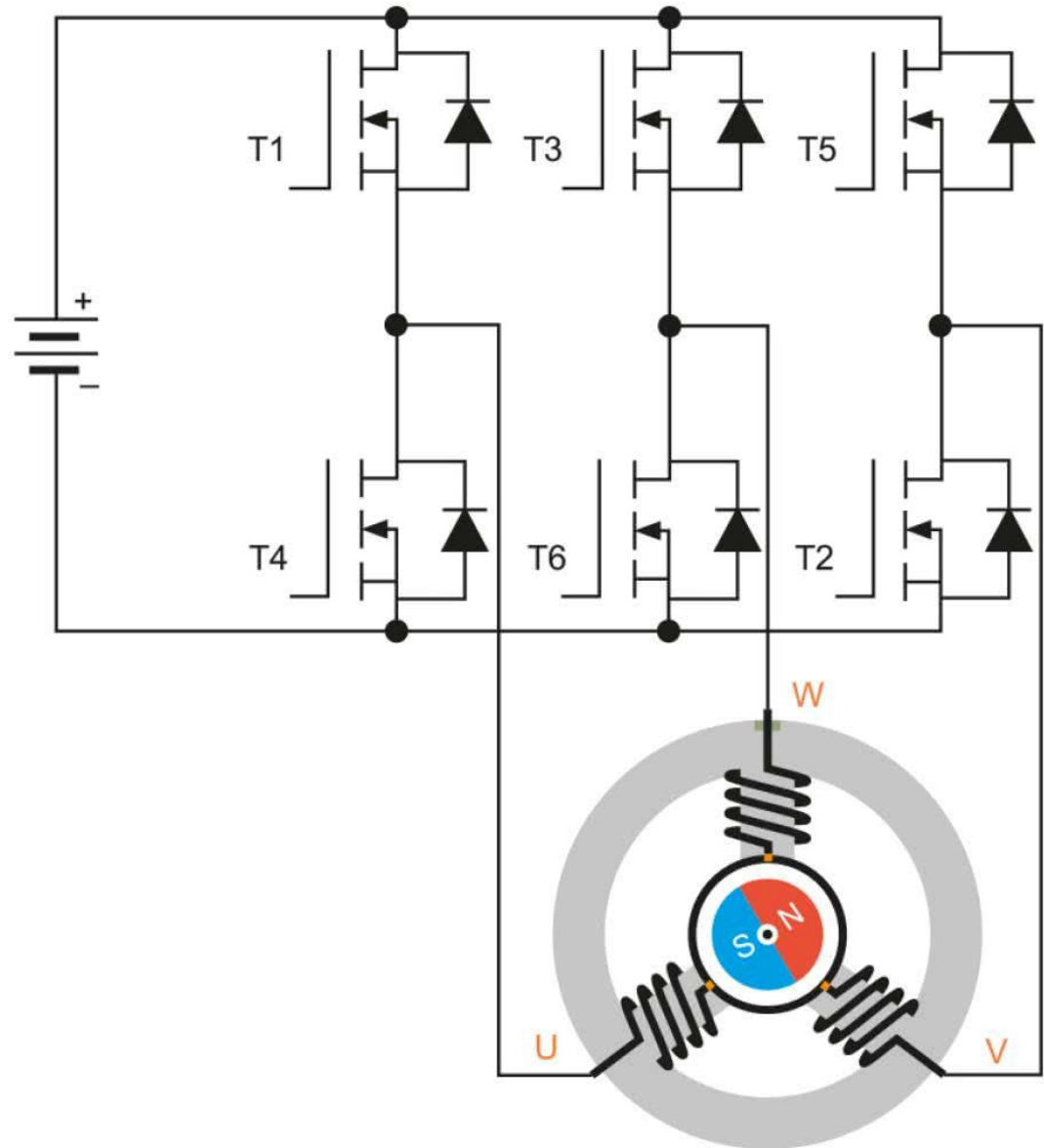
Silnik BLDC a standardowy silnik DC:

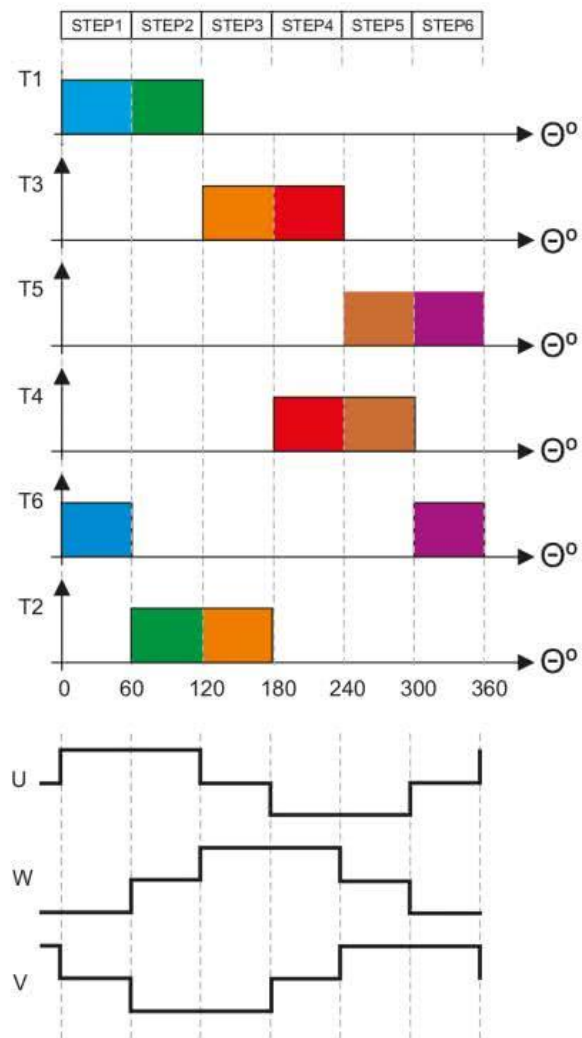
- brak szczotek
 - brak iskrzenia
 - brak elementów zużywających (łożyska)
 - większa sprawność
 - lepszy stosunek momentu obrotowego i mocy do wielkości silnika
 - lepsza wydajność, praca ciągła
-
- skomplikowany układ sterowania
 - dodatkowe czujniki położenia

Silnik BLDC, zastosowanie:

- pojazdy elektryczne:
 - rowery, hulajnogi
 - skutery
 - samochody elektryczne
 - wózki magazynowe, golfowe
- elektronarzędzia akumulatorowe – brushless
- pojazdy latające – drony
- sprzęt fotograficzny – gimbale
- przemysł, układy napędy

Silnik BLDC





Krok	Zasilane fazy	Wynikowy strumień
1	U ? W	
2	U ? V	
3	U ? V	
4	U ? U	
5	U ? U	
6	U ? W	

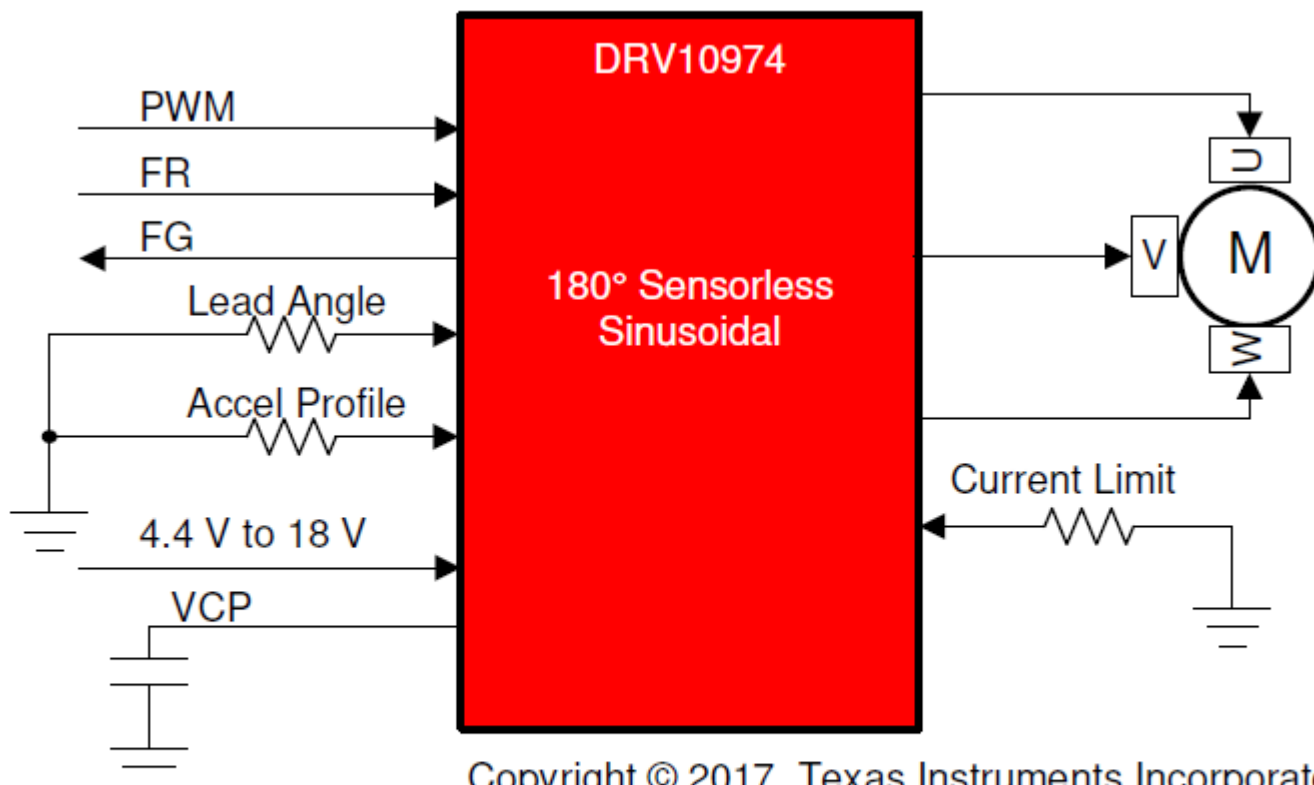
Układ DRV10974:

- maksymalne napięcie: 18V
- maksymalny prąd: 1.0A
- Obudowa: HTSSOP 16, WQFN 16



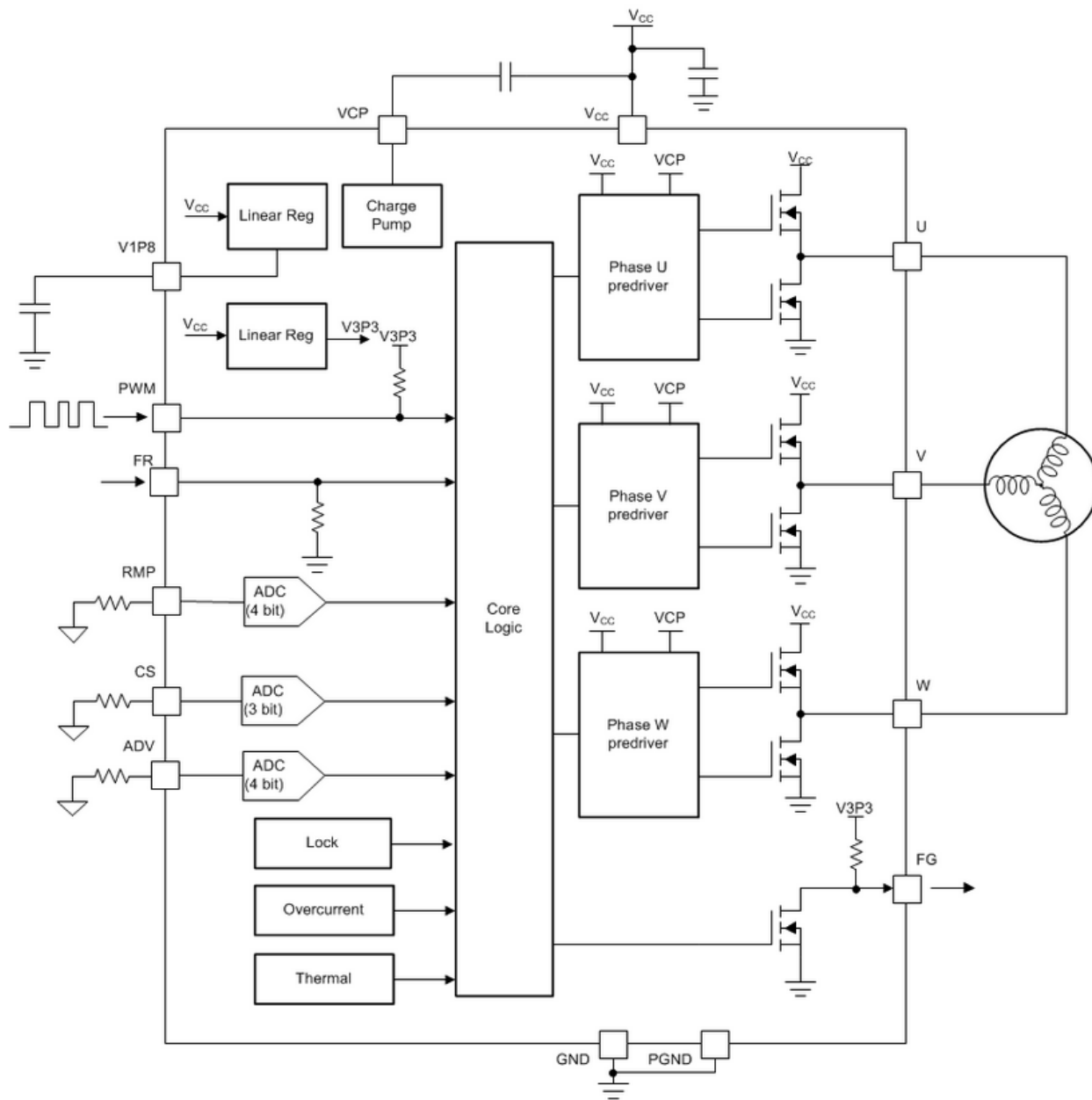
Układ DRV10974

FR – kierunek, PWM – sterowanie prędkością



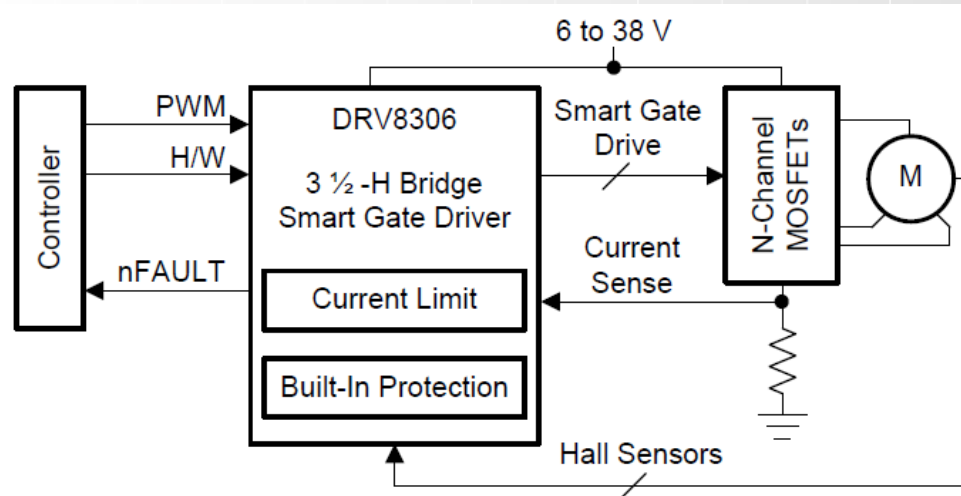
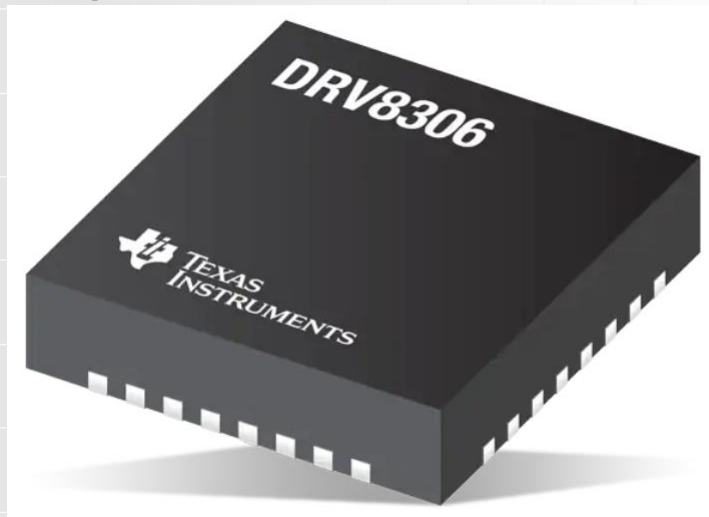
Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

Application Schematic

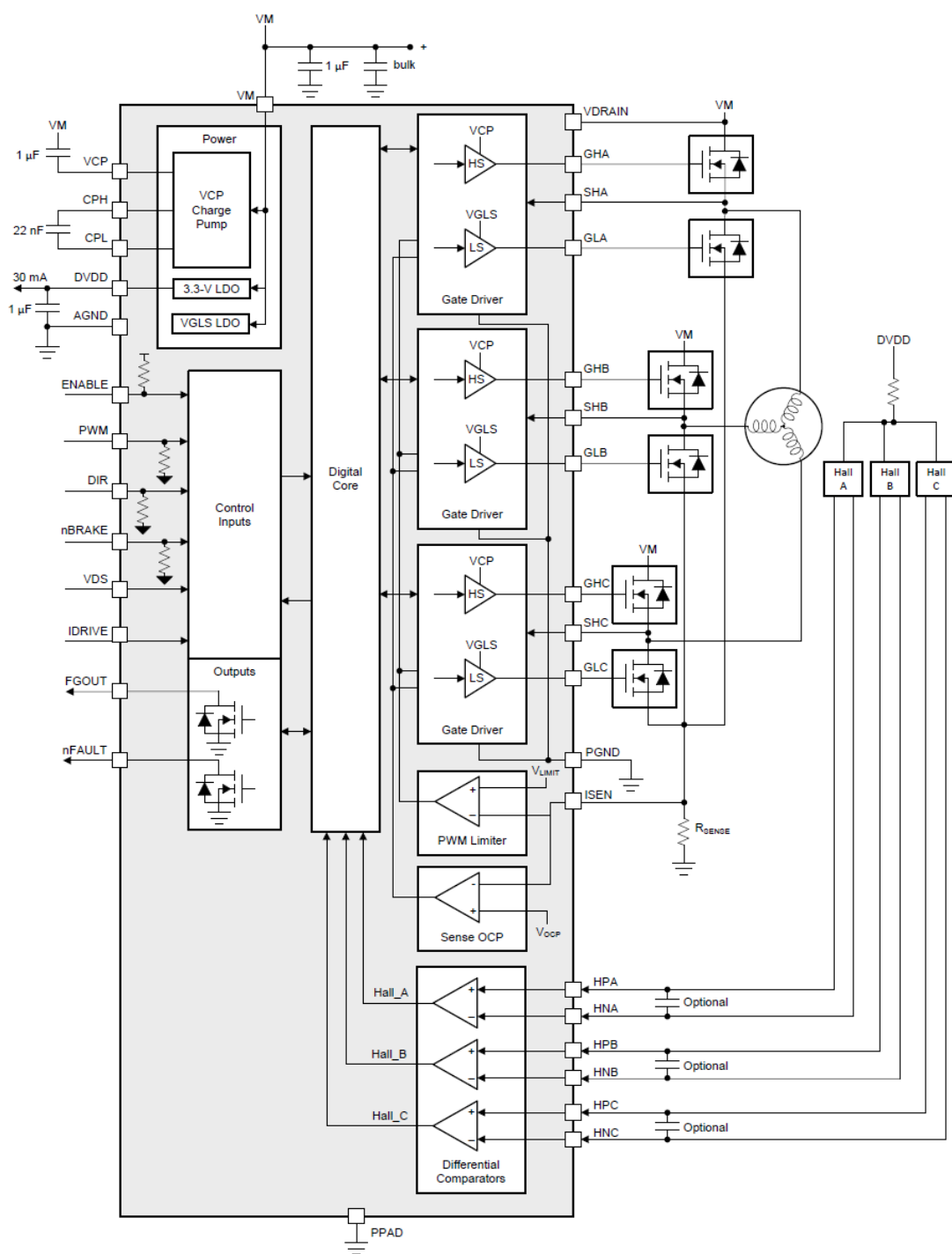


Układ DRV8306 + tranzystory:

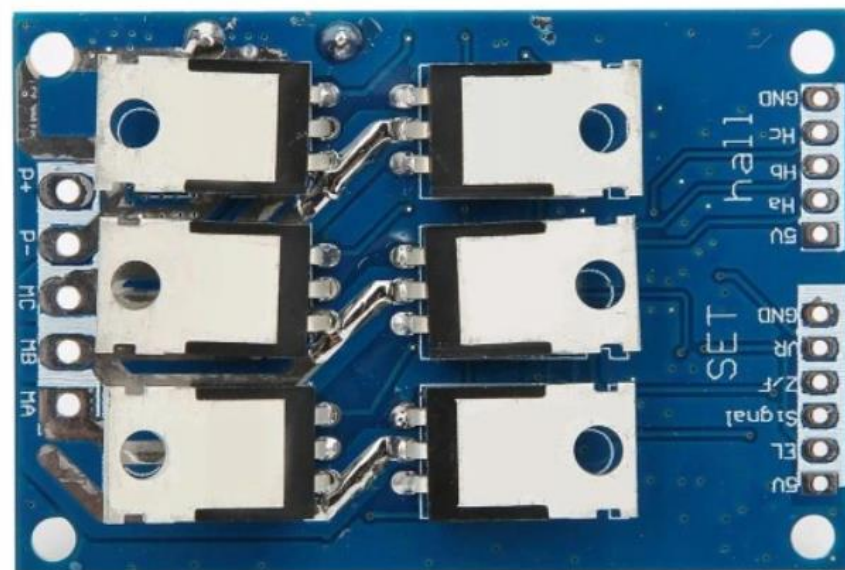
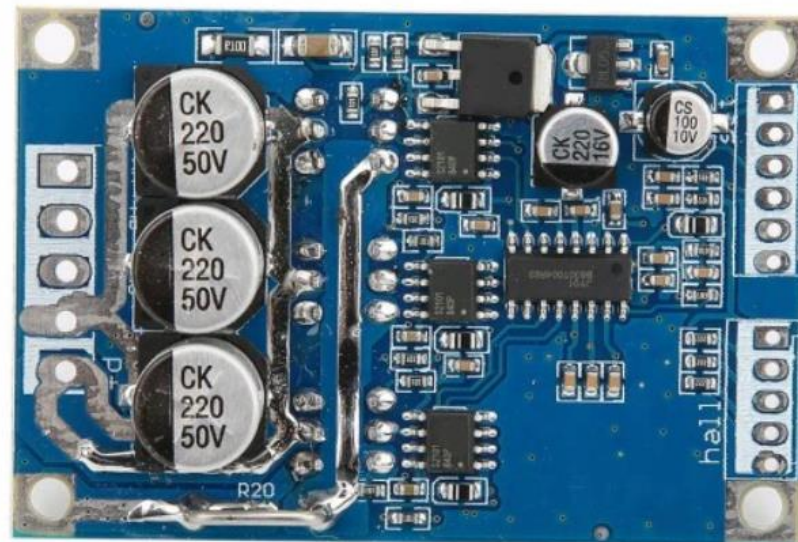
- maksymalne napięcie: 38V
- maksymalny prąd: --



Układ DRV8306

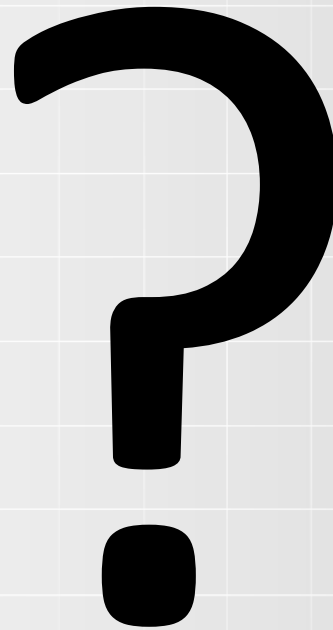


Silnik BLDC - sterownik



Silnik BLDC - sterownik

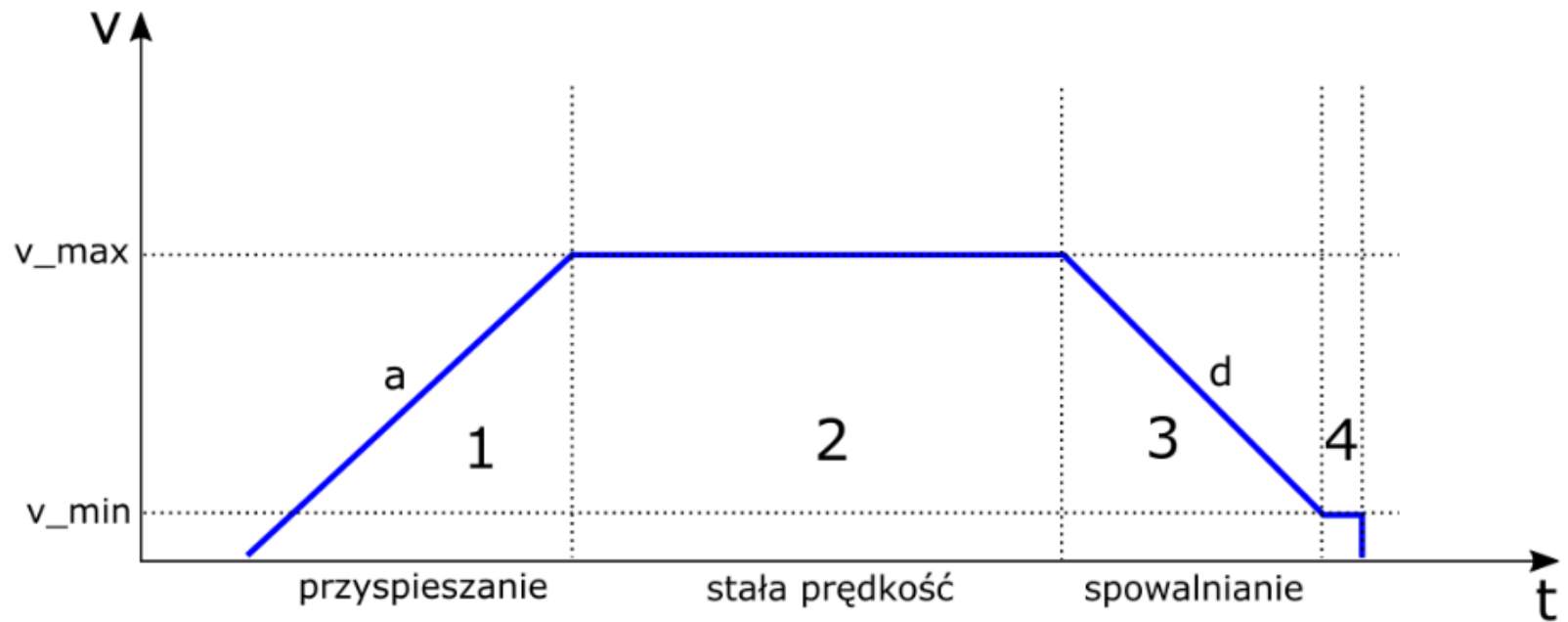




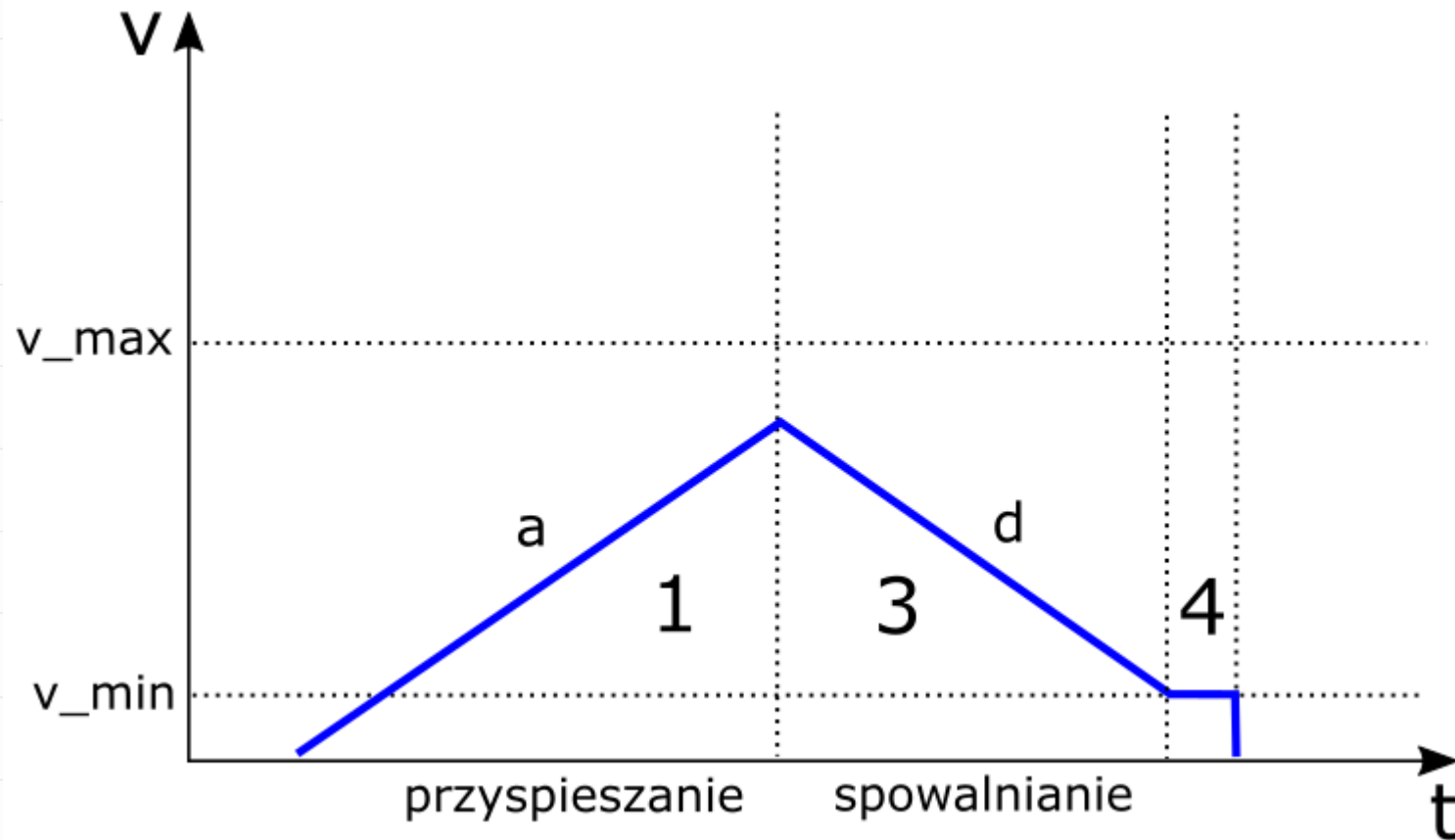
Rozruch silnika – łagodny start:

- ograniczenie gubienia kroków dla silników krokowych
- zmniejszenie uderów prądowych
- zmniejszenie uderów mechanicznych
- zmniejszenie zużycia układów sterowania, silnika i mechaniki
- wydłużenie czasu pracy na akumulatorach – ograniczenie szpilek
- zwiększenie precyzji sterowania
- umożliwienie osiągnięcia zadanych prędkości obrotowych

Rozruch silnika – rampa trapezoidalna



Rozruch silnika – rampa trapezoidalna



Rozruch silnika – rampa trapezoidalna

Silnik DC – zwiększamy/zmniejszamy wypełnienie sygnału PWM

Silnik krokowy – zwiększamy/zmniejszamy częstotliwość kroków

Silnik BLDC – zwiększamy/zmniejszamy:

- częstotliwość kroków
- wypełnienie sygnału PWM



- <https://botland.com.pl/content/220-wszystko-o-silnikach-krokowych>
- <http://silniki-krokowe.com.pl/informacje-techniczne/sterowanie-silnikami-krokowymi/>
- <https://forbot.pl/blog/jak-dzialaja-silniki-krokowe-czym-sa-mikrokroki-id7057>
- <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/budowa-i-sterowanie-maszyn-cnc/silnik-krokowy-budowa-dzialanie-zastosowanie/>
- <https://ep.com.pl/kursy/notatnik-konstruktora/10702-podstawy-sterowania-silnikiem-bldc>
- <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/automatyka-porady/silnik-bezszczotkowy-bldc-co-to-jest-jak-dziala-zastosowanie/>
- <https://ep.com.pl/kursy/poradnik-implementacji/13594-silniki-bldc-1-metody-sterowania>
- <https://www.stm32wrobytyce.pl/2021/05/12/zaawansowane-sterowanie-predkoscia-silnika-rampa-trapezoidalna/>
- Dokumentacje techniczne układów