



Politechnika
Wroclawska

Elektronika w automatyce

Silniki prądu stałego DC układy sterowania

Wojciech Tarnawski

wojciech.tarnawski@pwr.edu.pl

www.w-tarnawski.pl

2023

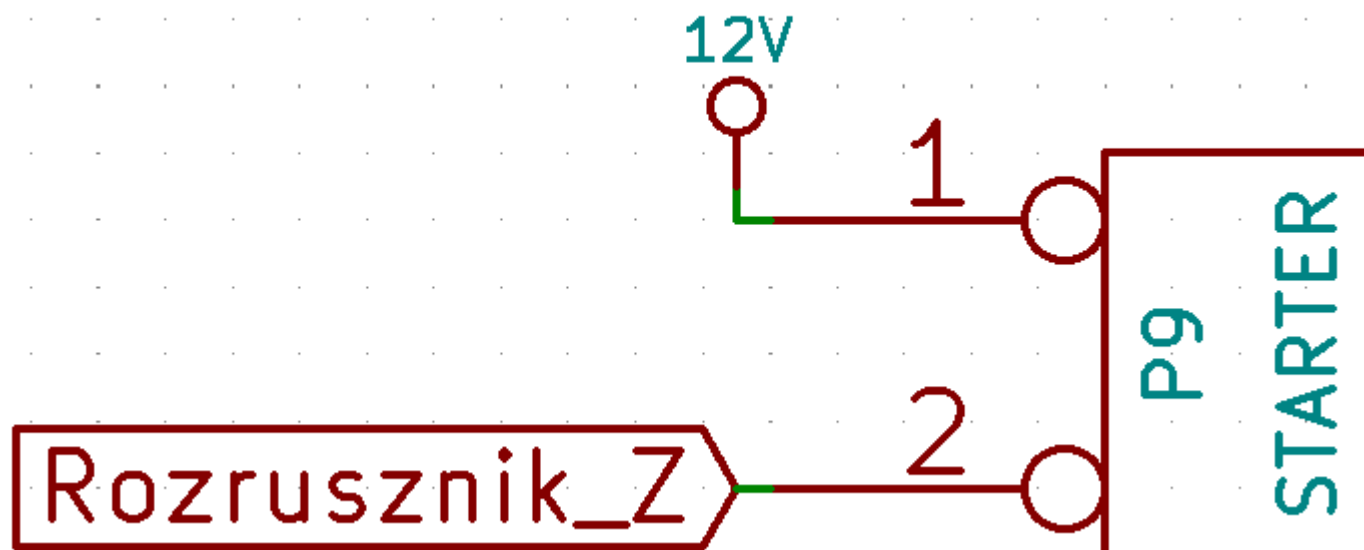




Silniki prądu stałego DC – układy sterowania

- Wstęp
- Silnik DC
- Przekładnie mechaniczne
- Układ włącz/wyłącz
- Zabezpieczenie układu
- Sterowanie prędkością - PWM
- Sterowanie kierunkiem – mostek H
- Hamowanie silnikiem
- Przykładowe układy scalone
- Podsumowanie

Złącza na schemacie, podłączenie sygnałów

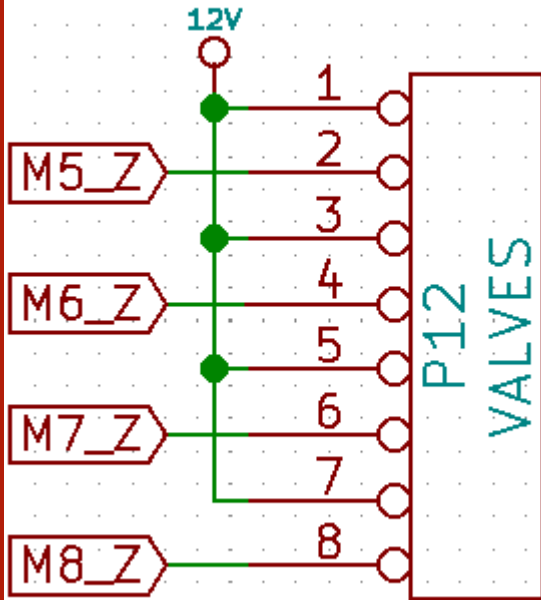


Złącze P9 - starter

Numer pinu	Sygnaly	Opis
1	+12V	1 przewód silnika rozrusznika
2	Rozrusznik_Z	2 przewód silnika rozrusznika

Złącza na schemacie, podłączenie sygnałów

Zawory paliwa i oleju



Złącze P12 - VALVES

Numer pinu	Sygnały	Opis
1	+12V	1 przewód przekaźnika numer 1
2	M5_Z	2 przewód przekaźnika numer 1
3	+12V	1 przewód przekaźnika numer 2
4	M6_Z	2 przewód przekaźnika numer 2
5	+12V	1 przewód przekaźnika numer 3
6	M7_Z	2 przewód przekaźnika numer 3
7	+12V	1 przewód przekaźnika numer 4
8	M8_Z	2 przewód przekaźnika numer 4



Silnik DC

Zalety:

- Zasilanie napięciem stałym DC
- Bezpośredni wpływ napięcia na prędkość silnika
- Proste układy sterowania
- Duża prędkość obrotowa
- Duża popularność i dostępność

Wady:

- Mały moment obrotowy przy niskich prędkościach
- Zużywające się elementy cierne „szczotki”
- Iskrzenie

Duża prędkość obrotowa - mały moment obrotowy

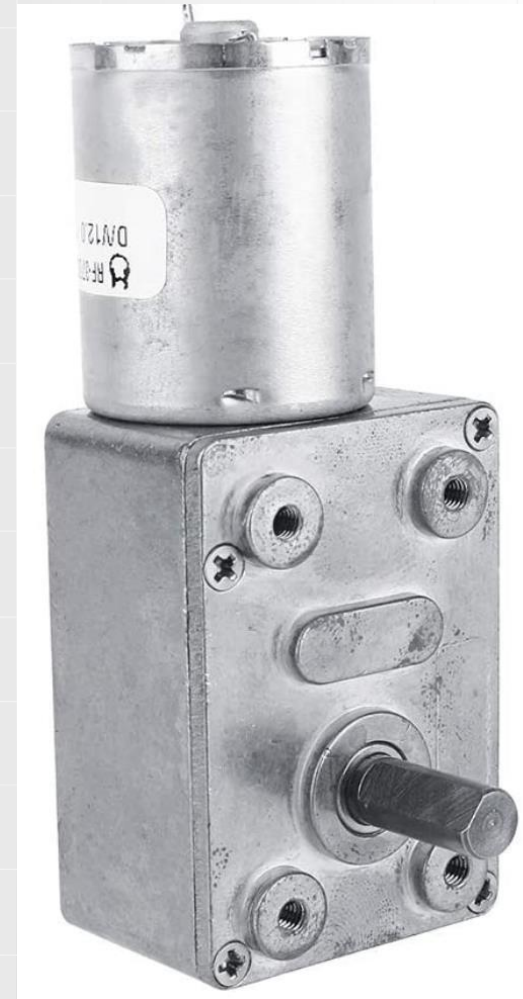
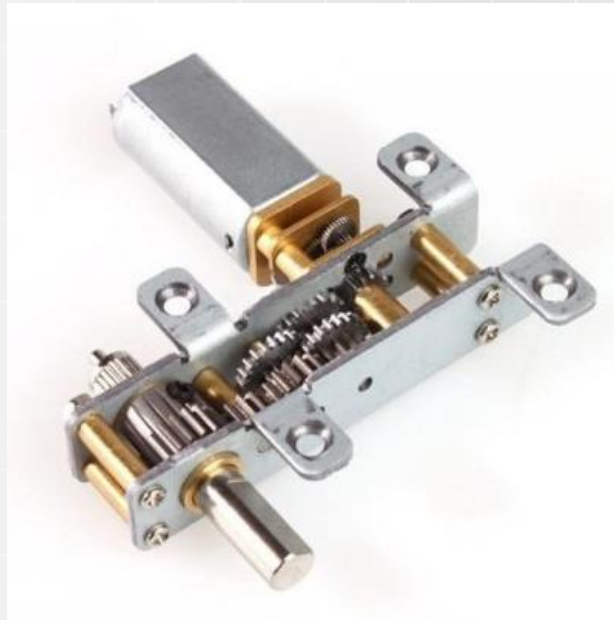
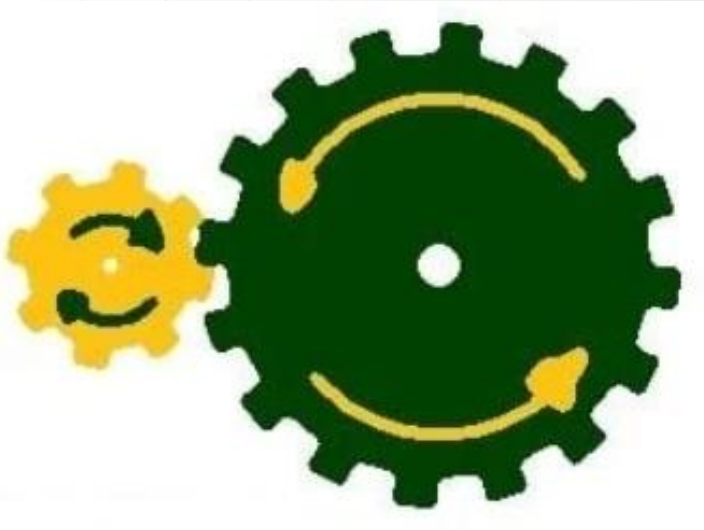


Przedkładanie mechaniczne:

- zębate
- pasowe
- pasowe zębate
- łańcuchowe
- liniowe zębate
- liniowe śrubowe



Przekładnie silników - zębate

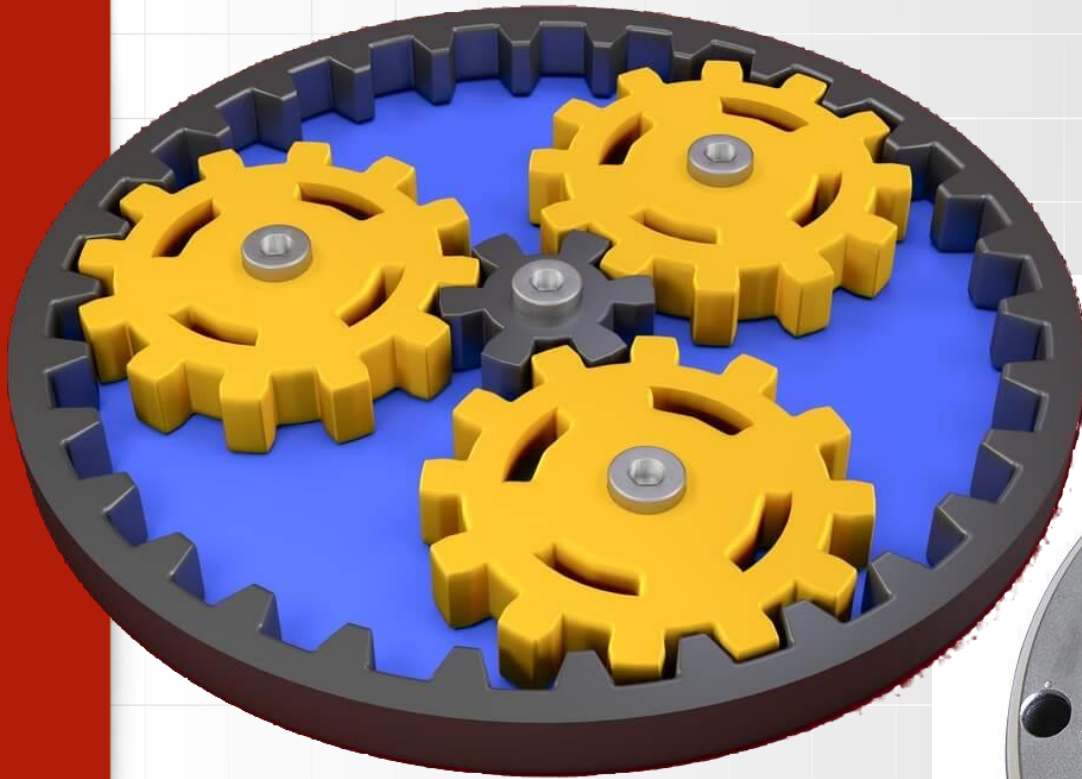


Przekładnie silników – serwomechanizm modelarski





Przekładnie silników – zębate, planetarne

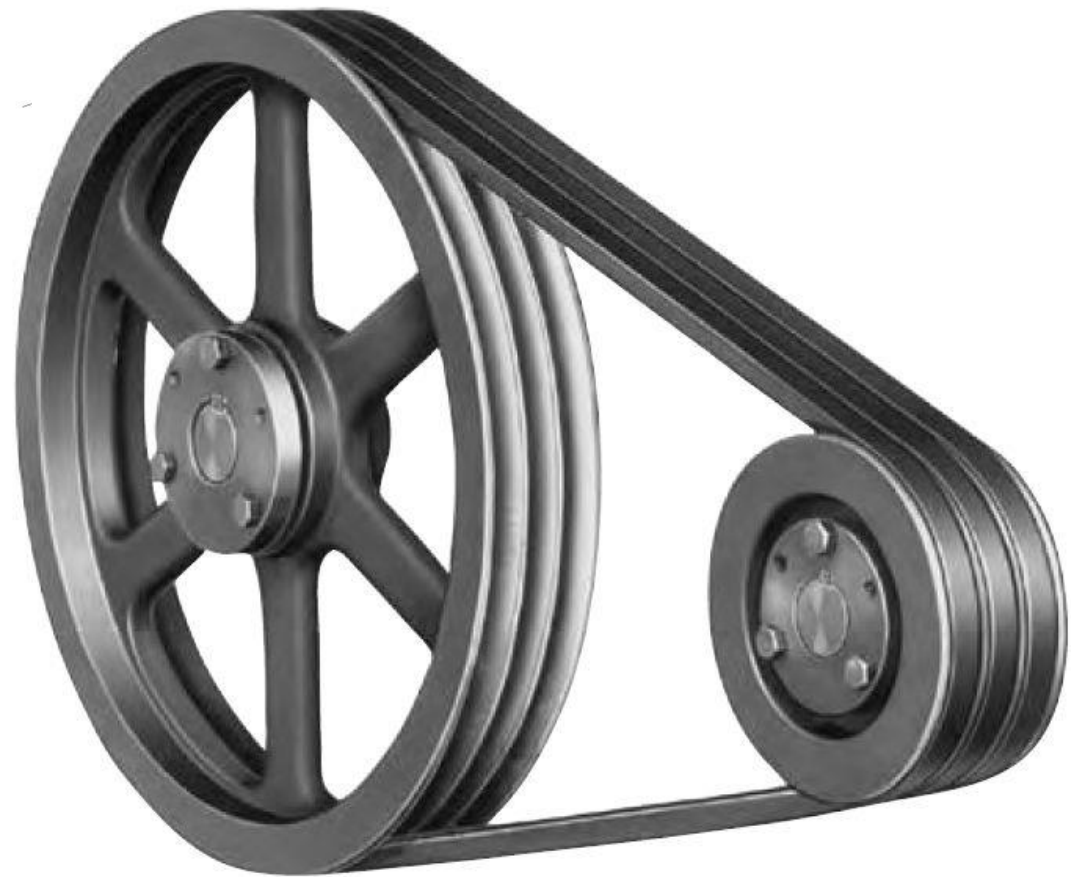
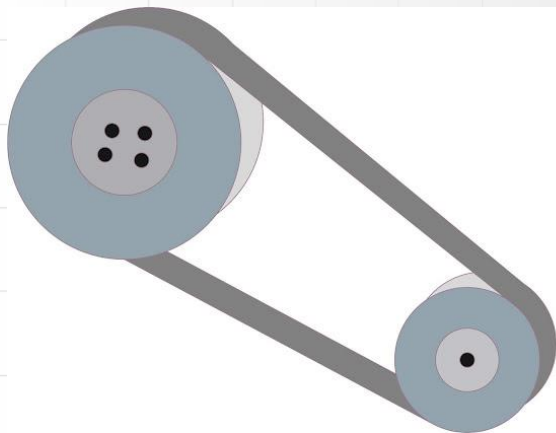




Przekładnie silników DC – zębate, planetarne

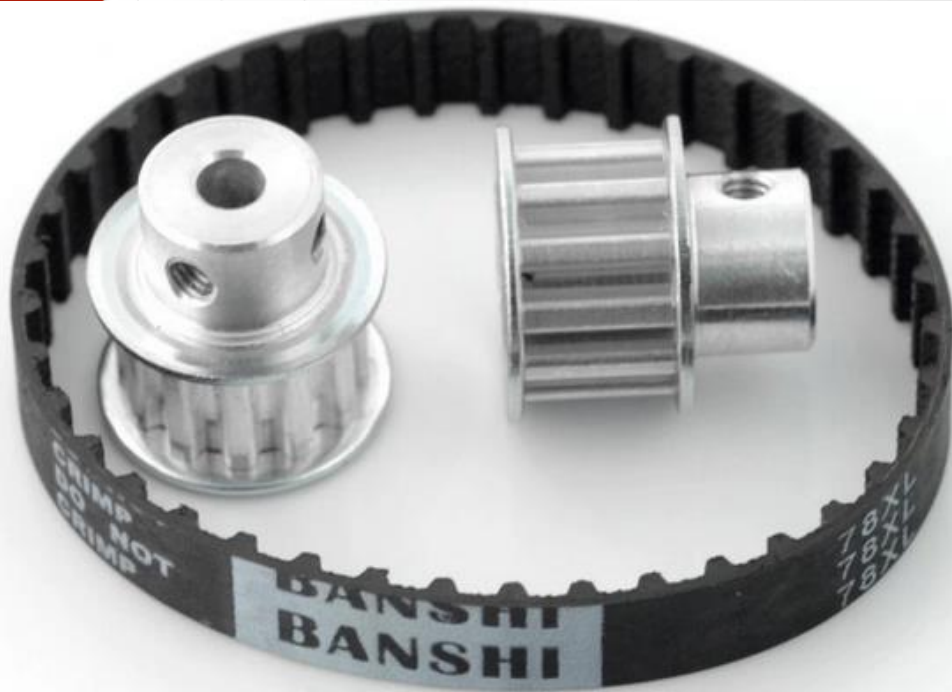


Przekładnie silników - paskowe





Przekładnie silników – pasek zębany

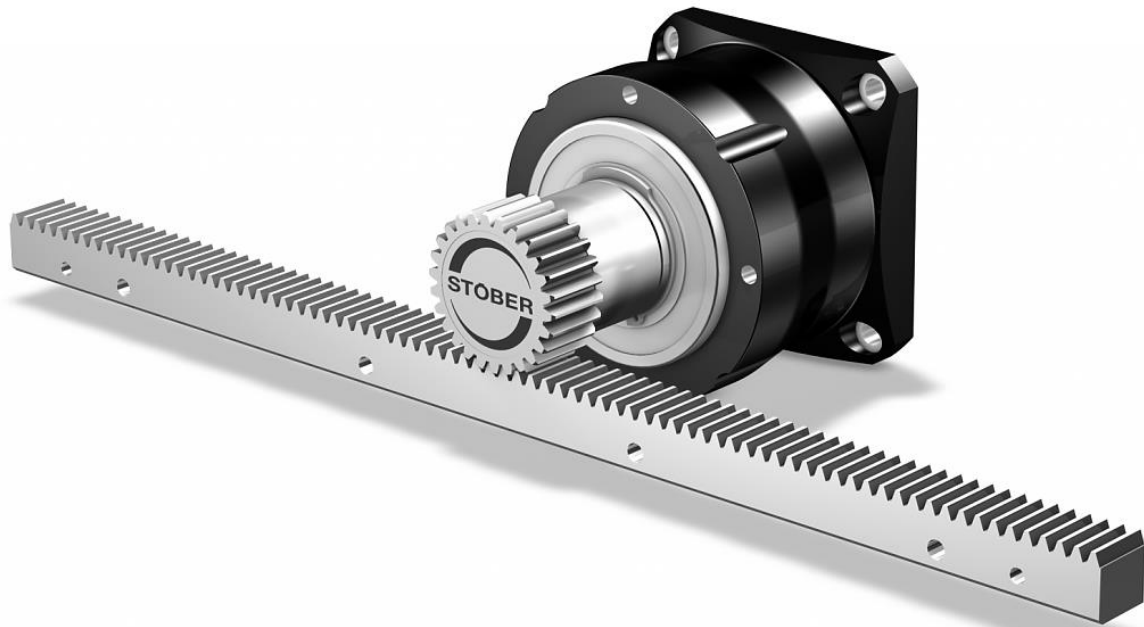


Przekładnie silników - łańcuchowe





Przekładnie silników – przekładnia liniowa





Przekładnie silników – przekładnia śrubowa

Śruba trapezowa, śruba kulista



Przekładnie silników – przekładnia śrubowa





Przekładnie silników DC

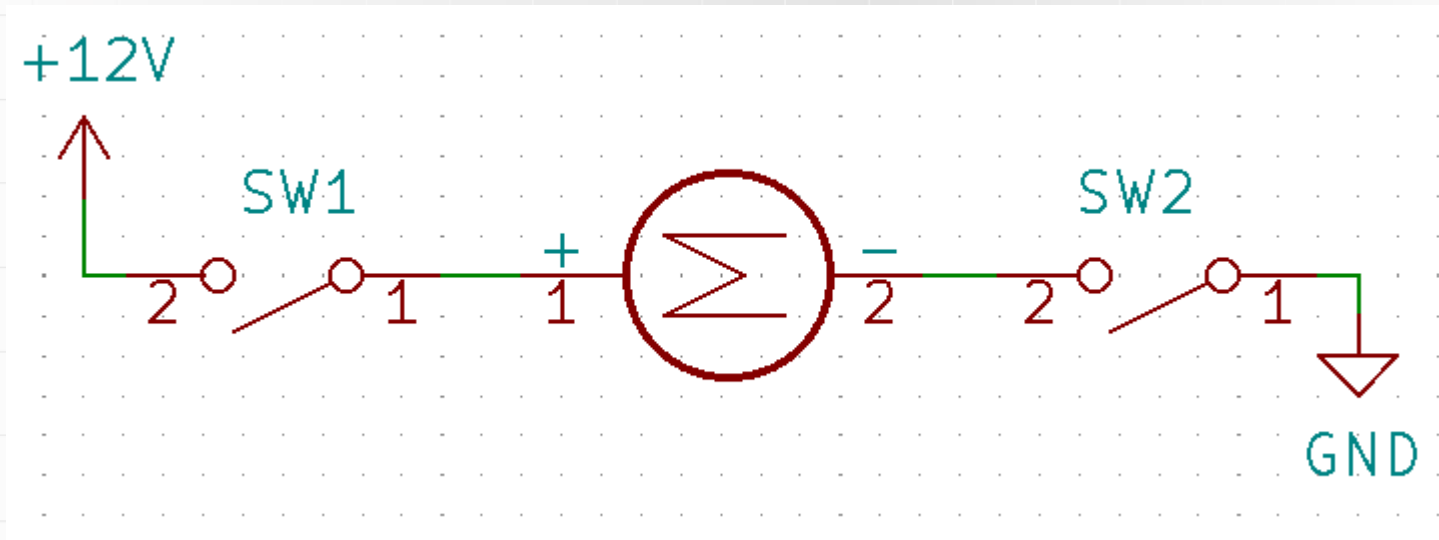
Zalety:

- Zmniejszenie/zwiększenie momentu obrotowego
- Zmniejszenie/zwiększenie prędkości
- Zmiana rodzaju ruchu
- Wykorzystanie maksymalnej sprawności silnika

Wady:

- Obniżenie sprawności napędu-dodatkowe opory
- Zwiększenie głośności pracy napędu
- Układ mechaniczny, podatność na awarie
- Wymagany okresowy przegląd i konserwacja

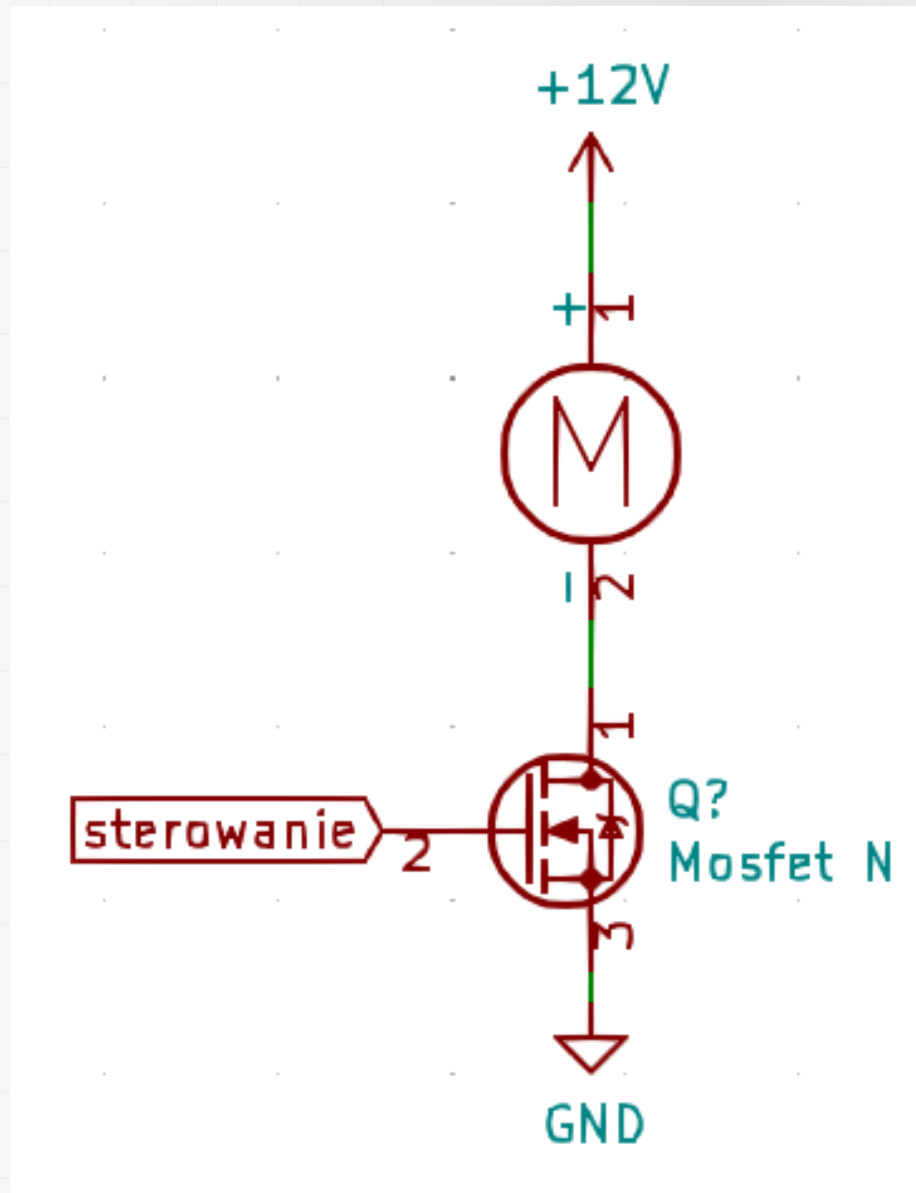
Układ włącz/wyłącz



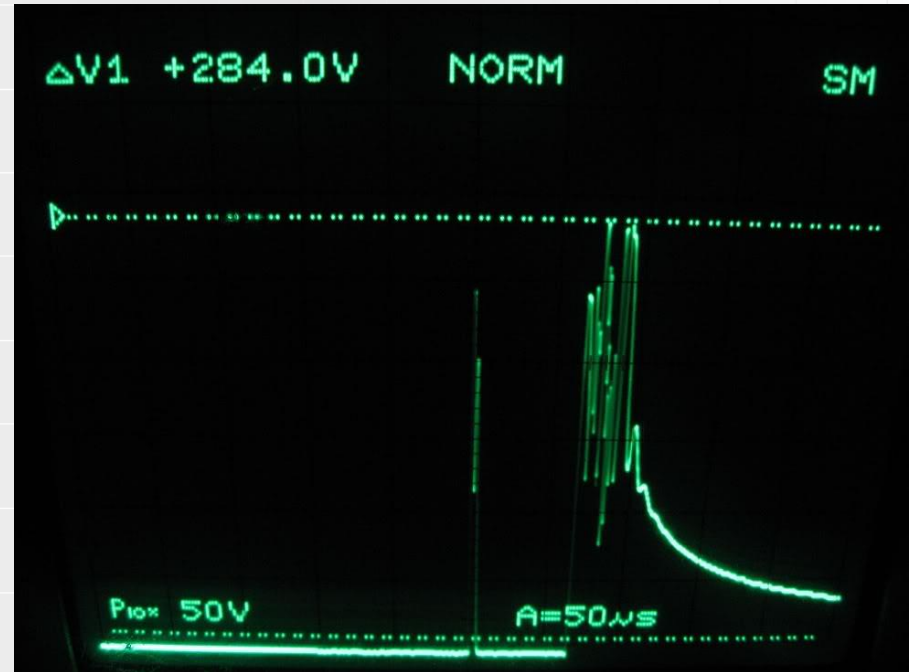
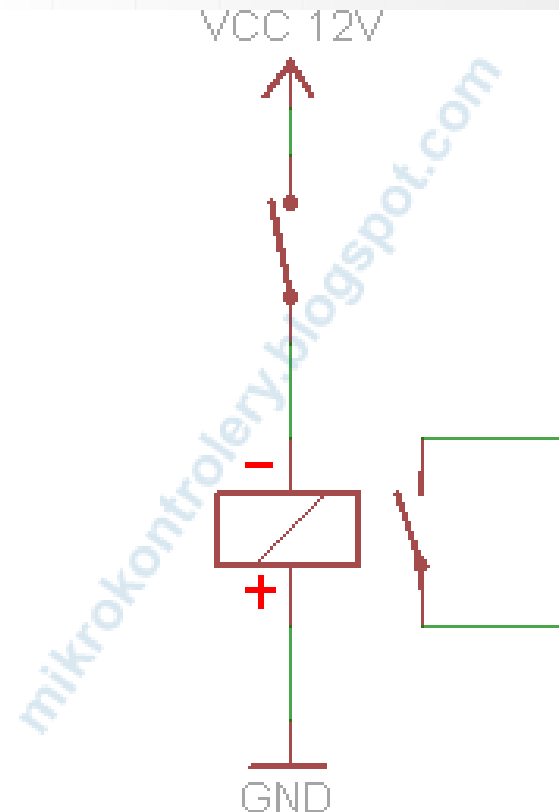
przełącznik



Silniki prądu stałego DC – układy sterowania



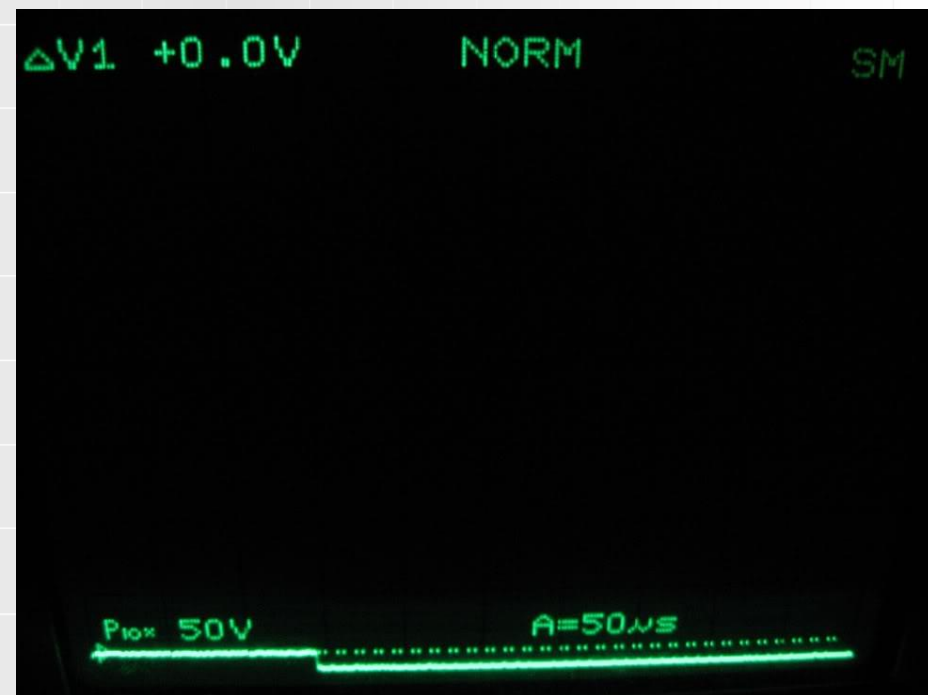
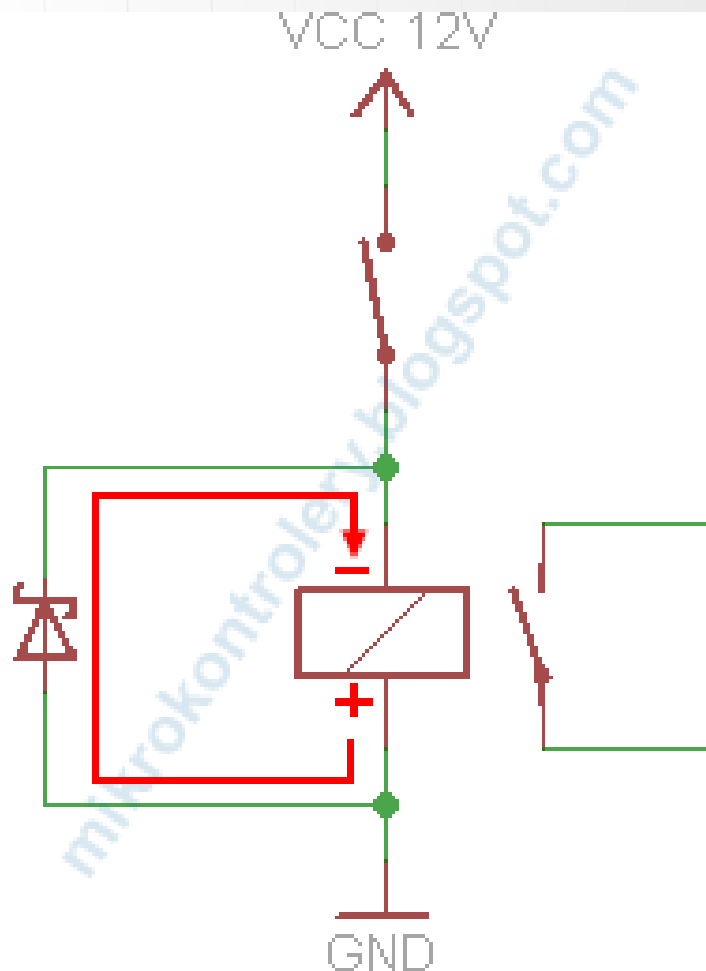
Zabezpieczenie układu „Generowanie szpilki”



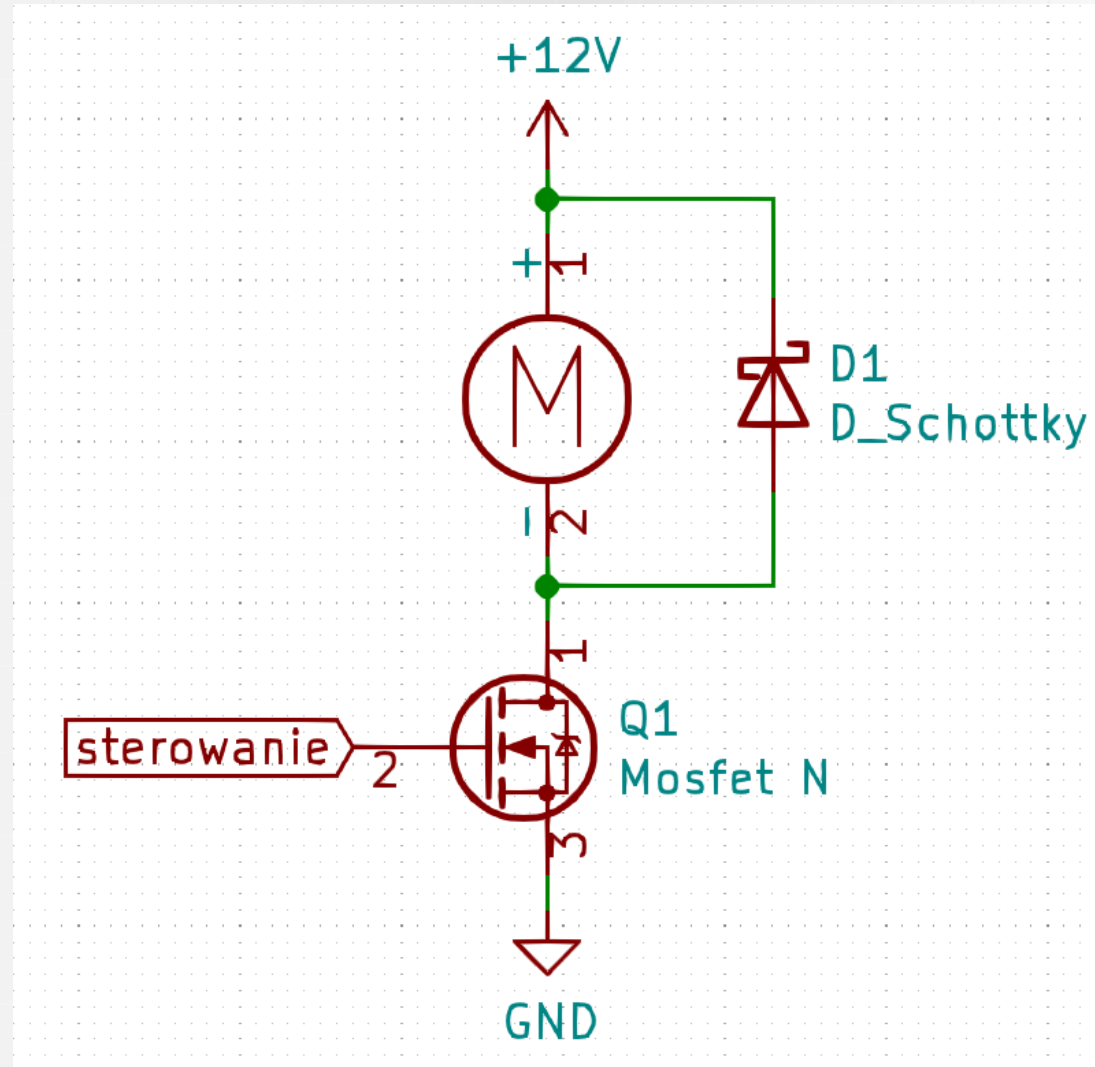
Prawo komutacji

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.

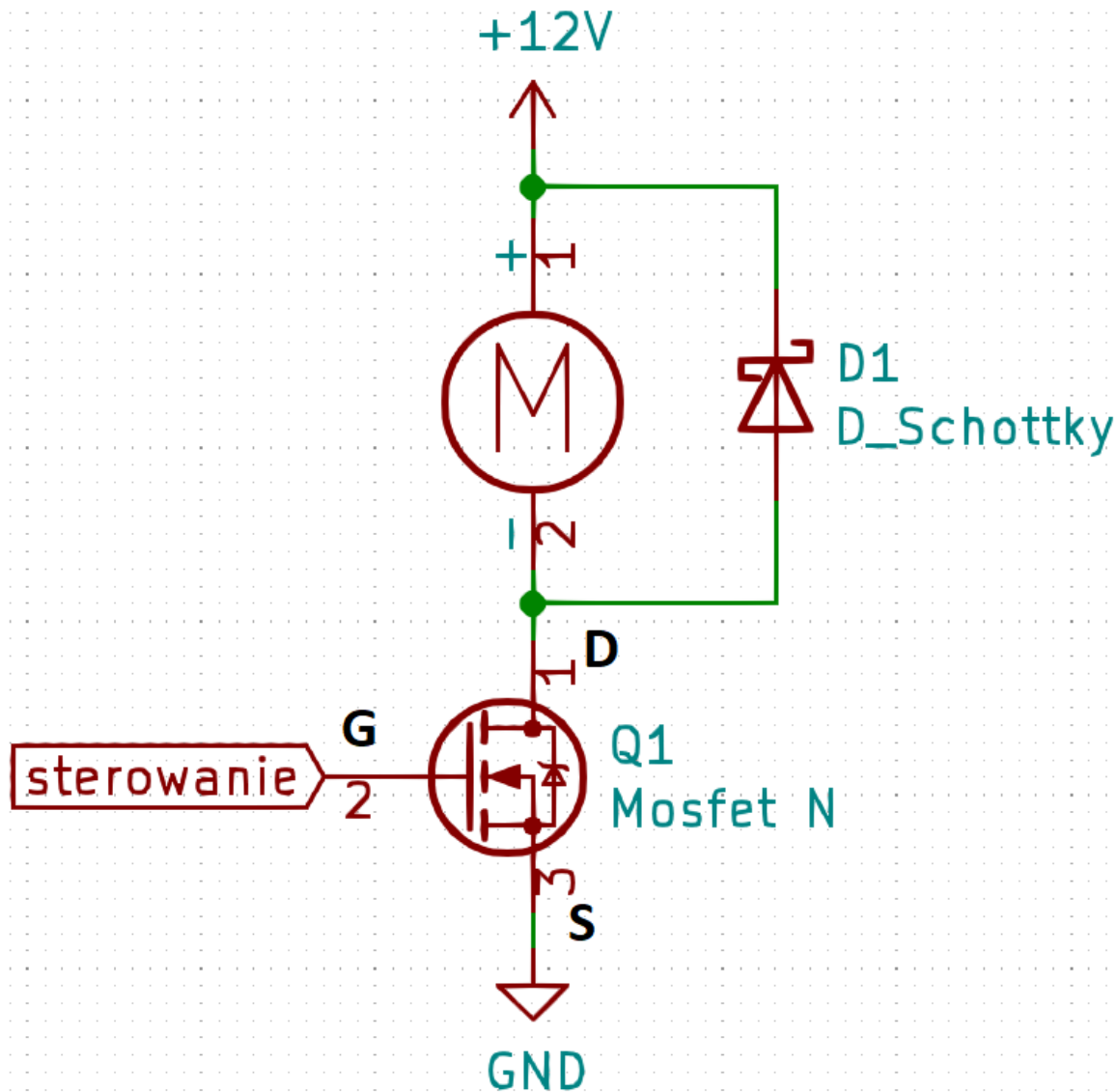
Zabezpieczenie układu „Generowanie szpilki”



Najprostszy układ sterowania silnikiem DC



Najprostszy układ sterowania silnikiem DC



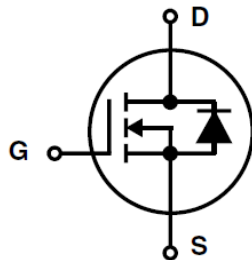
V_{GS} – napięcie sterujące

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

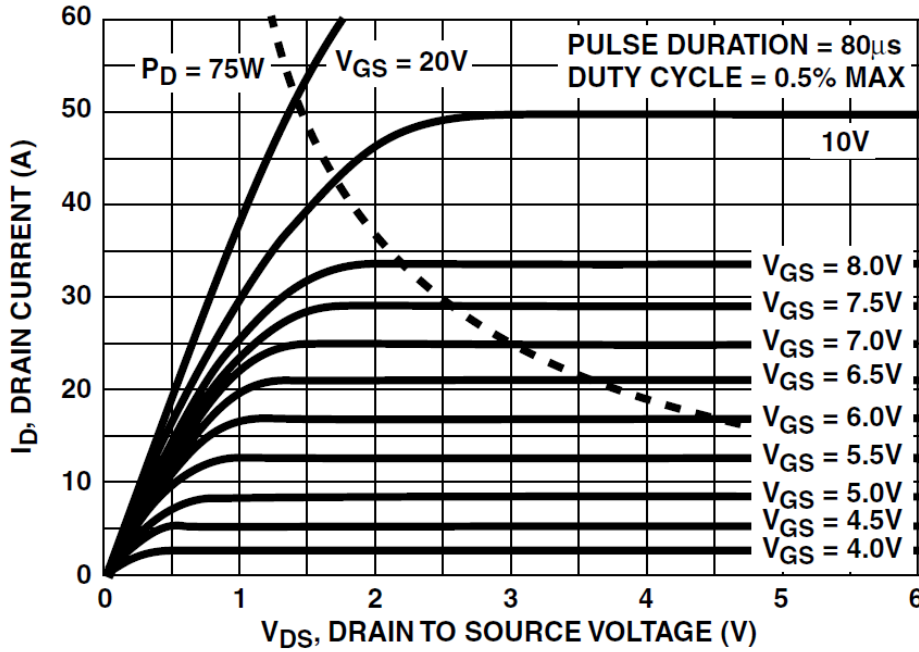
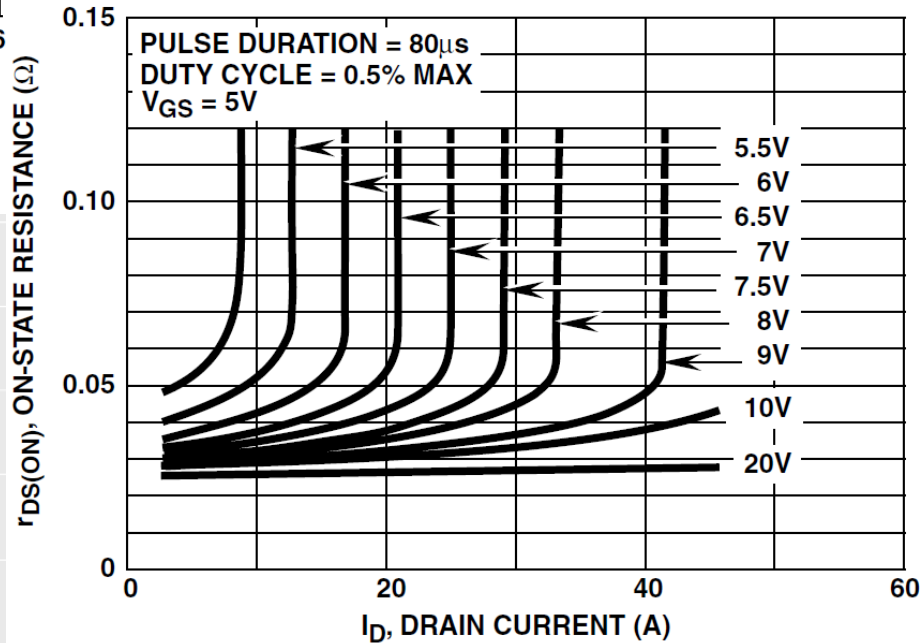
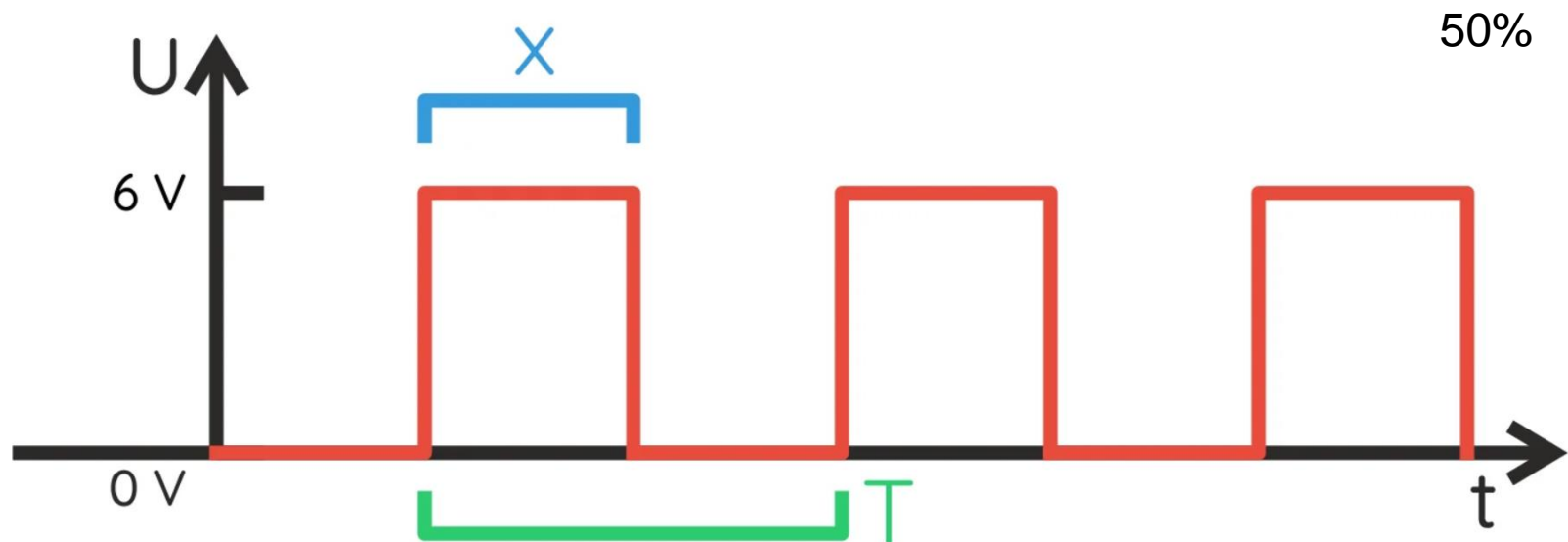


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS



Sterowanie prędkością – PWM

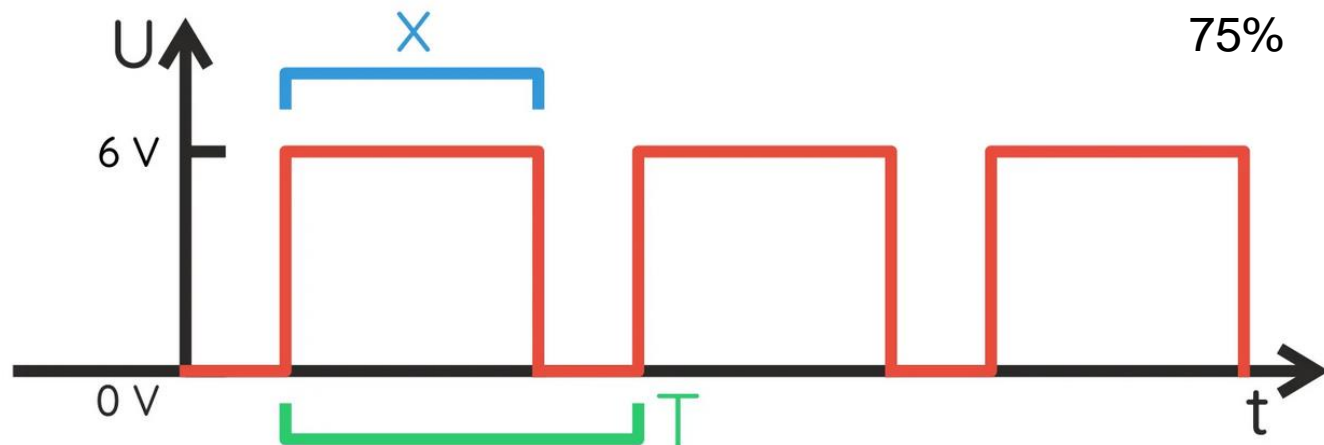
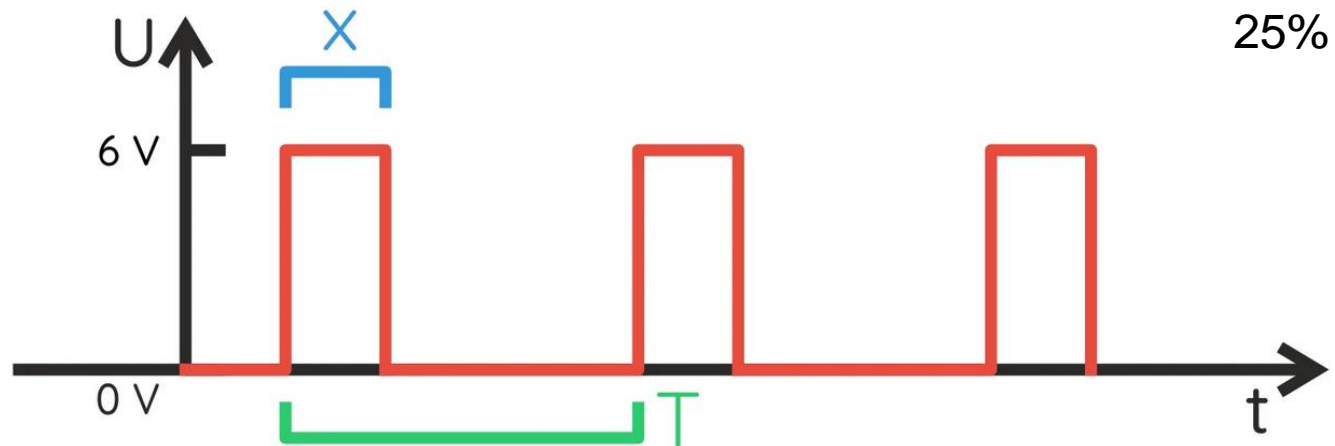


T – okres sygnału

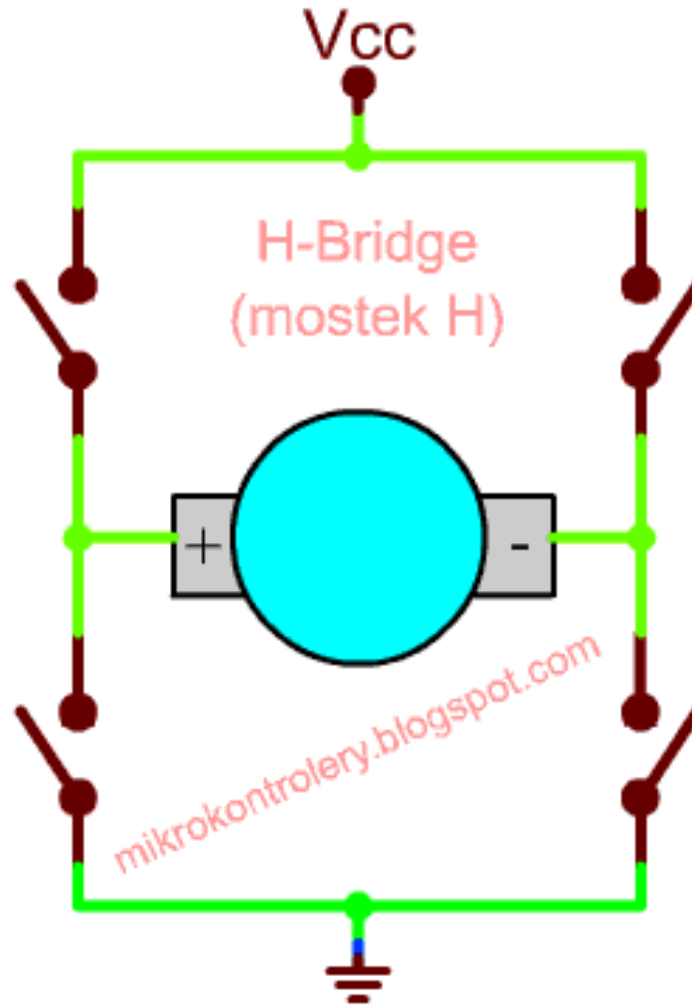
X – wypełnienie sygnału

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

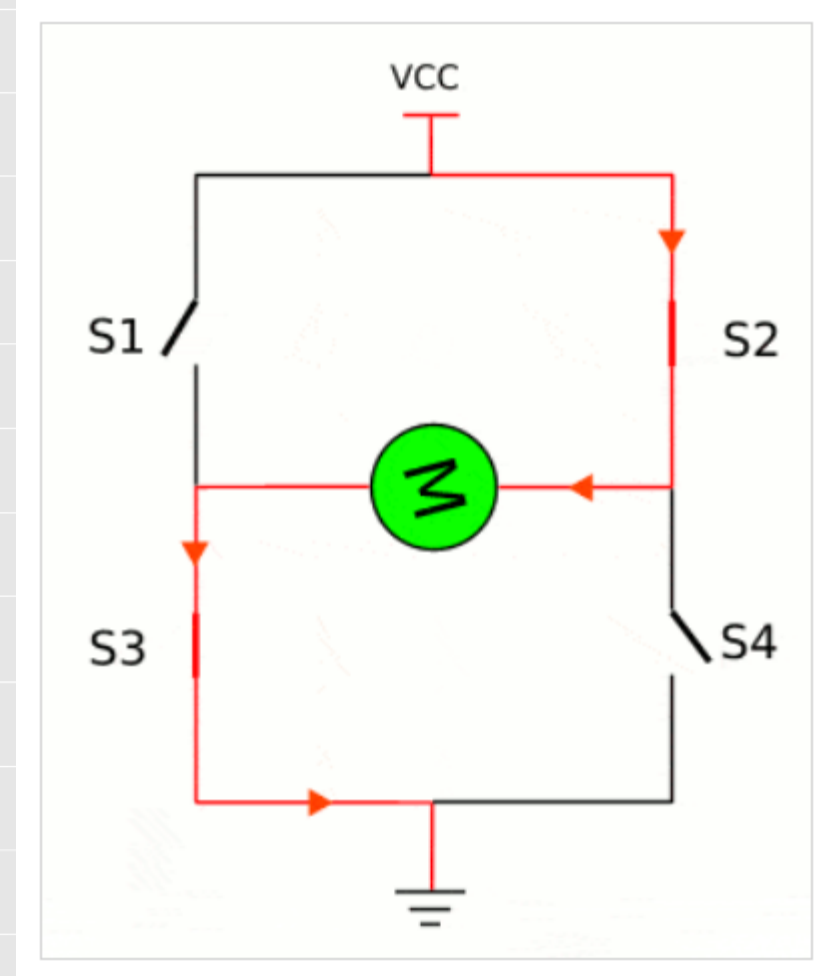
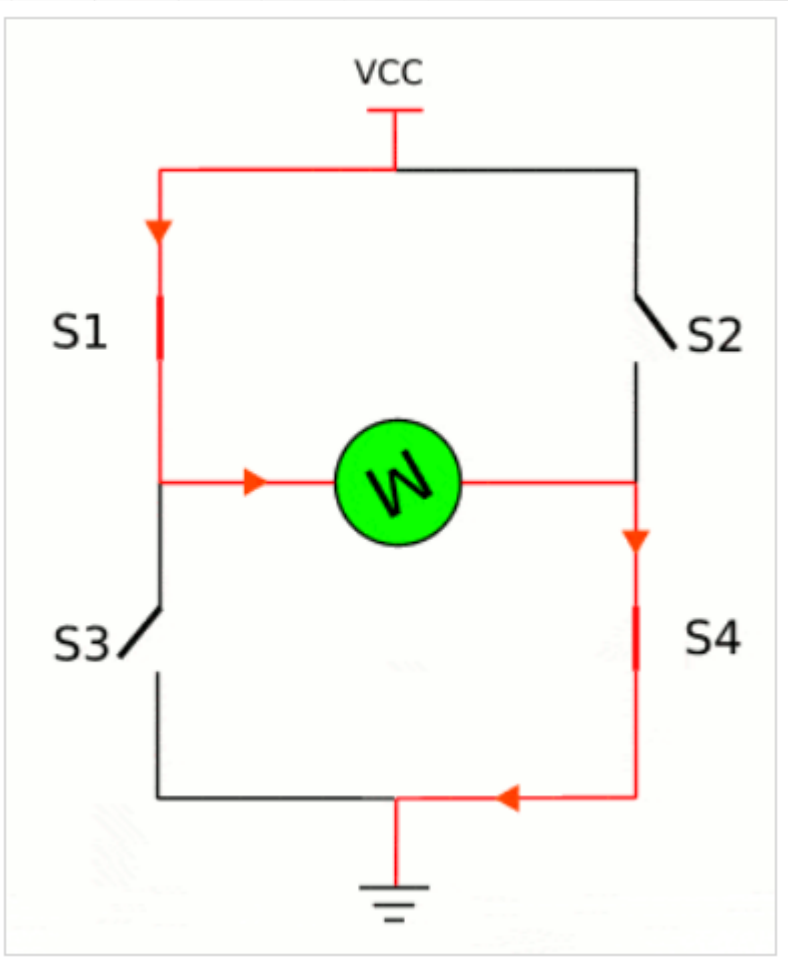
Sterowanie prędkością - PWM



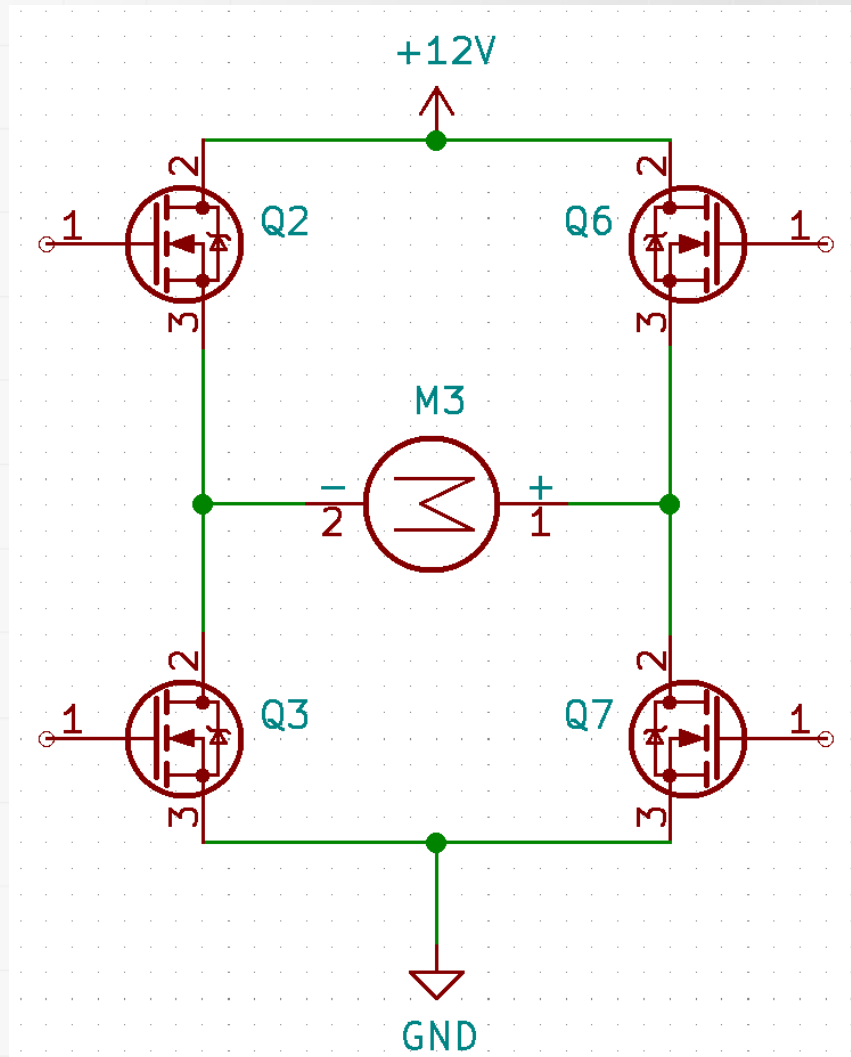
Mostek H



Mostek H



Mostek H



Czego brakuje?

Mostek H

Obroty lewe:

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

Obroty prawe:

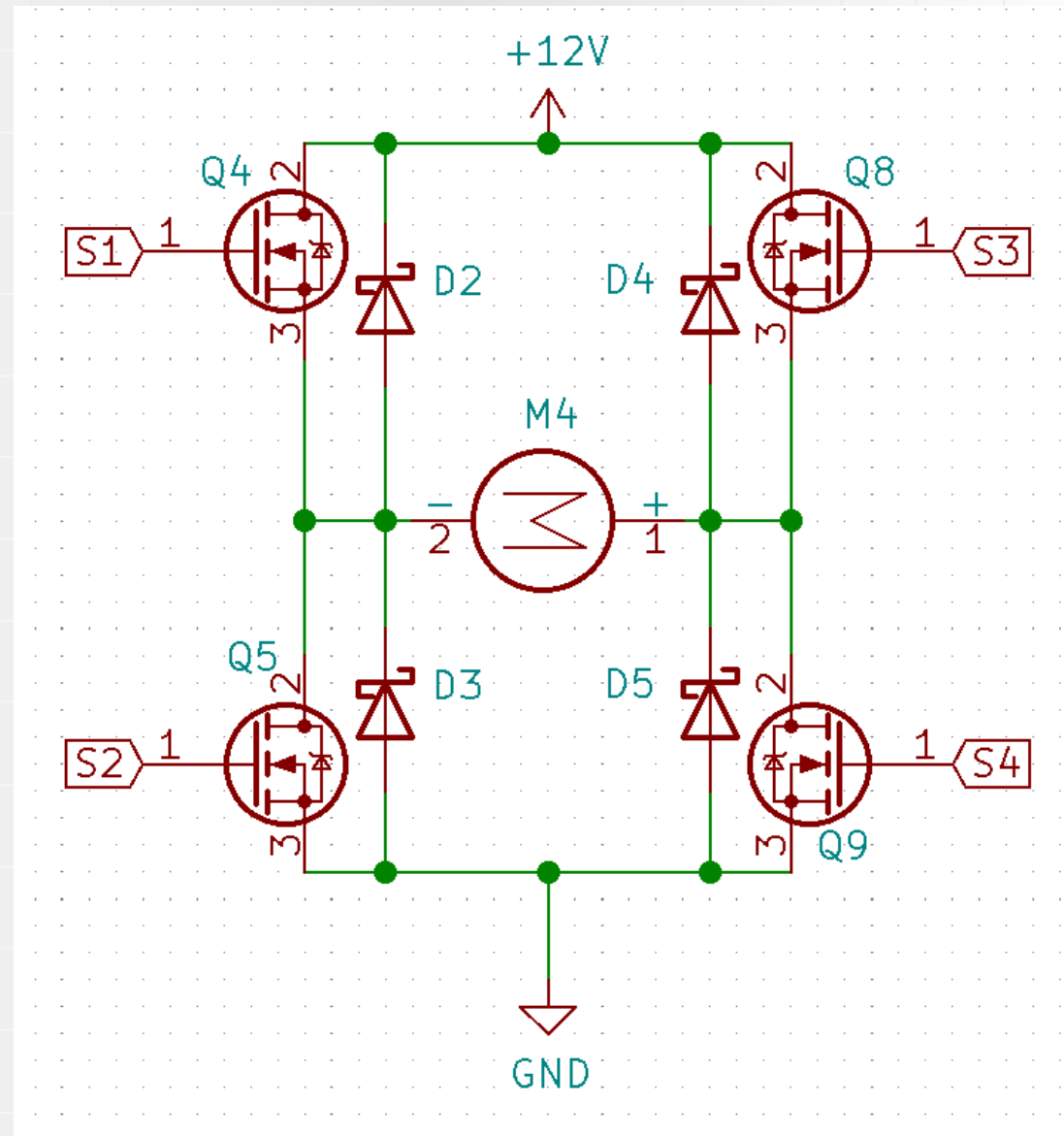
- On: S2 i S3
- Off: S1 i S4

Hamowanie I:

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

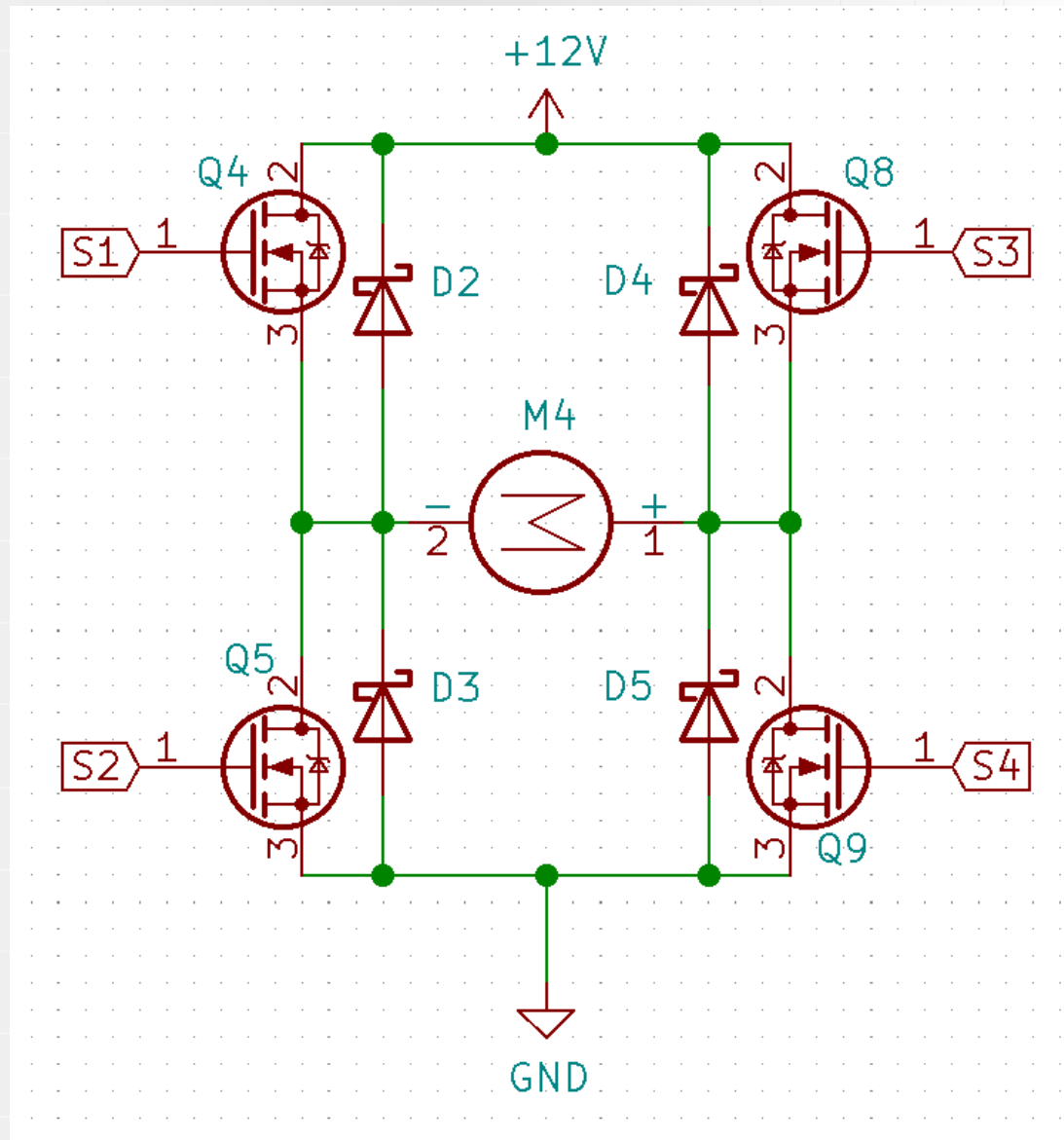
Hamowanie II:

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



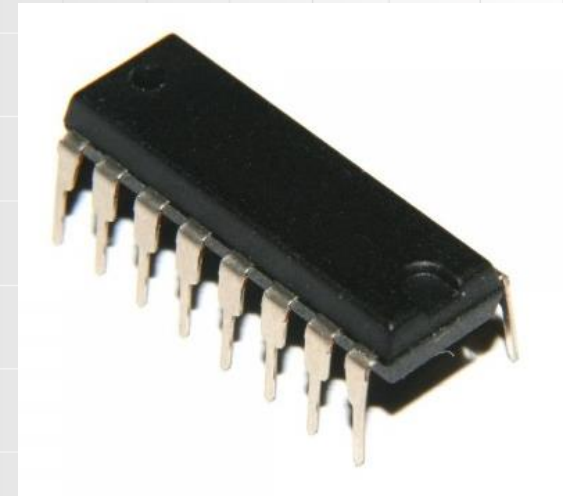
Mostek H

Jakie powinny być
sygnały sterujące?



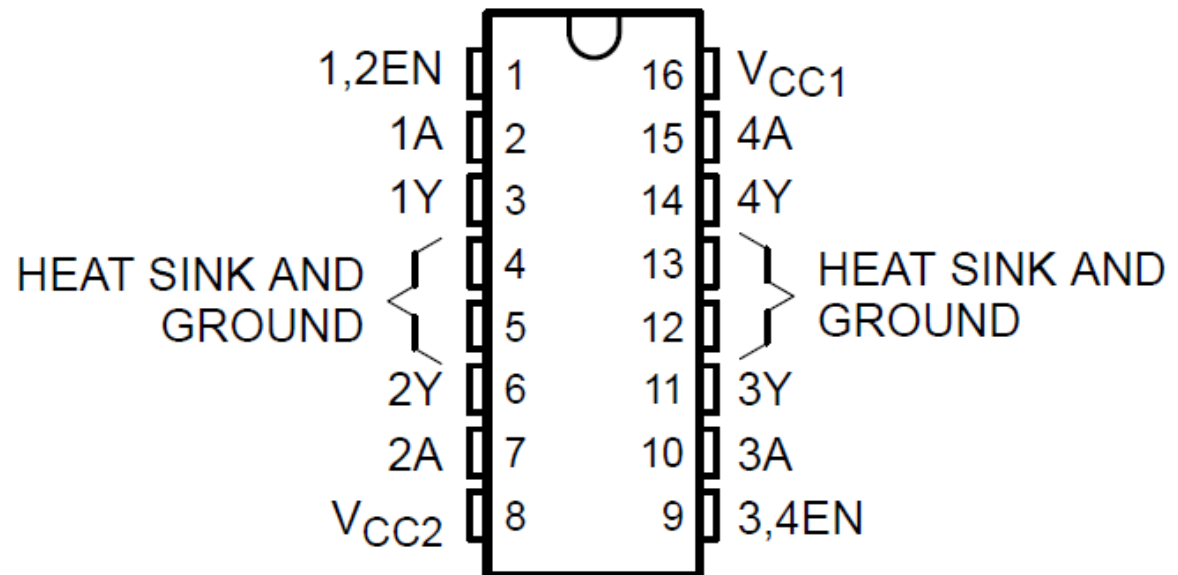
L293D

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

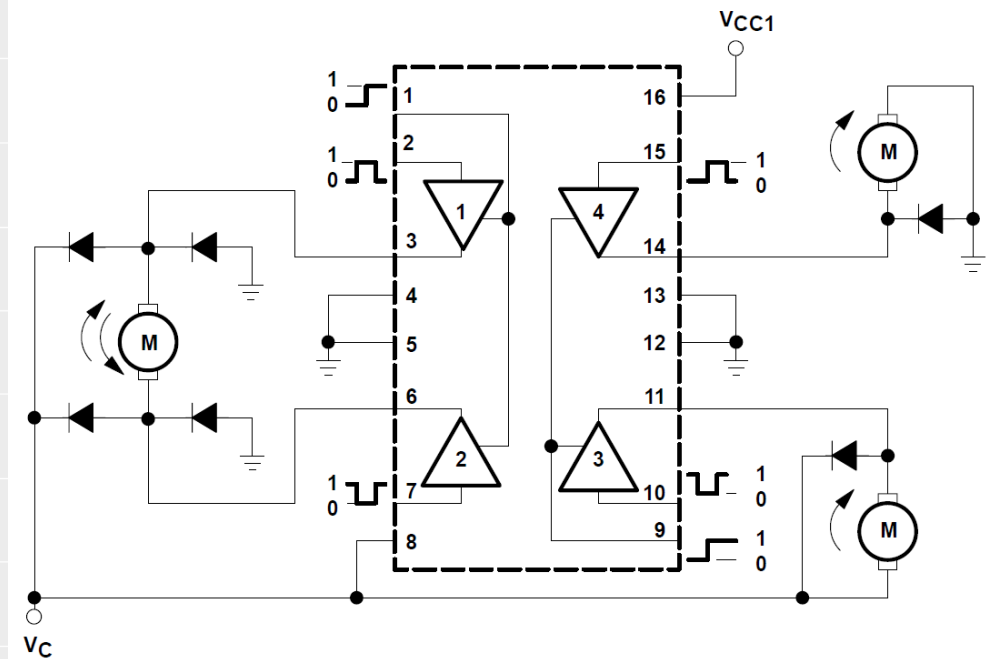


Pin:

- 1,2EN
- 1A
- 2A



L293D

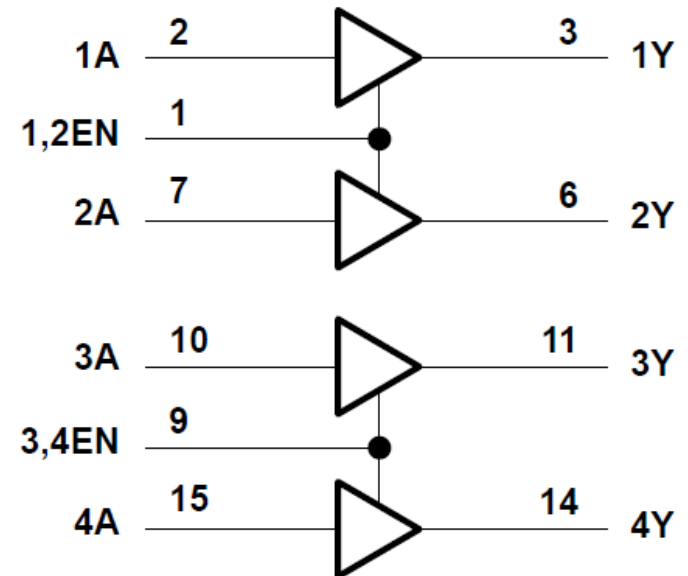


FUNCTION TABLE
(each driver)

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

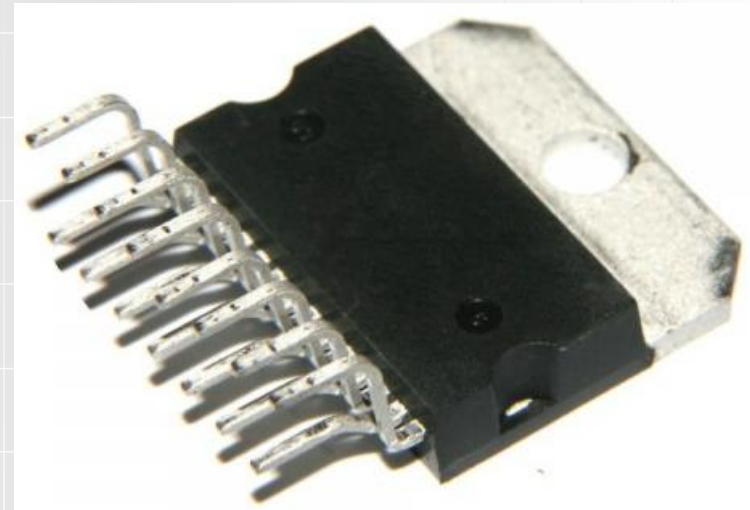
H = high level, L = low level, X = irrelevant,
Z = high impedance (off)

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



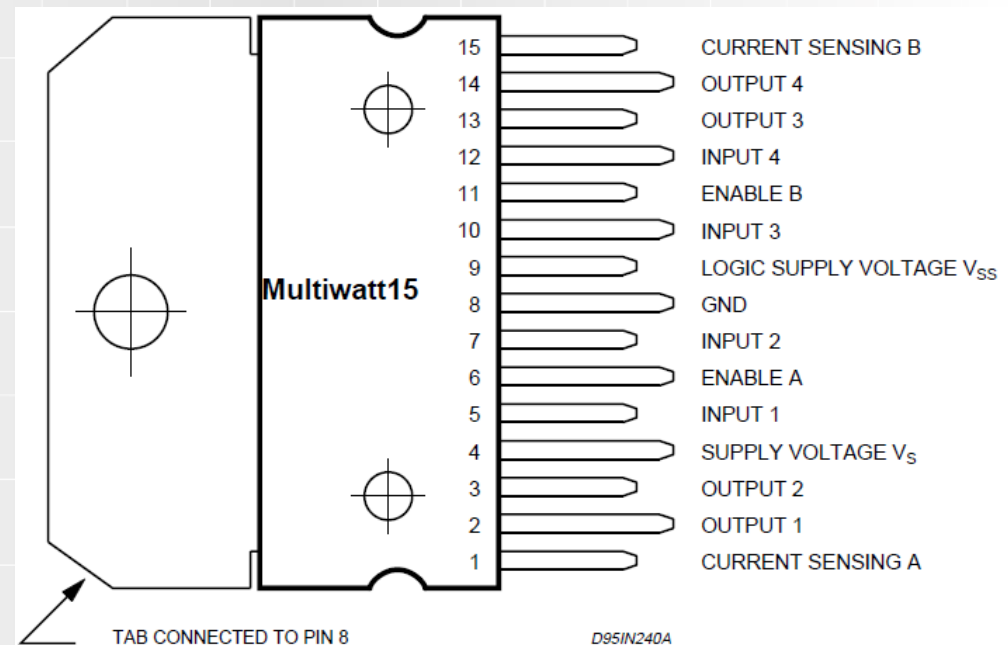
L298

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



Pin:

- INPUT 1
- INPUT 2
- ENABLE A



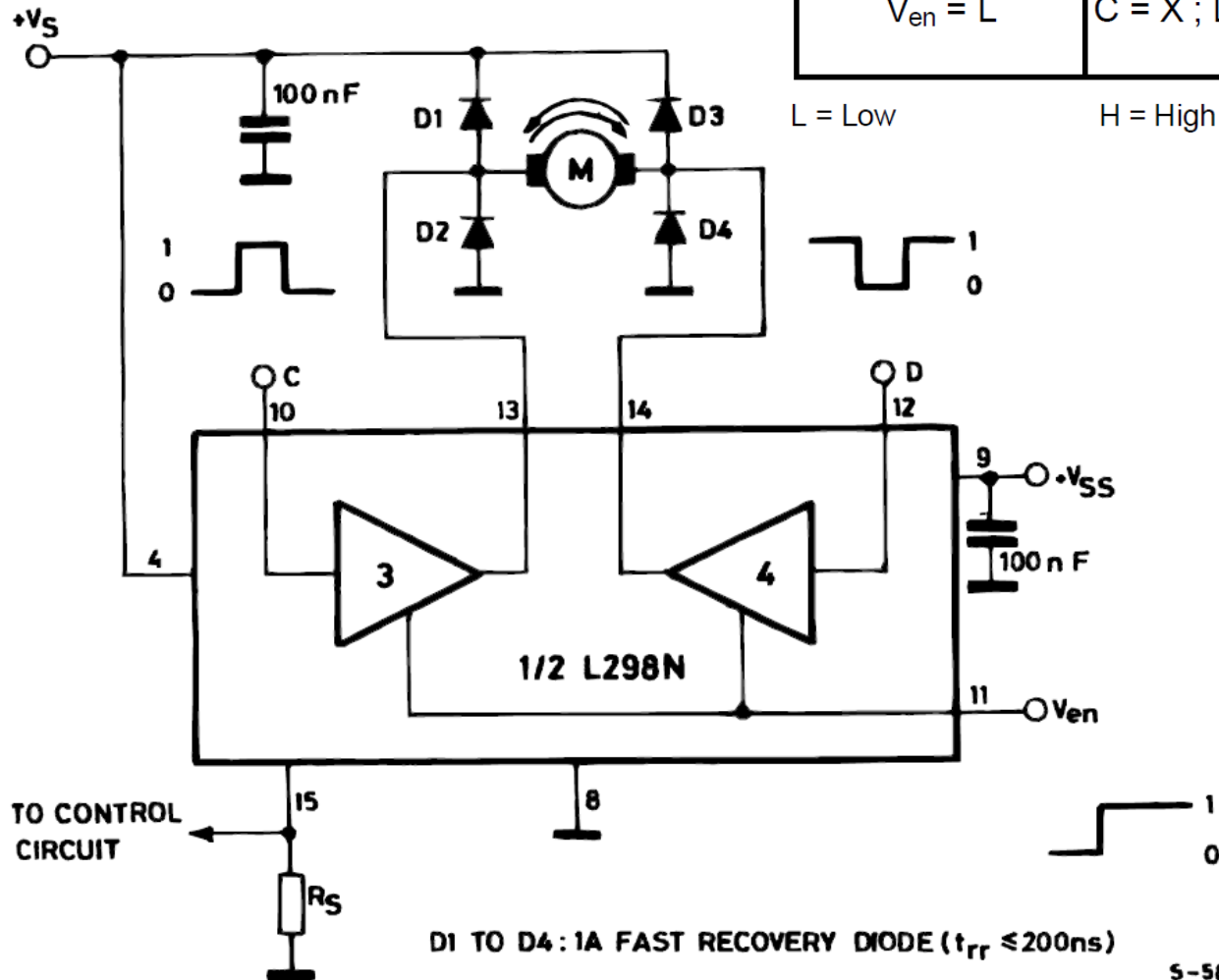
L298

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



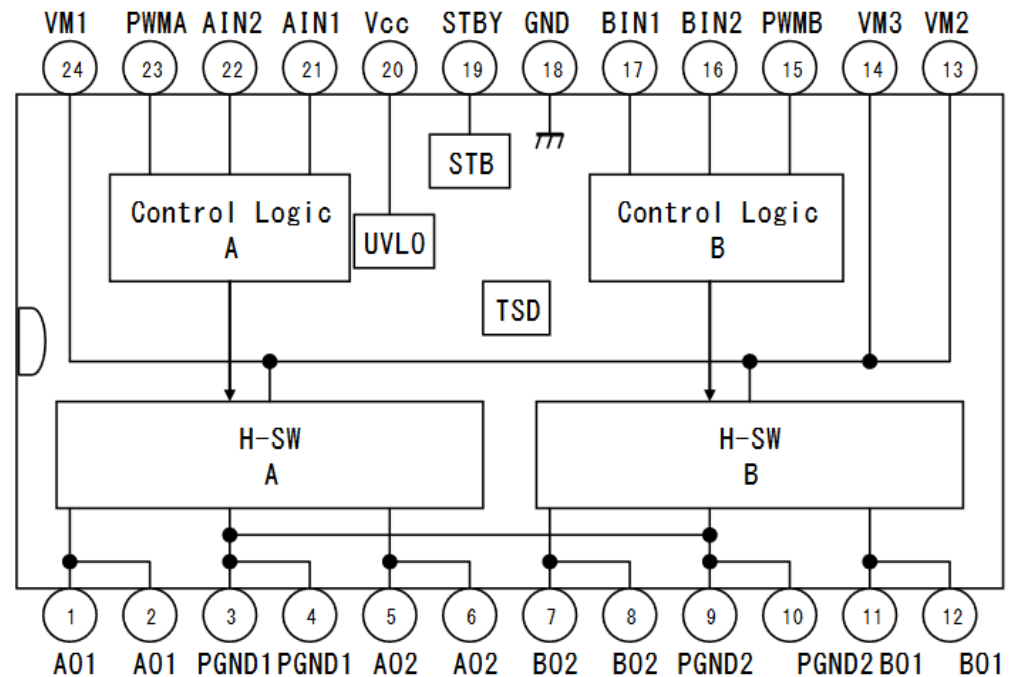
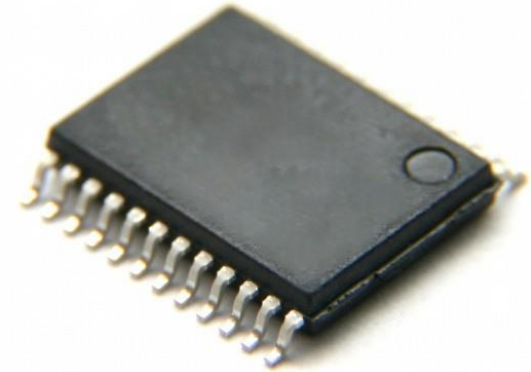
S-58

TB6612

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

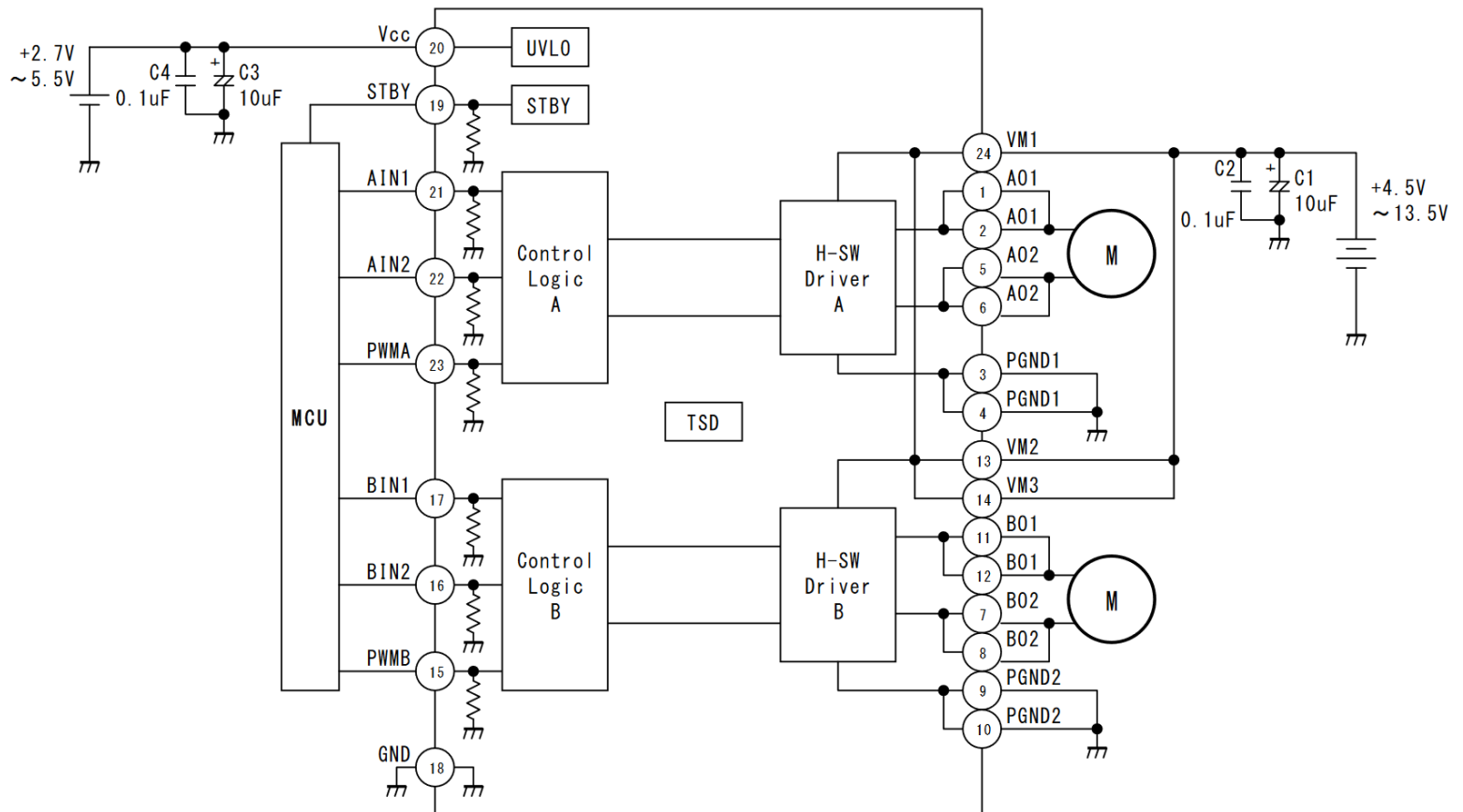
Pin:

- AIN1
- AIN2
- PWM
- STBY



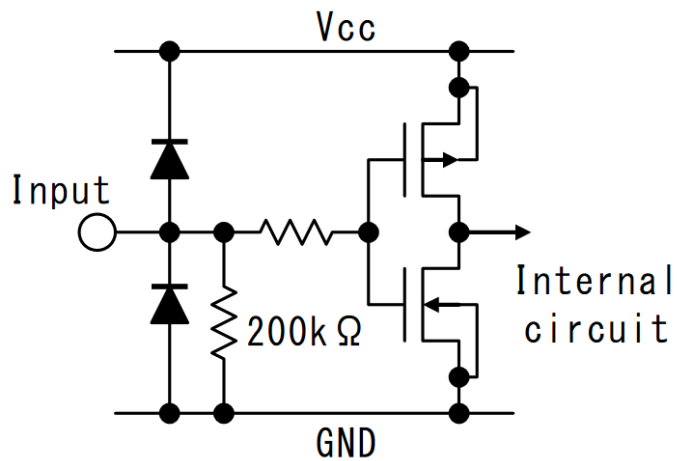
TB6612

Typical Application Diagram

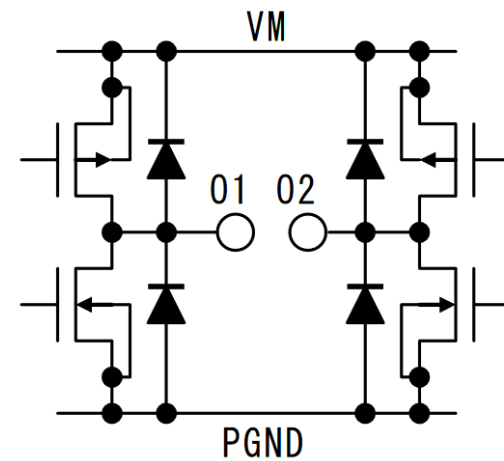


TB6612

Input pin; IN1, IN2, PWM, STBY



Output pin; 01, 02





TB6612

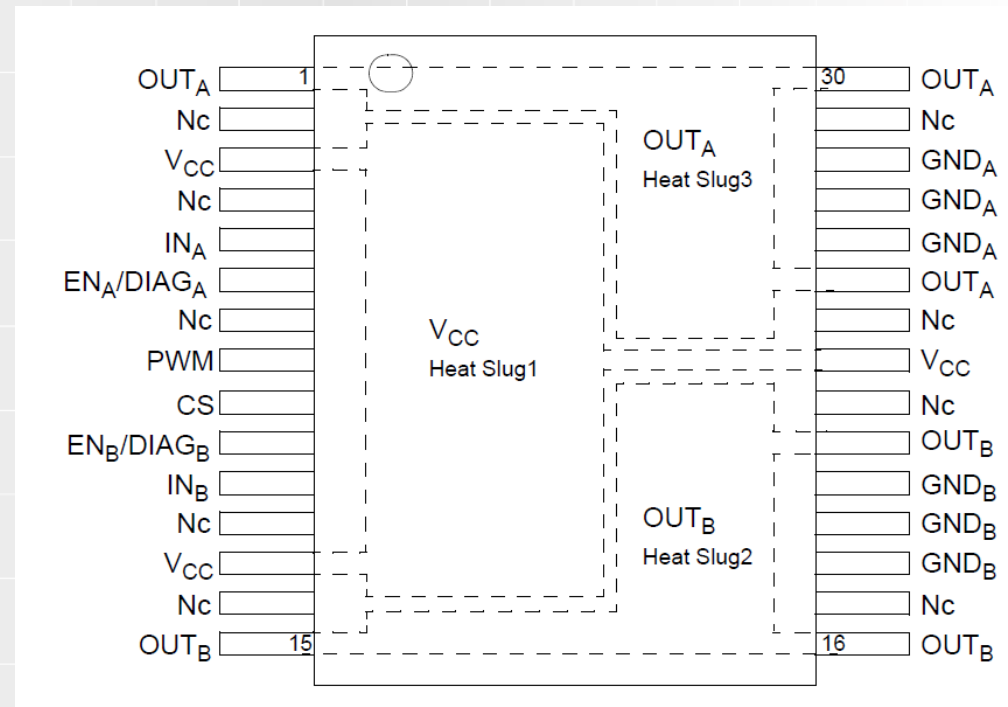
Input				Output		
IN1	IN2	PWM	STBY	OUT1	OUT2	Mode
H	H	H/L	H	L	L	Short brake
L	H	H	H	L	H	CCW
		L	H	L	L	Short brake
H	L	H	H	H	L	CW
		L	H	L	L	Short brake
L	L	H	H	OFF (High impedance)		Stop
H/L	H/L	H/L	L	OFF (High impedance)		Standby

VNH2SP30

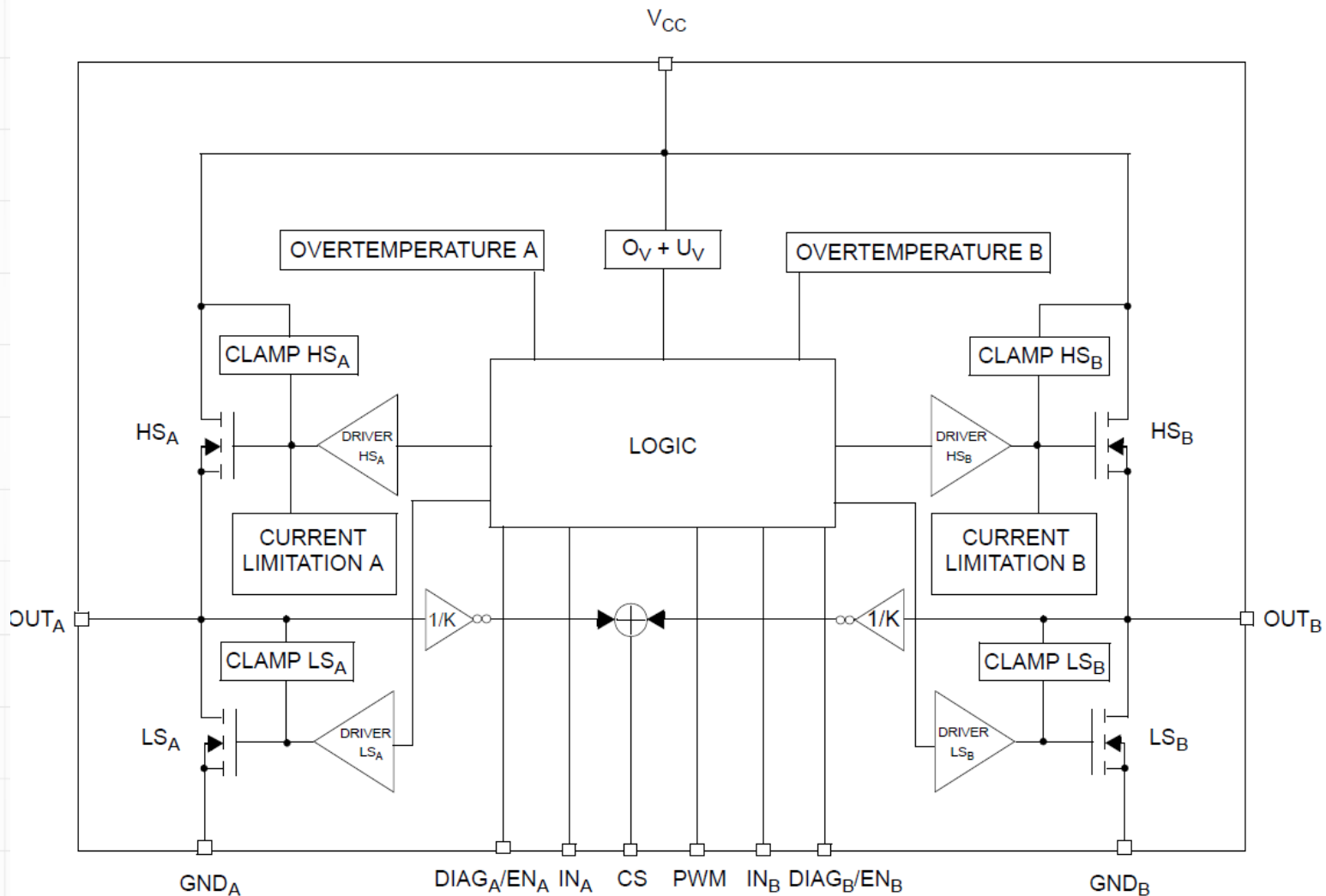
- Ilość kanałów: 1
- Maksymalne napięcie: 41V
- Obudowa: MultiPowerSO-30
- $R_{ds(on)}$: 19m Ω
- Ciągły prąd: 30A

Pin:

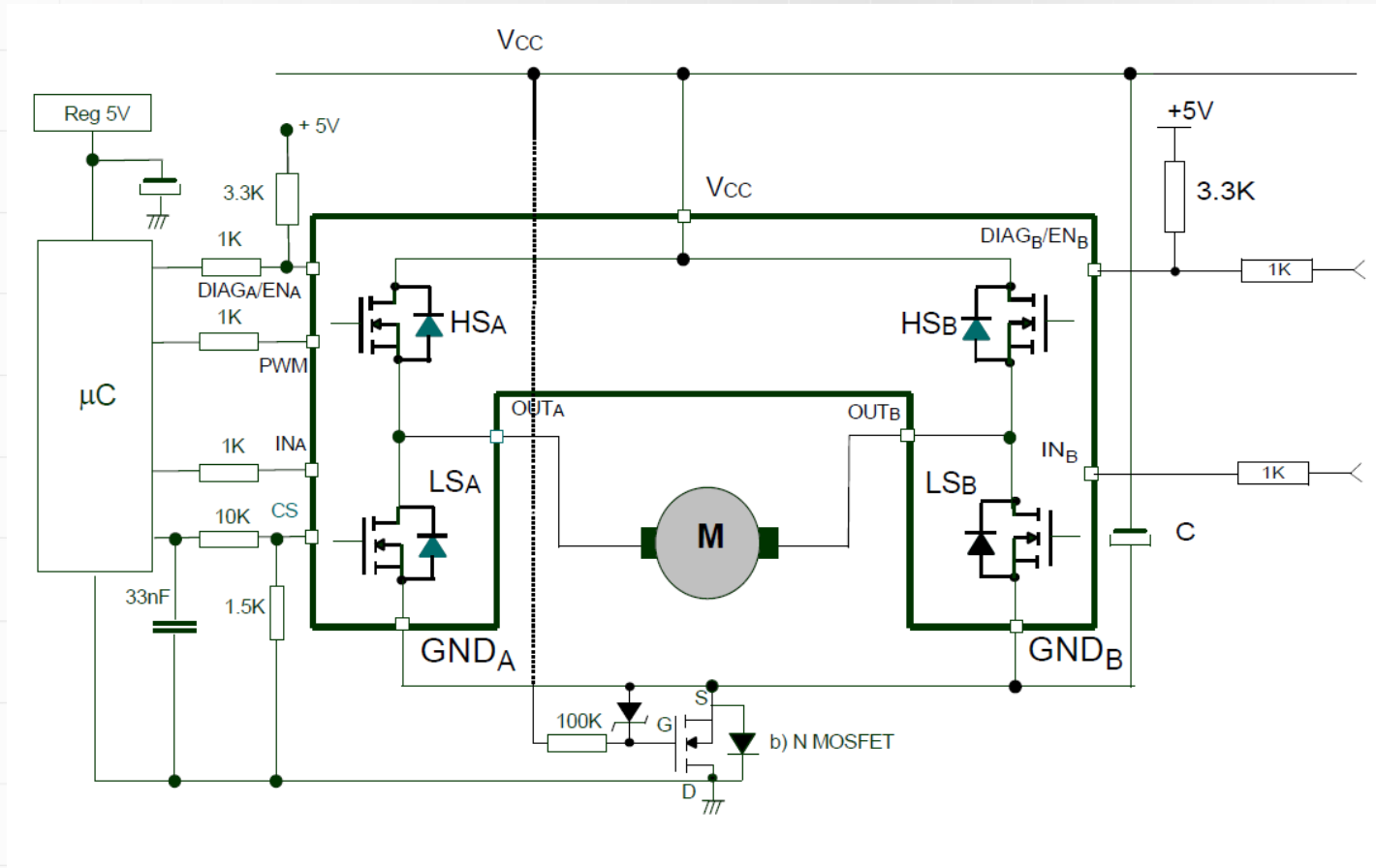
- AIN1
- AIN2
- PWM
- STBY



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	L			H		Counterclockwise (CCW)	
				L	High imp.	Brake to GND	

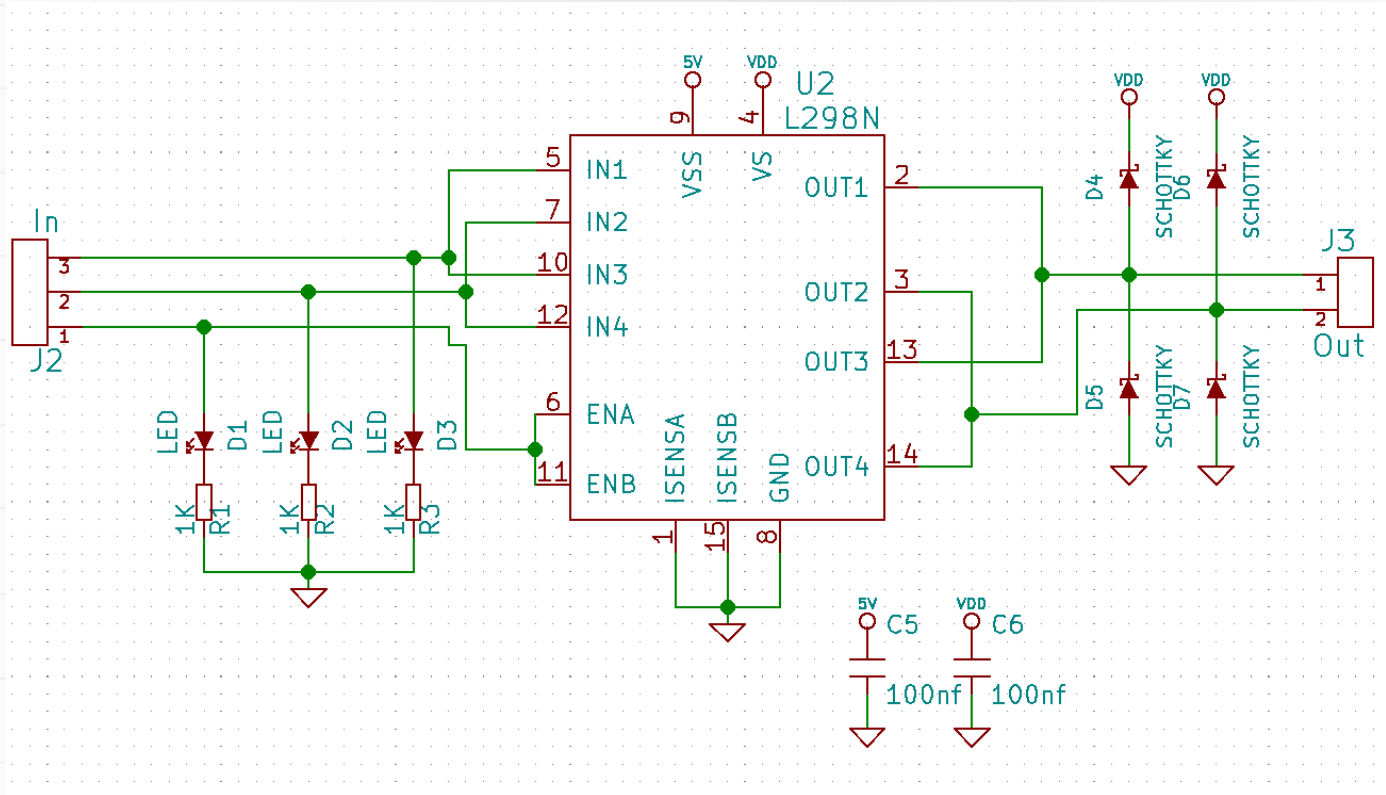


A jak sterować jeszcze większe silniki??

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

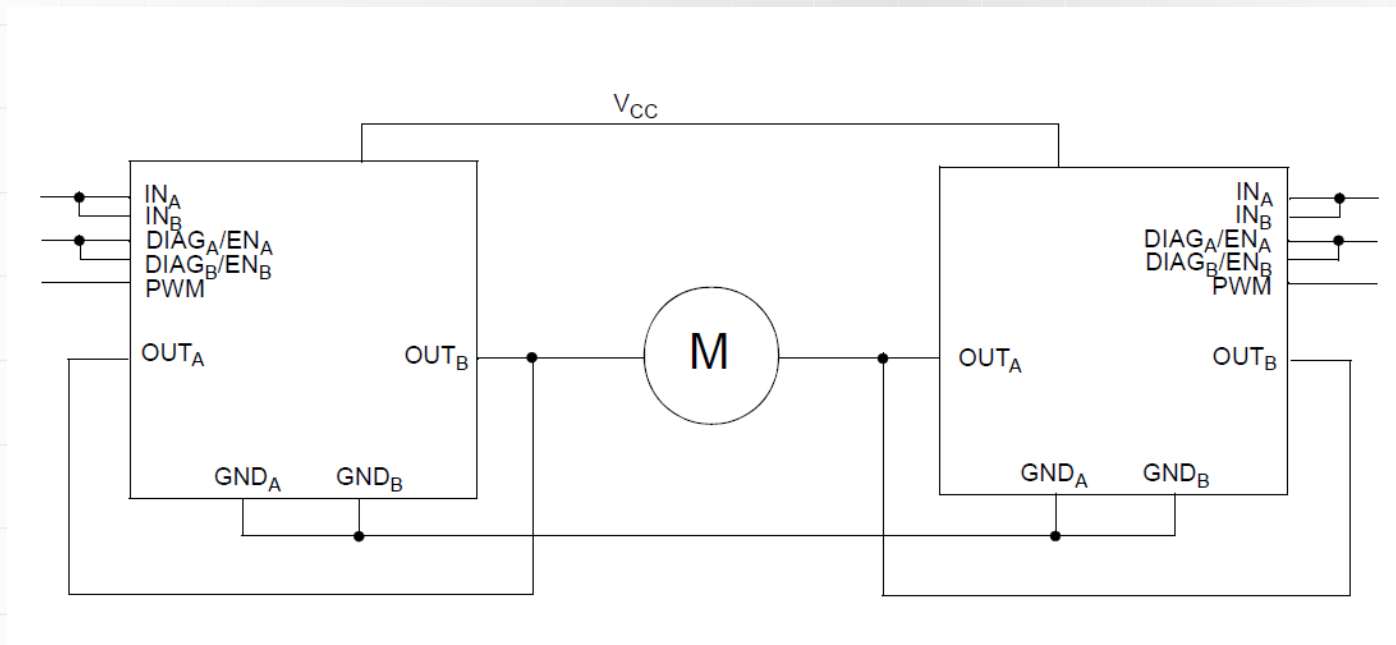
Silniki prądu stałego DC

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

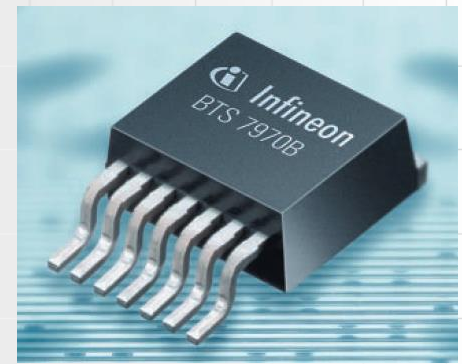


Silniki prądu stałego DC

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



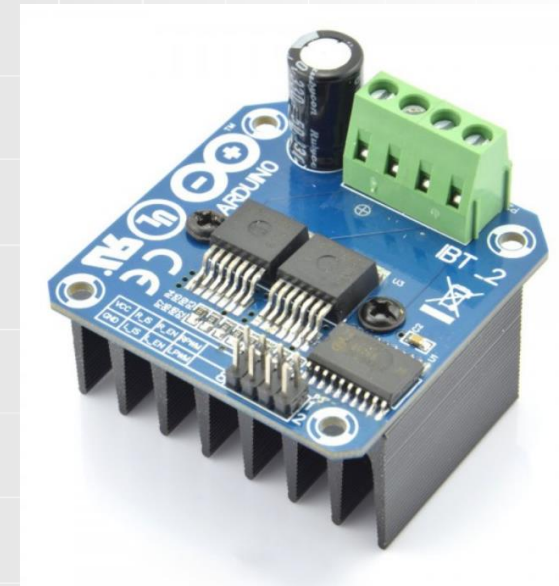
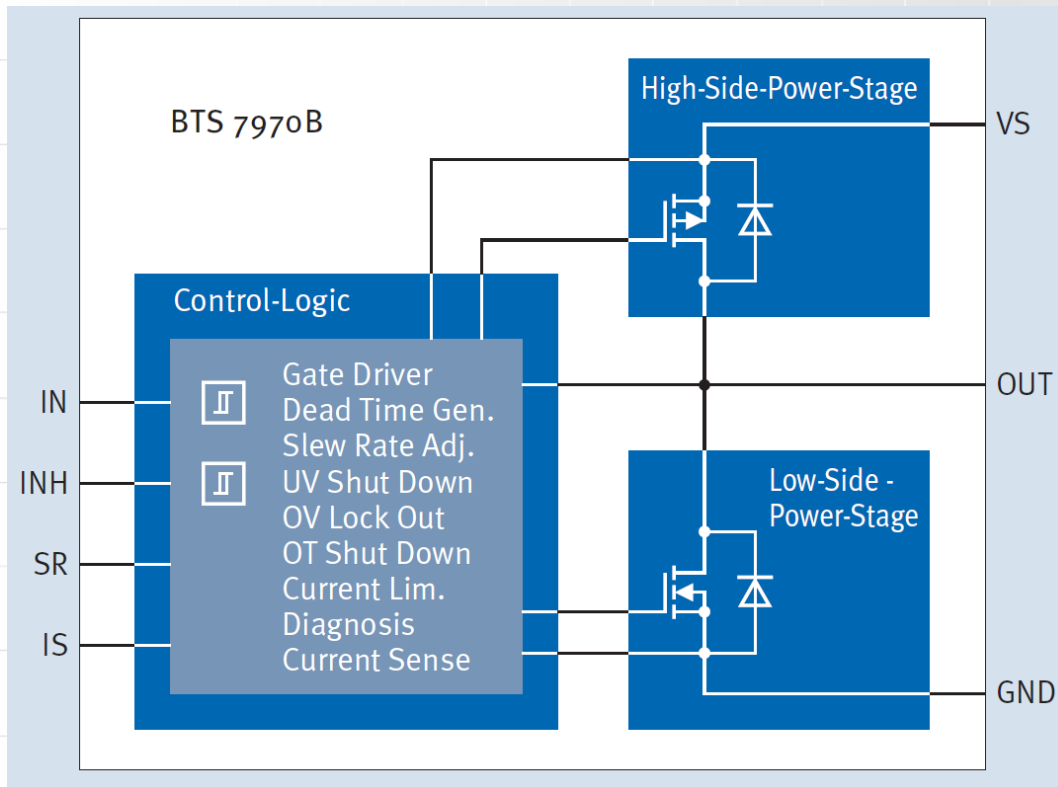
Silniki prądu stałego DC



A jak sterować jeszcze większe silniki??

BTS7970/ BTN8982TA

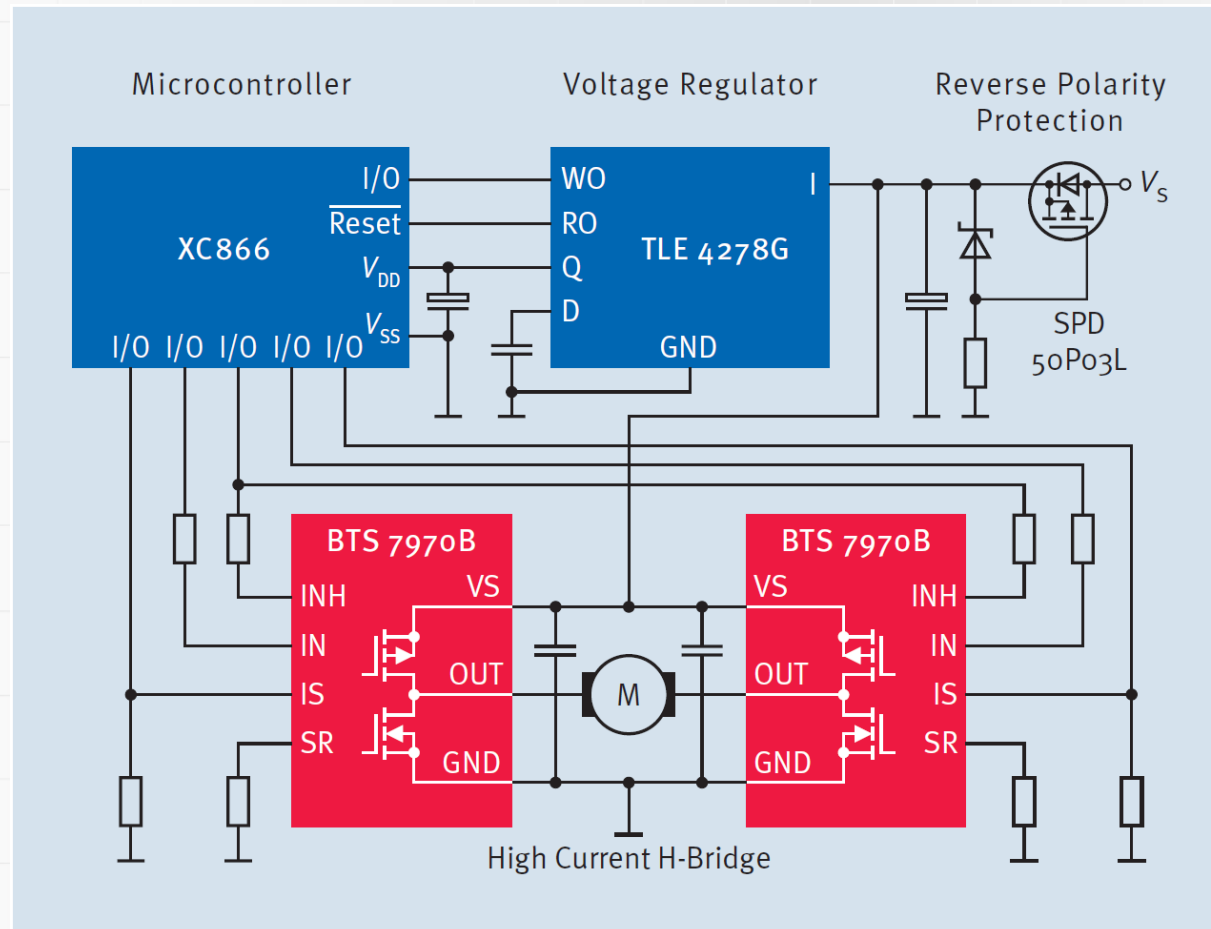
The BTS7970B is a fully integrated high current half bridge for motor drive applications. It is part of the NovalithICTM family containing **one p-channel highside MOSFET** and **one n-channel lowside MOSFET** with an **integrated driver IC** in one package.



Silniki prądu stałego DC

A jak sterować jeszcze większe silniki??

BTS7970/ BTN8982TA



Silniki prądu stałego DC

A jak sterować jeszcze większe silniki??

BTS7970/ BTN8982TA

Device State	Inputs		Outputs			Mode
	INH	IN	HSS	LSS	IS	
Normal Operation	0	X	OFF	OFF	0	Stand-by mode
	1	0	OFF	ON	$I_{IS(offset)}$	LSS active
	1	1	ON	OFF	CS	HSS active
Under-Voltage (UV)	X	X	OFF	OFF	0	UV lockout, reset
Overtemperature (OT) or Short Circuit of HSS or LSS	0	X	OFF	OFF	0	Stand-by mode, reset of latch
	1	X	OFF	OFF	1	Shut-down with latch, error detected
Current Limitation Mode/ Overcurrent (OC)	1	1	OFF	ON	1	Switched mode, error detected ¹⁾
	1	0	ON	OFF	1	Switched mode, error detected ¹⁾

1) Will return to normal operation after t_{CLS} ; Error signal is reset after $2*t_{CLS}$ (see [Chapter 5.3.3](#))



Zagadnienia przy sterowaniu silnikiem DC:

- Sterowanie kierunkiem obrotów
- Sterowanie prędkością obrotową
- Pomiar prądu pobieranego przez silnik

- Dopasowanie napięcia
- Dopasowanie prądu chwilowego i ciągłego silnika
- Generowanie ciepła, zapewnienie chłodzenia
- Praca ciągła, chwilowa
- Generowanie zakłóceń „szpilki”





Zadania

- jaki układ sterowania będzie najlepszy do wybranej aplikacji? Uwzględnij koszt układu, łatwość sterowania, ilość elementów dodatkowych.

Aplikacja 1

Sterowanie pompą wody,
podlewanie kwiatków



Aplikacja 2

Silniczek wibracyjny, wibracja telefon komórkowy



Aplikacja 3

Robot 2WD

sterowanie przemieszczaniem robota



Aplikacja 4

Sterowanie silnikiem rolet, siłownikiem elektrycznym do bramy



- <https://forbot.pl/blog/jak-dzialaja-szczotkowe-silniki-dc-budowa-i-pomiary-id6788>
- <https://forbot.pl/blog/przekladnie-mechaniczne-w-robotyce-id810>
- <http://mikrokontrolery.blogspot.com/2011/03/przekaznik-i-zaklocenia.html>
- <https://forbot.pl/blog/kurs-elektroniki-ii-sterowanie-sygnalem-pwm-id9527>
- <https://forbot.pl/forum/topic/16-teoria-mostek-h-h-bridge-kompendium-dla-robotyka/>
- „Sztuka elektroniki cz. 1 i 2”, Horowitz Paul , Hill Winfield
- „Zasilacze urządzeń elektronicznych”, Joseph J. Carr
- „Podstawy elektroniki”, Augustyn Chwaleba
- Dokumentacje techniczne układów