



## **Enkoder magnetyczny AS5040.**

**Edgar Ostrowski  
Jan Kędzierski**

[www.konar.ict.pwr.wroc.pl](http://www.konar.ict.pwr.wroc.pl)

Wrocław, 28.01.2007

## Spis treści

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Wstęp .....                                  | 3  |
| 2   | Opis wyjść .....                             | 4  |
| 3   | Tryby pracy .....                            | 4  |
| 3.1 | Tryb wyjść kwadraturowych .....              | 4  |
| 3.2 | Tryb wyjść impuls/kierunek .....             | 5  |
| 3.3 | Tryb komutatora silnika typu brushless ..... | 6  |
| 3.4 | Wyjście PWM.....                             | 7  |
| 4   | Odczyt danych .....                          | 7  |
| 5   | Programowanie.....                           | 8  |
| 6   | Układ zasilania .....                        | 10 |
| 7   | Montaż magnesu.....                          | 10 |
| 8   | Literatura .....                             | 12 |

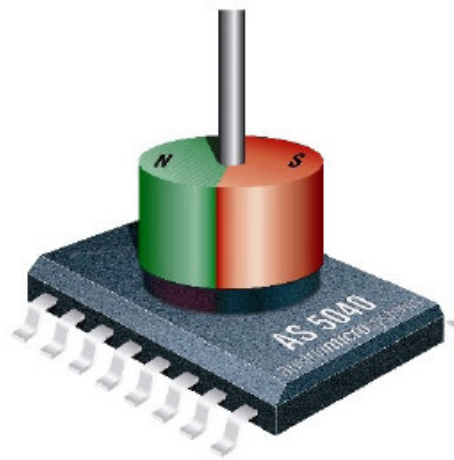
*Niniejszy raport przedstawia opis magnetycznego enkodera firmy AustriaMicroSystems AS5040[1]. Poniżej opisano bardzo skrótowo tryby pracy czujnika oraz zasady programowania. Dla zainteresowanych układem polecamy jednak lekturę oryginalnej dokumentacji [1]. Poniższy opis potraktować można jako pomoc w zrozumieniu pewnych zagadnień.*

## 1 Wstęp

Czujnik ten doskonale nadaje się do zastosowań w robotyce do pomiarów prędkości obrotowej oraz położenia osi napędowych. Układ ten dostarcza kilka trybów pracy oraz pozwala na zmianę ich parametrów. Jest jednym z najmniejszych magnetycznych czujników obrotu na świecie. Wewnątrz struktury układu znajduje się procesor połączony z matrycą czujników pola magnetycznego, czujników Hall'a. Dzięki specjalnemu algorytmowi procesor potrafi określić położenie linii sił pola magnetycznego (biegnących pomiędzy biegunami magnesu) względem owej struktury.

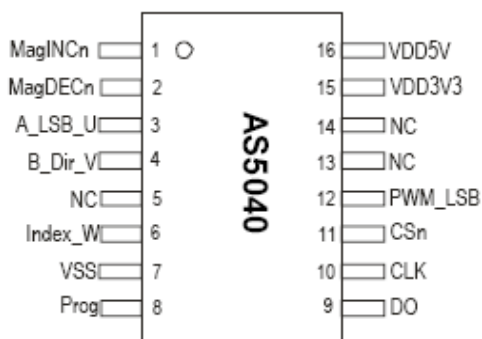
### Głównymi zaletami układu są

- Pomiar bezkontaktowy
- Programowalna rozdzielczość w zakresie 7-10 bitów (10 bitów daje 512 impulsów na obrót,  $0,35^\circ$  na impuls).
- Praca w trybie wyjść kwadraturowych
- Praca w trybie impuls/kierunek
- Praca w trybie komutatora silników brushless
- Napięcie zasilania 3,3V oraz 5V
- Synchroniczny szeregowy interfejs komunikacyjny
- Niezależne wyjście PWM, gdzie wypełnienie jest proporcjonalne do kąta obrotu
- Niezależne wyjście indeksujące o programowalnej szerokości oraz pozycji wystąpienia
- Dokładny pomiar przy obrotach dochodzących do 10tyś/min
- Możliwość wykrycia zmiany odległości magnesu od czujnika (wykorzystanie np. jako przycisk)



Rysunek 1 – Układ AS5040.

## 2 Opis wyjść



Rysunek 2 – Opis wyjść układu.

| Pin nr | Nazwa sygnału | Opis   |
|--------|---------------|--|
| 1      | MagINCn       | Stan aktywny – niski. Występuje gdy odległość magnesu od czujnika się zmniejszy                              |
| 2      | MagDECn       | Stan aktywny – niski. Występuje gdy odległość magnesu od czujnika się zwiększy                               |
| 3      | A_LSB_U       | Tryb 1: Kanał A (wyj. kwadraturowe)<br>Tryb 2: Impuls (impuls/kierunek)<br>Tryb 3: 1-sza faza U (komutator)  |
| 4      | B_Dir_V       | Tryb 1: Kanał B (wyj. kwadraturowe)<br>Tryb 2: Kierunek (impuls/kierunek)<br>Tryb 3: 2-ga faza V (komutator) |
| 5      | NC            | Nie wykorzystane   |
| 6      | Index_W       | Tryb 1, 2: Impuls indeksujący<br>Tryb 3: 3-cia faza W (komutator)  |
| 7      | Vss           | Masa   |
| 8      | Prog          | Wejście napięcia programującego  |
| 9      | DO            | Wyjście danych szeregowego interfejsu komunikacyjnego  |
| 10     | CLK           | Wejście zegara szeregowego interfejsu komunikacyjnego  |
| 11     | CSn           | Wyjście oscylatora   |
| 12     | PWM_LSB       | Tryb 1, 2: Wyjście PWM 1kHz<br>Tryb 3: LSB (Impuls)  |
| 13     | NC            | Nie wykorzystane   |
| 14     | NC            | Nie wykorzystane   |
| 15     | VDD3V3        | Napięcie zasilające 3V3  |
| 16     | VDD5V         | Napięcie zasilające 5V   |

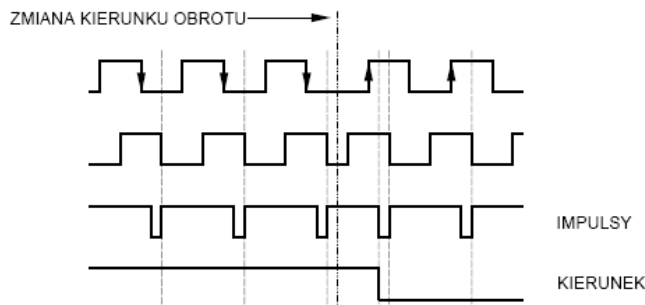
Tabela nr 1 – Opis wyprowadzeń układu.

## 3 Opis trybów pracy

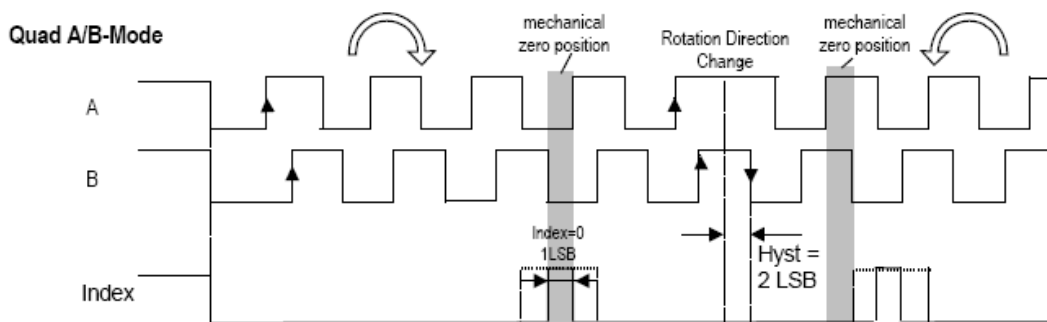
### 3.1 Tryb 1 (domyślny) – wyjścia kwadraturowe

Jest to tryb w którym wyjścia 3,4 pracują jako wyjścia kwadraturowe. Czyli dwa przesunięte względem siebie przebiegi kwadratowe. Przesunięcie to wynosi ok.  $\frac{1}{4}$  całego okresu generowanego na wyjściu układu. Dzięki temu możliwe jest odczytanie kierunku oraz prędkości. Zasada pomiaru polega za zliczaniu w równych odstępach czasowych impulsów

jednego z wyjść. Kierunek natomiast odczytujemy badając stan drugiego wyjścia w trakcie zbocza opadającego pierwszego wyjścia. Wyjście INDEX uaktywnia się wtedy kiedy oś obrotu jest w zerowej pozycji. Pozycję zero można zaprogramować.



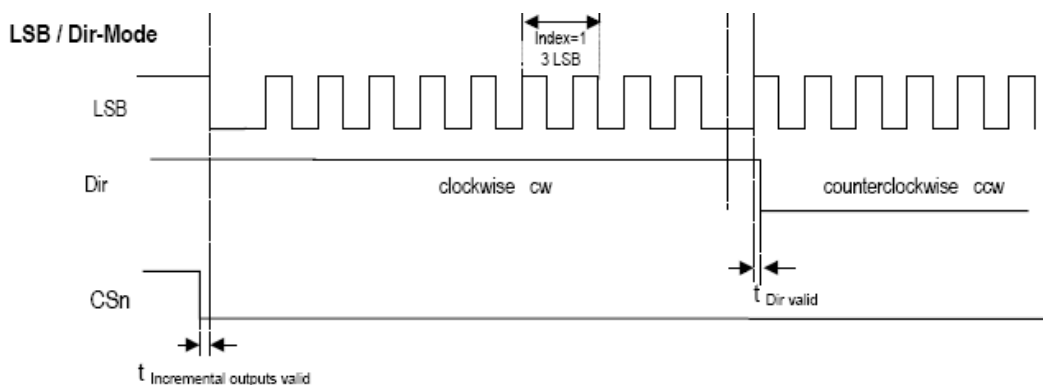
Rysunek 3 – Zasada interpretacji wyjść kwadraturowych.



Rysunek 4 – Wyjścia kwadraturowe.

### 3.2 Tryb 2 - wyjścia impuls/kierunek

W tym trybie wyjścia 3,4 pracują zupełnie inaczej. Na jednym pojawiają się impulsy z częstotliwością proporcjonalną do prędkości, a na drugim wyjściu stan 0 lub 1 który „mówi” o kierunku obrotu magnesu. Wyjście INDEX uaktywnia się wtedy kiedy oś obrotu jest w zerowej pozycji. Pozycję zero można zaprogramować.



Rysunek 5 – Wyjścia impuls/kierunek.

### 3.3 Tryb 3 - Wyjścia sterujące elektronicznym komutatorem silników typu brushless.

Silniki bezszczotkowe charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami. Wymagają jednak nieco skomplikowanego sterowania. Ponieważ rotorem takich napędów jest magnes a stojanem cewki, prąd dostarczany do cewek powinien płynąć odpowiednio do pozycji rotora. Wykorzystując do tego trzeci tryb pracy opisywanego enkodera można zadawać sterowanie jak w tradycyjnych silnikach prądu stałego.

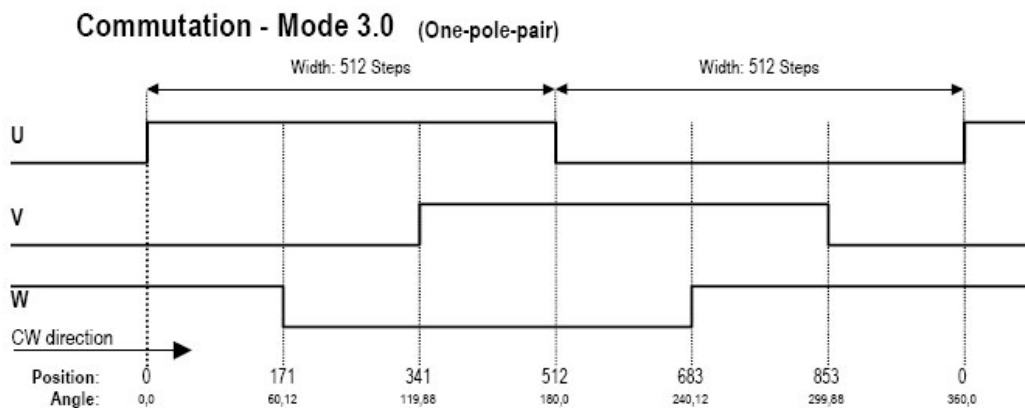
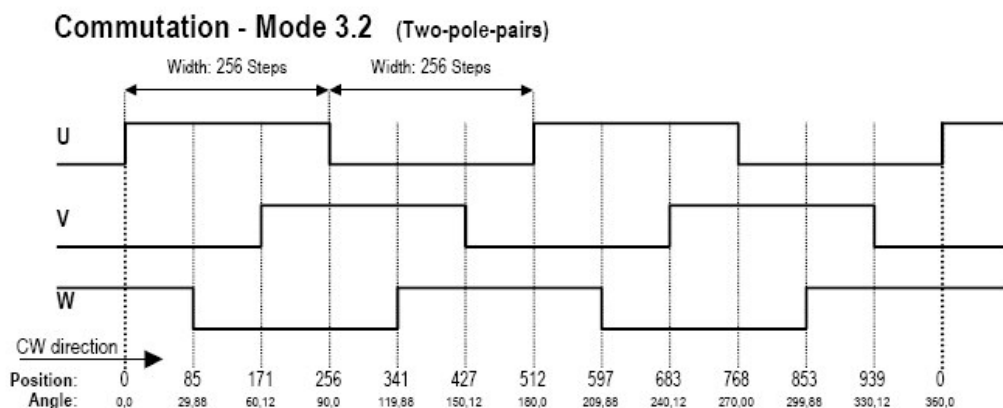


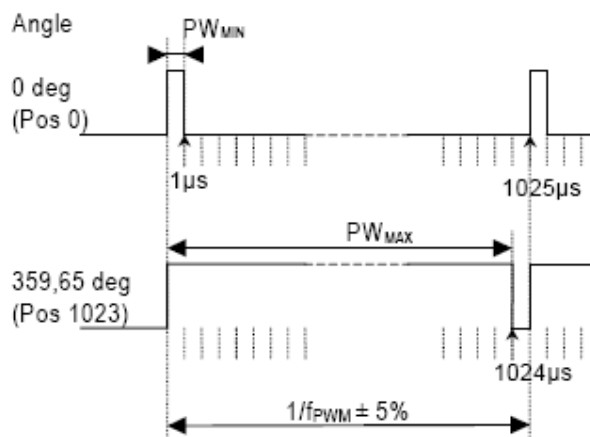
Figure 9: U, V and W-signals for BLDC motor commutation (Div1 = 0; Div0 = 0)



Rysunek 6 – Wyjścia UVW do sterowania silników bezszczotkowych (jedno i dwu biegunowe).

### 3.4 Wyjście PWM.

Układ posiada również wyjście PWM dostarczającego przebiegu o stałej częstotliwości, ale o zmiennym, zależnym od położenia magnesu współczynniku położenia. Używając dodatkowo filtra dolnoprzepustowego, można uzyskać analogowy sygnał proporcjonalny do prędkości obrotowej.



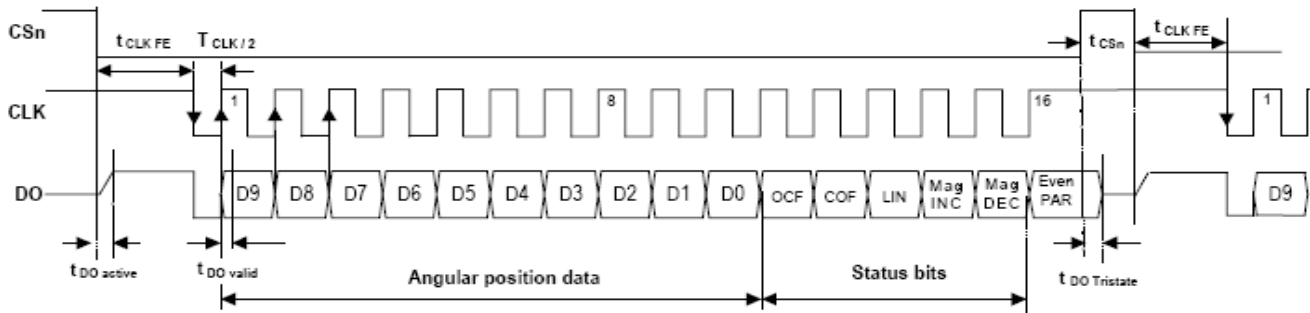
Rysunek 7 – Wyjście PWM.

| Parameter       | Symbol            | Typ    | Unit          | Note                                   |
|-----------------|-------------------|--------|---------------|--|
| PWM frequency   | $f_{\text{PWM}}$  | 0.9756 | kHz           | Signal period: 1025 $\mu\text{s}$      |
| MIN pulse width | $PW_{\text{MIN}}$ | 1      | $\mu\text{s}$ | - Position 0d<br>- Angle 0 deg         |
| MAX pulse width | $PW_{\text{MAX}}$ | 1024   | $\mu\text{s}$ | - Position 1023d<br>- Angle 359,65 deg |

Tabela 2 – Zależność wypełnienia PWM od położenia magnesu .

## 4 Odczyt danych [2].

Transmisja odbywa się przy pomocy synchronicznego interfejsu szeregowego to jest taki, w którym dane wyprowadzane są w takt impulsów zegarowych. Sygnał zegarowy podawany jest na doprowadzenie CLK (10) a odbierany na wyjściu danych oznaczonym jako DO (9). Dodatkowo układ wymaga zasilania sygnałem Csn (11), którego zmiana ze stanu wysokiego na niski inicjuje pomiar położenia. Ramka składa się z 10 bitów kodujących położenie oraz 6 bitów statusu. W sumie daje to słowo o długości 2 bajtów. Pozycja jest liczbą binarną z zakresu od 0 do 1023 w kodzie dwójkowym. Bity wyprowadzane są kolejno od najstarszego do najmłodszego. Pośród bitów statusowych największe znaczenie praktyczne mają bity nazwane: Mag INC, Mag DEC oraz Even PAR. Pierwsze dwa informują zmianie odległości magnesu od czujnika. Jeśli magnes nie jest dobrze dobrany i umieszczony we właściwej odległości, to oba bity mają wartość logiczną 1. Bit PAR to bit parzystości umożliwiający kontrolę poprawności transmisji. Bit jest ustawiany, jeśli liczba 1 w słowie danych jest parzysta. Interfejs SSI zapewnia poprawny odczyt pozycji enkodera, jeśli liczba obrotów jest mniejsza lub równa 600 obrotów na minutę.

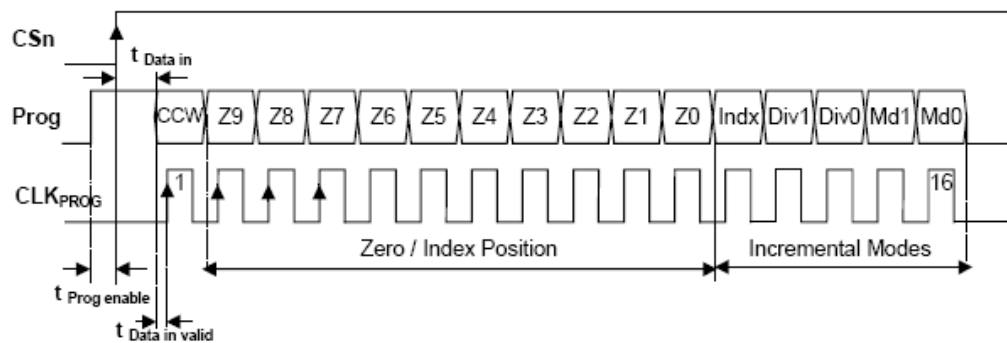


Rysunek 8 – Odczyt danych.

- $t_{DO\ active}$  maksymalny czas pomiędzy opadającym zboczem CSn a załączeniem wyjścia danych, 100ns
- $t_{DO\ valid}$  maksymalny czas pomiędzy narastającym zboczem sygnału CLK a zmianą stanu linii danych, 375ns
- $t_{DO\ tristate}$  maksymalny czas zmiany stanu wyjścia na wysoką impedancję po przesłaniu danych, 100ns
- $t_{CSn}$  minimalna szerokość impulsu CSn, 500ns
- $t_{CLK\ FE}$  minimalny czas na przesłanie danych do interfejsu wyjściowego, 500ns
- $t_{CLK/2}$  minimalny czas pomiędzy opadającym zboczem CSn a początkiem wyprowadzania danych, 500ns

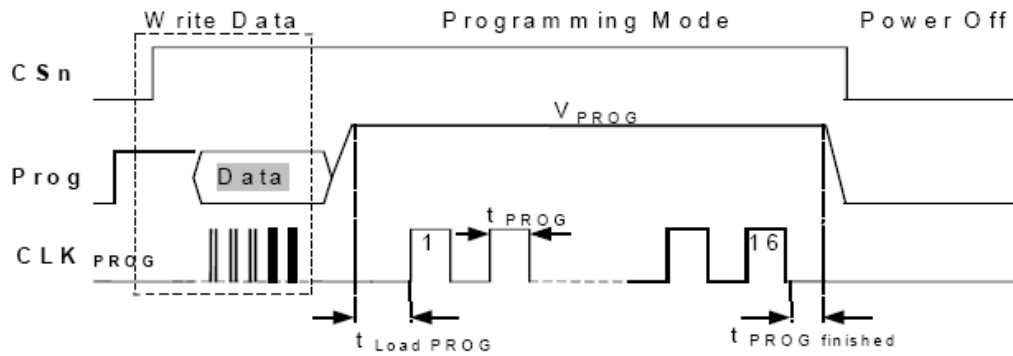
## 5 Programowanie

Podobnie jak odczyt zapis dokonywany jest także poprzez interfejs synchroniczny. Programowanie składa się z dwóch faz. Pierwsza to ta, w której po linii Prog wysyłamy dane następnie na czas trwania szesnastu impulsów sygnału zegara podajemy na wejście Prog napięcie 7V. Po ponownym włączeniu enkoder będzie już pracował z nowymi ustawieniami.



Rysunek 9 – Zapis danych do rejestru (ramka danych, faza pierwsza).





Rysunek 10 – Programowanie (faza druga Prog.=7V).

### Opis bitów

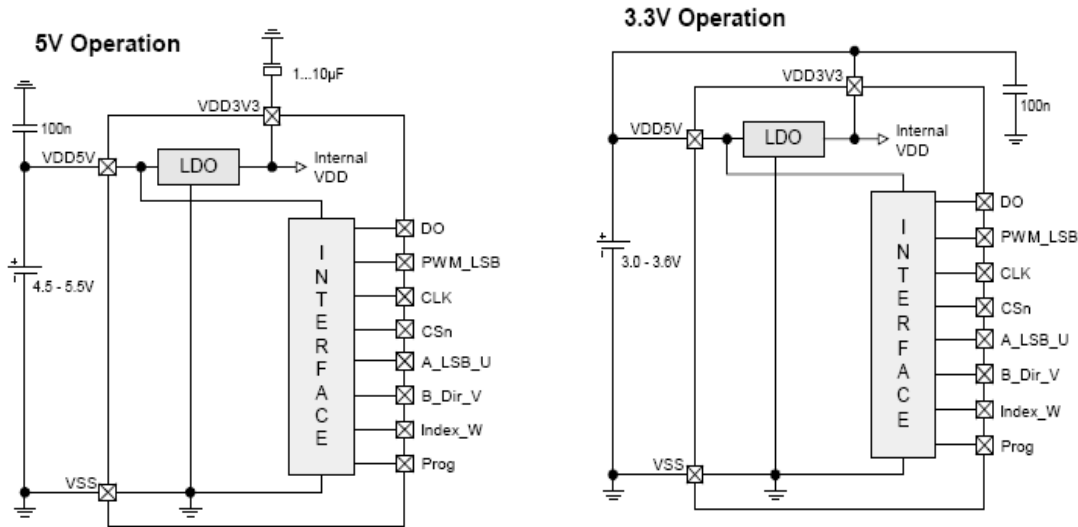
- CCW** 0 inkrementacja będzie odbywała się zgodnie z kierunkiem wskazówek zegara  
1 odwrotnie do kierunku wskazówek zegara
- Z [9:0]** Programowalna pozycja zerowa (indeksowa)
- INDX** Szerokość impulsu indeksu (1 lub 3 szerokości LSB)
- Div0, Div1** Rozdzielczość
- Md0, Md1** Tryb pracy

| Mode                | OTP-Mode-Register-Bit |     |      |      |       | PIN #        |               |                |              | Pulses per | Incremental |
|---------------------|-----------------------|-----|------|------|-------|--------------|---------------|----------------|--------------|------------|-------------|
|                     | Md1                   | Md0 | Div1 | Div0 | Index | 3            | 4             | 6              | 12           | ppr        | Resolution  |
| Default (Mode0.0)   | 0                     | 0   | 0*   | 0*   | 0*    | A            | B             | 1LSB           | PWM<br>10bit | 2x256      | 10          |
| quadAB-Mode1.0      | 0                     | 1   | 0    | 0    | 0     |              |               | 1LSB           |              |            |             |
| quadAB-Mode1.1      | 0                     | 1   | 0    | 0    | 1     |              |               | 3LSBs          |              |            |             |
| quadAB-Mode1.2      | 0                     | 1   | 0    | 1    | 0     |              |               | 1LSB           |              | 2x128      | 9           |
| quadAB-Mode1.3      | 0                     | 1   | 0    | 1    | 1     |              |               | 3LSBs          |              |            |             |
| quadAB-Mode1.4      | 0                     | 1   | 1    | 0    | 0     |              |               | 1LSB           |              |            |             |
| quadAB-Mode1.5      | 0                     | 1   | 1    | 0    | 1     |              |               | 3LSBs          |              | 2x64       | 8           |
| quadAB-Mode1.6      | 0                     | 1   | 1    | 1    | 0     |              |               | 1LSB           |              |            |             |
| quadAB-Mode1.7      | 0                     | 1   | 1    | 1    | 1     |              |               | 3LSBs          |              |            |             |
| LSB/Dir-Mode2.0     | 1                     | 0   | 0    | 0    | 0     | LSB          | Dir           | 1LSB           | PWM<br>10bit | 512        | 10          |
| LSB/Dir-Mode2.1     | 1                     | 0   | 0    | 0    | 1     |              |               | 3LSBs          |              |            |             |
| LSB/Dir-Mode2.2     | 1                     | 0   | 0    | 1    | 0     |              |               | 1LSB           |              | 256        | 9           |
| LSB/Dir-Mode2.3     | 1                     | 0   | 0    | 1    | 1     |              |               | 3LSBs          |              |            |             |
| LSB/Dir-Mode2.4     | 1                     | 0   | 1    | 0    | 0     |              |               | 1LSB           |              | 128        | 8           |
| LSB/Dir-Mode2.5     | 1                     | 0   | 1    | 0    | 1     |              |               | 3LSBs          |              |            |             |
| LSB/Dir-Mode2.6     | 1                     | 0   | 1    | 1    | 0     |              |               | 1LSB           |              | 64         | 7           |
| LSB/Dir-Mode2.7     | 1                     | 0   | 1    | 1    | 1     |              |               | 3LSBs          |              |            |             |
| Commutation-Mode3.0 | 1                     | 1   | 0    | 0    | 0     | U(0°)        | V(120°)       | W(240°)        | LSB          | 3 x 1      | 10          |
| Commutation-Mode3.1 | 1                     | 1   | 0    | 1    | 0     |              |               |                |              |            | 9           |
| Commutation-Mode3.2 | 1                     | 1   | 1    | 0    | 0     | U'(0°, 180°) | V'(60°, 240°) | W'(120°, 300°) | LSB          | 2 x 3      | 10          |
| Commutation-Mode3.3 | 1                     | 1   | 1    | 1    | 0     |              |               |                |              |            | 9           |

Tabela 3 – Tryby pracy, rozdzielczość szerokość indeksu .

## 6 Układ zasilania

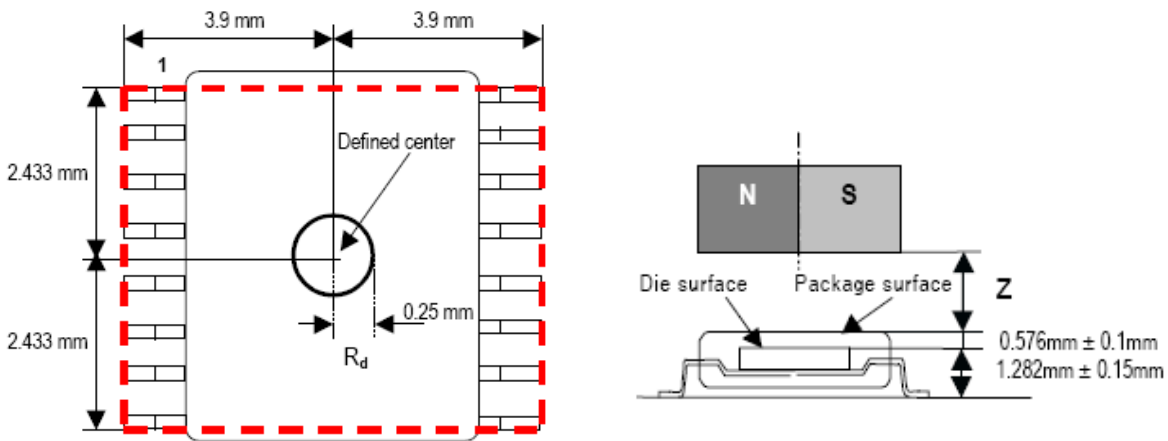
Układ można zasilac zarówno napięciem 3V3 jak i 5V



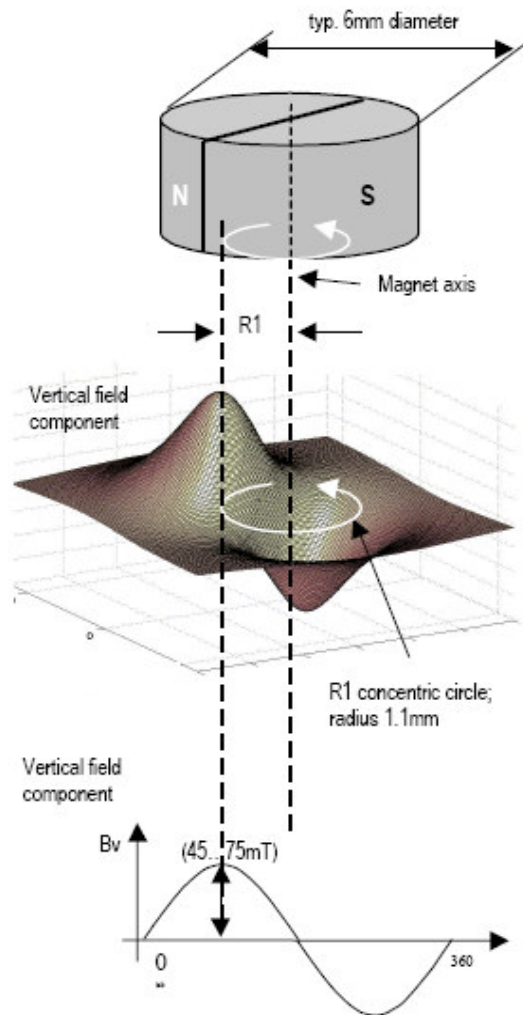
Rysunek 11 – Układy zasilania dla 3V3 i 5V.

## 7 Montaż magnesu

Firma zaleca stosowanie magnesów o średnicy 6 mm, wysokości 3 mm i natężeniu pola magnetycznego  $\pm 45... \pm 75\text{mT}$ . Magnesy można zamówić wraz z układem. Ważne jest, aby magnes był umieszczony w odpowiednim miejscu nad strukturą układu w odległości zapewniającej poprawne funkcjonowanie enkodera. Ta niestety zależy od użytego magnesu i musi być dobierana indywidualnie. Producent podaje, że stosując dostarczane przezeń magnesy odległość obudowy od magnesu waha się w granicach od 0,5 do 1,8 mm.



Rysunek 12 – Prawidłowe umieszczenie magnesu.



Rysunek 13 – Rozkład pola magnetycznego.

## 8 Literatura

- [1] *AS5040 10-bits programmable magnetic rotary encoder. Data Sheet 2004*
- [2] [http://www.easy-soft.pl/zasoby/st7\\_as5040.pdf](http://www.easy-soft.pl/zasoby/st7_as5040.pdf) Aplikacja układu enkodera Magnetycznego AS5040.