



Politechnika
Wrocławska

Elementy elektroniki i elektrotechniki

Wzmacniacze mocy, układy sterowania

Wojciech Tarnawski

wojciech.tarnawski@pwr.edu.pl

www.w-tarnawski.pl

2023

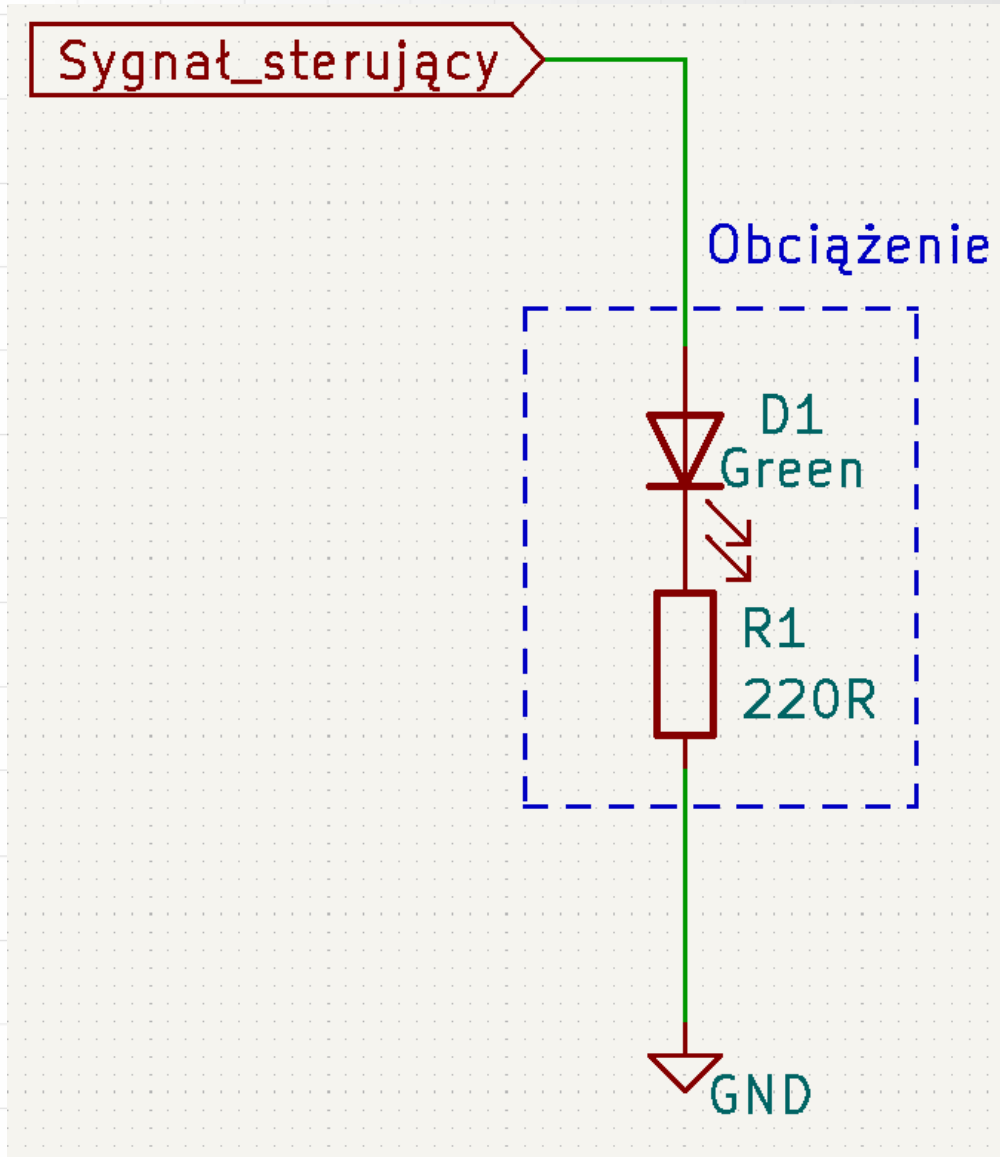




Wzmacniacze mocy, układy sterowania

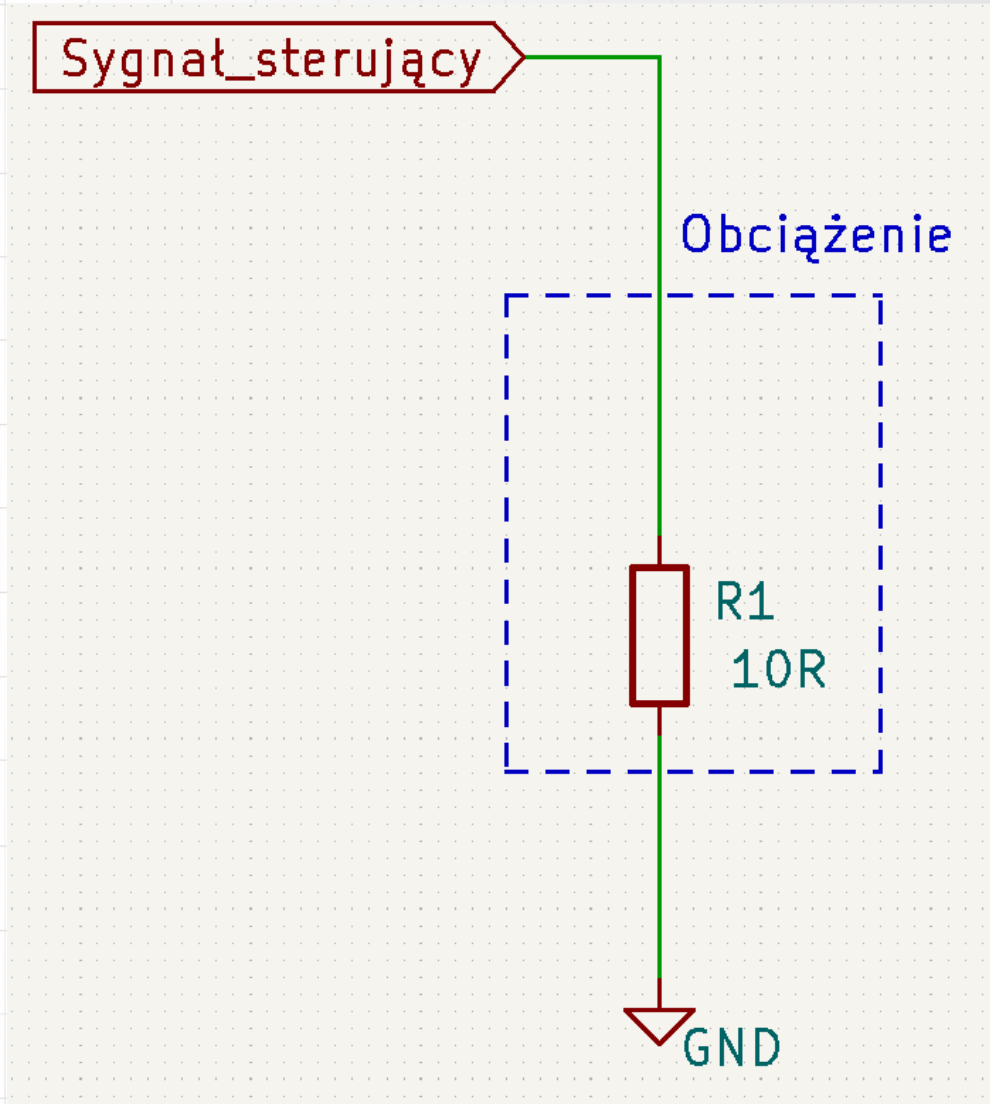
- Wstęp
- Sterowanie diodą LED
- Sterowanie z układem tranzystorowym
- Zabezpieczanie przekaźnika
- Sygnał PWM
- Silniki DC
- Silniki krokowe
- Silniki BLDC

Wzmacniacze mocy, układy sterowania



$$I_{ob} = ?$$
$$V_z = 5V$$
$$U_F = 2V$$
$$R = 220R$$

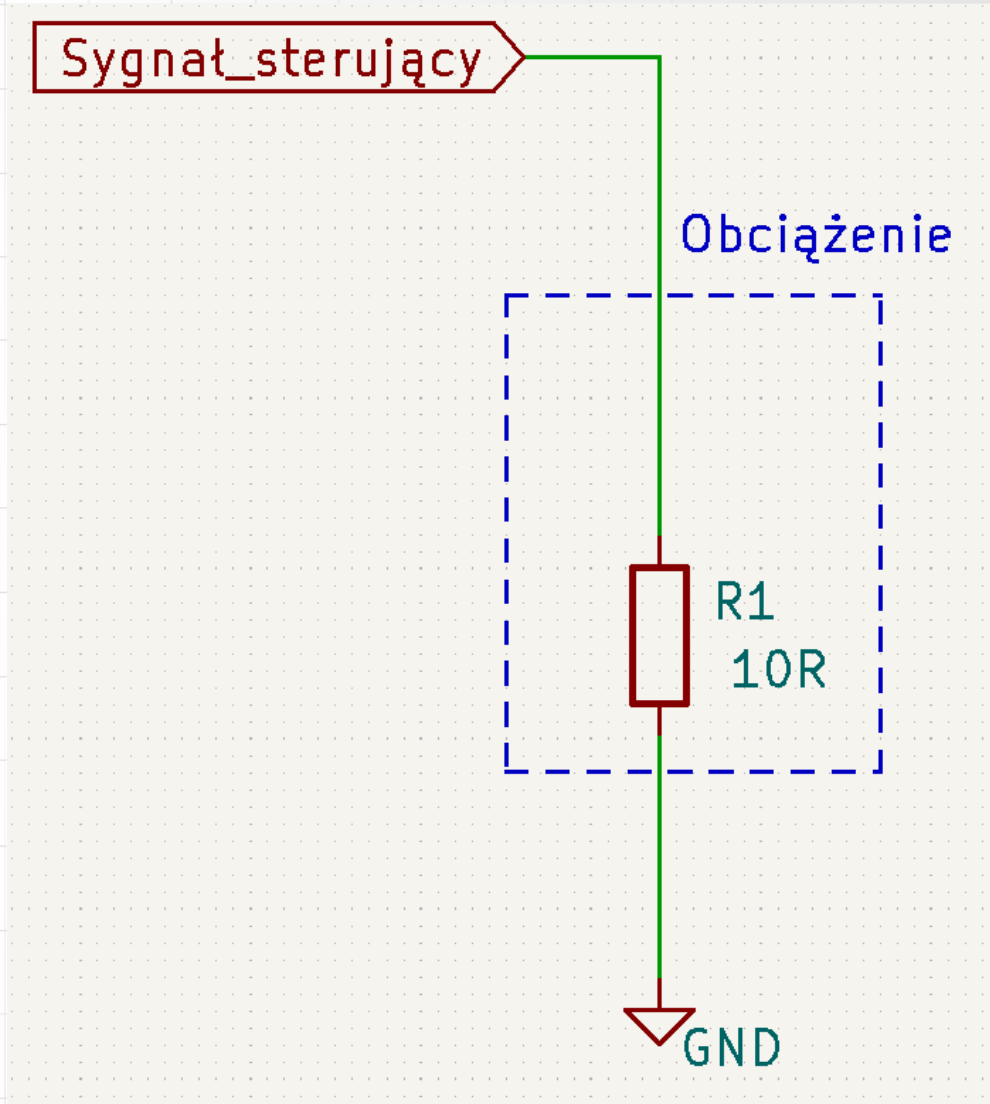
$$U_R = U_z - U_f = 5V - 2V = 3V$$
$$I_{ob} = \frac{3V}{220R} \approx 0,0136A \approx 13mA$$



$$I_{ob} = ?$$
$$V_z = 5V$$
$$R = 10R$$

$$I_{ob} = \frac{5V}{10R} \approx 0,5A \approx 500mA$$

Jak toysterować?

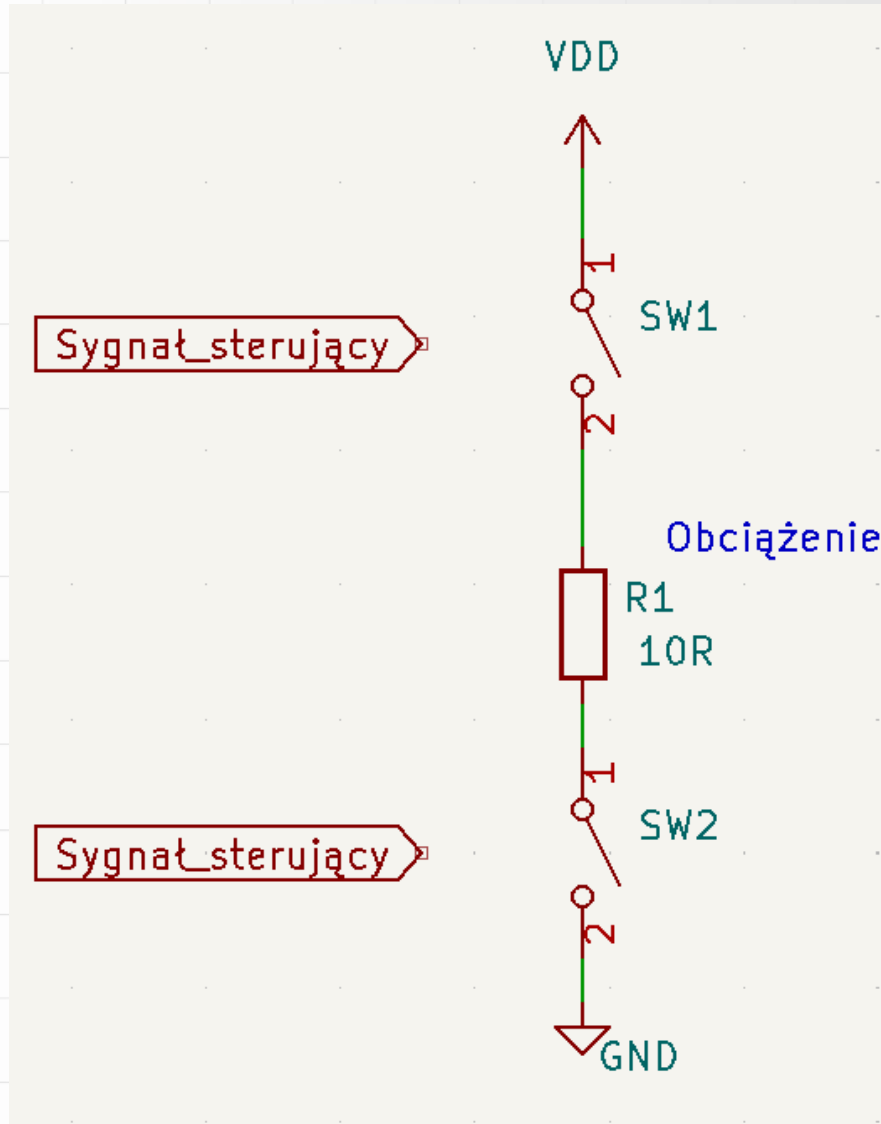


$$I_{ob} = ?$$
$$V_z = 5V$$
$$R = 10R$$

$$I_{ob} = \frac{5V}{10R} \approx 0,5A \approx 500mA$$

Jak toysterować?

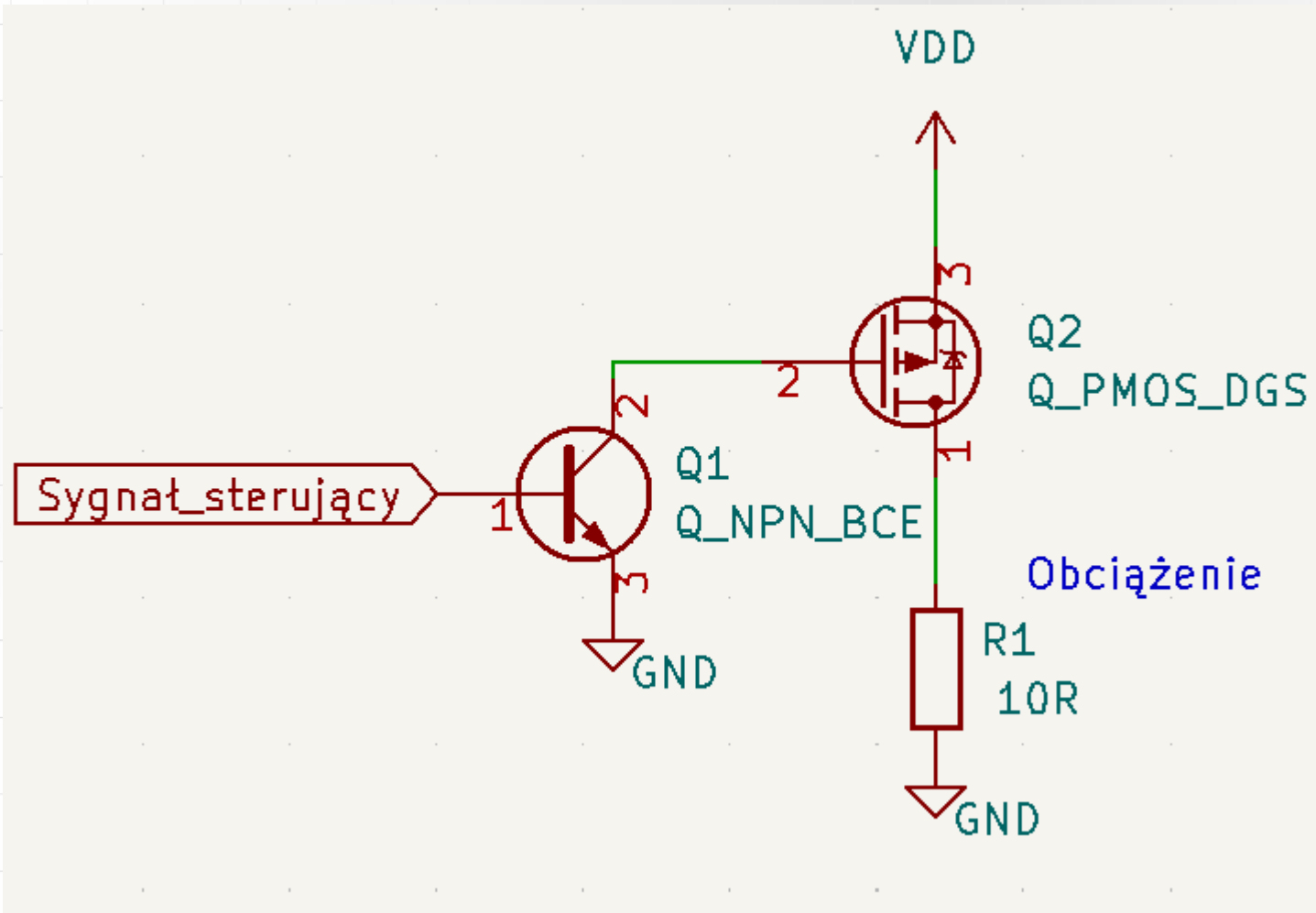
Wzmacniacze mocy, układy sterowania



Jaki element
zastosować jako SW1 i SW2?

Wzmacniacze mocy, układy sterowania

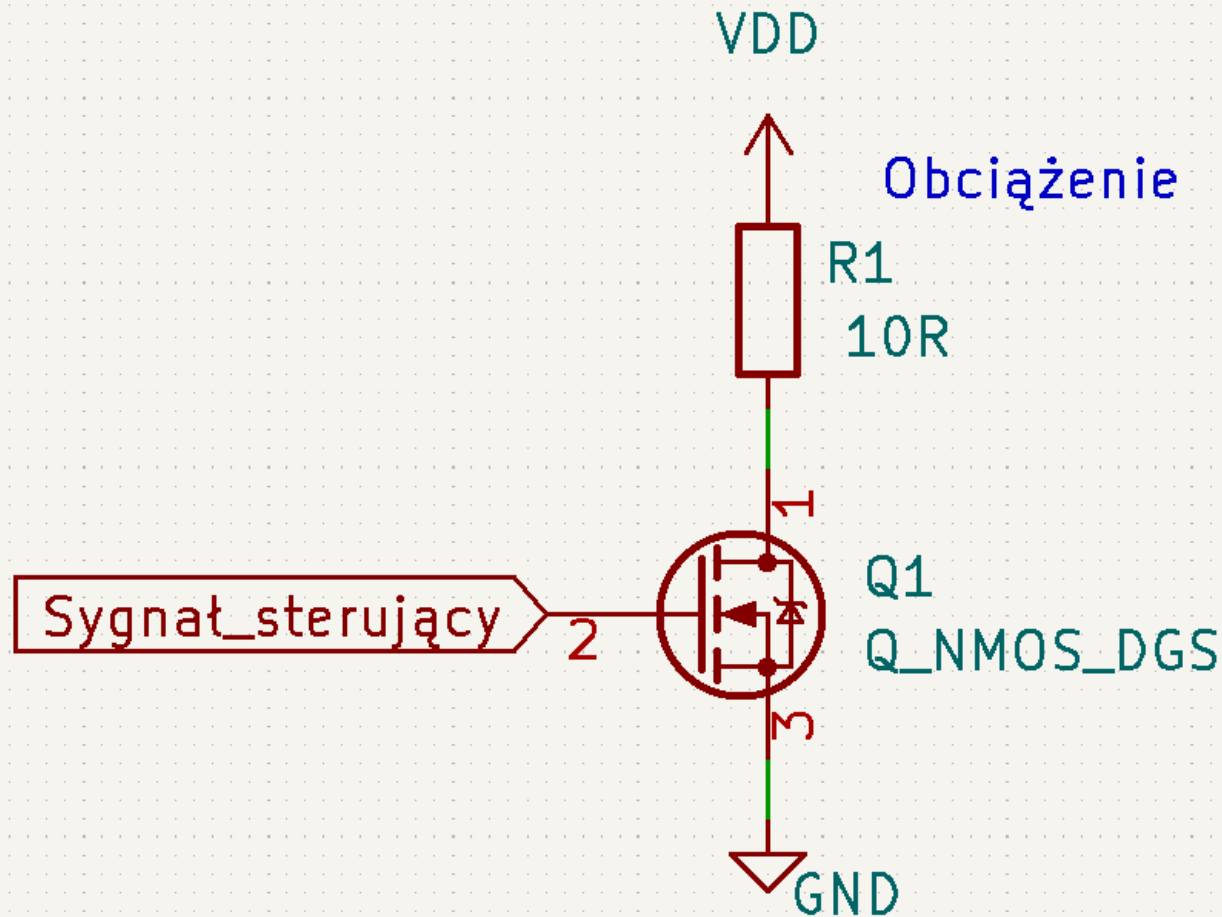
Sterowanie górne, tranzystor mosfet z kanałem P



$$V_{GD} < 0$$

Wzmacniacze mocy, układy sterowania

Sterowanie dolne, tranzystor
mosfet z kanałem N

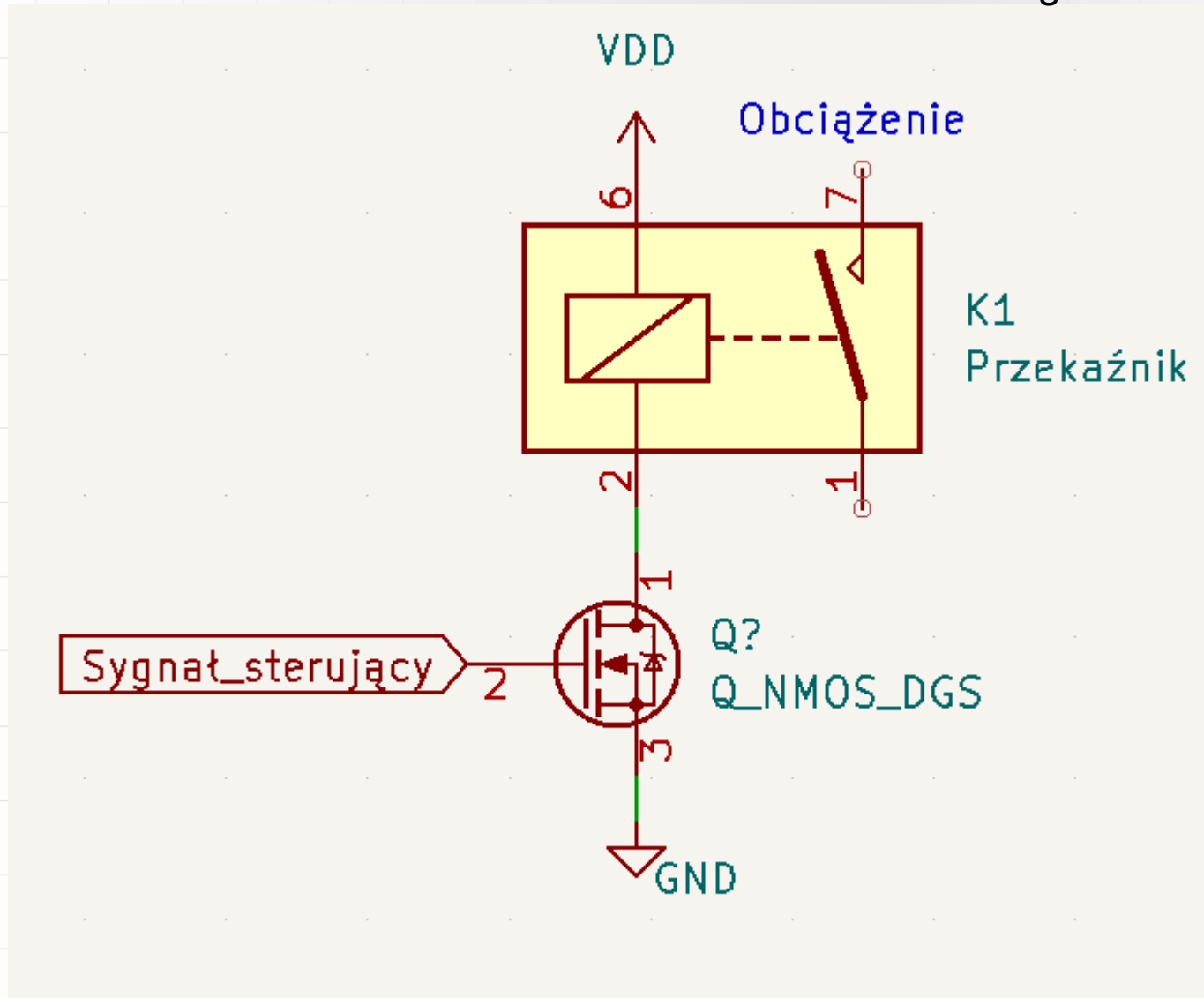


$$V_{GS} > 0$$

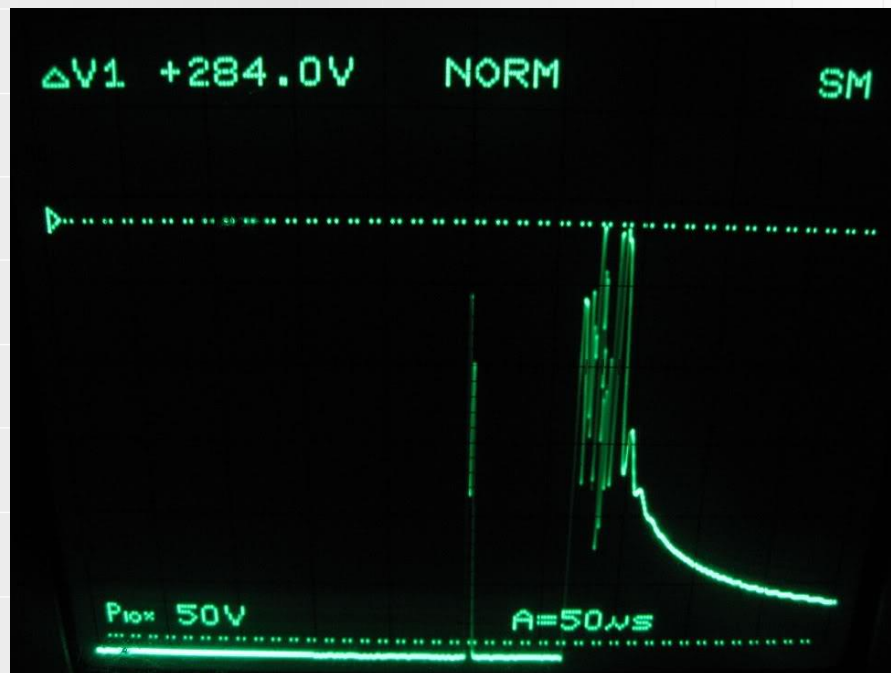
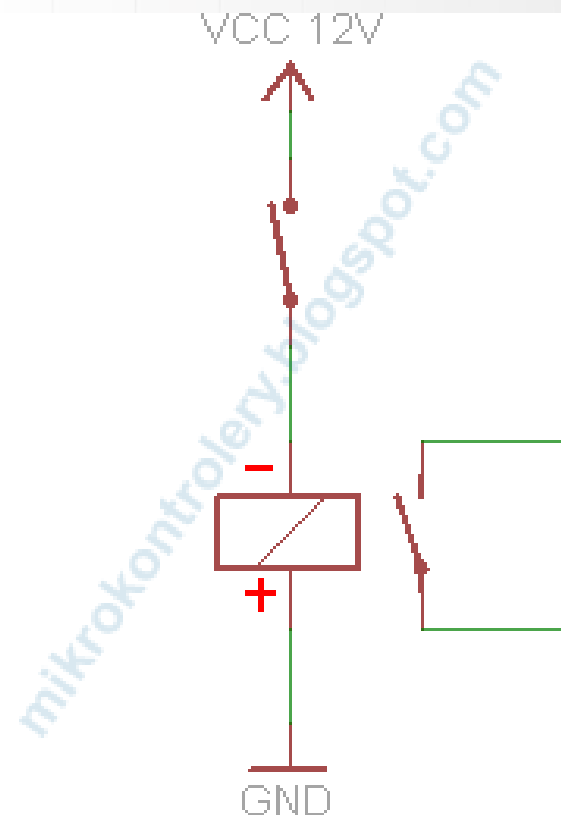
Zadziała?

Ile razy?

Jakiego elementu brakuje?



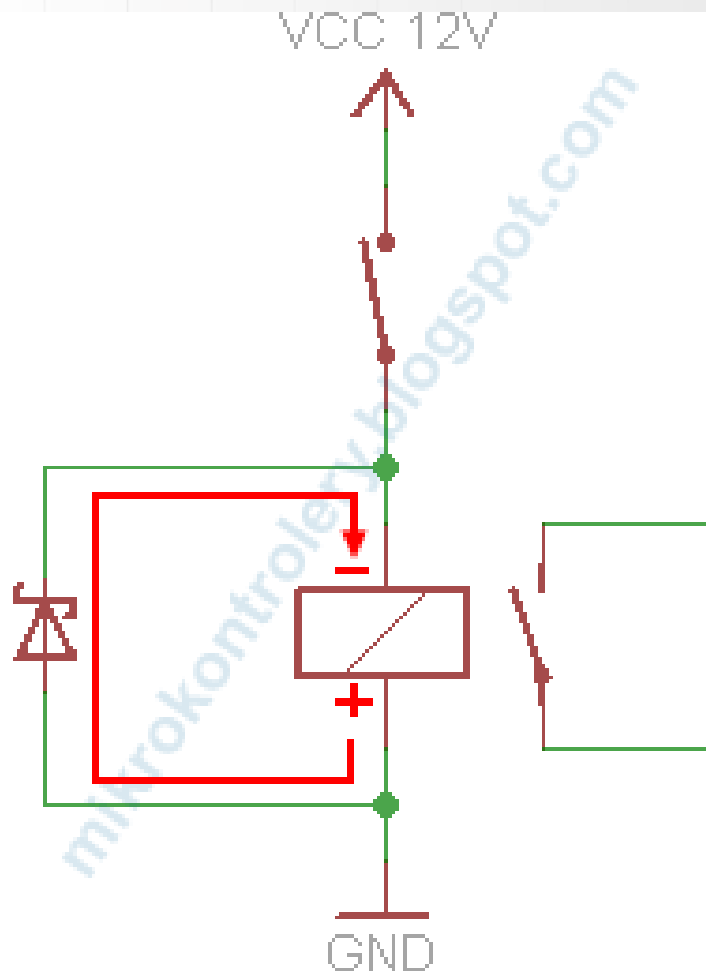
Zabezpieczenie układu „Generowanie szpilki”



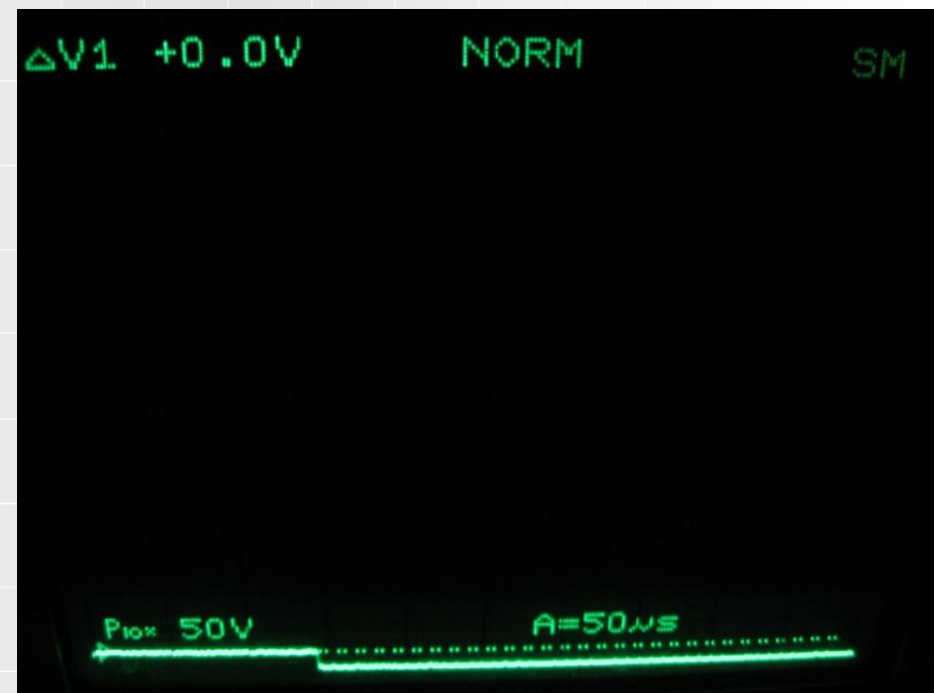
Prawo komutacji

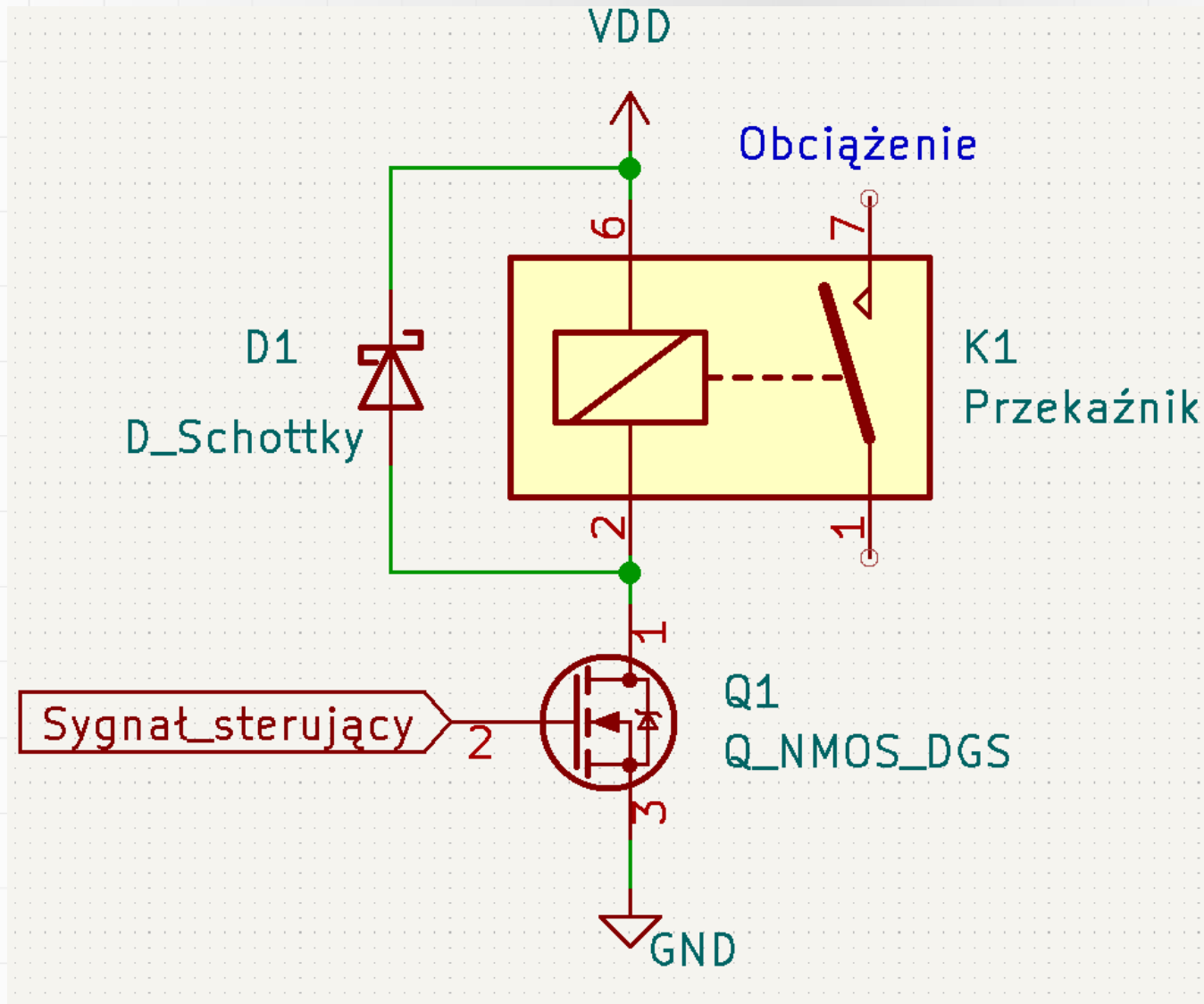
Prąd na cewce nie może zmienić się skokowo, ale w chwili tuż przed zmianą, ma taką samą wartość jak w chwili tuż po zmianie. I prawo komutacji inaczej zwane jest zasadą ciągłości prądu i strumienia na indukcyjności.

Zabezpieczenie układu „Generowanie szpilki”

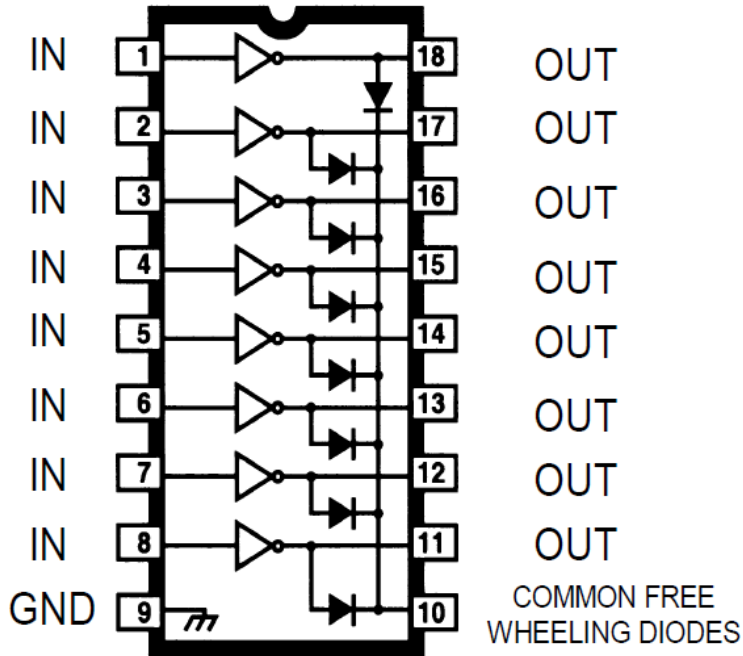


Została dodana dioda schottky



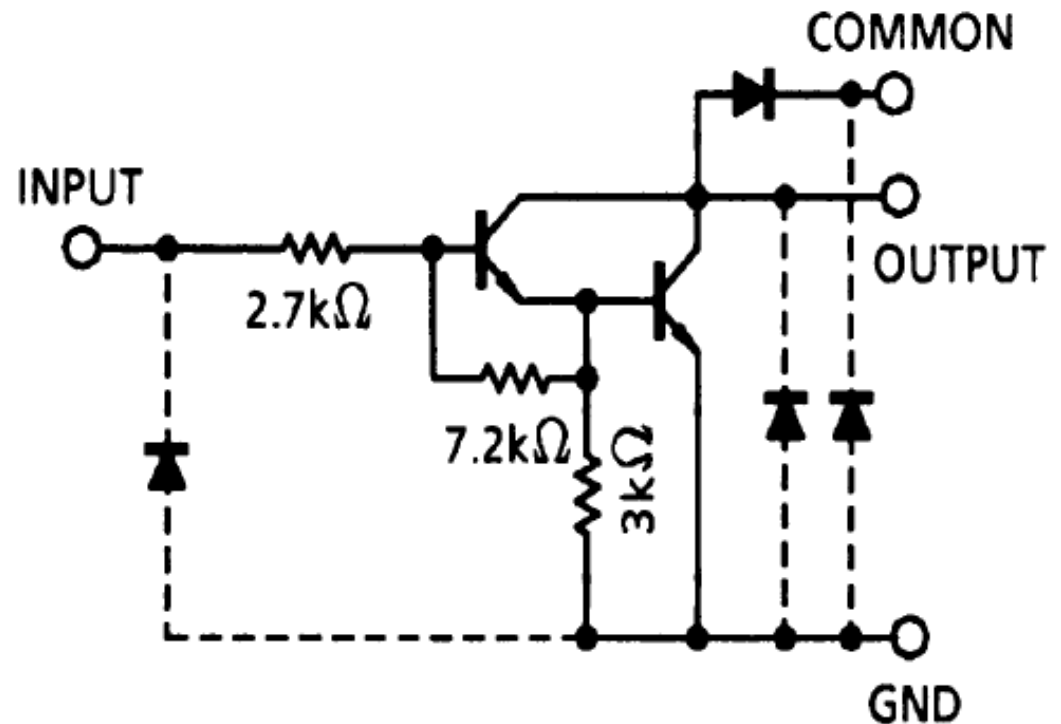


ULN2803 – 8 kanałów dolnych

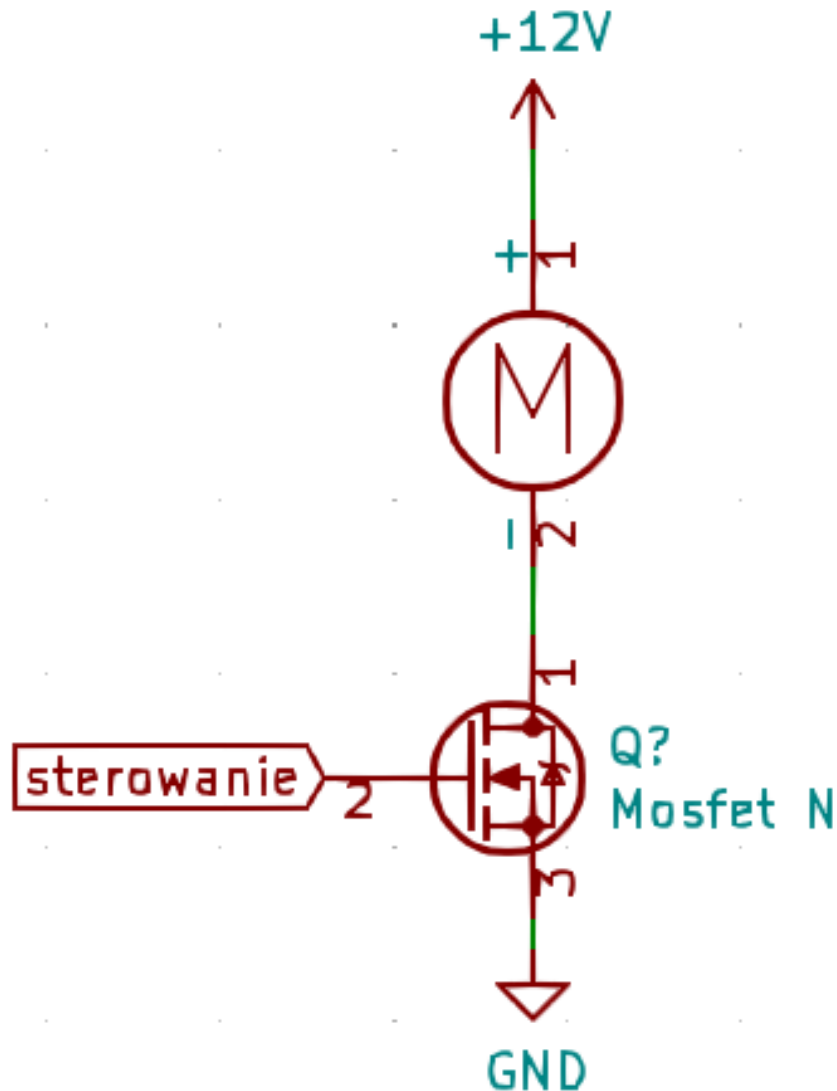


Parametry układu:

- napięcie maksymalne: 50V
- prąd maksymalny na kanał: 500mA



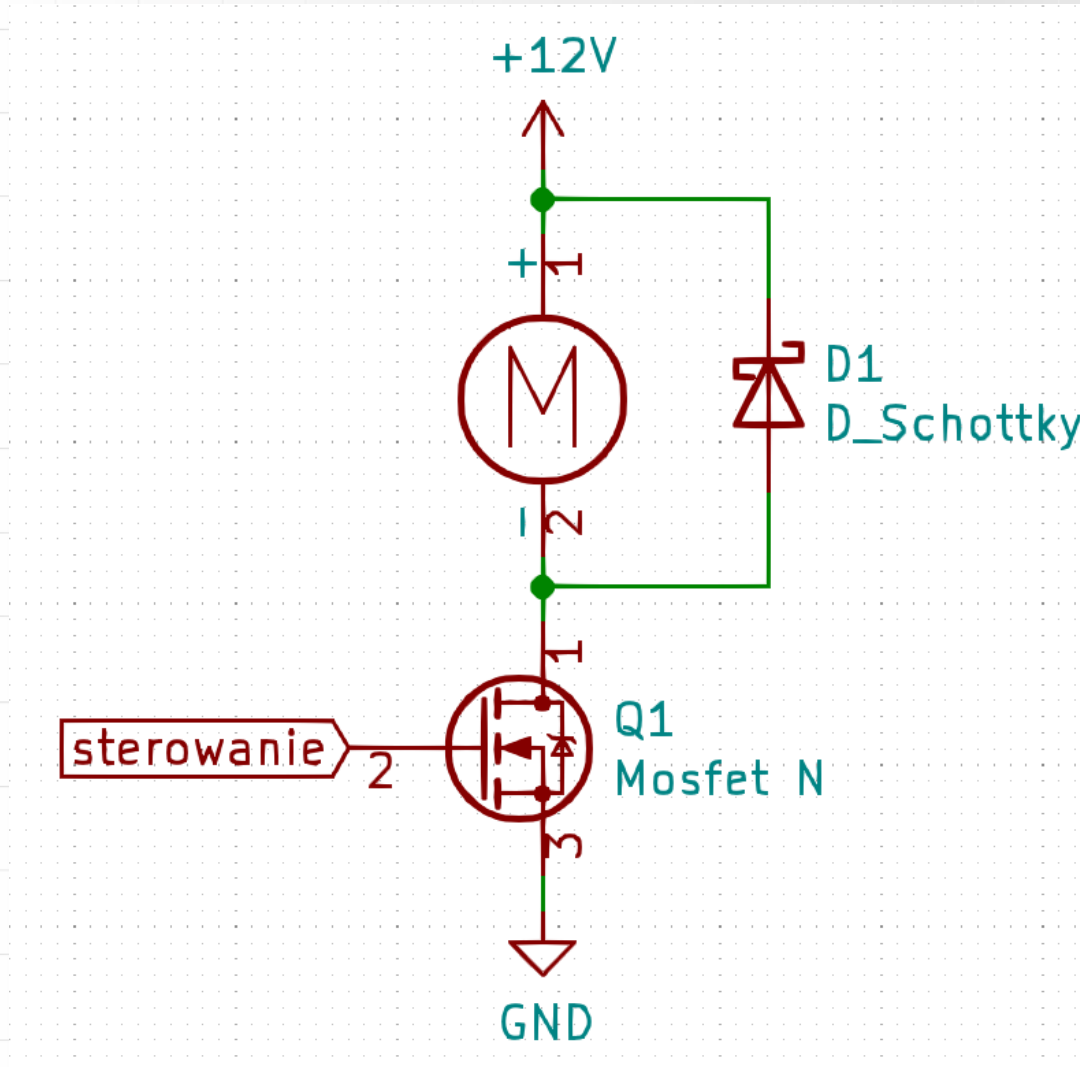
Silniki prądu stałego DC – układy sterowania



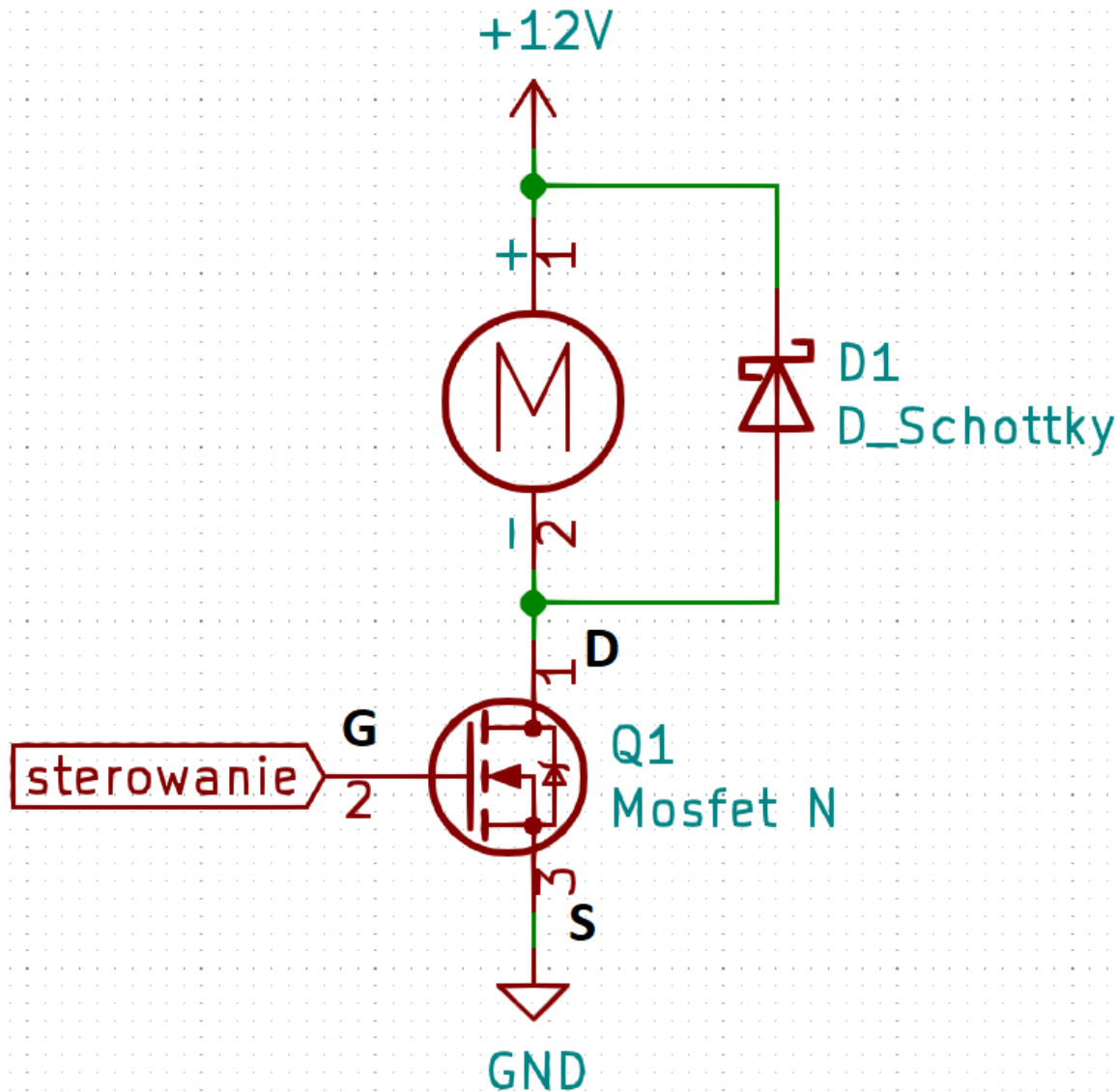
Czy zadziała?
Ile razy?
Jakiego elementu brakuje?

Najprostszy układ sterowania silnikiem DC

Została dodana dioda schottky



Najprostszy układ sterowania silnikiem DC



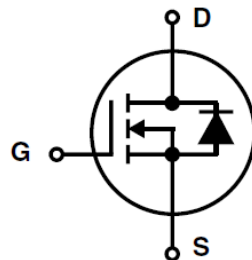
V_{GS} – napięcie sterujące

Tranzystor N-MOSFET BUZ11

Features

- 30A, 50V
- $r_{DS(ON)} = 0.040\Omega$
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Majority Carrier Device
- Related Literature
 - TB334 “Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards”

Symbol





Tranzystor N-MOSFET BUZ11

V_{GS} – napięcie sterujące

C_{ISS} – pojemność wejściowa

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu A, V_{GS} = 0V$	50	-	-	V
Gate Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 1mA$ (Figure 9)	2.1	3	4	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$T_J = 25^\circ C, V_{DS} = 50V, V_{GS} = 0V$	-	20	250	μA
		$T_J = 125^\circ C, V_{DS} = 50V, V_{GS} = 0V$	-	100	1000	μA
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = 20V, V_{DS} = 0V$	-	10	100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 15A, V_{GS} = 10V$ (Figure 8)	-	0.03	0.04	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} = 25V, I_D = 15A$ (Figure 11)	4	8	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{CC} = 30V, I_D \approx 3A, V_{GS} = 10V, R_{GS} = 50\Omega, R_L = 10\Omega$	-	30	45	ns
Rise Time	t_r		-	70	110	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	180	230	ns
Fall Time	t_f		-	130	170	ns
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25V, V_{GS} = 0V, f = 1MHz$ (Figure 10)	-	1500	2000	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	750	1100	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	250	400	pF
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		≤ 1.67			$^\circ C/W$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$		≤ 75			$^\circ C/W$



Tranzystor N-MOSFET BUZ11

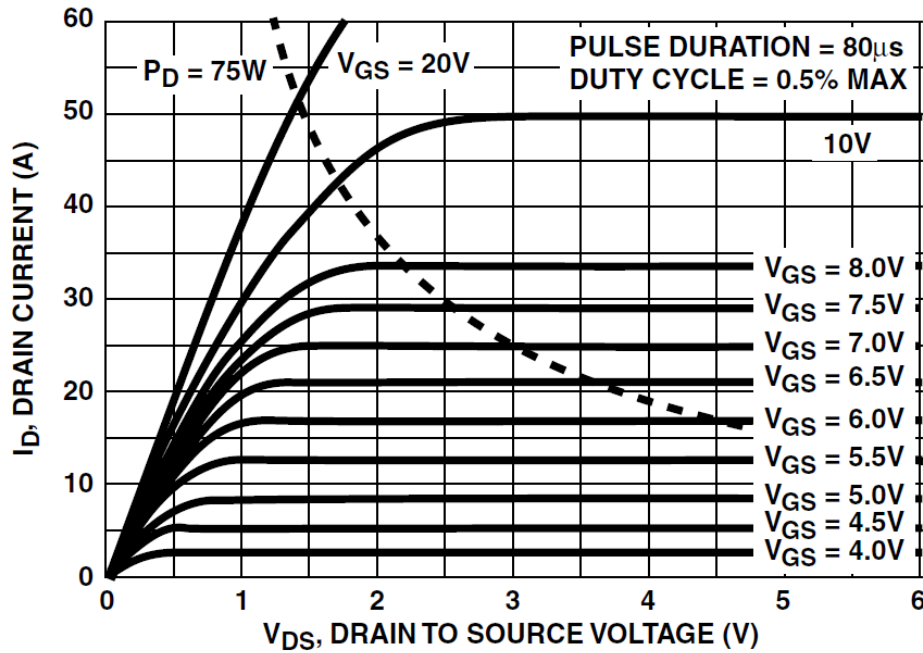
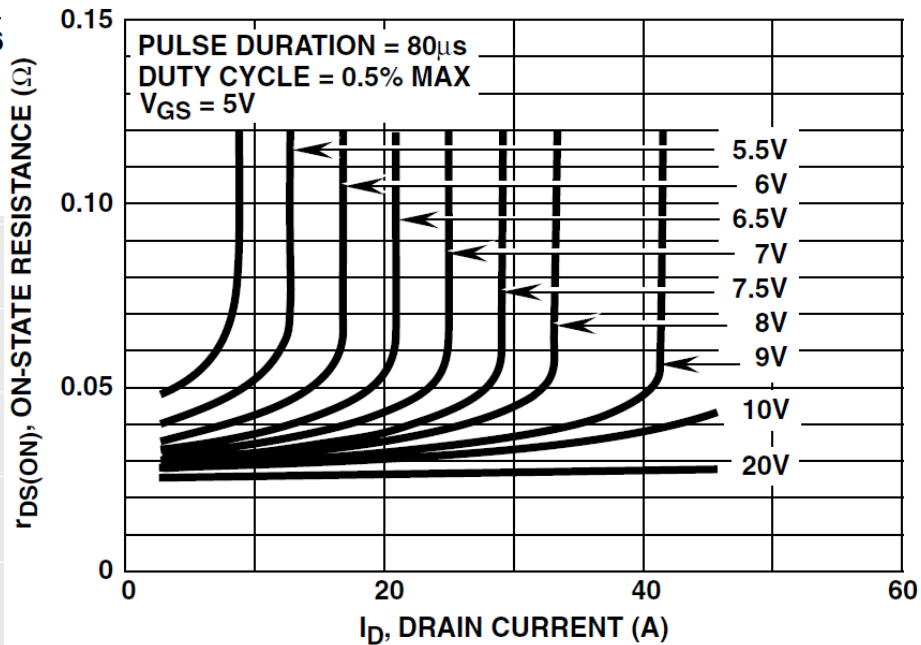
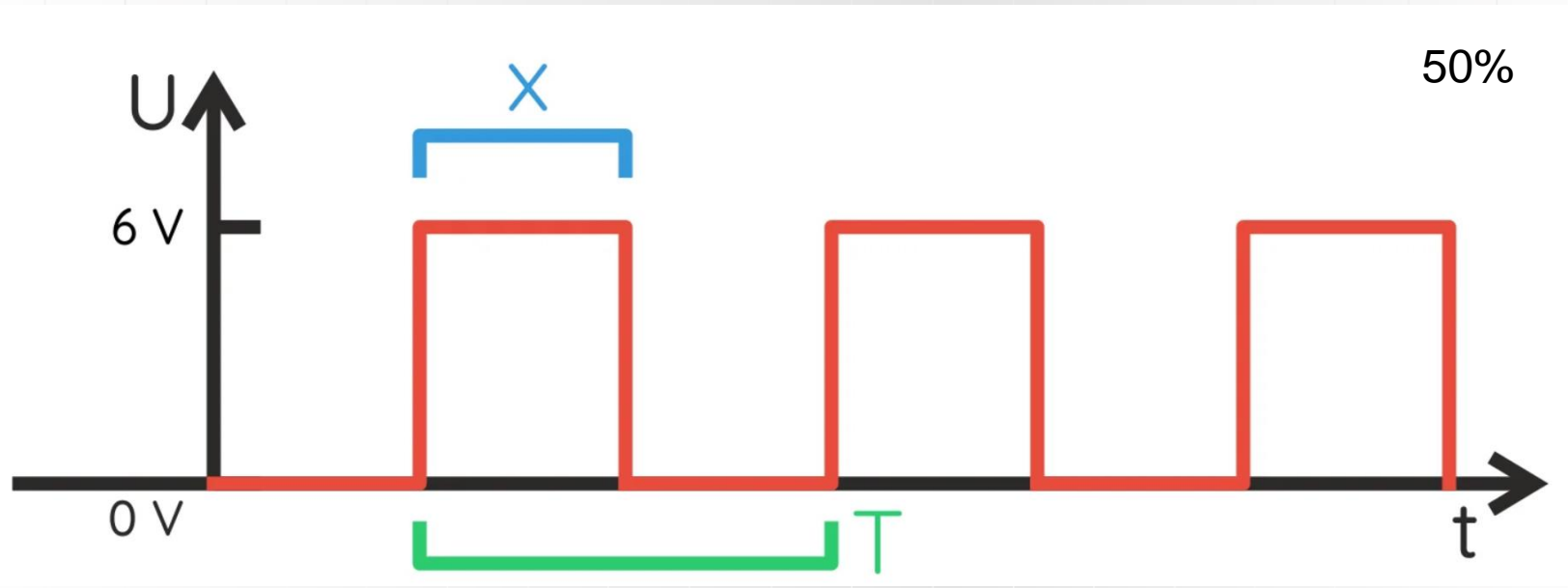


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS



Sterowanie mocą – PWM

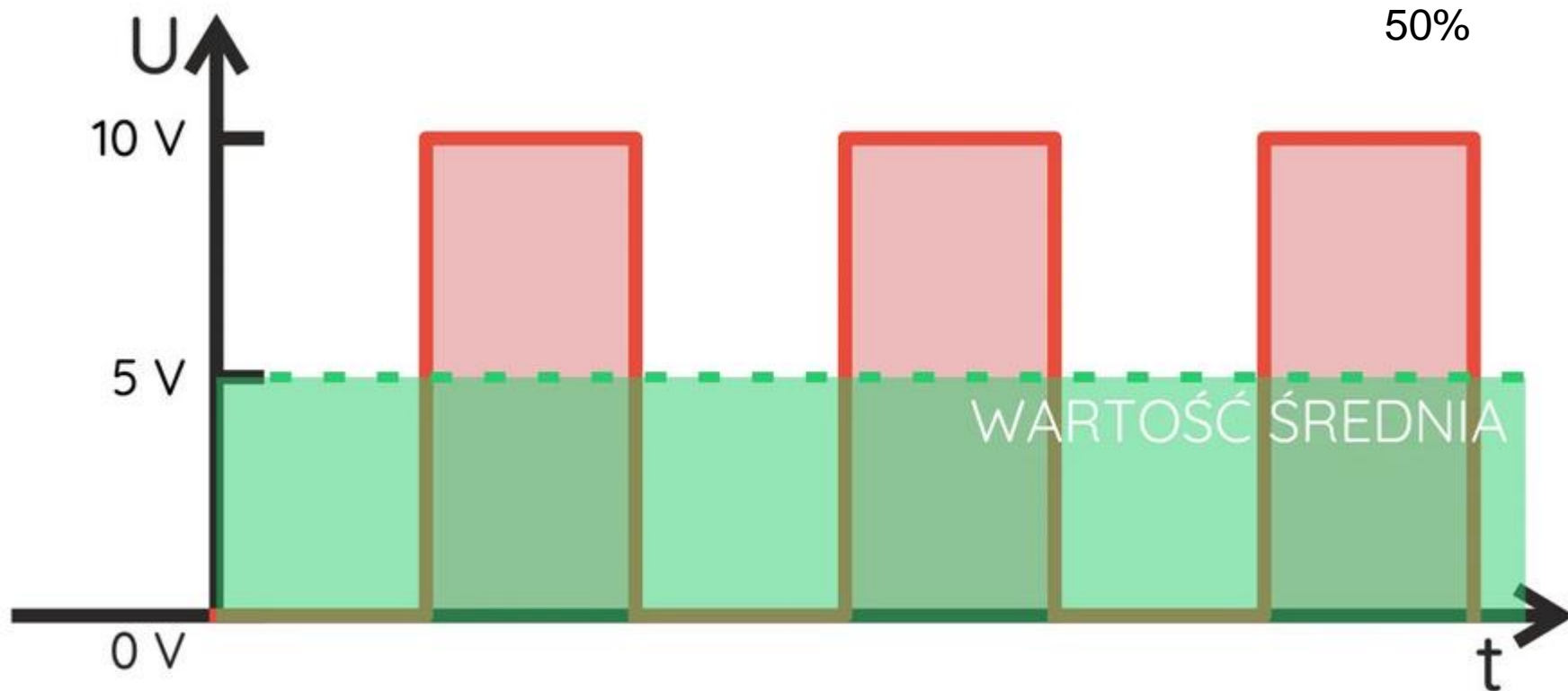


T – okres sygnału

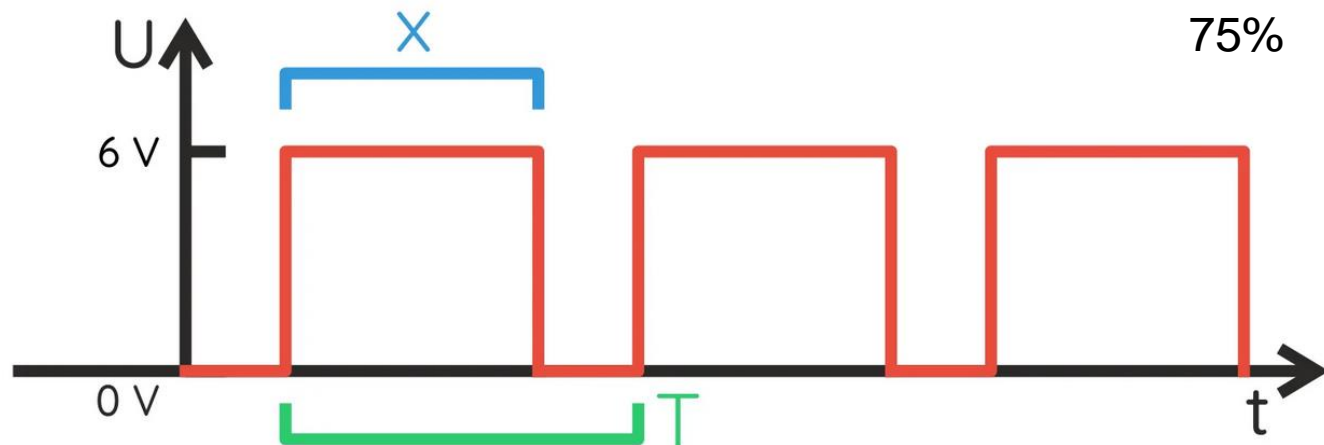
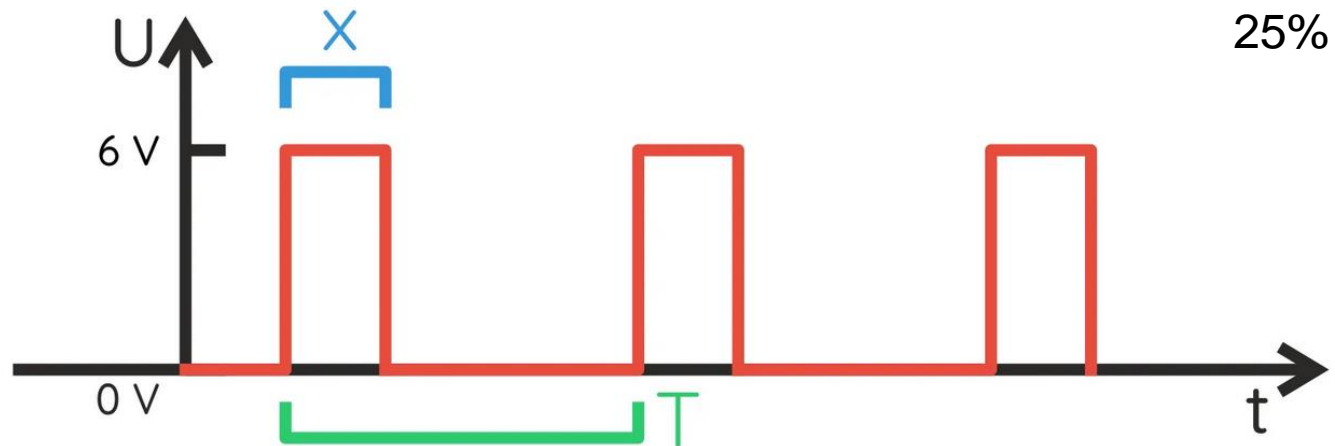
X – wypełnienie sygnału

$$moc[\%] = \frac{X}{T} * 100\%$$

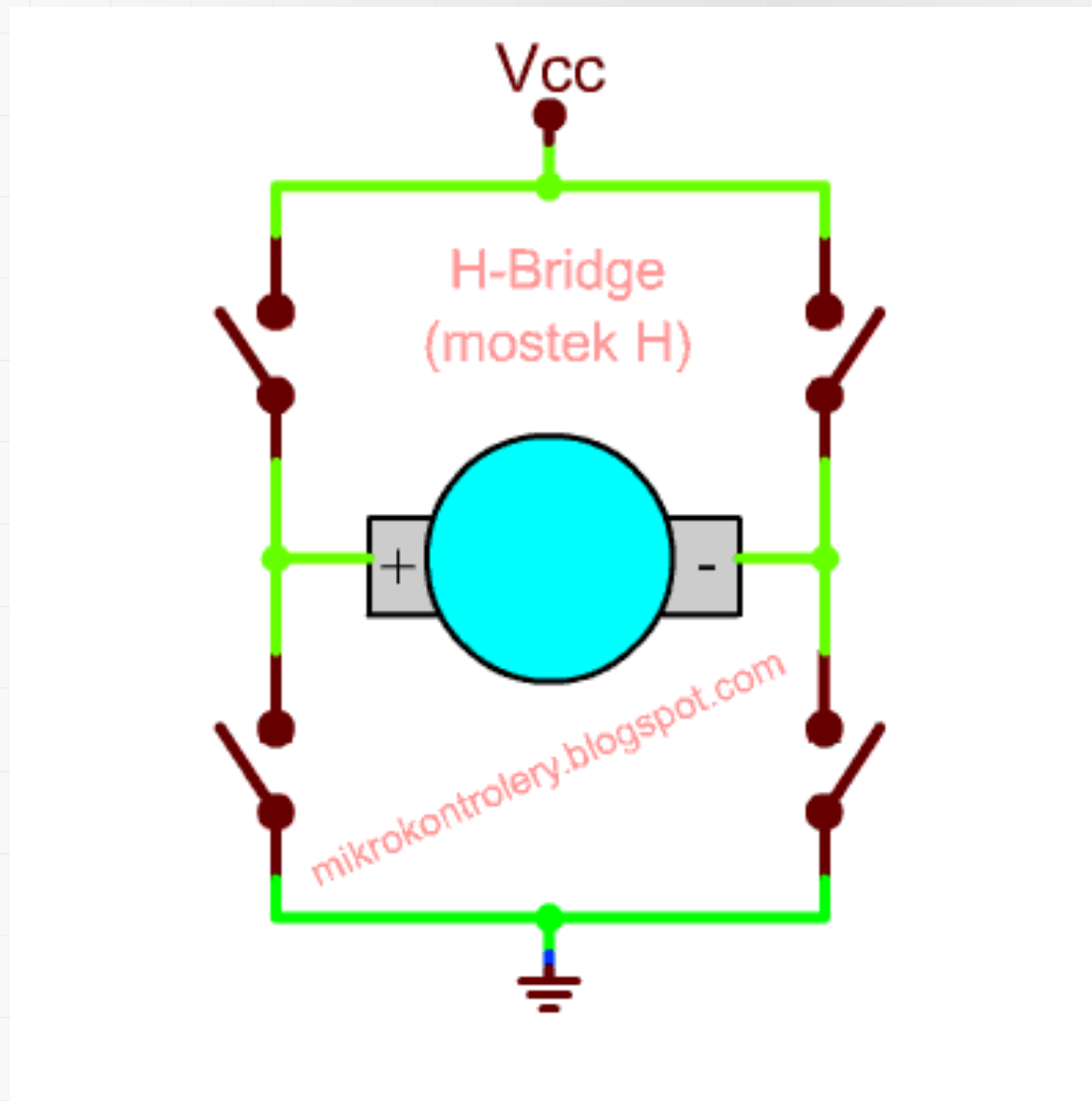
Sterowanie mocą – PWM



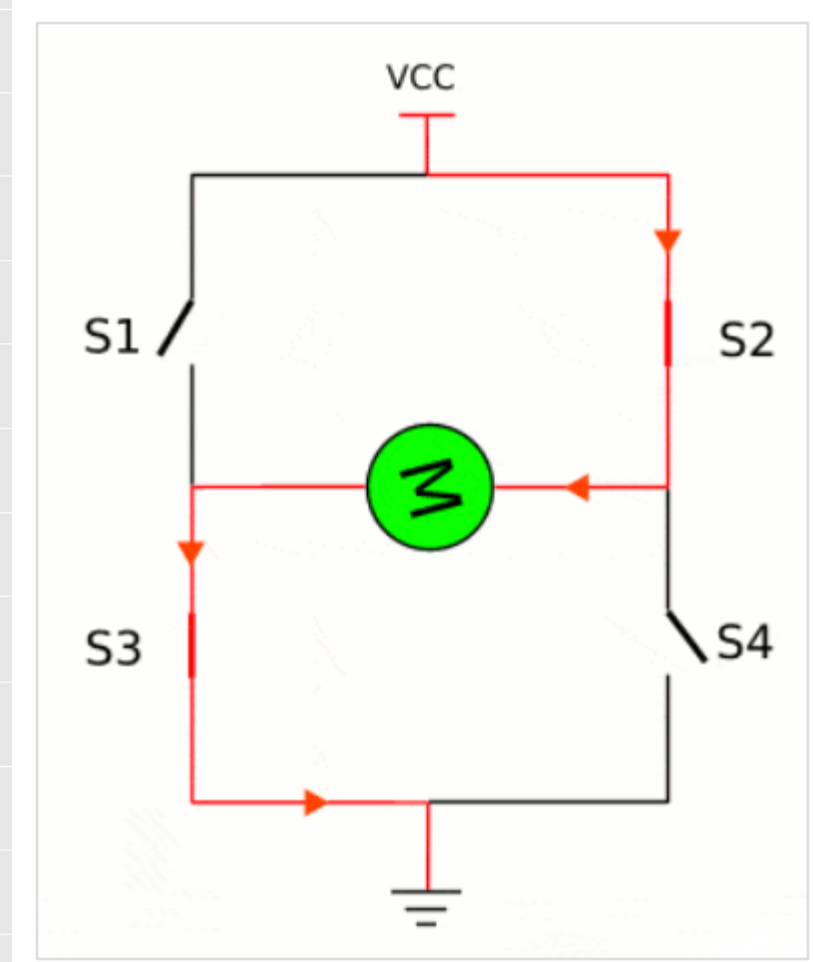
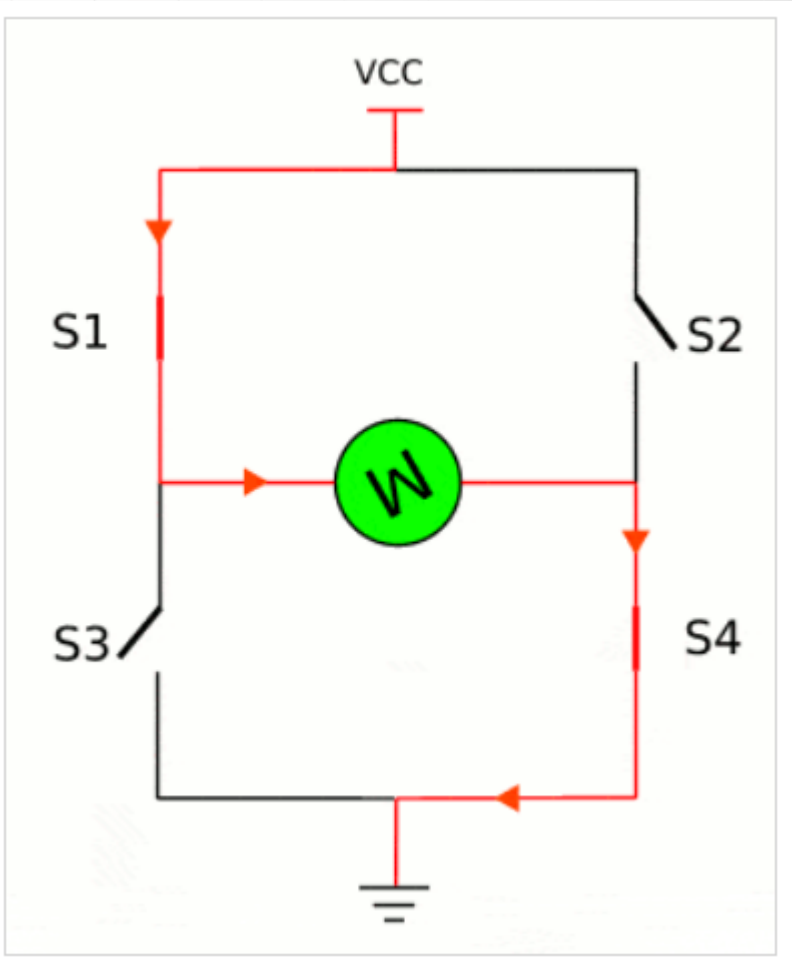
Sterowanie mocą - PWM



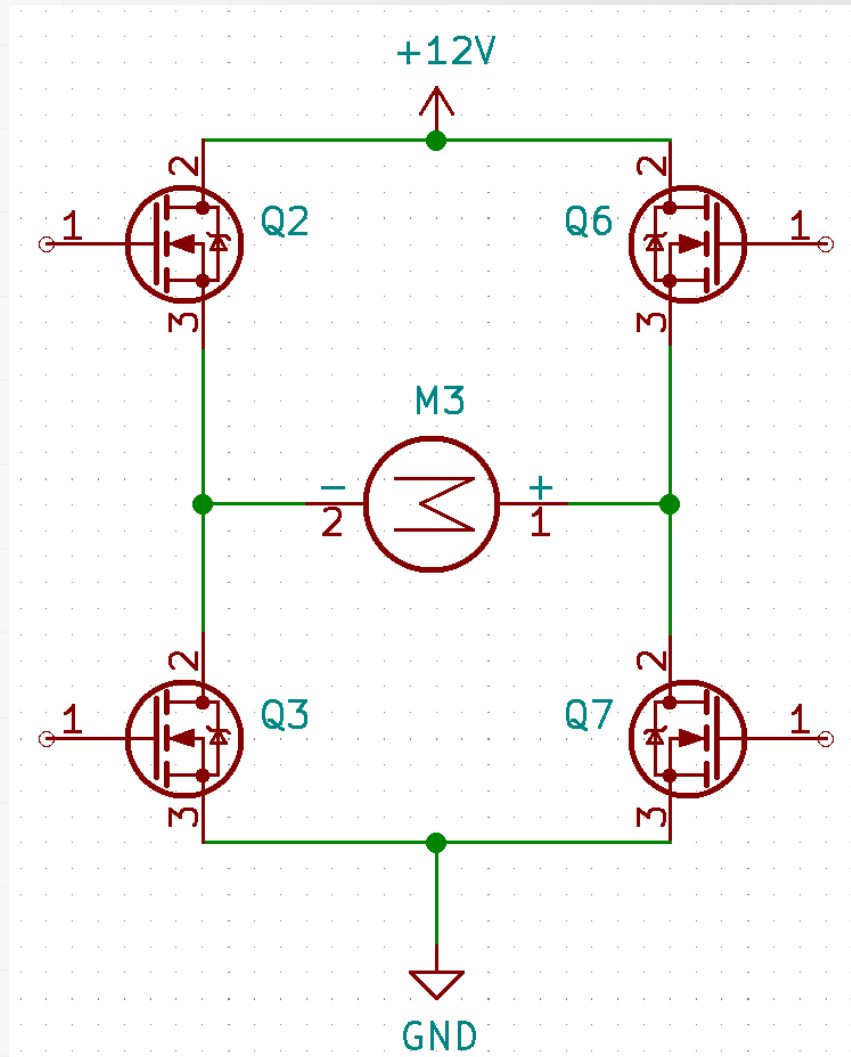
Mostek H



Mostek H



Mostek H



Czego brakuje?

Mostek H

Obroty lewe:

- On: S1 i S4
- Off: S2 i S3

Obroty prawe:

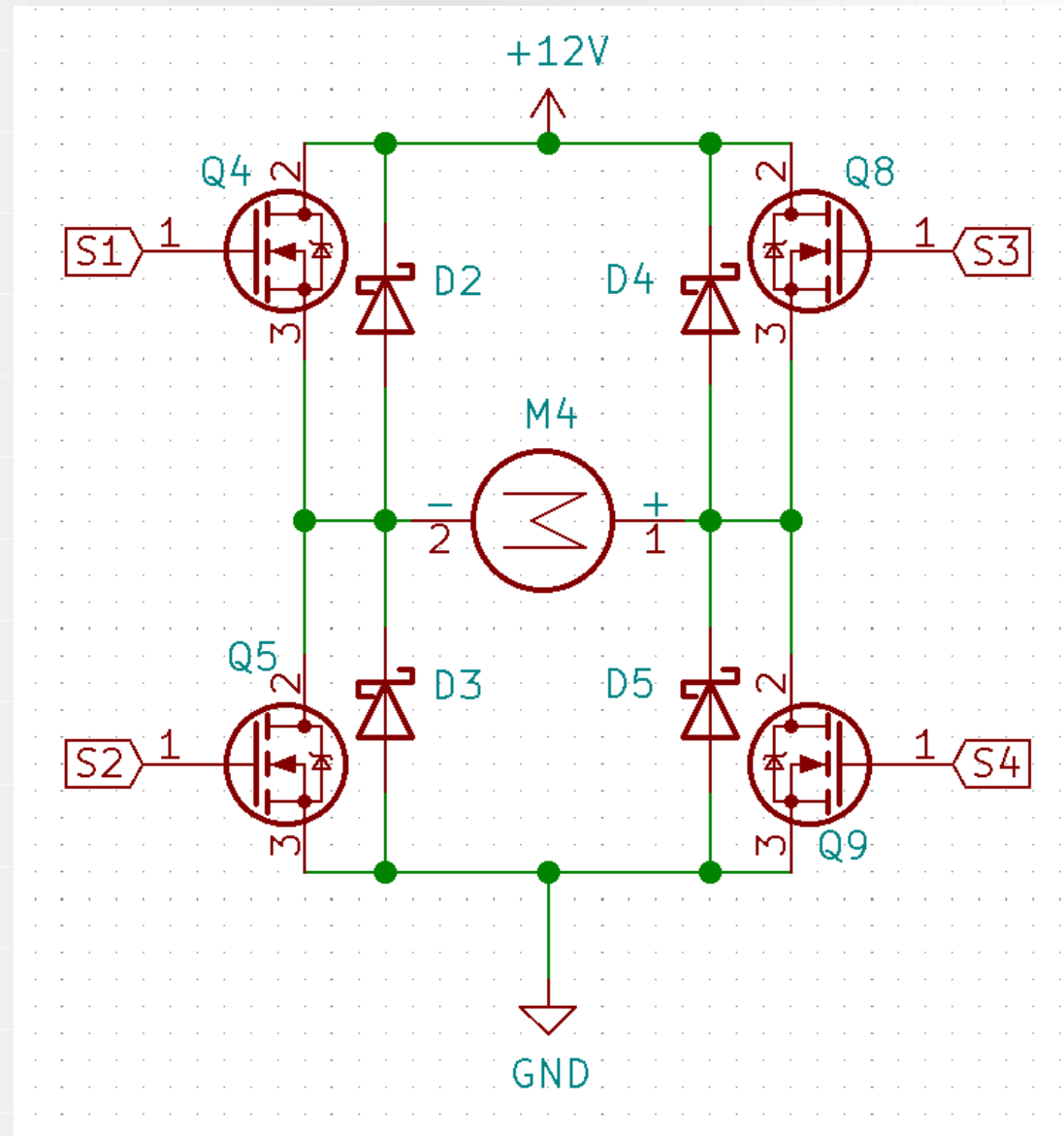
- On: S2 i S3
- Off: S1 i S4

Hamowanie I:

- On: S1 i S3
- Off: S2 i S4

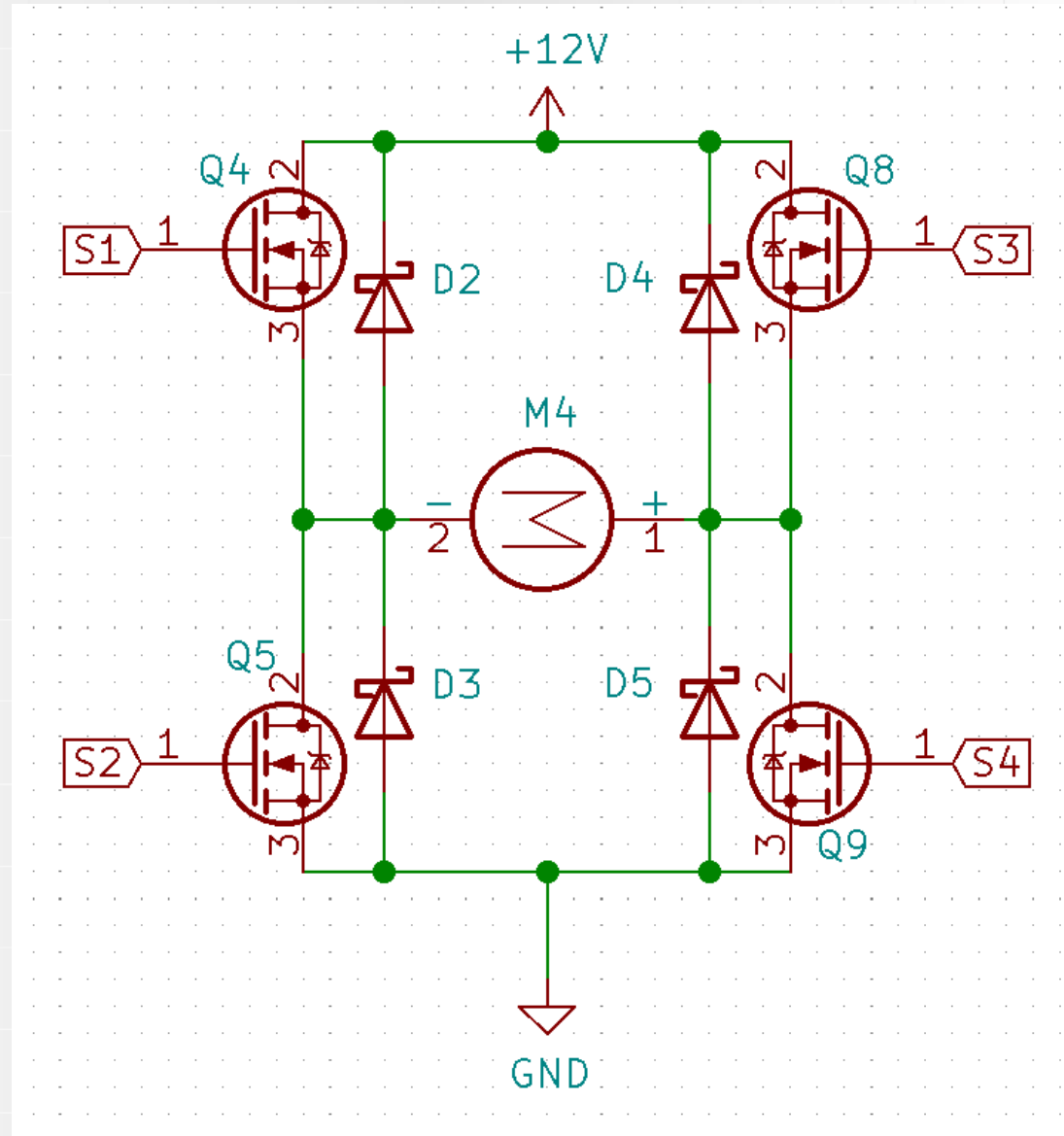
Hamowanie II:

- Off: S1 i S3
- On: S2 i S4



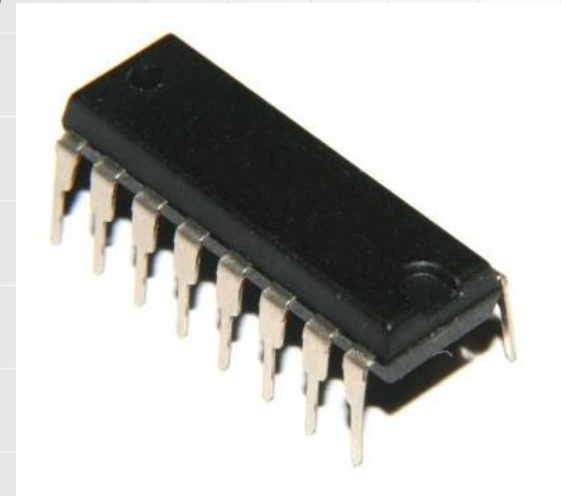
Mostek H

Jakie powinny być
sygnały sterujące?



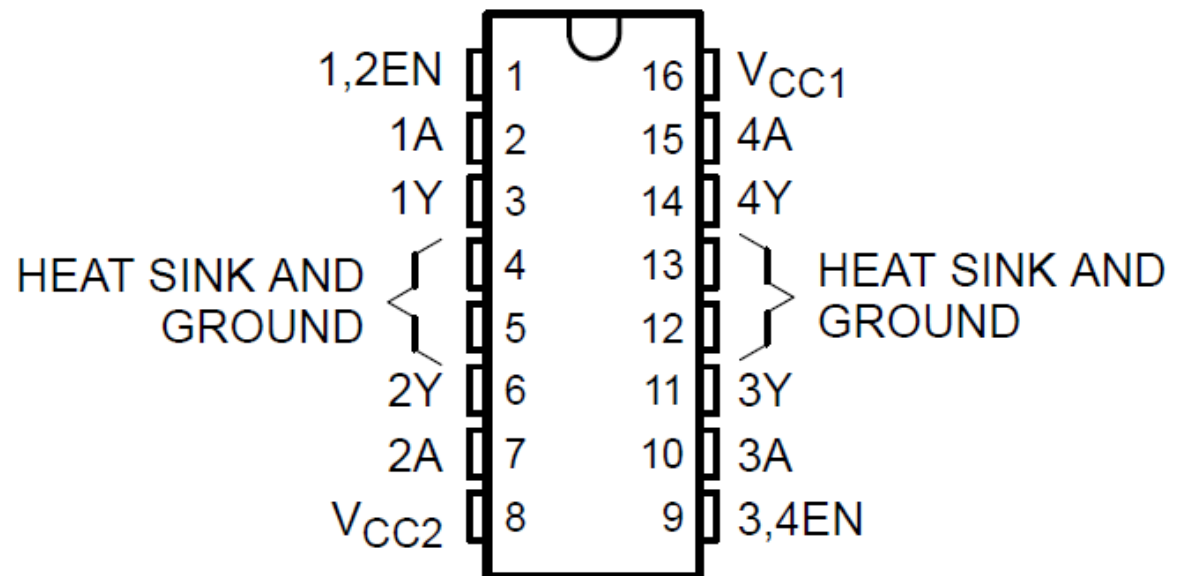
L293D

- Ilość kanałów: 2
- Maksymalne napięcie: 36V
- Maksymalny prąd: 1.2A
- Ciągły prąd: 0.6A
- Obudowa: DIP16

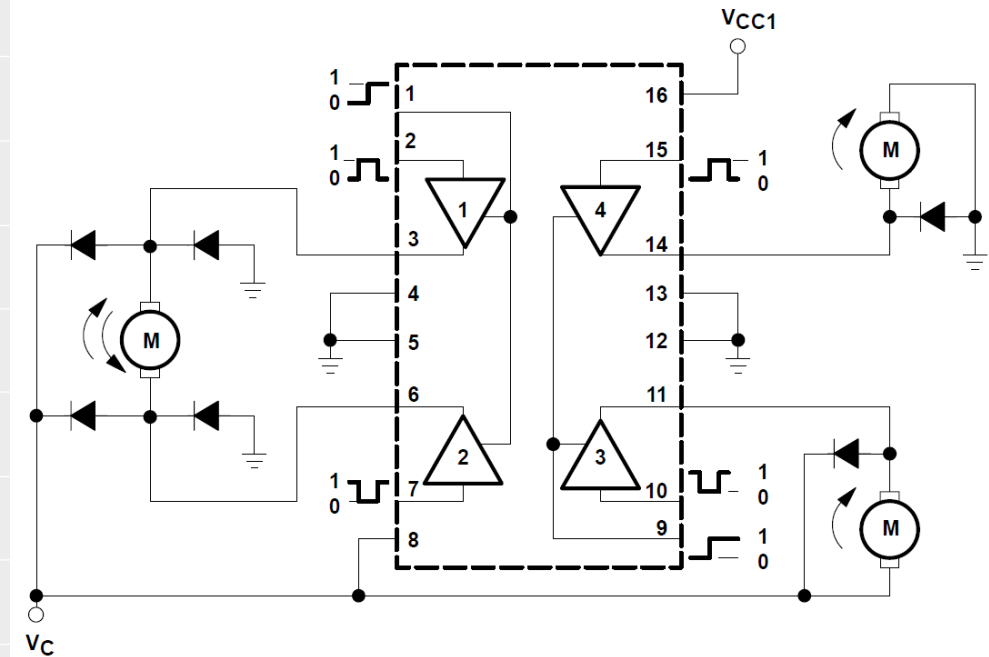


Pin:

- 1,2EN
- 1A
- 2A



L293D

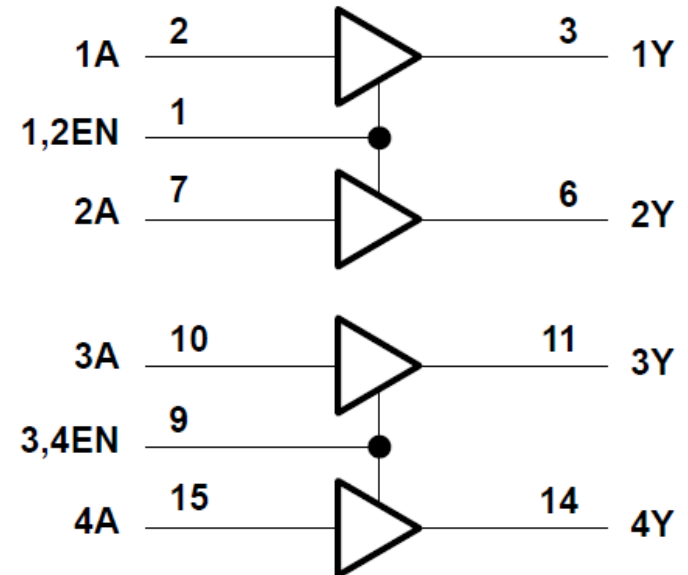


FUNCTION TABLE
(each driver)

INPUTS†		OUTPUT Y
A	EN	
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

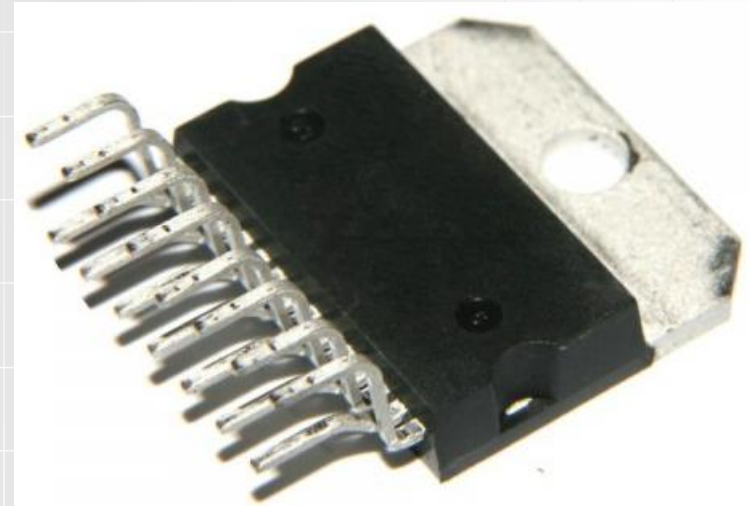
H = high level, L = low level, X = irrelevant,
Z = high impedance (off)

† In the thermal shutdown mode, the output is
in the high-impedance state, regardless of
the input levels.



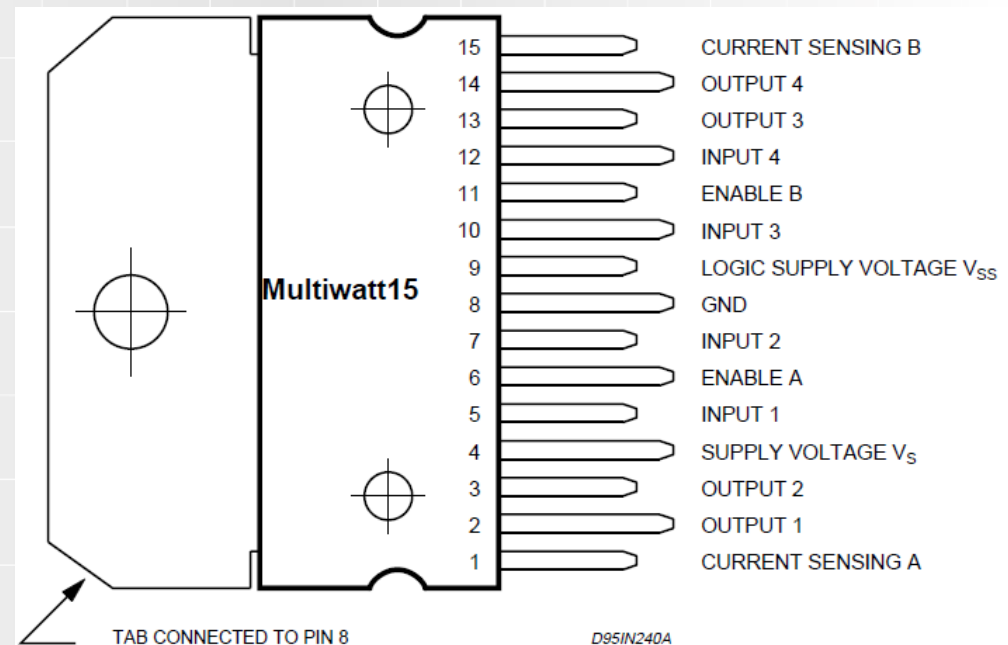
L298

- Ilość kanałów: 2
- Maksymalne napięcie: 50V
- Maksymalny prąd: 2A
- Ciągły prąd: 3A
- Obudowa: Multiwatt15



Pin:

- INPUT 1
- INPUT 2
- ENABLE A



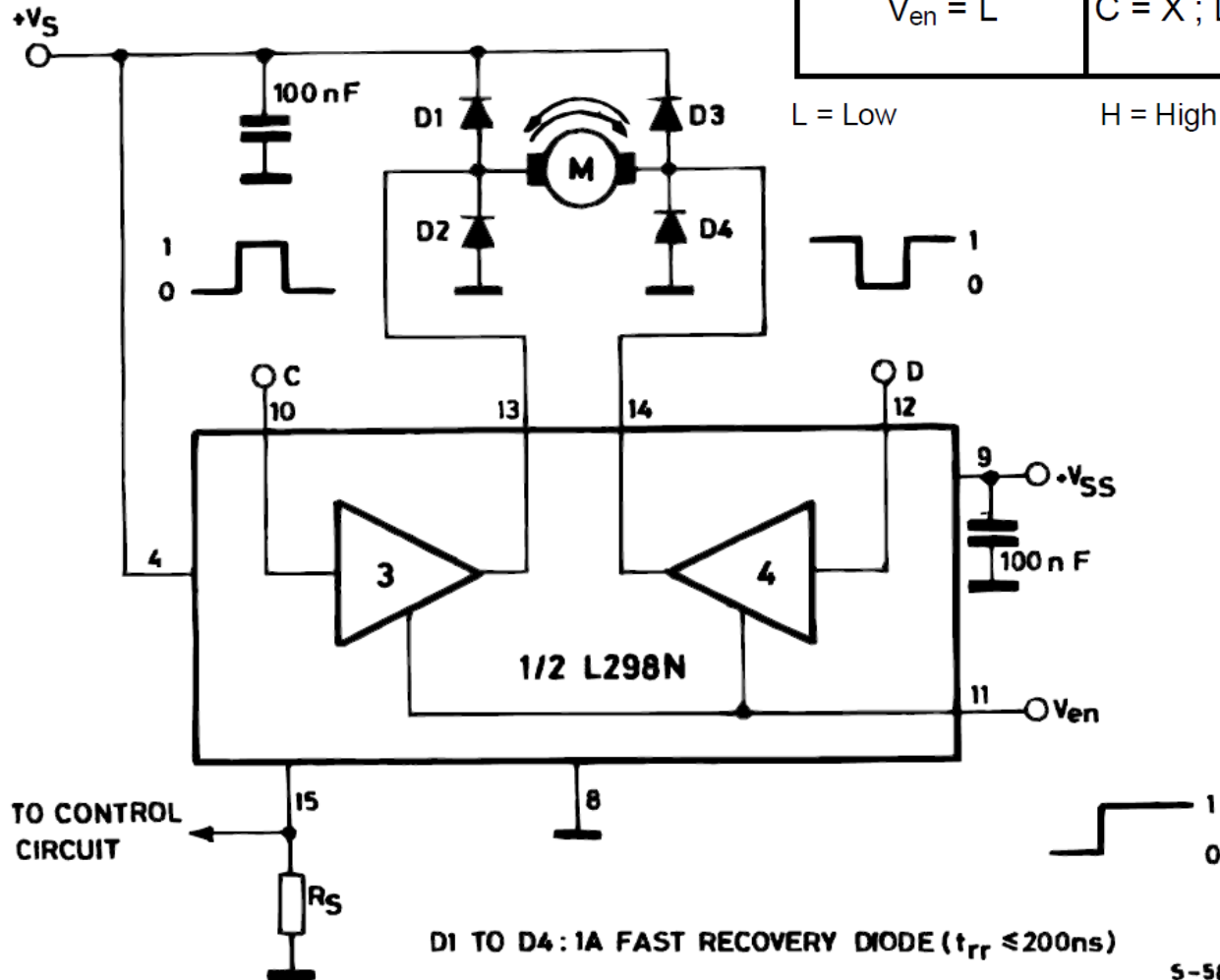
L298

Inputs		Function
$V_{en} = H$	$C = H ; D = L$	Forward
	$C = L ; D = H$	Reverse
	$C = D$	Fast Motor Stop
$V_{en} = L$	$C = X ; D = X$	Free Running Motor Stop

L = Low

H = High

X = Don't care



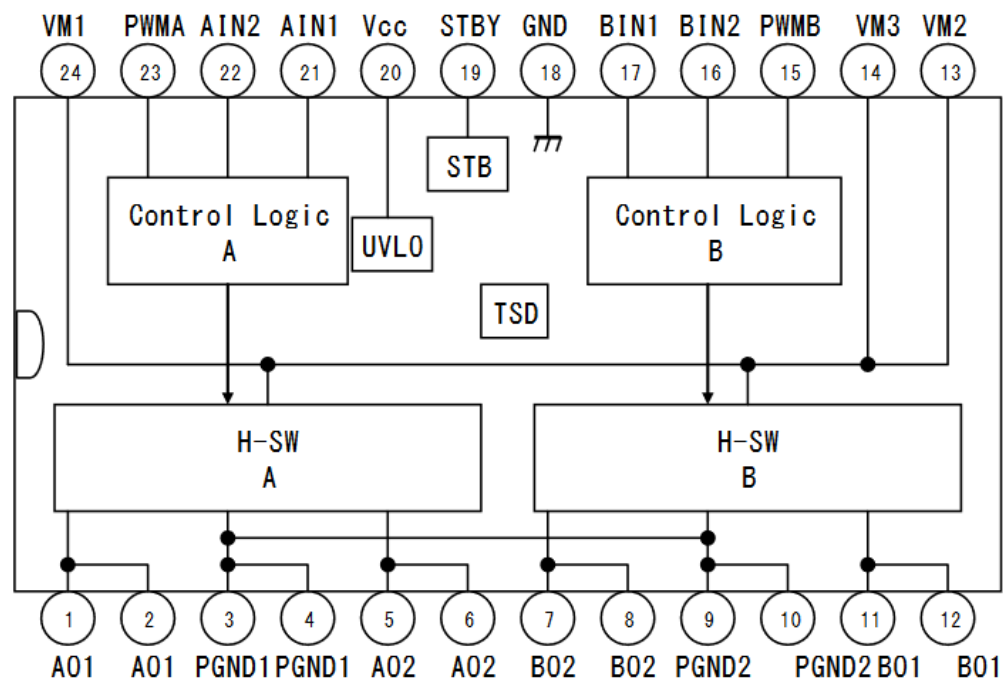
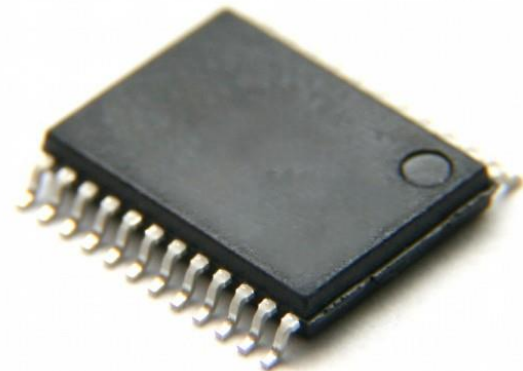
S-58

TB6612

- Ilość kanałów: 2
- Maksymalne napięcie: 15V
- Maksymalny prąd: 3.2A
- Ciągły prąd: 1.2A
- Rds(on): 500mΩ
- Obudowa: SSOP24

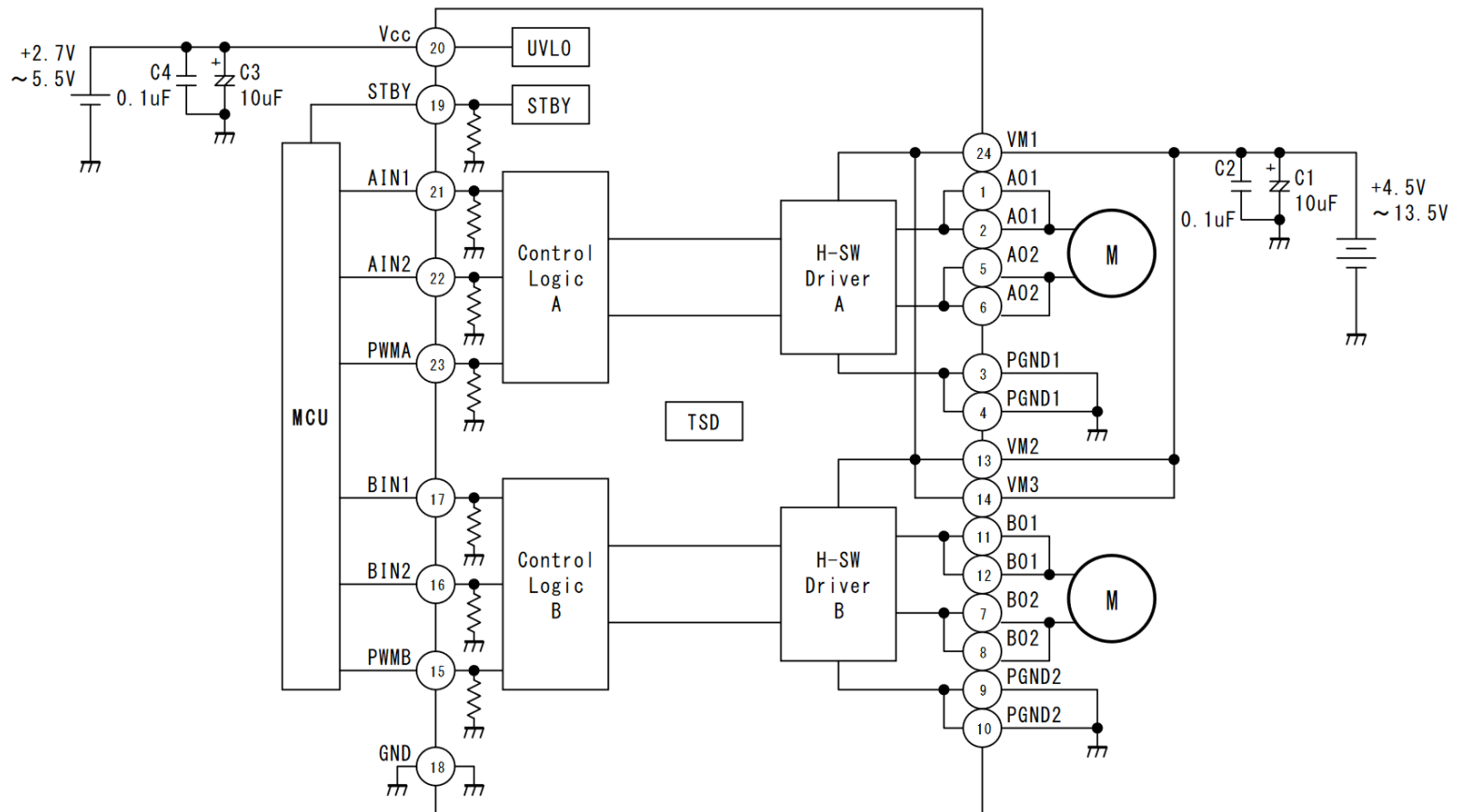
Pin:

- AIN1
- AIN2
- PWM
- STBY



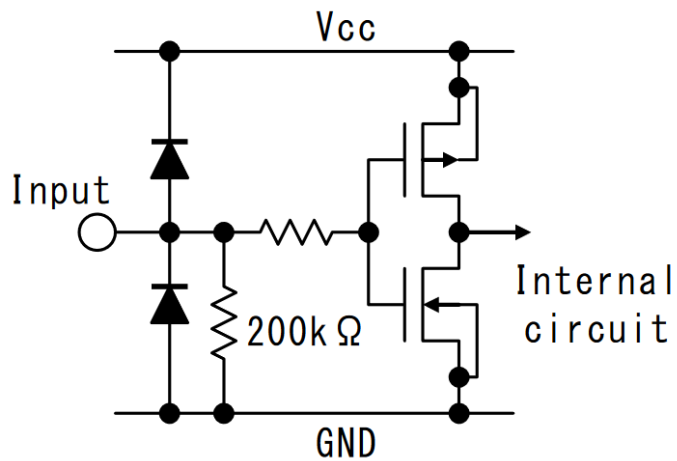
TB6612

Typical Application Diagram

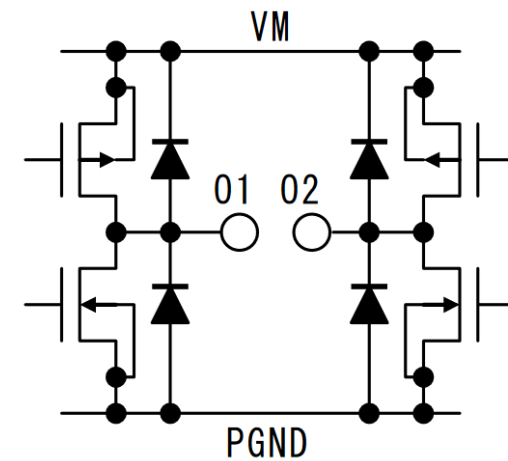


TB6612

Input pin; IN1, IN2, PWM, STBY



Output pin; 01, 02





TB6612

Input				Output		
IN1	IN2	PWM	STBY	OUT1	OUT2	Mode
H	H	H/L	H	L	L	Short brake
L	H	H	H	L	H	CCW
		L	H	L	L	Short brake
H	L	H	H	H	L	CW
		L	H	L	L	Short brake
L	L	H	H	OFF (High impedance)		Stop
H/L	H/L	H/L	L	OFF (High impedance)		Standby

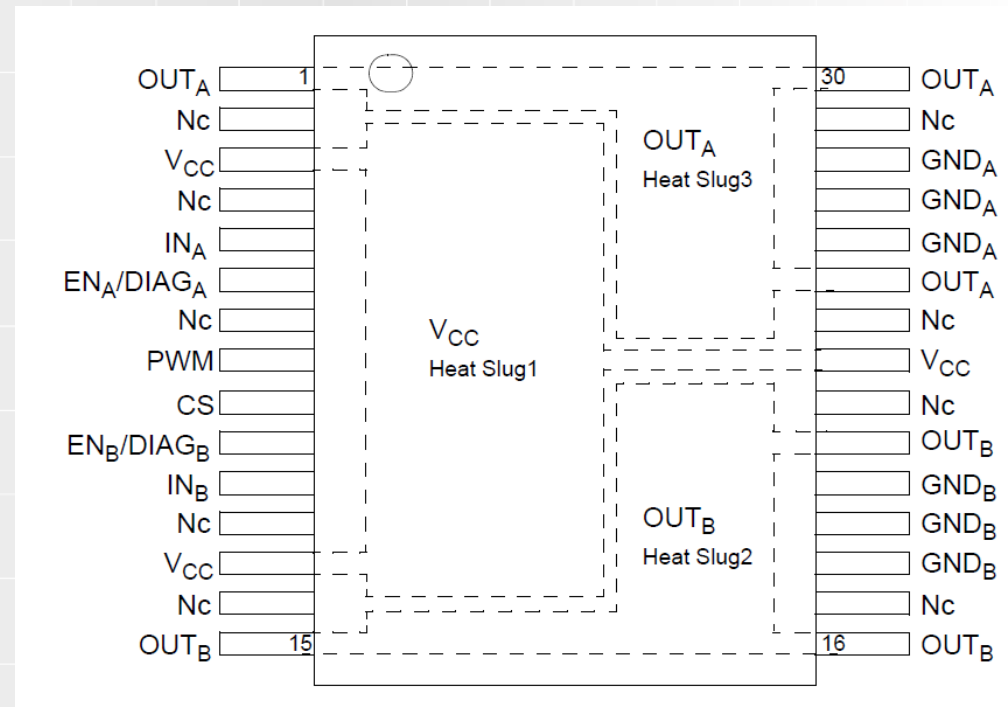
VNH2SP30

- Ilość kanałów: 1
- Maksymalne napięcie: 41V
- Obudowa: MultiPowerSO-30
- $R_{ds(on)}$: 19m Ω
- Ciągły prąd: 30A

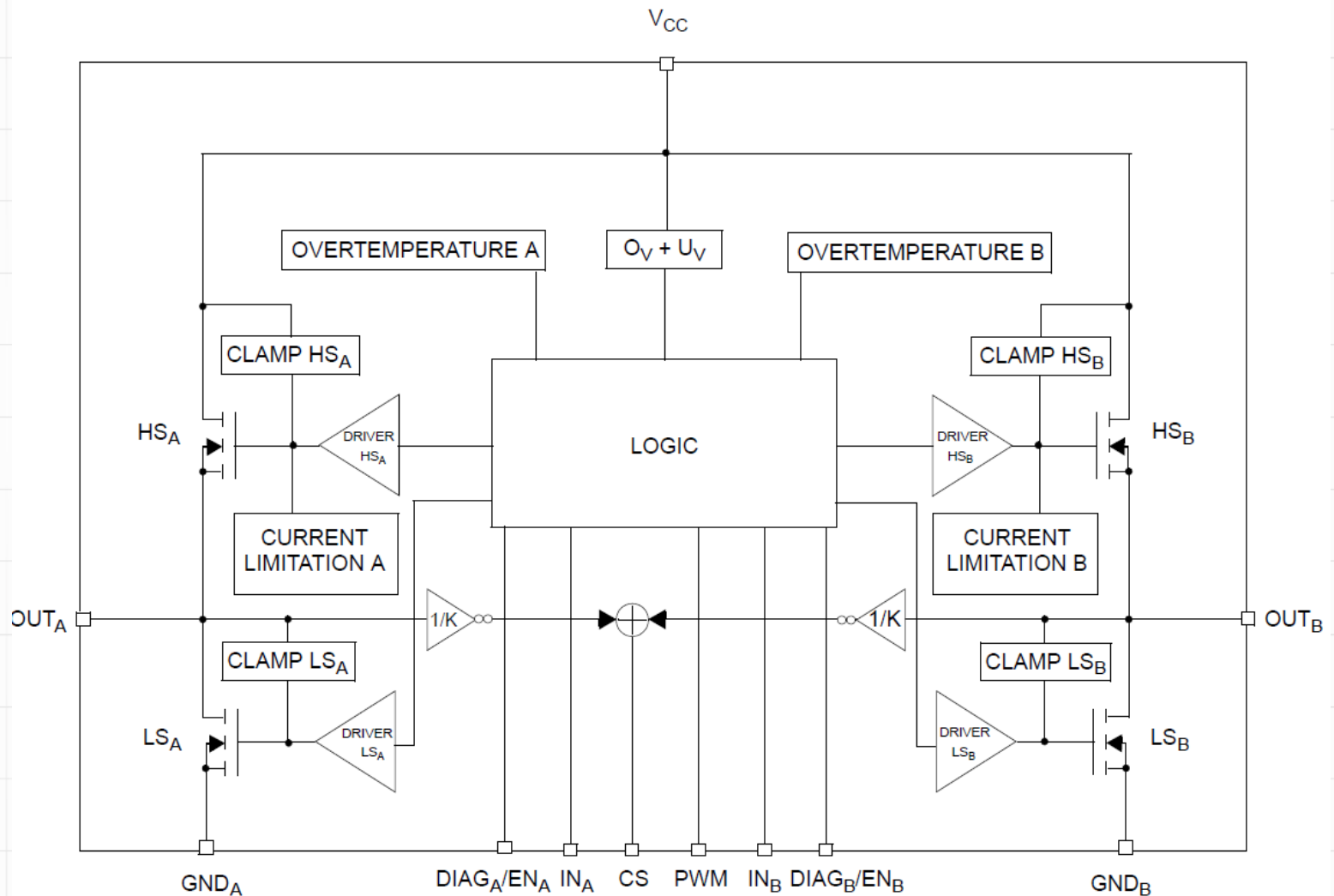


Pin:

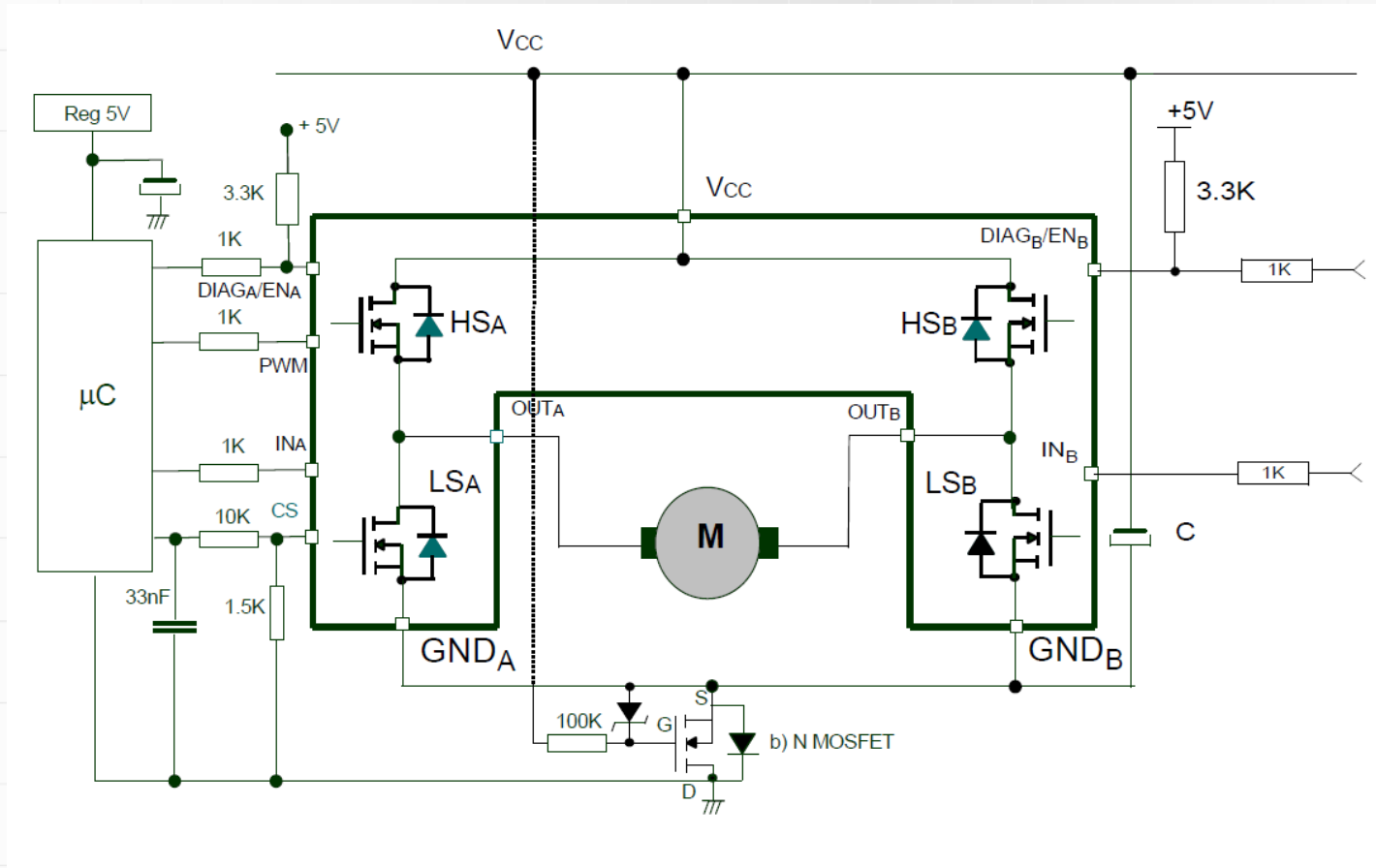
- AIN1
- AIN2
- PWM
- STBY



VNH2SP30



VNH2SP30





VNH2SP30

IN_A	IN_B	$DIAG_A/EN_A$	$DIAG_B/EN_B$	OUT_A	OUT_B	CS	Operating mode
1	1	1	1	H	H	High Imp.	Brake to V_{CC}
	L				$I_{SENSE} = I_{OUT}/K$	Clockwise (CW)	
0	1			L	H		Counterclockwise (CCW)
	0				L	High imp.	Brake to GND

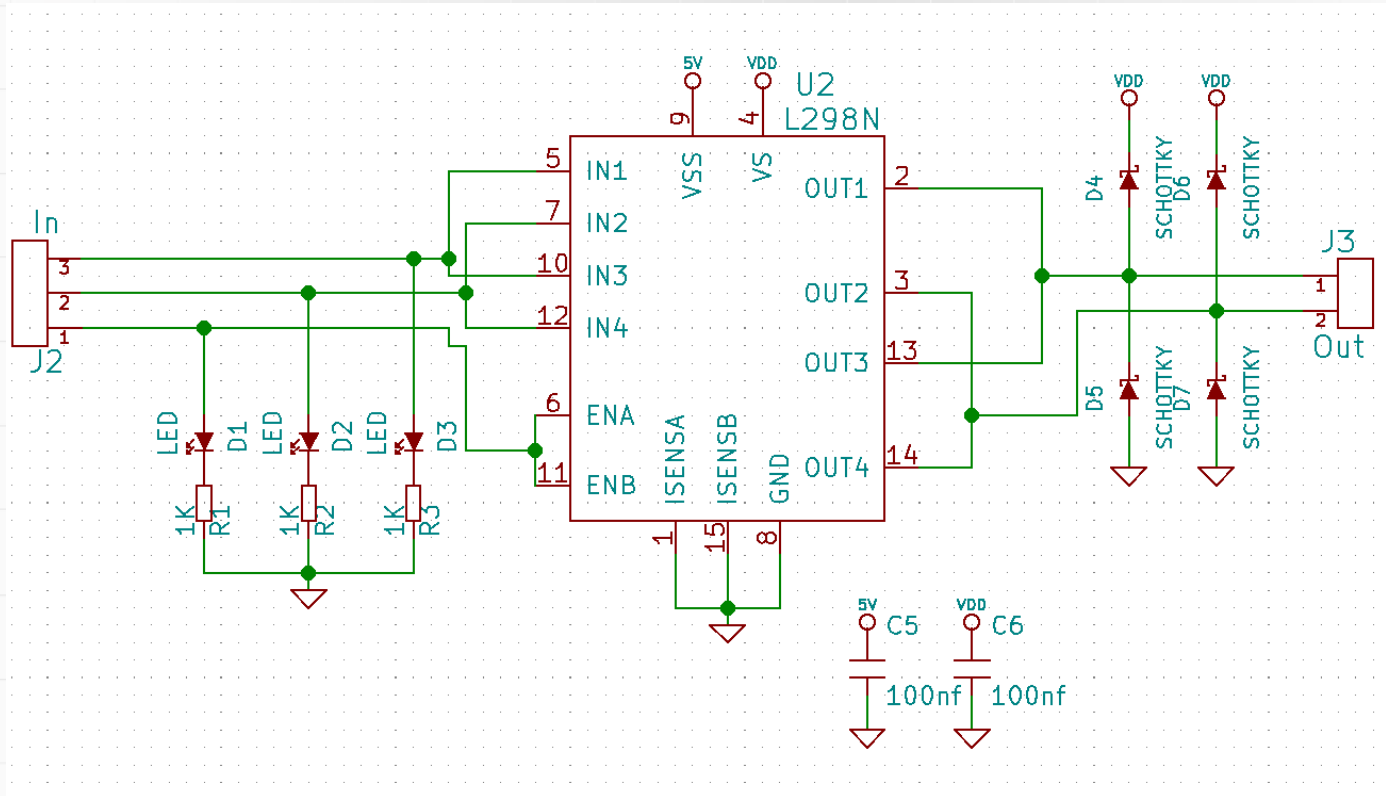


A jak sterować jeszcze większe silniki??

1. Układ scalony na jeszcze większe prądy
2. Mostkowanie mostków H
3. Zastosowanie sterownika mostka H i zewnętrznych tranzystorów
4. Budowa mostka H samodzielnie

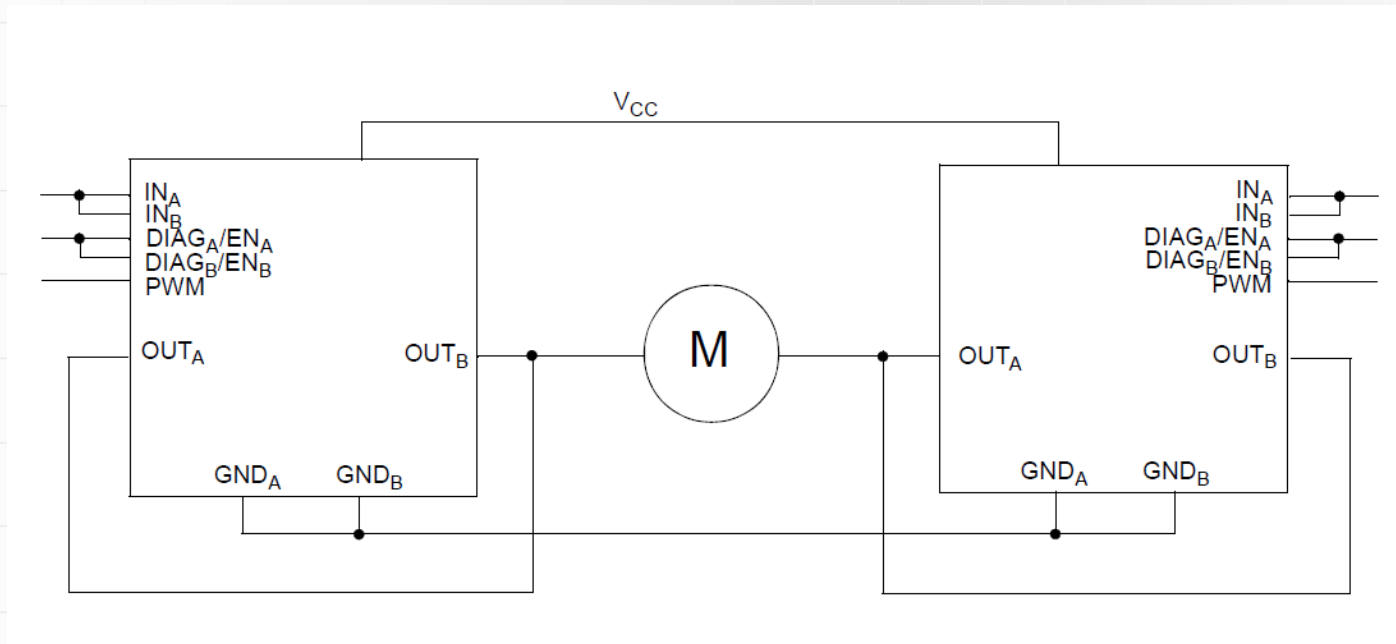
Wzmacniacze mocy, układy sterowania – silniki DC

A jak sterować jeszcze większe silniki??
Mostkowanie mostka H – L298



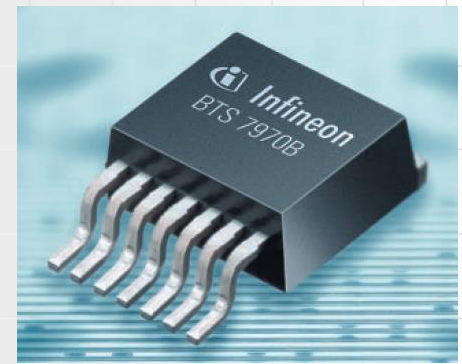
Wzmacniacze mocy, układy sterowania – silniki DC

A jak sterować jeszcze większe silniki??
Mostkowanie mostka H - VNH2SP30

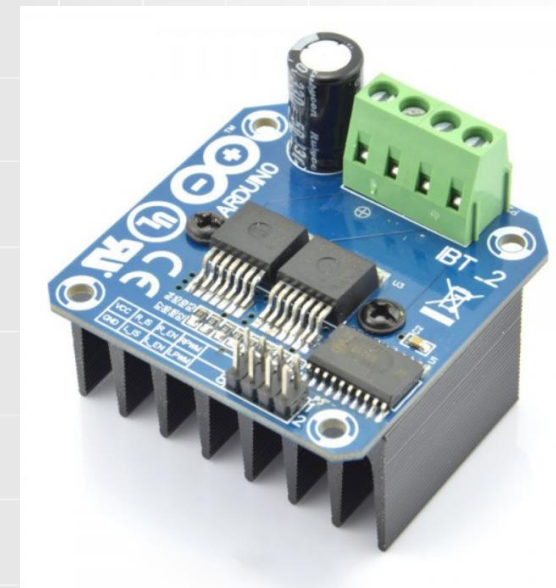
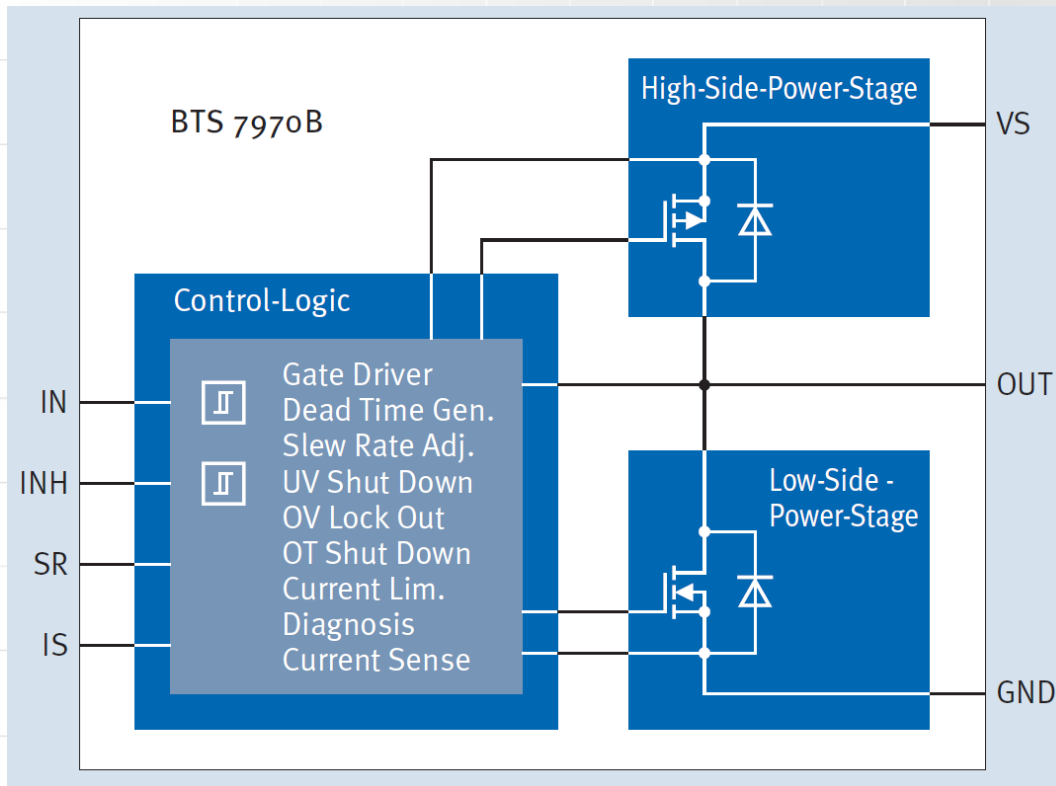


Wzmacniacze mocy, układy sterowania – silniki DC

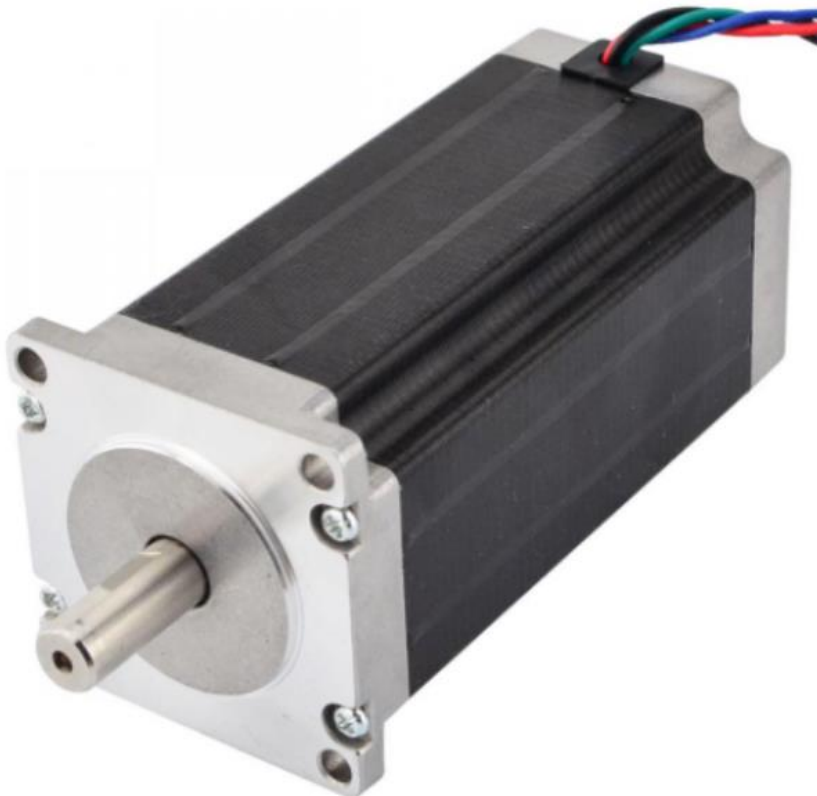
A jak sterować jeszcze większe silniki?? BTS7970/ BTN8982TA



The BTS 7970 B is a fully integrated high current half bridge for motor drive applications. It is part of the NovalithICTM family containing **one p-channel highside MOSFET** and **one n-channel lowside MOSFET** with an **integrated driver IC** in one package.



Wzmacniacze mocy, układy sterowania – silniki krokowe

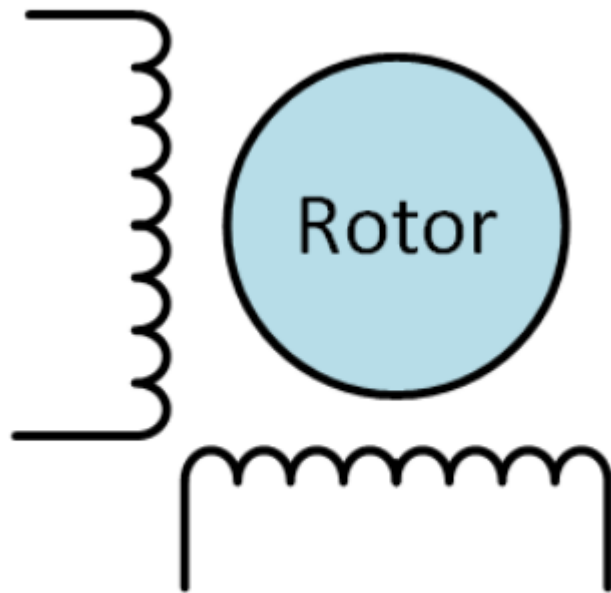


Zastosowanie silników krokowych:

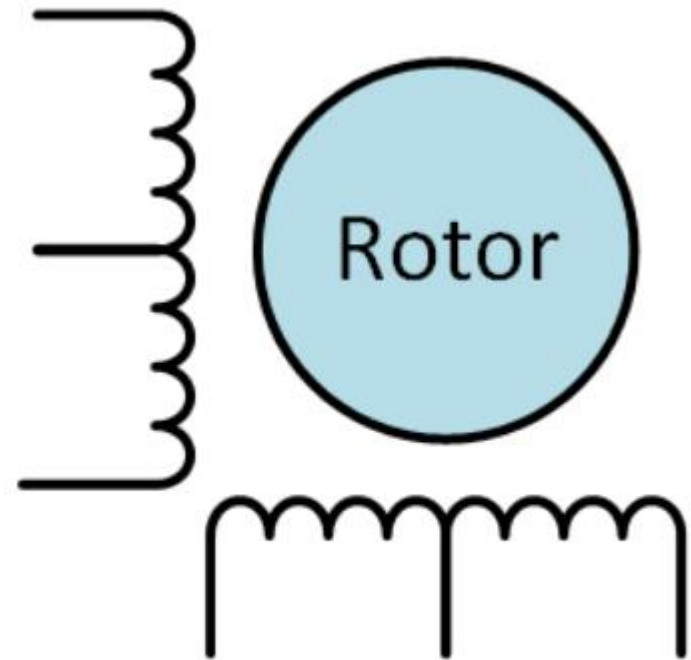
- obrabiarki numeryczne (CNC):
 - Frezarki
 - Tokarki
- Drukarki 3D
- Plotery (laserowe, wycinarki)
- Drukarki biurkowe
- Slidery fotograficzne
- ...

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

Podział silników:

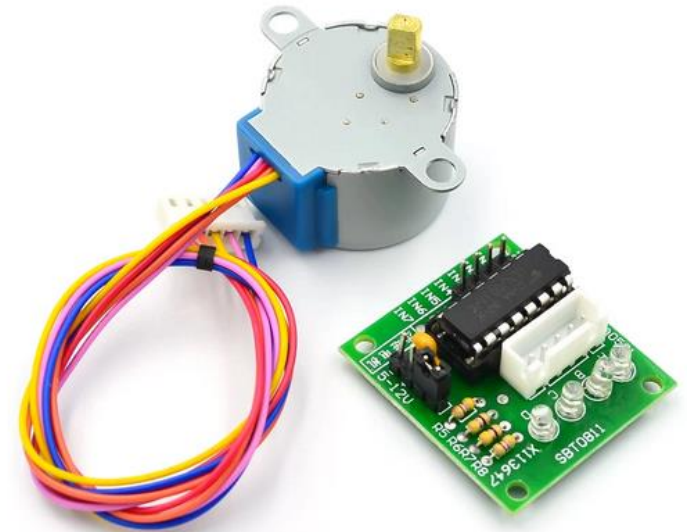
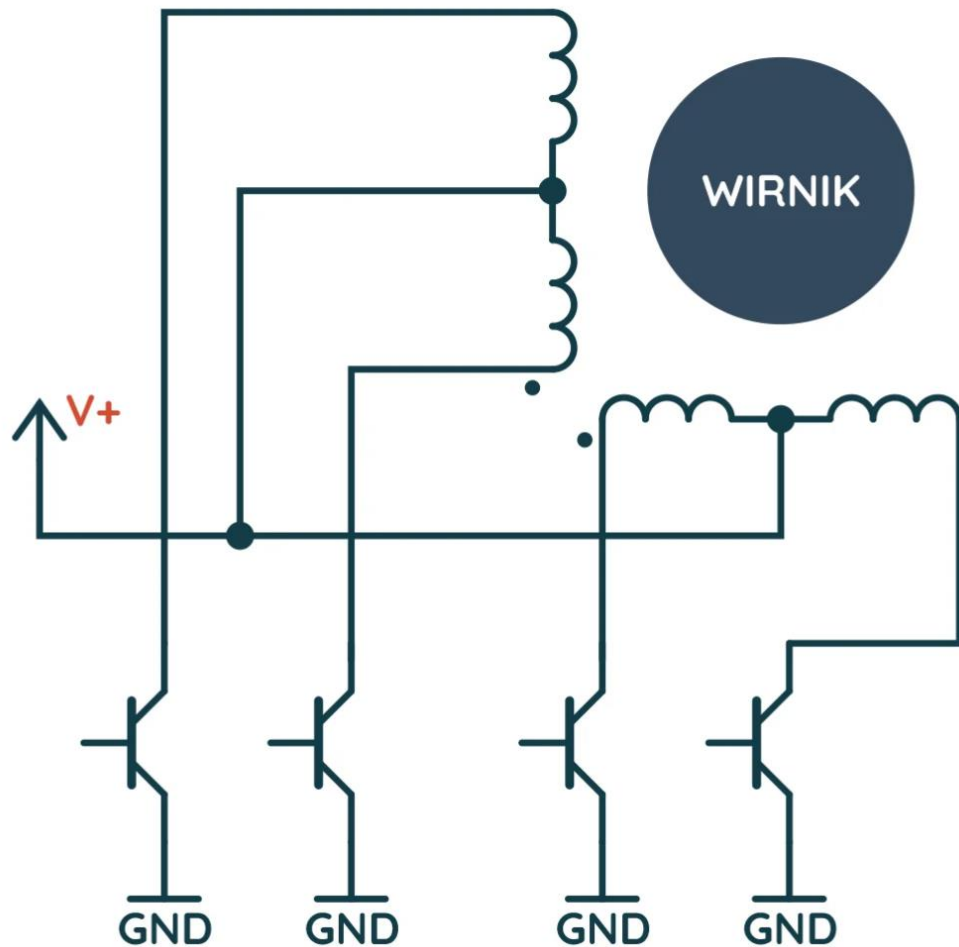


Bipolar

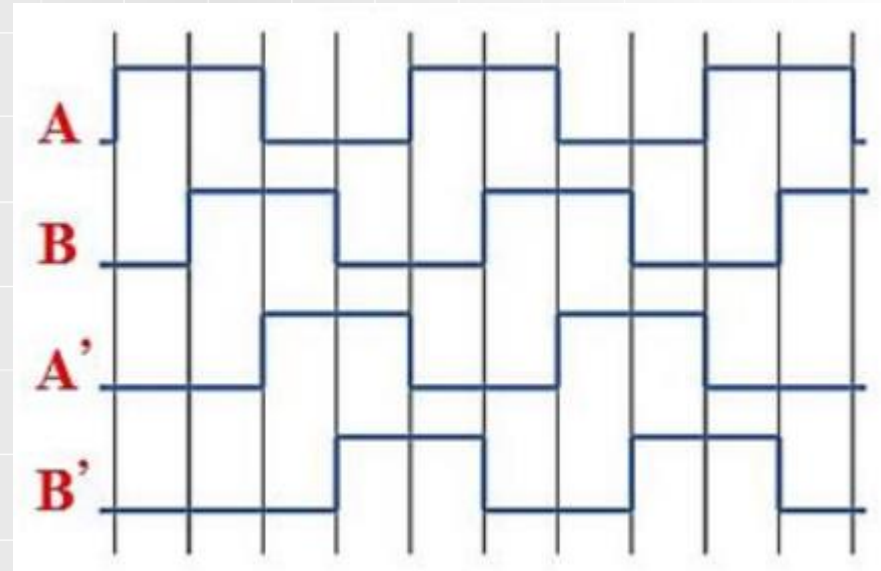
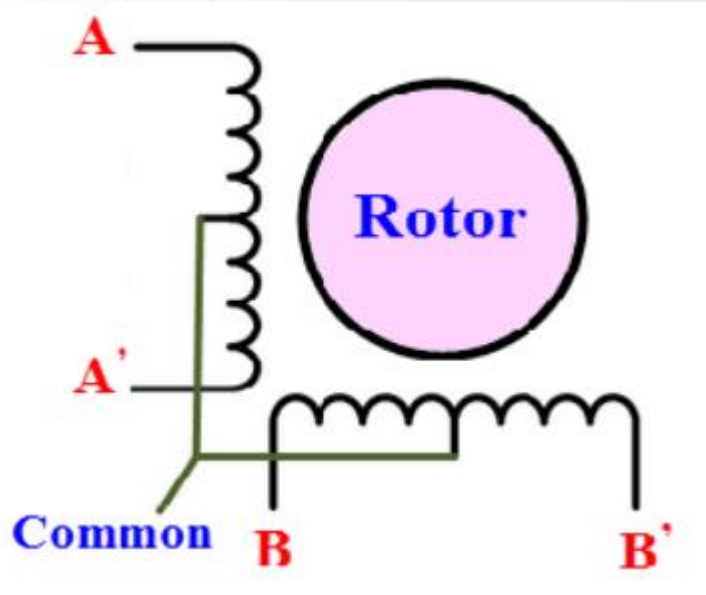


Unipolar (6 wire)

Sterowanie silnika unipolarnego



Sterowanie silnika unipolarnego - pełnokrokowe

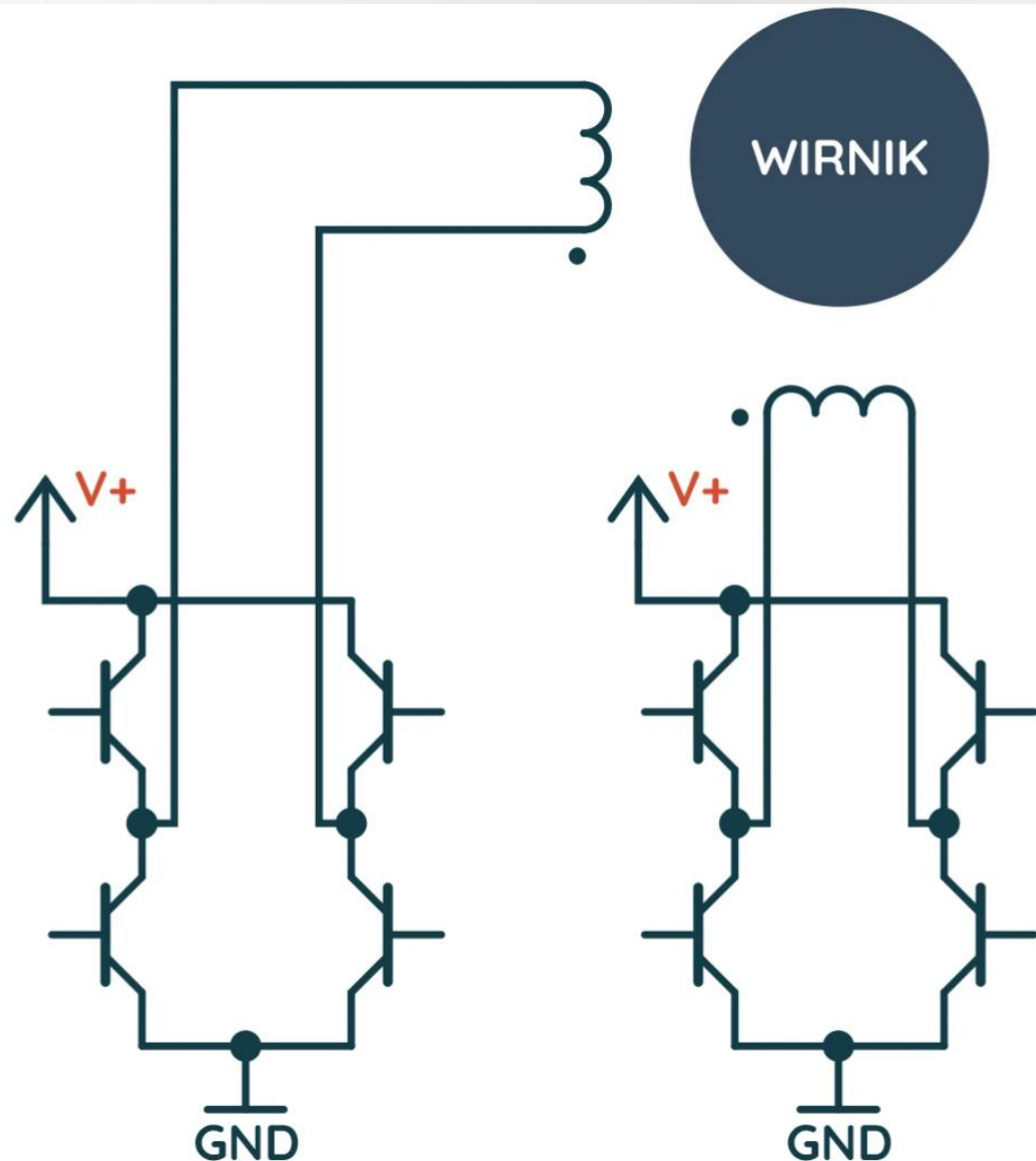


Sterowanie silnika bipolarnego



Jaki element sterujący pozwoli na wysterowanie przepływu prądu w cewkach silnika w różnych kierunkach?

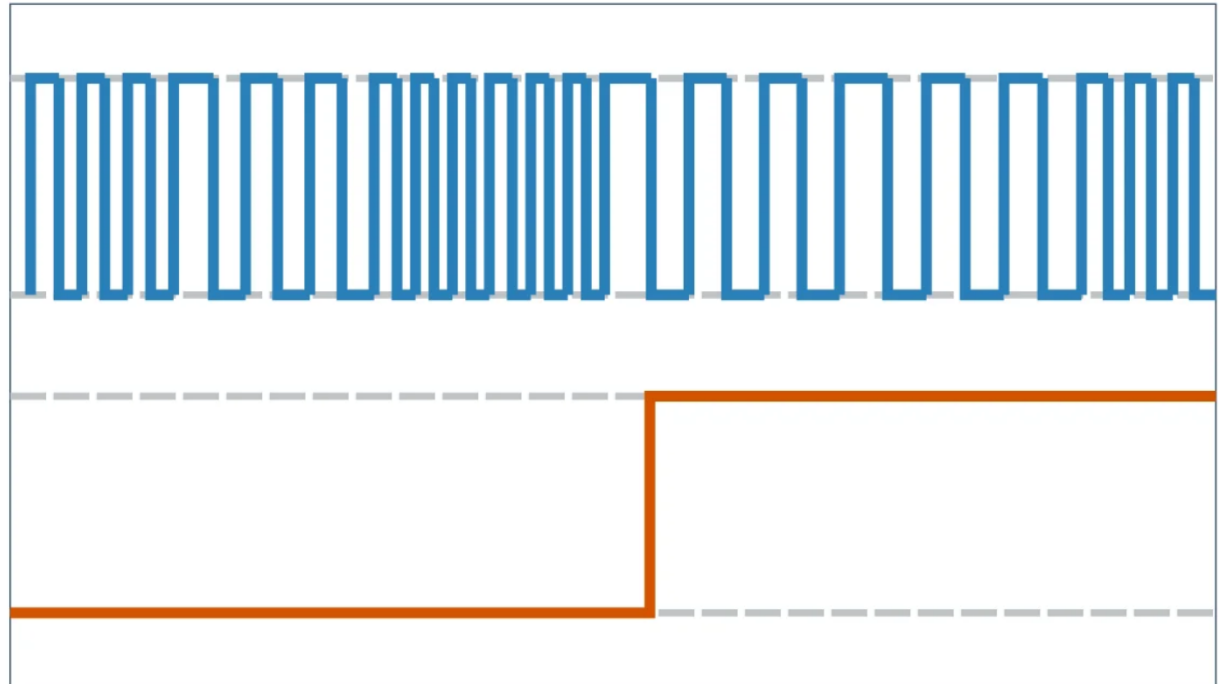
Sterowanie silnika bipolarnego



Sterowanie silnikiem krokowym – sterowniki:

STEP
(krok)

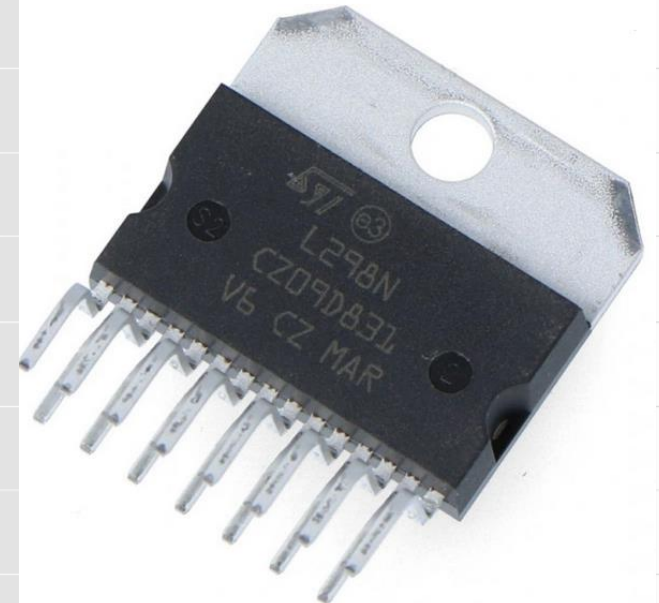
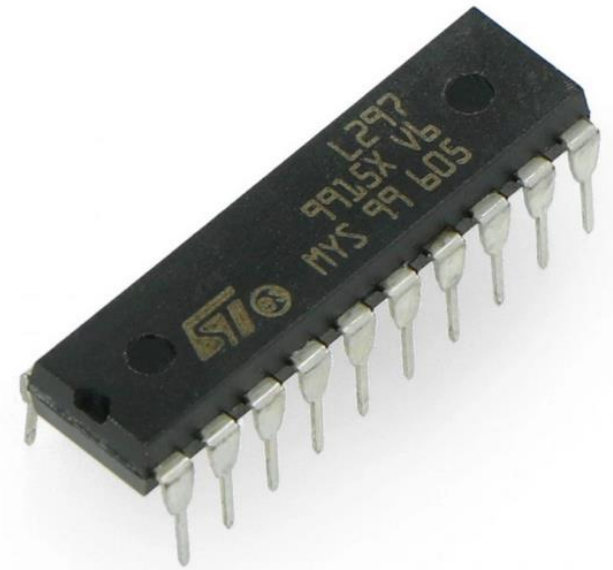
DIR
(kierunek)



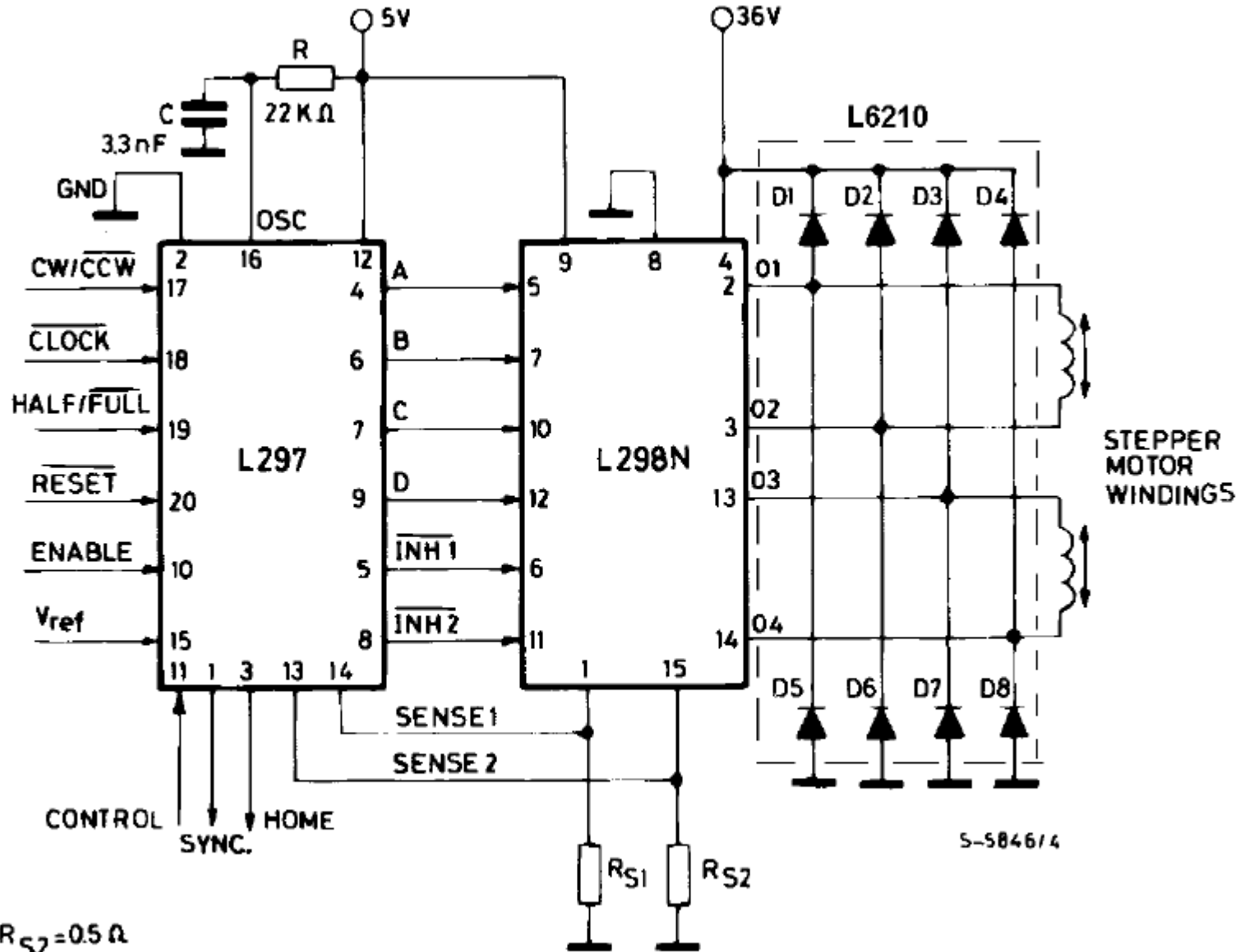
Silniki krokowe – sterownik silników krokowych

Układ L297 i L298:

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



Silniki krokowe – sterownik silników krokowych



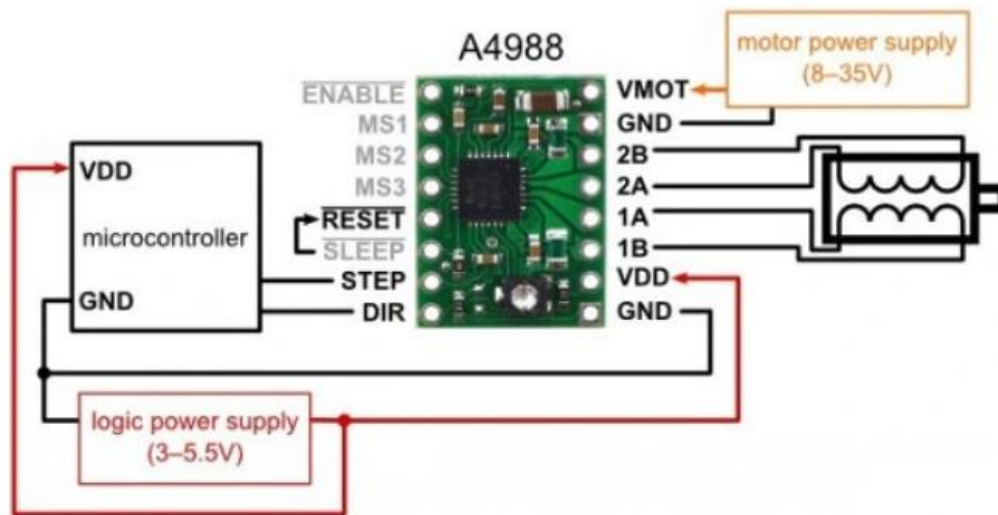
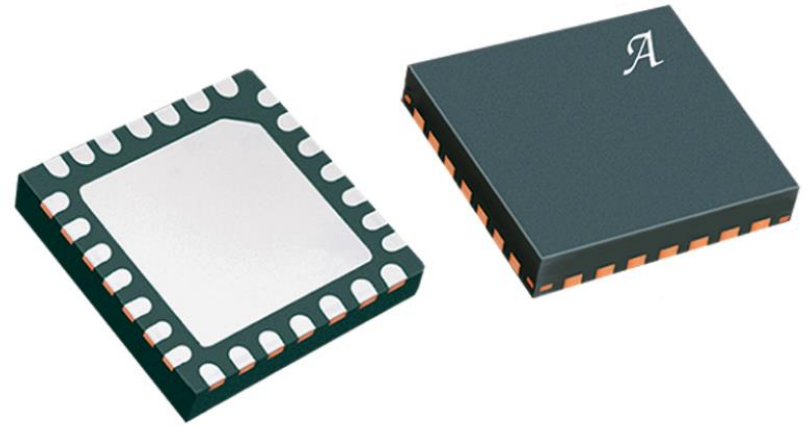
$$R_{S1} R_{S2} = 0.5 \Omega$$

D1 to D8 = 2A FAST DIODES

Silniki krokowe – sterownik silników krokowych

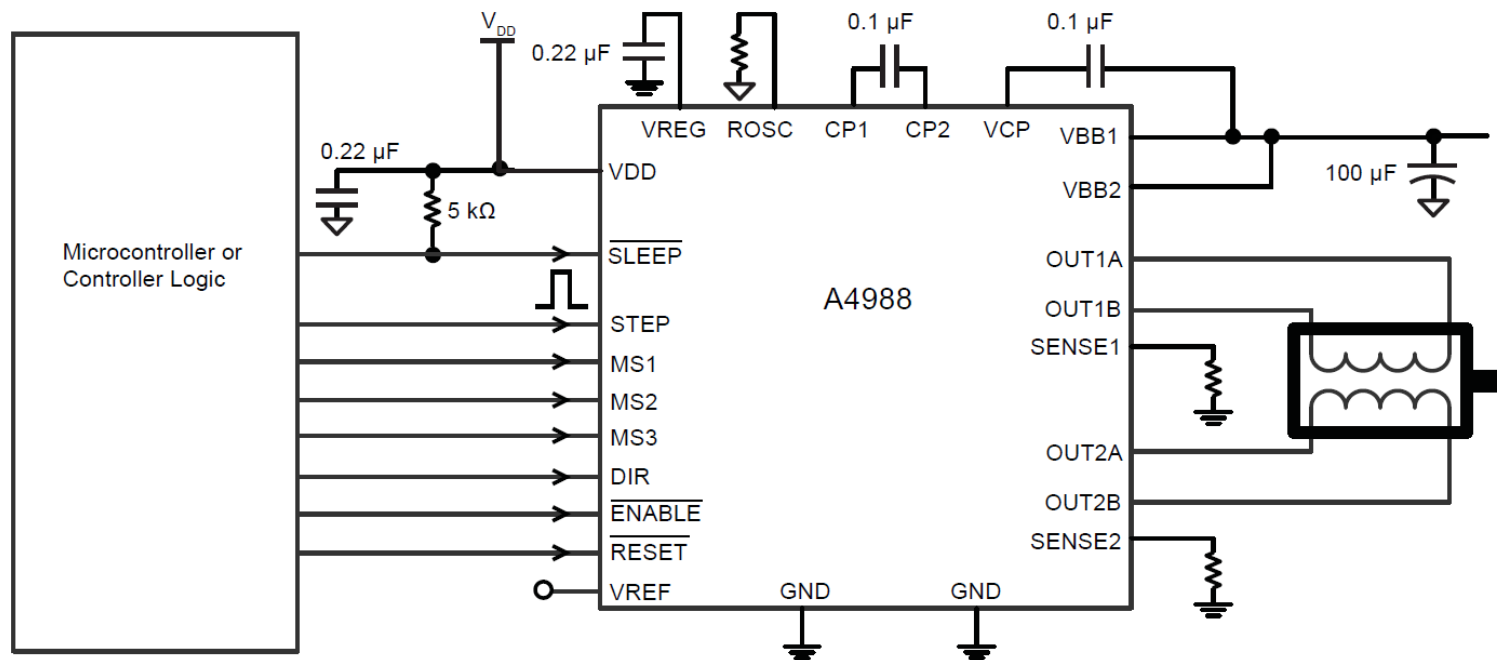
Układ A4988:

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

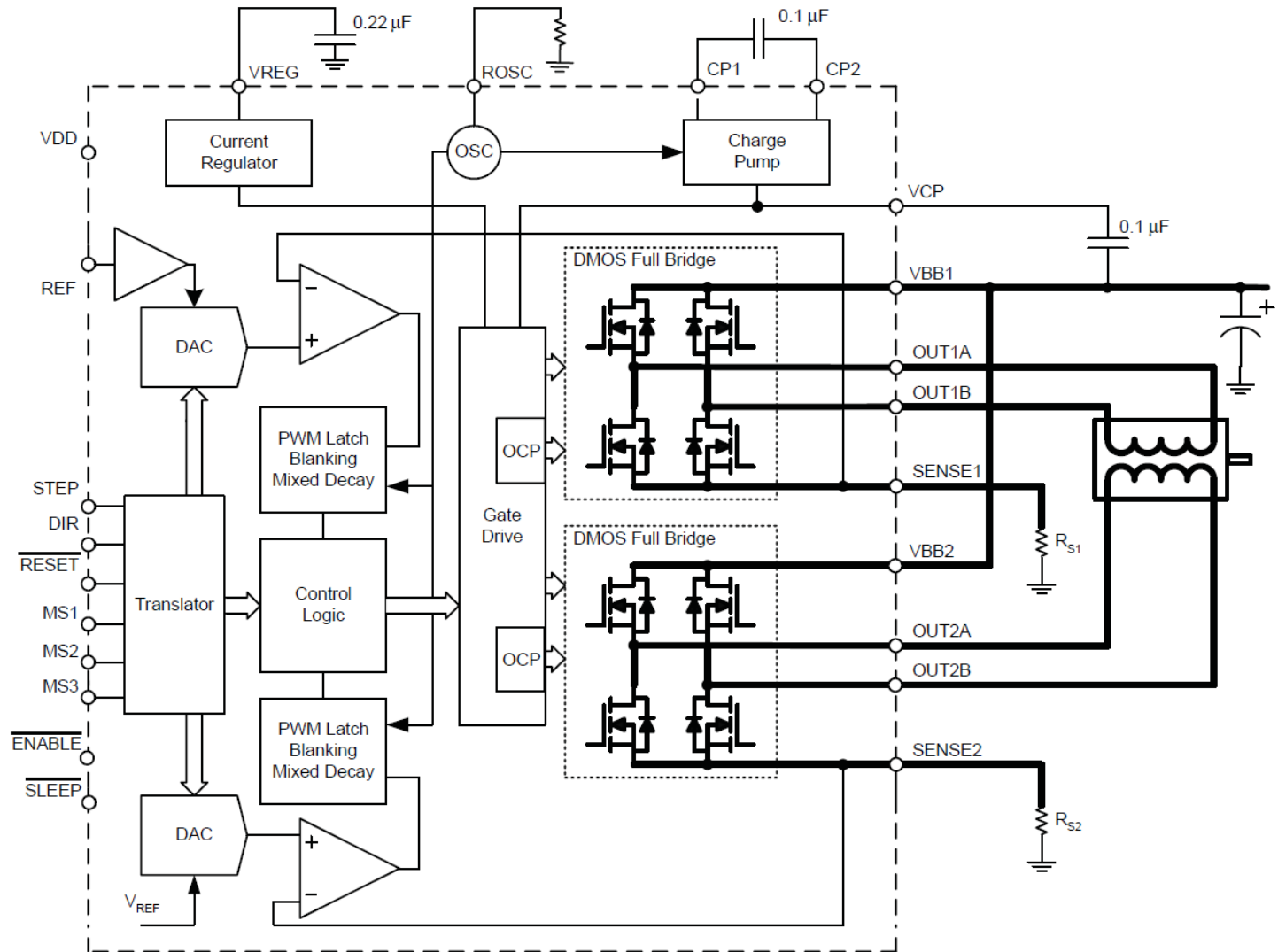


Układ A4988

Typical Application Diagram



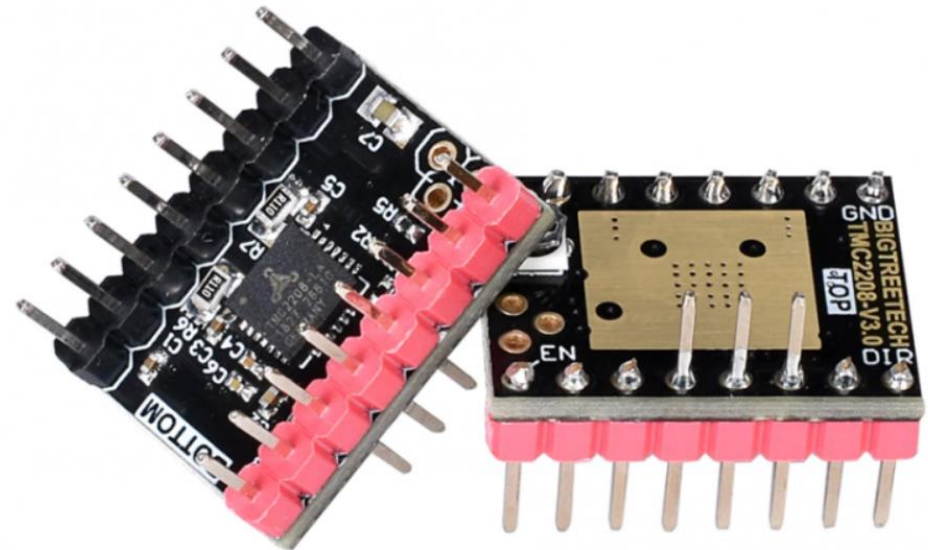
Układ A4988



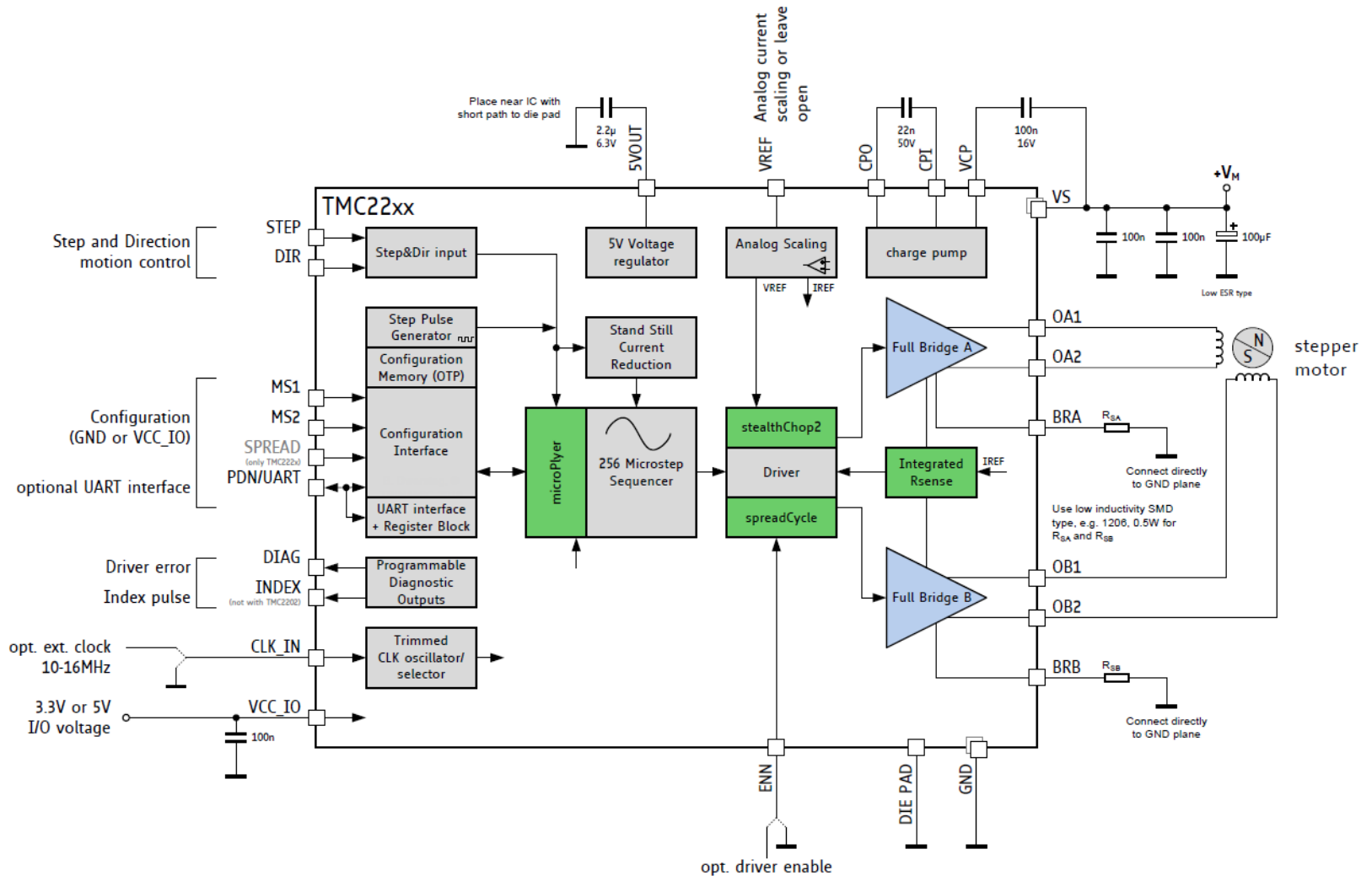
Silniki krokowe – sterownik silników krokowych

Układ TMC2208:

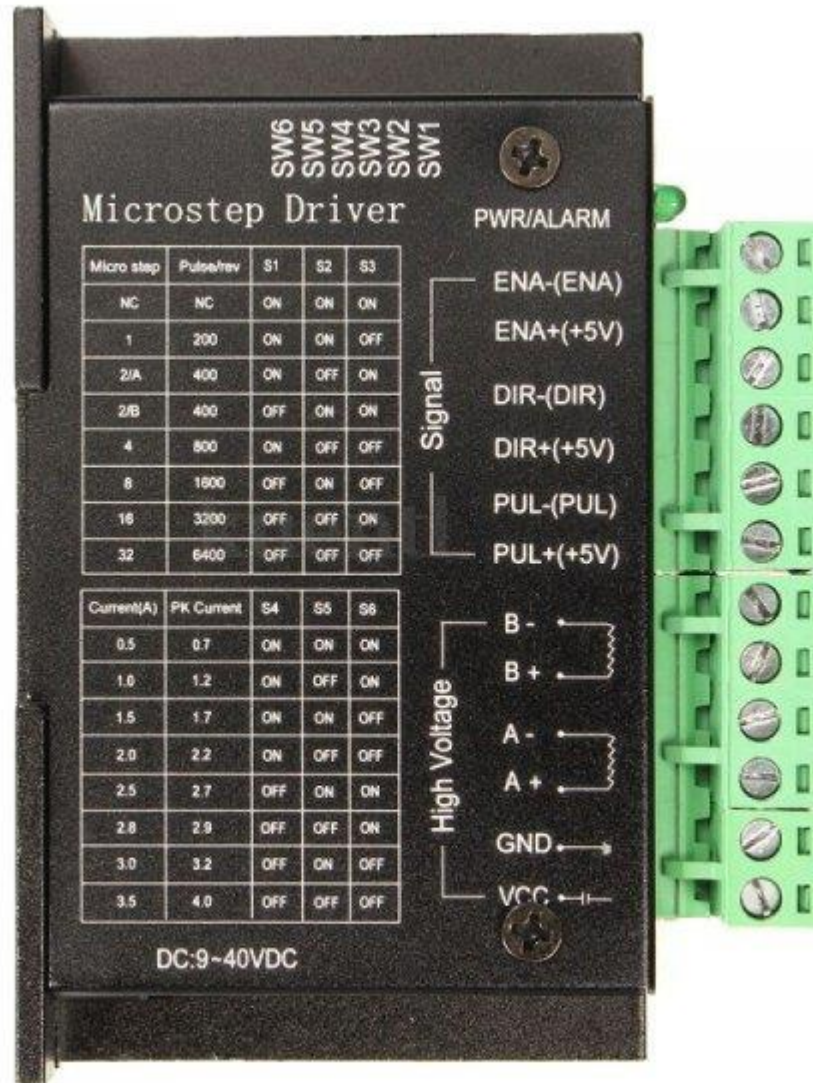
- maksymalne napięcie: 36V
- maksymalny prąd: 2.0A
- obudowa: 28 QFN
- komunikacja: UART
- Smooth Running 256 microsteps by MicroPlyer™ interpolation
- StealthChop2™ silent motor operation



Układ TMC2208



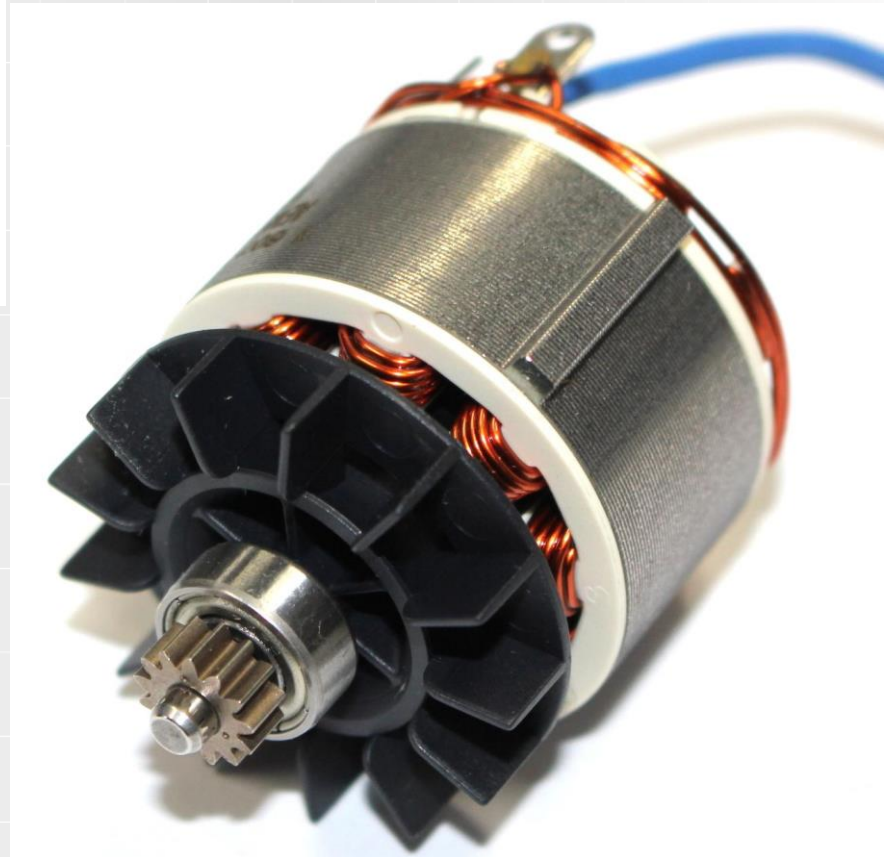
Silniki krokowe – sterownik silników krokowych



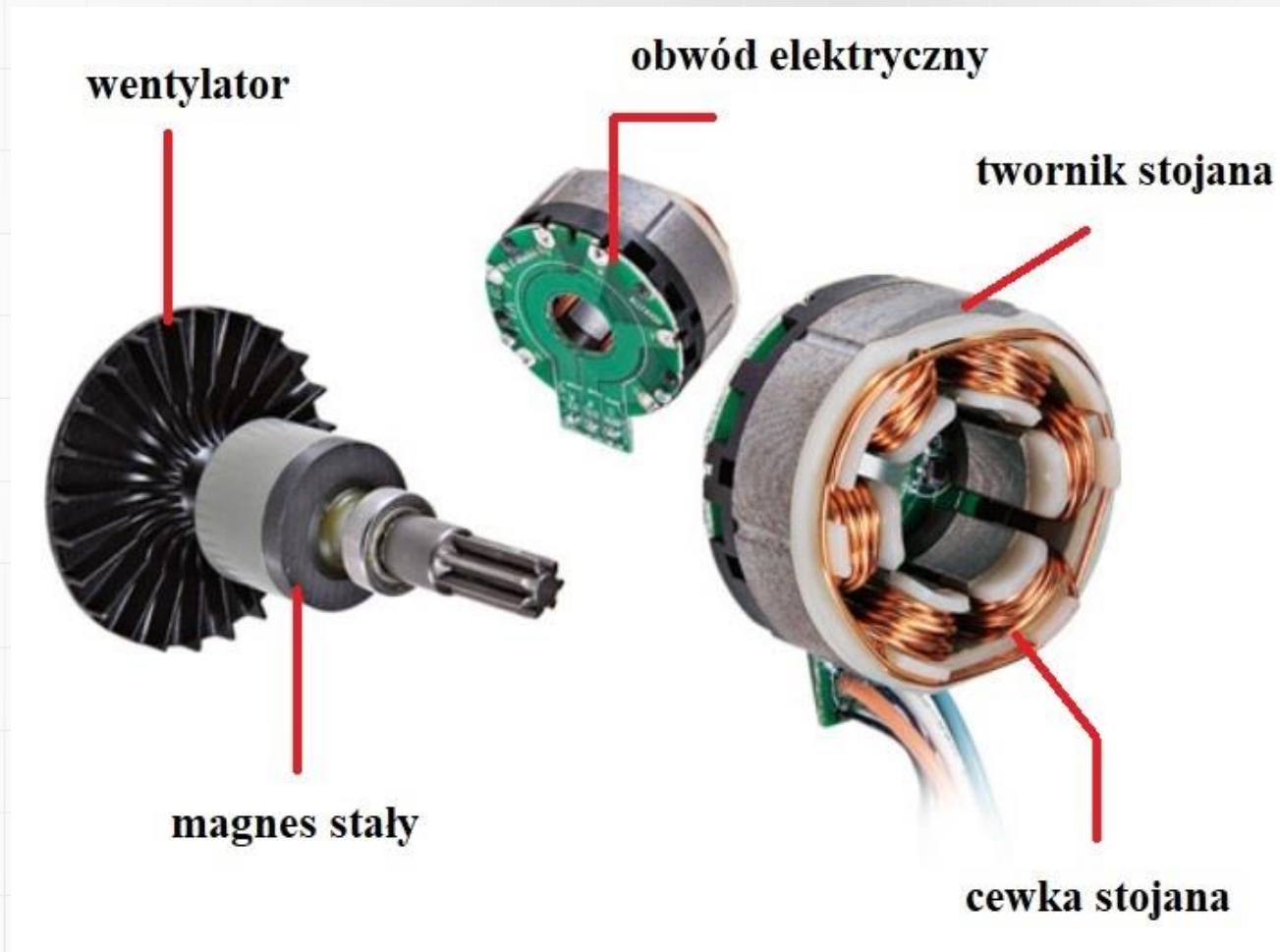


Silniki BLDC

Silnik BLDC



Silnik BLDC



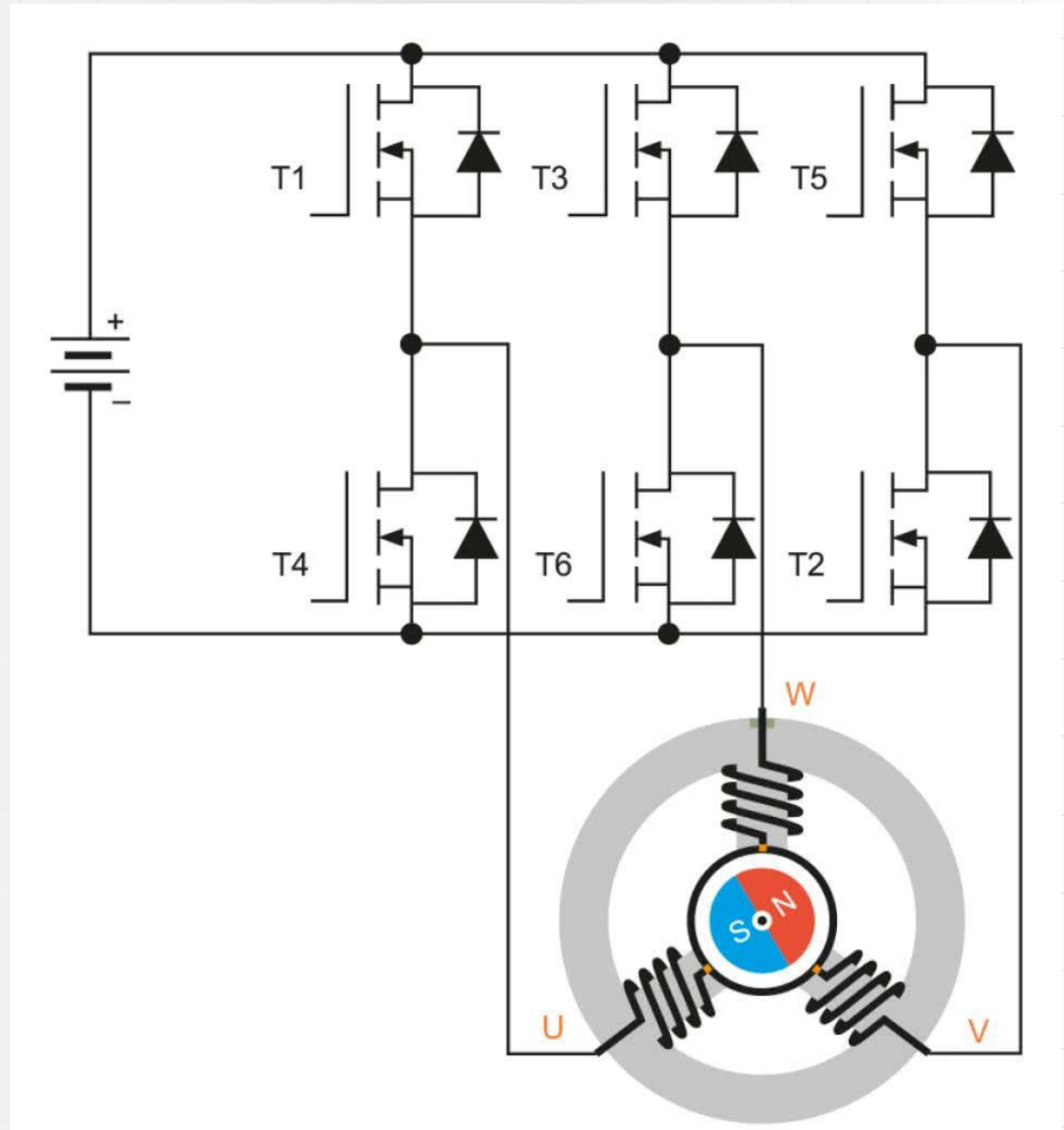
Silnik BLDC a standardowy silnik DC:

- 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

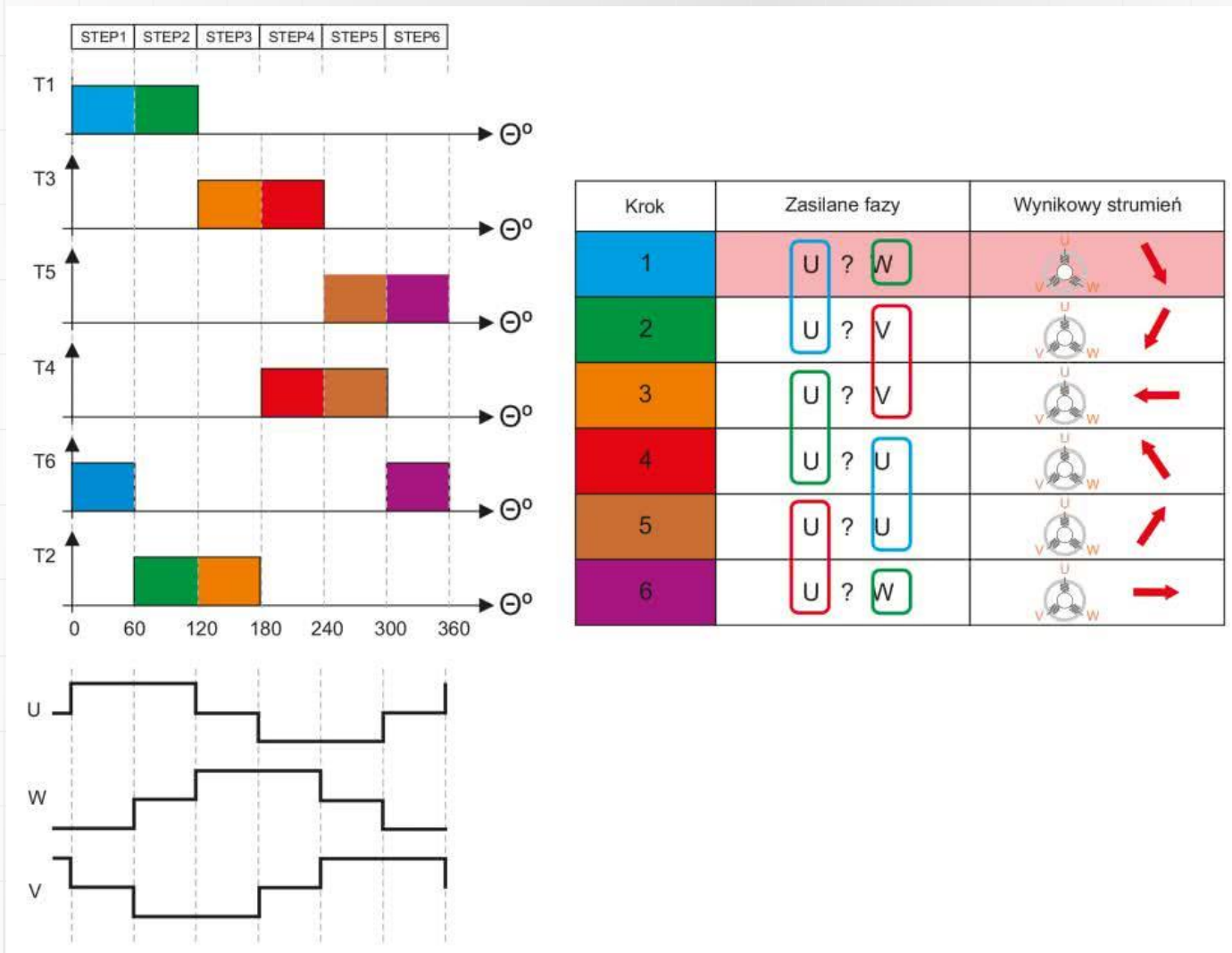
Silnik BLDC, zastosowanie:

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

Silnik BLDC



Silnik BLDC



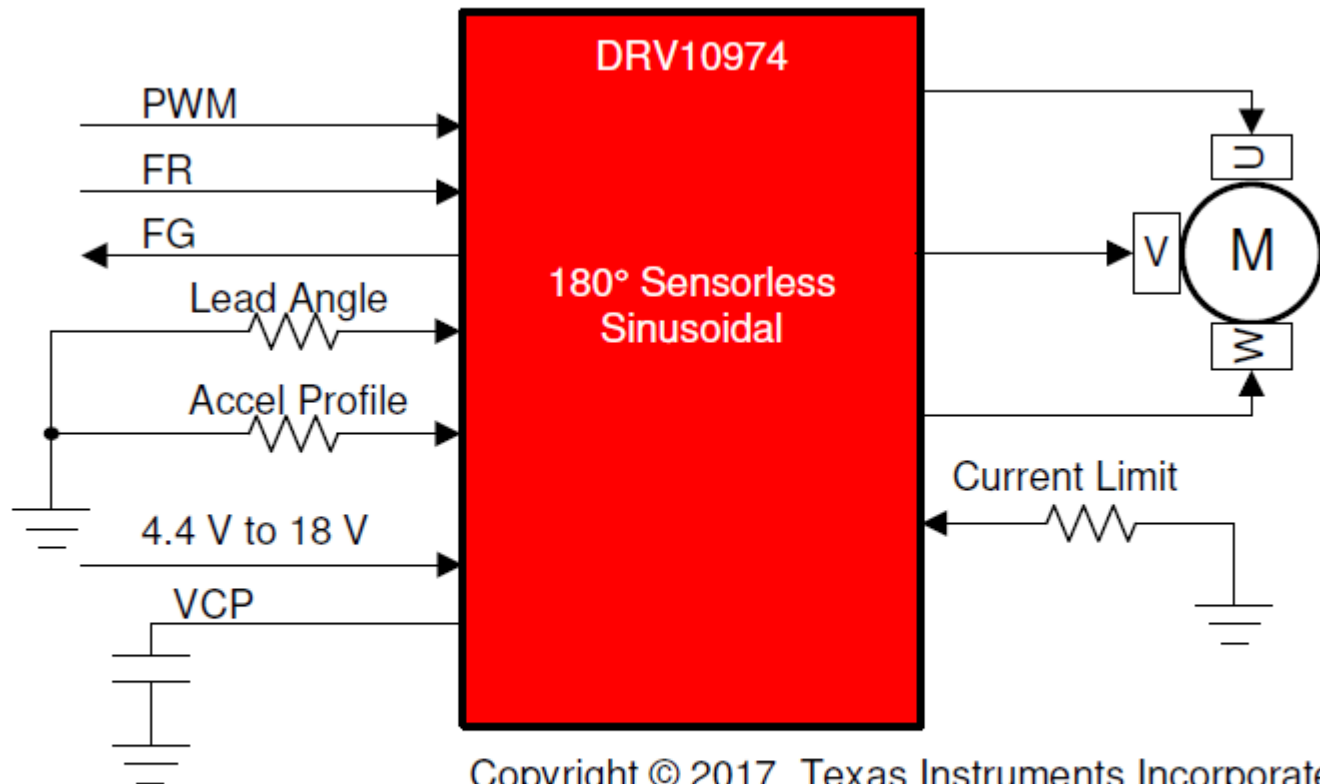
Układ DRV10974:

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

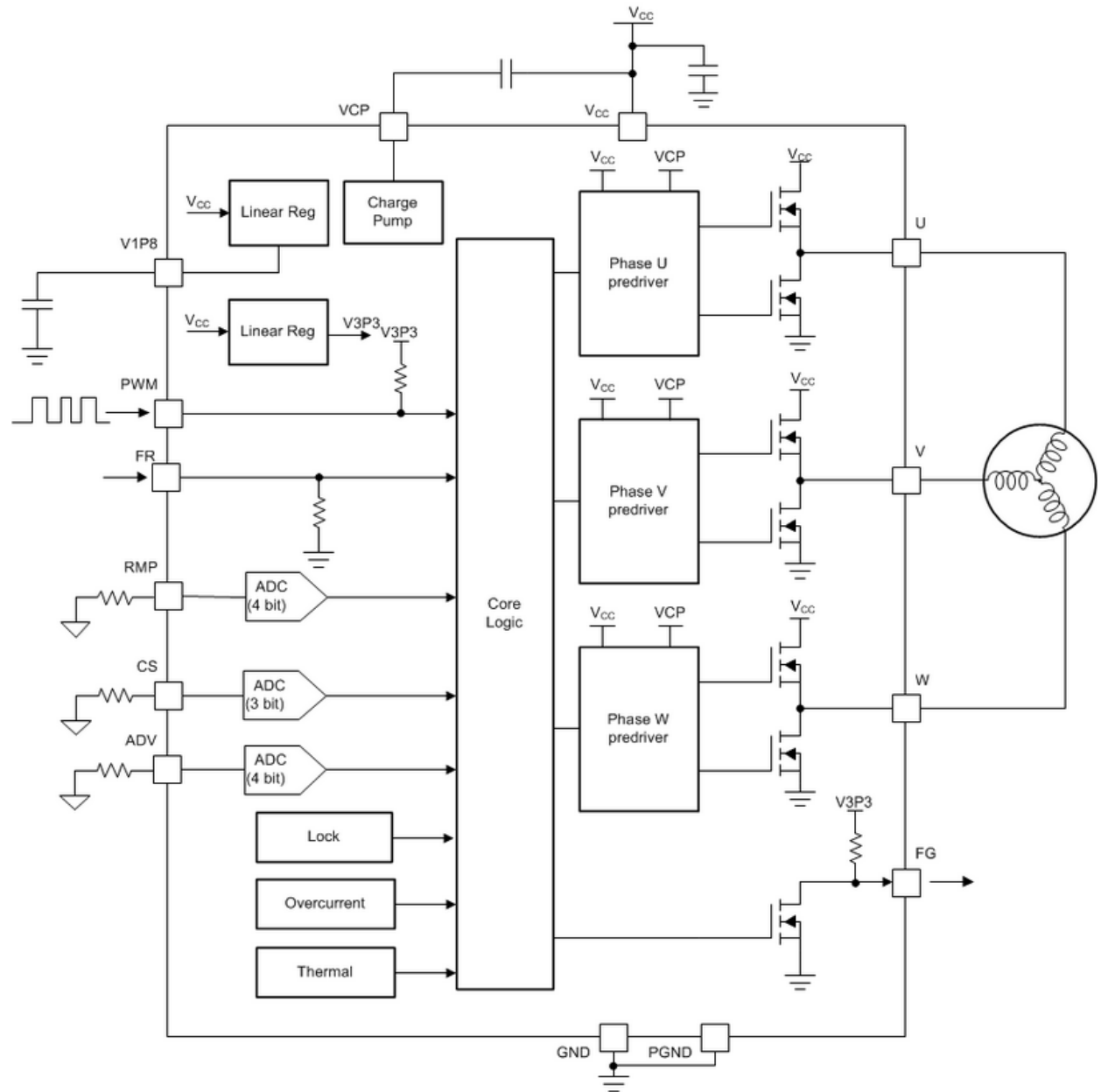


Układ DRV10974

FR – kierunek, PWM – sterowanie prędkością

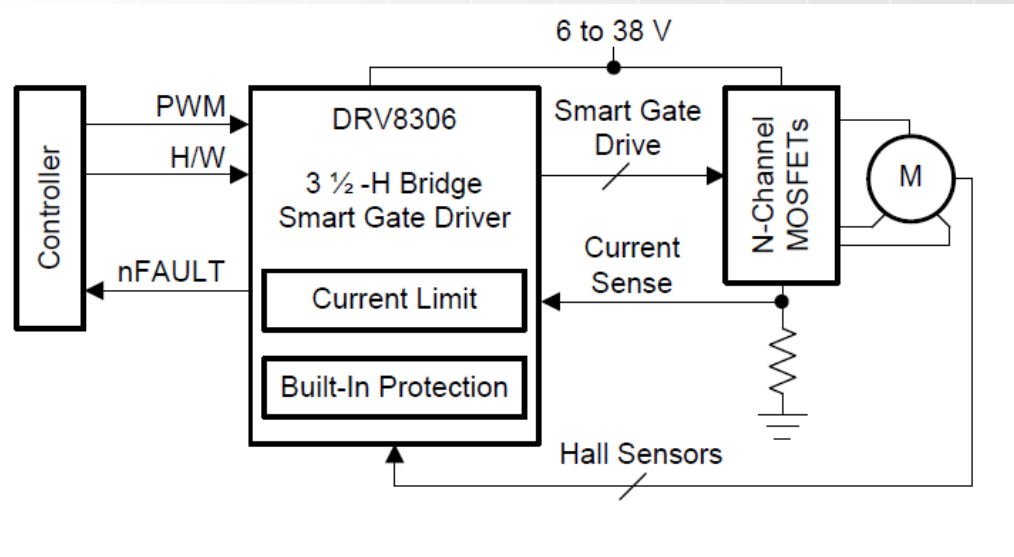
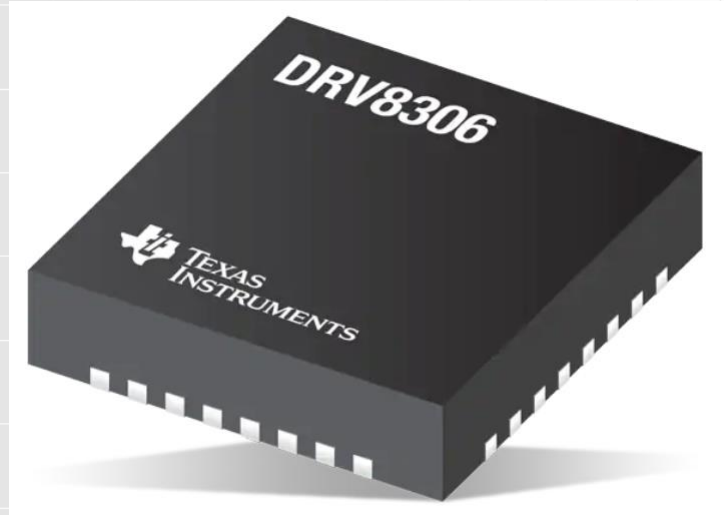


Application Schematic

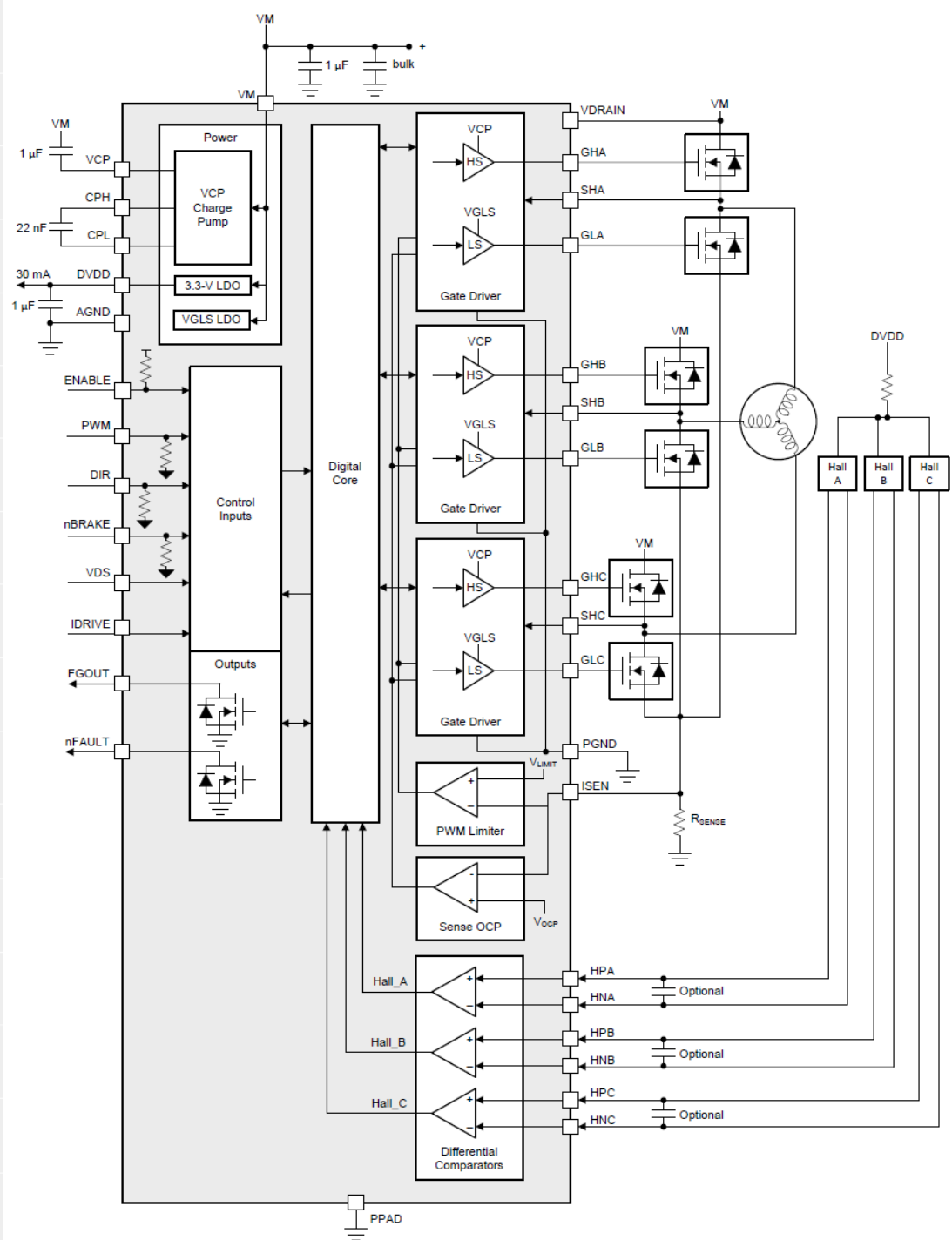


Układ DRV8306 + tranzystory:

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

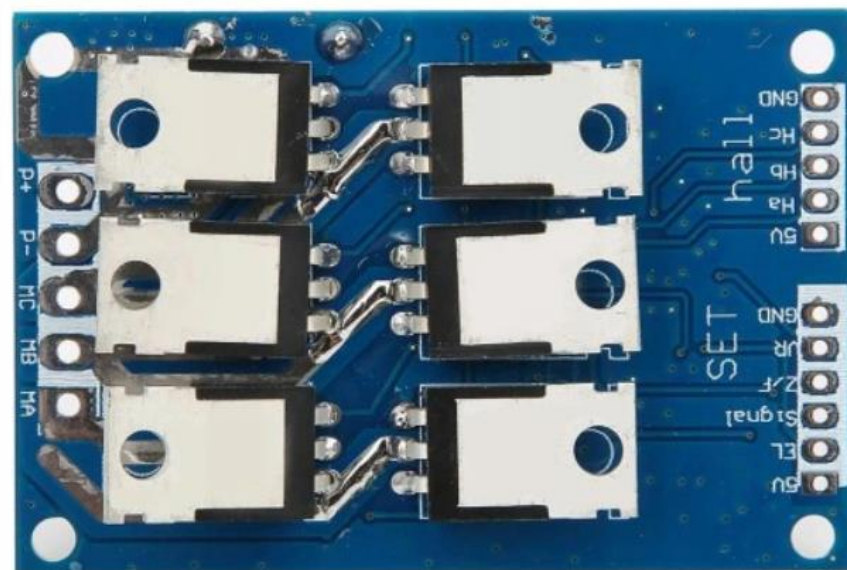
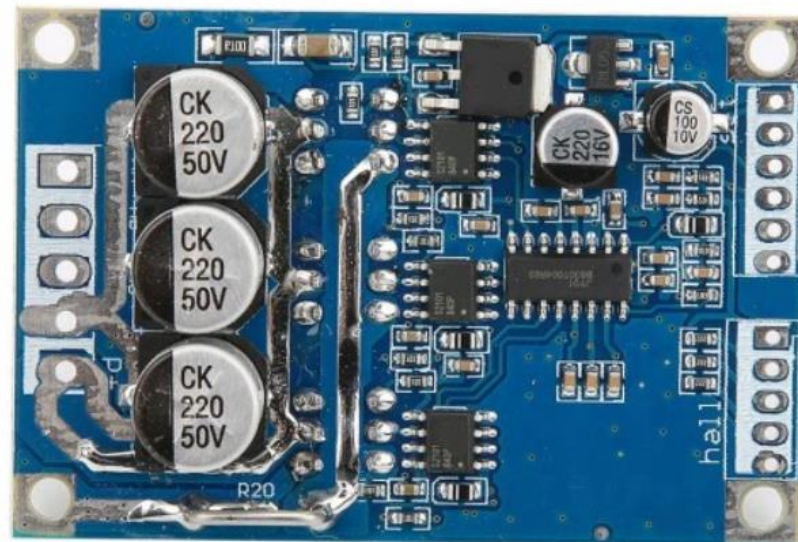


Układ DRV8306



Silniki BLDC

Silnik BLDC - sterownik



Silniki BLDC

Silnik BLDC - sterownik





Aplikacja 1

Sterowanie pompą wody,
podlewanie kwiatków



Aplikacja 2

Silniczek wibracyjny, wibracja telefon komórkowy



Aplikacja 3

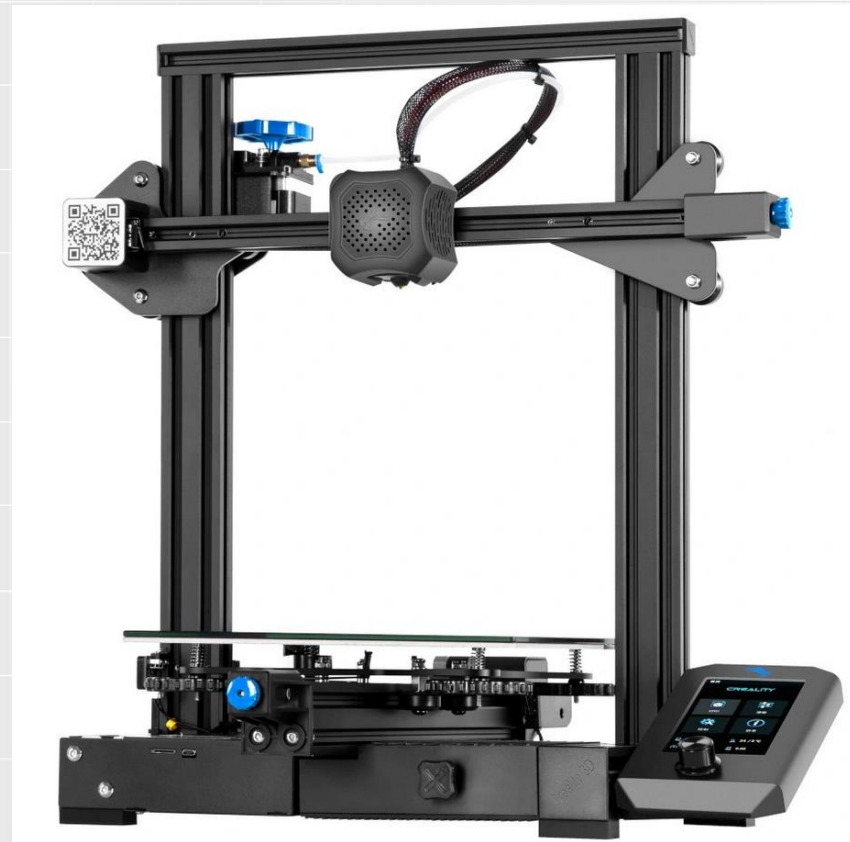
Robot 2WD

sterowanie przemieszczaniem robota



Aplikacja 4

Drukarka 3D, ploter CNC



Aplikacja 5

Sterowanie silnikiem rolet,
siłownikiem elektrycznym do bramy



Aplikacja 6

Hulajnoga elektryczna, rower elektryczny



Aplikacja 7

Wiertarka akumulatorowa 18V



Aplikacja 8

Poduszka do masażu shiatsu pleców lub karku



Aplikacja 9

Odkurzacz ręczny akumulatorowy



Aplikacja 10

Silnik regulacji prędkości biegu jałowego jednostki napędowej w samochodzie (regulacja przepustnicy).





Źródła

- <https://forbot.pl/blog/czytaj-schematy-doswiadczony-elektronik-id1890>
- „Schematy elektroniczne i elektryczne. Przewodnik dla początkujących”, Stan Gibilisco
- „Elektronika bez oporu. Schematy elektroniczne od podstaw”, Witold Wrotek
- „Sztuka elektroniki cz. 1 i 2”, Horowitz Paul , Hill Winfield
- Dokumentacje techniczne układów elektronicznych