

**SIEMENS**

*Ingenuity for life*



Układ pomiarowy

# Motion Control

Układ pomiarowy

[siemens.pl/s7-1500T](http://siemens.pl/s7-1500T)

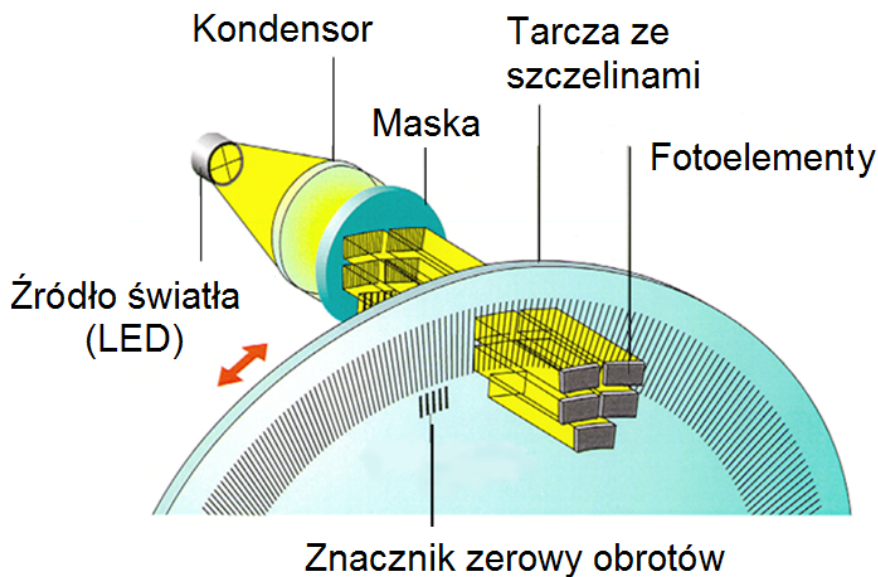
# 6 Enkodery inkrementalne

## Budowa

Enkoder inkrementalny (zwany również przyrostowym lub impulsowym) jest przetwornikiem generującym impulsy elektryczne określające przyrost kątowy w ruchu obrotowym. Cechą charakterystyczną enkodera

inkrementalnego jest stała liczba impulsów na wyjściu, która determinuje dokładność układu pomiarowego.

Poniższa ilustracja przedstawia budowę optycznego enkodera inkrementalnego:



## Zasada działania

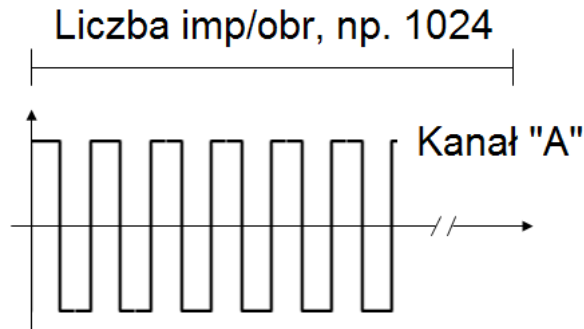
Impulsy generowane są przez układ mechaniczny tarczy ze szczelinami, przez które przepuszczone jest światło w kierunku elementów światłoczułych. Obecność szczeliny powoduje oświetlenie fotoelementu, a co za tym idzie wygenerowanie napięcia, które interpretowane jest jako

sygnał binarny przez układ elektroniczny. Alternatywnie stosowane są enkodery wykorzystujące technologię magnetyczną lub pojemnościową. Wybór typu enkodera uwarunkowany będzie dostosowaniem do warunków pracy urządzenia oraz oczekiwanych parametrów pomiaru.

### Sygnaly wyjściowe

Zmiana pozycji w ruchu obrotowym powoduje wygenerowanie sygnału elektrycznego, gdzie system nadrzędny (napęd lub sterownik) interpretuje

przesłane wartości narastającego zbocza sygnału cyfrowego. Enkoder wyposażony jest w przynajmniej jeden kanał wyjściowy przesyłu informacji A, który ma postać binarną jak na poniższym wykresie:



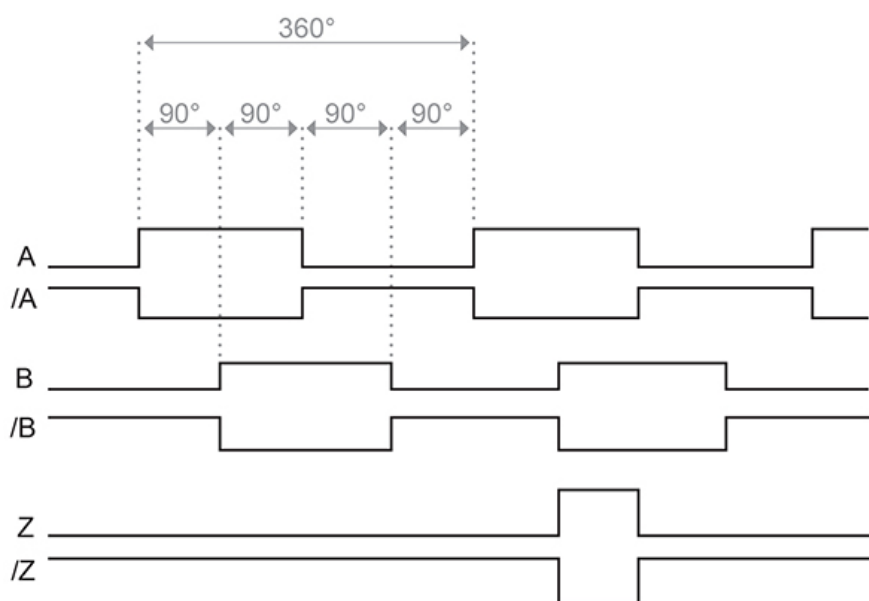
Zazwyczaj jednak kanały wyjściowe są dwa A oraz B – przesunięte względem siebie o  $90^\circ$ , co przez interpretację kolejności pojawiania się sygnałów – pozwala dodatkowo określić kierunek obrotów wału enkodera. Obracając wałek enkoder w kierunku zgodnym ze wskazówkami zegara pierwszy pojawi się sygnał A, w kierunku przeciwnym – najpierw odczytane zostanie zbocze sygnału B.

Dodatkowo często spotykamy również trzeci kanał Z, który jest tzw. impulsem zerowym enkodera – generuje on jeden sygnał na pełen obrót w celu zachowania punktu referencyjnego. Wewnętrzny znacznik zerowy wykorzystywany jest również

podczas procedury bazowania systemu, o czym szerzej będziemy mówić w kolejnych publikacjach.

Niektóre modele enkoderów inkrementalnych wyposażone są również w sygnały oznaczane jako /A, /B i /Z. Są to sygnały będące negacją wyjść kanałów A, B oraz Z. Ich analiza przez układ elektroniczny pozwala na potwierdzenie poprawności komunikacji. W celu redukcji zakłóceń elektrycznych sygnały te zazwyczaj przesyłane są parami (A+/A, B+/B, Z+/Z) przez skrętkę.

Przebieg sygnałów w przypadku bardziej rozbudowanej konfiguracji będzie wyglądał zgodnie z poniższym wykresem:



### Rozdzielczość

Podstawowym parametrem enkodera inkrementalnego jest jego rozdzielczość. Omówione w powyższej części impulsy wysyłane do systemu nadrzędnego wytwarzane są dzięki konstrukcji mechanicznej enkodera – bezpośrednio odpowiada za nią liczba szczelin na tarczy wewnętrznej urządzenia. Ilość impulsów generowanych przez układ enkodera na jeden obrót jest ściśle określona dla jego typu. Im większa ilość impulsów tym dokładniejszy pomiar – mniejsza zmiana pozycji obrotowej powoduje powstanie impulsu wyjściowego. Rozdzielczości enkoderów inkrementalnych zaczynają się od kilkuset impulsów na obrót. Taka dokładność pomiaru zazwyczaj jest wystarczająca – enkodery inkrementalne zazwyczaj stosowane są w układach regulacji prędkości jako impulsatory w układach silników indukcyjnych. Bardziej dokładne pomiary realizowane są w aplikacjach serwo z wykorzystaniem silników synchronicznych – tutaj dokładności enkoderów inkrementalnych sięgają wartości nawet kilkuset tysięcy imp/obrót.

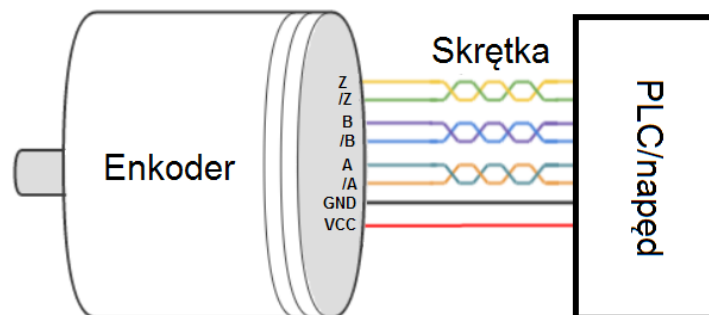
Rozdzielczość układu pomiarowego jest zazwyczaj bezpośrednim przeniesieniem ilości szczelin z wewnętrznej tarczy enkodera. Biorąc jednak pod uwagę możliwości wewnętrznego układu elektronicznego – niektóre

enkodery potrafią wykonać programową ewaluację zbocz narastających obu sygnałów (A oraz B), co zwiększy dokładność pomiaru dwukrotnie. Idąc dalej tym tropem – istnieją również enkodery wykonujące analizę zbocz narastających oraz opadających sygnałów A oraz B, co pozwala zwiększyć dokładność elektronicznie czterokrotnie.

Warto również tutaj wspomnieć o enkoderach programowalnych, które – dzięki uniwersalnej konstrukcji oraz interfejsie użytkownika – mogą zostać zaprogramowane w zależności od potrzeb aplikacji. Parametrem programowalnym jest nie tylko ilość impulsów generowanych na obrót wałka ale również typ wyjścia czy kierunek zliczania impulsów.

### Transmisja danych

W przypadku enkodera inkrementalnego transmisja danych odbywa się przez wyjścia cyfrowe – niezależnie dla każdego z sygnałów elektrycznych (np. w standardzie RS422). Ze względu na stałą ilość linii sygnałowych oraz przesyłane dane (binarne) okablowanie będzie miało zazwyczaj podobną konfigurację. Standardowo będziemy mieli więc zasilanie (np. 24V, GND) oraz maksymalnie 6 żył do przesyłu sygnałów A, B, Z oraz IA, IB, IZ.



Enkoder inkrementalny nie posiada możliwości zapamiętania pozycji – jest to jego właściwość, która zasadniczo odróżnia go od enkodera absolutnego. W zawiązku z powyższym zanik napięcia zasilania pociąga za sobą utratę pozycji aktualnej, a co za tym idzie konieczność bazowania systemu mechanicznego (np. na podstawie sygnału zewnętrznego z wyłącznika krańcowego lub wewnętrznego sygnału zerowego enkodera).

### Rodzaj wyjścia

Mechaniczna część enkodera w zależności od zastosowanej technologii (optyczna, pojemnościowa czy magnetyczna) służy konwersji ruchu obrotowego na sygnał impulsowy. Część elektroniczna z kolei to konwerter sygnału na cyfrowy standard komunikacyjny. W przypadku enkoderów inkrementalnych najczęściej spotykane to RS422 (TTL) oraz Push-Pull (HTL).

### Cechy enkoderów inkrementalnych

- Stosunkowo niski koszt
- Wysoka rozdzielczość
- Nieduże gabaryty
- Wymagane bazowanie system przy pozycjonowaniu absolutnym
- Łatwa wymiana w razie awarii
- Odporność na niekorzystne warunki pracy
- Szybka transmisja danych

## 6.1 TTL

Wyjście enkodera w standardzie TTL (RS422) ma wartość napięcia w przybliżeniu 5 VDC (minimalnie 3V dla logicznej „1” oraz maksymalnie 0.5V dla logicznego „0”). Napięcie wyjścia nie jest zależne od poziomu napięcia zasilania. Zasilanie enkodera może być dostarczone w dwóch standardach: 4.75 – 5.5 VDC lub 8 – 30 VDC. Niezależnie od opcji zasilania, wyjście pozostaje

zgodnie ze standardem elektrycznym RS422. Wyjście TTL zapewnia stosunkowo wysoką częstotliwość odpowiedzi układu oraz bardzo dobrą odporność na zakłócenia. Standard TTL (Transistor-Transistor Logic) bierze nazwę od roli tranzystorów – w takim układzie cyfrowym zarówno funkcje logiczne (np. AND/OR) jak i wzmacnienie sygnału realizowane jest przez tranzystory (w przeciwieństwie do układów typu RTL czy DTL).

## 6.2 HTL

Wyjście enkodera w standardzie HTL (Push-pull) ma wartość napięcia proporcjonalną do poziomu napięcia zasilania (minimalnie 3V dla logicznej „1” oraz maksymalnie 0.5V dla logicznego „0”). Standardowo napięcie zasilające znajduje się w przedziale od 8 do 30 VDC. Struktura HTL (High Threshold Logic) jest odmianą układu diodowo-tranzystorowego (RTL – poprzednik TTL) gdzie funkcje logiczne (np. AND/OR) realizowane są przez sieć rezystorów, natomiast wzmacnienie przez

tranzystory. Wysoki próg (high threshold) oznacza tutaj rozbieżność pomiędzy interpretacją poziomu sygnału wejściowego jako wartość logiczną 0 lub 1. Dzięki temu zyskujemy bardzo wysoką odporność na zakłócenia, tracimy jednak na prędkości wymiany informacji, zwiększony jest również pobór energii.

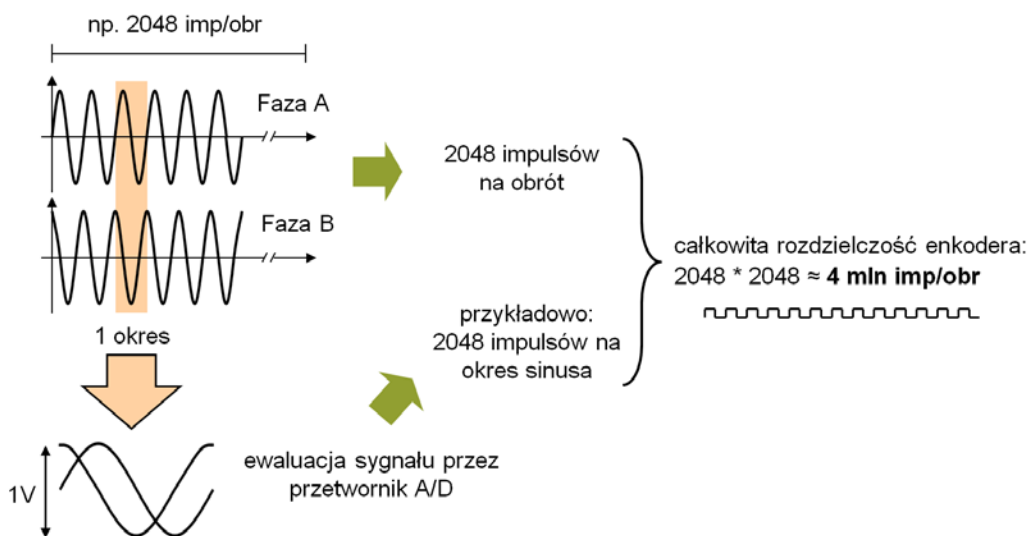
Poniższa tabela prezentuje charakterystykę doboru odpowiedniej ramki komunikacyjnej. Najczęściej stosowane to telegramy standardowe 1, 2, 3 oraz 5.

## 6.3 SIN/COS

W obszarze rodziny enkoderów inkrementalnych znajdują się również urządzenia, które posiadają bardziej zaawansowaną metodę cyfrowego przetwarzania sygnału pozyskanego z układu mechanicznego. Enkodery inkrementalne SIN/COS pozyskują sygnał elektryczny podobnie jak te opisane w poprzedniej sekcji – mechaniczna część pozostaje bez zmian.

Zachodzi jednak różnica w zakresie przetwarzania sygnału impulsowego. Konkretnie jest on w przypadku tego typu urządzeń konwertowany na funkcję sinus (sygnał A) oraz cosinus (sygnał B). Konwersja odbywa się dzięki analizie czasu zmiany stanów sygnałów A/B.

Następnie w zakresie jednego okresu funkcji trygonometrycznych zachodzi konwersja z próbkowaniem charakterystycznym dla danego układu elektronicznego. Przykładowo – założmy, że mamy optyczny enkoder inkrementalny z tarczą posiadającą 2048 szczelin. 2048 impulsów sygnału A (B) zostaje więc konwertowane na 2048 faz funkcji okresowej sinus (cosinus). Założmy również, iż w jednym okresie funkcji trygonometrycznej przetwornik analogowo/cyfrowy będzie w stanie wygenerować 2048 jednoznacznych stanów zależności funkcji sinus/cosinus. W związku z powyższym uzyskamy dokładność na wyjściu enkodera na poziomie 4 milionów impulsów na obrót.



Wyjściem enkodera typu SIN/COS może być sygnał impulsowy gotowy do przetworzenia w układzie sterownia

lub analogowy sygnał SIN/COS, który konwertowany będzie dopiero po stronie systemu automatyki.

## 6.4 Połączenie z systemami SIMATIC/SINAMICS

Elementy sterowania SIMATIC można wyposażyć w moduły dedykowane dla połączeń urządzeń pomiarowych dla systemów Motion Control. Enkoder

inkrementalny może zostać połączony, np. ze sterownikiem S7-1200/1500 lub rozproszonymi

### SIMATIC S7-1200

Jednostki centralne sterowników S7-1200 posiadają zintegrowane szybkie wejścia (6xHSC), które mogą zostać wykorzystane jako wejścia do podłączenia enkoderów inkrementalnych – maksymalna częstotliwość

zliczania 100 kHz. Jednostka centralna pozwoli również zasilić enkodery 24V. Sterownik nie wspiera pracy w trybie izochronicznym. Nie ma również możliwości obsługi enkodera przez obiekt technologiczny.

| SIMATIC S7-1500/ET200MP  |                      |               |                |                                |
|--|----------------------|---------------|----------------|--------------------------------|
| Właściwość   | Moduł technologiczny |               | Moduł DI       | Compact CPU                    |
|  | TM Count 2x24V       | TM PosInput 2 | DI 32x24VDC HF | CPU 1511C-1 PN, CPU 1512C-1 PN |
| Liczba kanałów   | 2                    | 2             | 2              | 6                              |
| Maksymalna częstotliwość sygnału   | 200 kHz              | 1 MHz         | 1 kHz          | 100 kHz                        |
| Maksymalna częstotliwość zliczania dla enkoderów inkrementalnych z ewaluacją kwadraturową (A, /A, B, /B) | 800kHz               | 4 MHz         | -              | 400 kHz                        |
| Maksymalny zakres zliczania  | 32-bit               | 32-bit        | 32-bit         | 32-bit                         |
| Enkoder inkrementalny/pulsowy RS422/TTL  | -                    | ●             | -              | -                              |
| Enkoder inkrementalny 24 V   | ●                    | -             | -              | ●                              |
| Enkoder pulsowy 24 V   | ●                    | -             | ●              | ●                              |
| Zasilanie enkoderów 5 V  | -                    | ●             | -              | -                              |
| Zasilanie enkoderów 24 V   | ●                    | ●             | -              | ●                              |
| Uproszczona konfiguracja Motion Control  | ●                    | ●             | -              | ●                              |
| Praca w trybie izochronicznym  | ●                    | ●             | ●              | -                              |

| SIMATIC ET200SP  |                      |               |               |
|--|----------------------|---------------|---------------|
| Właściwość   | Moduł technologiczny |               | Moduł DI      |
|  | TM Count 1x24V       | TM PosInput 1 | DI 8x24VDC HS |
| Liczba kanałów   | 1                    | 1             | 4             |
| Maksymalna częstotliwość sygnału   | 200 kHz              | 1 MHz         | 10 kHz        |
| Maksymalna częstotliwość zliczania dla enkoderów inkrementalnych z ewaluacją kwadraturową (A, /A, B, /B) | 800kHz               | 4 MHz         | -             |
| Maksymalny zakres zliczania  | 32-bit               | 32-bit        | 32-bit        |
| Enkoder inkrementalny/pulsowy RS422/TTL  | -                    | ●             | -             |
| Enkoder inkrementalny 24 V   | ●                    | -             | -             |
| Enkoder pulsowy 24 V   | ●                    | -             | ●             |
| Zasilanie enkoderów 5 V  | -                    | -             | -             |
| Zasilanie enkoderów 24 V   | ●                    | ●             | ●             |
| Uproszczona konfiguracja Motion Control  | ●                    | ●             | -             |
| Praca w trybie izochronicznym  | ●                    | ●             | ●             |

### SINAMICS

Podłączenie enkodera inkrementalnego do przekształtnika częstotliwości SINAMICS jest możliwe zarówno dla rodziny G120 jak i dla serwonapędów V90 (enkodery dedykowane) lub S1x0. W zależności od konfiguracji

sprzętowej wspierane są enkodery inkrementalne typu HTL, TTL oraz SIN/COS, a także z interfejsami sieciowymi lub DRIVE-CLiQ, o czym w dalszej części.

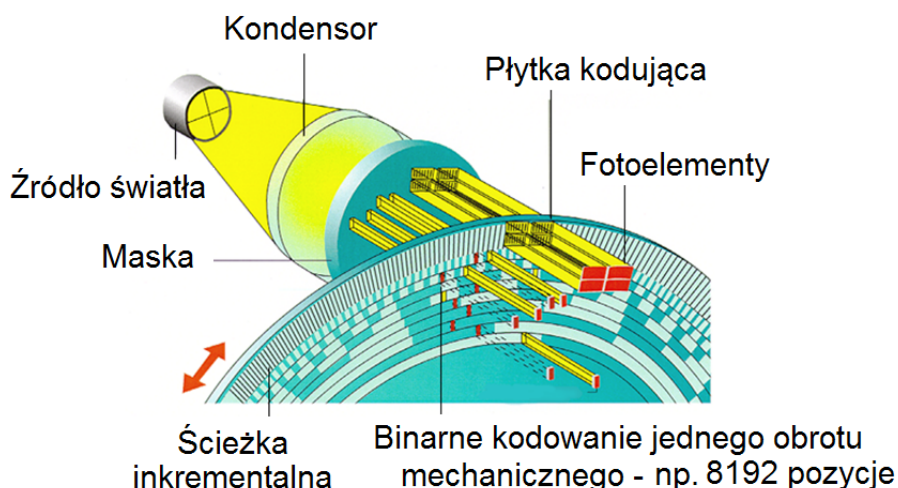
# 7 Enkodery absolutne

## Budowa

Impulsy generowane są przez układ mechaniczny tarczy ze szczelinami, przez które przepuszczane jest światło w kierunku elementów światłoczułych. Obecność szczeliny powoduje oświetlenie fotoelementu, a co za tym idzie wygenerowanie napięcia, które interpretowane jest jako sygnał binarny przez układ elektroniczny. Alternatywnie stosowane są enkodery wykorzystujące technologię magnetyczną lub pojemnościową. Wybór typu enkodera uwarunkowany będzie dostosowaniem do warunków pracy urządzenia oraz oczekiwanych parametrów pomiaru.

Enkoder absolutny jest cyfrowym przetwornikiem kąta obrotu. Dla określonej pozycji kątowej enkoder absolutny generuje jednoznaczny wartość sygnału wyjściowego. Sygnał wyjściowy kodowany jest w taki sposób aby jego wartość została utrzymana nawet przy zaniku napięcia zasilającego. Przesunięcie wału enkodera bez jego zasilenia – również spowoduje wygenerowanie sygnału wyjściowego (po zasileniu) o wartości odzwierciedlającej aktualną pozycję. Dokładność układu pomiarowego zależy od jego wewnętrznej konstrukcji mechanicznej.

Poniższa ilustracja przedstawia budowę optycznego enkodera absolutnego:



## Zasada działania

W przypadku enkodera absolutnego każda z pozycji (dokładność pomiaru wynika z parametrów mechanicznych) posiada swój unikatowy kod binarny, który interpretowany jest przez układ cyfrowy i wysyłany na wyjście enkodera. Kod binarny aktualnej pozycji generowany jest przez kręgi tarczy enkodera analizowane przez układ elektroniczny.

Podobnie jak w przypadku enkoderów inkrementalnych spotykamy różnego rodzaju technologie detekcji aktualnej pozycji. Najbardziej popularna to opisana wcześniej technika wykorzystująca zjawisko fotoelektryczne (rysunek). Kod binarny odczytywany jest z aktualnego układu szczelin tarczy enkodera, przez które przepuszczane jest światło w kierunku elementów światłoczułych. Obecność szczeliny powoduje oświetlenie fotoelementu, a co za tym idzie wygenerowanie napięcia, które interpretowane jest jako sygnał binarny (część kodu binarnego) przez układ elektroniczny. Alternatywnie stosowane są enkodery wykorzystujące technologię magnetyczną lub pojemnościową. W przypadku enkoderów

absolutnych stosowane są również sporadycznie układy w pełni mechaniczne, gdzie styki elektryczne podążają ścieżkami na tarczy enkodera – zależnie od ich pozycji na kręgach będą przepuszczać prąd lub będą odizolowane.

Kodowanie binarne realizowane jest zazwyczaj przez dwójkowy kod Gray-a. Cechuje się on tym, iż zmiana na wartość kolejną lub poprzednią powoduje podmiannę stanu tylko jednego bitu w całym kodzie. Jest to niewątpliwą zaletą, gdyż zapobiega występowaniu dużych błędów pomiaru. W przypadku standardowego kodu binarnego zmiana wartości na sąsiednią – może spowodować nawet zmianę wszystkich bitów kodu.

W celu zwiększenia dokładności pomiaru stosuje się również dodatkową ścieżkę inkrementalną.

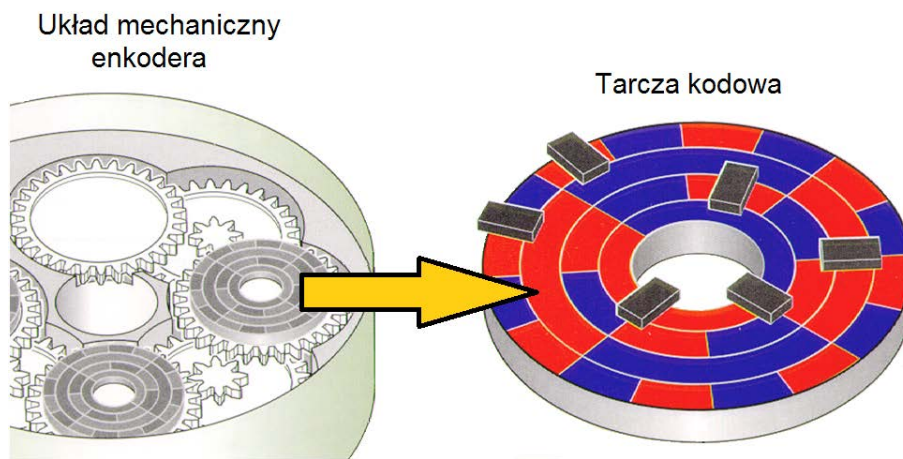
Wybór typu enkodera uwarunkowany będzie dostosowaniem do warunków pracy urządzenia oraz oczekiwanych parametrów pomiaru.

### Enkoder jedno – oraz wieloobrotowy

Zależnie od wymogów aplikacji możemy zastosować enkoder absolutny z tarczą kodową – jednoobrotowy (single-trurn) lub z wieloma tarczami kodowymi oraz sprzęgającym je układem przekładni mechanicznych – tzw. enkoder absolutny wieloobrotowy (multi-turn). Różnica polega na zdolności zapamiętywania ilości wykonanych obrotów. Enkoder wieloobrotowy posiada możliwość zliczania oraz zapamiętywania pozycji dla więcej niż jednego obrotu.

Enkoder absolutny jednoobrotowy z konstrukcyjnego punktu widzenia wyposażony jest w tarczę z zakodowanymi (w formie binarnej lub w kodzie Gray'a) liczbami – bezpośrednio reprezentującymi wartość kąta obrotu. Obrócenie wału o dokładnie 360 stopni spowoduje wygenerowanie na wyjściu tej wartości początkowej.

W przypadku enkodera absolutnego wieloobrotowego najczęściej część mechaniczna zostaje wzbogacona o system przekładni, które tworzą relację pomiędzy wieloma tarczami kodowymi, dając tym samym możliwość zapamiętania ilości wykonanych obrotów.



### Podtrzymanie wartości pomiaru

Wartość aktualnej pozycji w technologii mechanicznej dostępna jest zawsze, niezależnie od tego czy enkoder jest zasilony – zgodnie z powyższym opisem. Stosowane są również rozwiązania poboczne, np. zastosowanie enkodera inkrementalnego z bateryjnym podtrzymanie wartości lub enkoder inkrementalny ze zintegrowaną prądnicą oraz pamięcią nieulotną.

Zaletą mechanicznego układu przekładni w stosunku do rozwiązań elektronicznych jest brak konieczności posiadania podtrzymania baterijnego. Z drugiej jednak strony zwiększa się rozmiar urządzenia oraz wnosi konieczność zastosowanie elementów, które się zużywają lub mogą ulec uszkodzeniu.

### Rozdzielczość

Dokładność wyznaczenia pozycji wału enkodera zależy bezpośrednio od omówionej konstrukcji mechanicznej. Im więcej kręgów kodujących zostanie umieszczonych na tarczy enkodera, tym mniejsza zmiana pozycji kątowej zostanie zarejestrowana przez układ elektroniczny. Dokładność pomiaru enkoderów absolutnych określamy więc jako ilość kręgów, czyli ilość bitów jakie służą do zakodowania wartości aktualnej pozycji.

jednego obrotu sięga wartości 34-bitowych. Parametrem uzupełniającym w przypadku enkoderów wieloobrotowych jest liczba obrotów jakie mogą zostać zapamiętane.

Zwiększenie rozdzielczości enkodera wiąże się bezpośrednio z jego konstrukcją, a co za tym idzie wpływa na jego gabaryty. Istotną kwestią jest również metoda transmisji danych do systemu automatyki. Rozdzielczości enkoderów absolutnych kodowania

Przykładowo dla enkodera absolutnego wieloobrotowego o rozdzielczości 16-bitów oraz 12-bitów na zapamiętanie liczby obrotów uzyskamy wartość  $2^{16} * 2^{12} \approx 270$  mln jednoznacznych pozycji bez przeliczania w układzie sterowania lub napędzie.



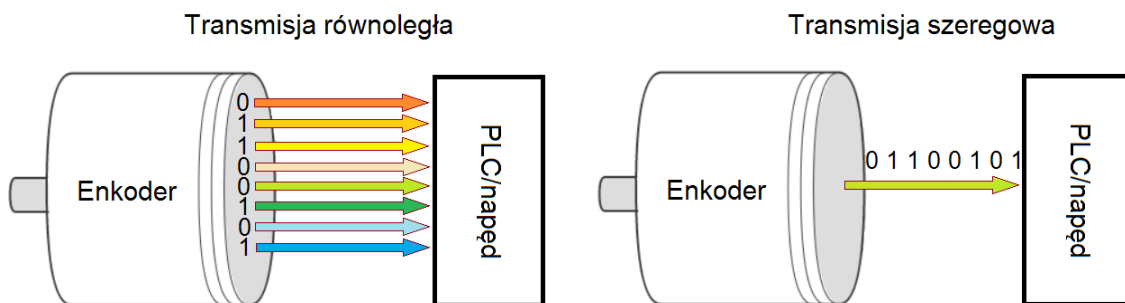
### Transmisja danych

Informację o aktualnej pozycji (w zależności od standardu oraz potrzeb aplikacji) może być wysyłany przez układ elektroniczny enkodera jako sygnał binarny (równoległe lub szeregowe), przez wyjście analogowe lub magistralę komunikacyjną.

Komunikacja równoległa jest bardzo szybka, gdyż każdy bit informacji ma swój elektryczny interfejs. Ta metoda komunikacji wymaga jednak zastosowania osobnego przewodu dla każdego z bitów kodu danej pozycji. Przy dużych rozdzielczościach rozwiązanie to niesie

za sobą konieczność stosowania wielożyłowych kabli transmisyjnych. Przy dużych odległościach generuje to wysoki koszt oraz zmniejsza wygodę montażową. Aktualną tendencją w automatyce przemysłowej jest odchodzenie od połączeń równoległych i stosowanie w miarę możliwości jedynie transmisji szeregowej lub standardowych protokołów sieci przemysłowych.

Na schemacie przykład równoległej transmisji informacji 8-bitowej.



Transmisja szeregowa jest wolniejsza od równoległej ale ogranicza ilość przewodów, a tym samym przy dużych odległościach daje możliwość redukcji kosztów.

Obecnie najczęściej spotykamy enkodery z szeregowymi interfejsami wyjściowymi (np. SSI, ISI, EnDat, BiSS czy Hiperface) lub współpracujące bezpośrednio z sieciami przemysłowymi (np. PROFIBUS czy PROFINET).

Firma Siemens wprowadziła również niezależny standard komunikacji na linii enkoder-napęd DRIVE-CLiQ, który wprowadza sporo udogodnień w konfiguracji systemu napędowego.

### Cechy enkoderów absolutnych

- Koszt wyższy od enkoderów inkrementalnych
- Gabaryty wzrastają wraz z rozdzielczością
- Pozycja absolutna
- Stosunkowo niska prędkość transmisji danych
- Nie jest wymagane bazowanie systemu po zaniku zasilania

## 7.1 Siemens DRIVE-CLiQ

DRIVE-CLiQ to otwarty protokół komunikacyjny dedykowany dla połączeń komponentów napędowych z systemem SINAMICS. Jest to autorska sieć opracowana przez firmę Siemens bazująca na Industrial Ethernet 100Mbit/s. Standard pozwala na podłączenie zarówno podzespołów Siemens (silniki serwo, moduły napędów, jednostki sterujące CU, enkodery lub moduły terminalowe I/O) jak i urządzeń producentów trzecich, którzy wprowadzili w ich zakresie kompatybilność z interfejsem DRIVE-CLiQ.



### Zalety standardu DRIVE-CLiQ:

- wysoka wydajność komunikacyjna,
- standardowy interfejs (niezależny od producenta),
- zintegrowane funkcje bezpieczeństwa (SINAMICS Safety Integrated),
- łatwa konfiguracja,
- automatyczna konfiguracja przez elektroniczną tabliczkę znamionową,
- kompaktowe oraz uniwersalne okablowanie dla wszystkich enkoderów,
- szybka oraz przejrzysta diagnostyka systemu pomiarowego (status urządzenia).

## 7.2 SSI

Synchronous Serial Interface (SSI) jest powszechnie stosowanym w aplikacjach przemysłowych szeregowym (cyfrowym) interfejsem komunikacyjnym typu point-to-point. Wymiana informacji zachodzi tutaj pomiędzy urządzeniem typu master (np. sterownik bądź napęd) a slave (np. czujnik, enkoder). SSI bazuje na standardzie elektrycznym RS-422 i cechuje się wysoką efektywnością komunikacyjną, co więcej jest prosty w implementacji w szerokim spektrum platform sprzętowych, co czyni go bardzo popularnym wśród producentów urządzeń pomiarowych. Protokół znajduje zastosowanie w aplikacjach wymagających dużej niezawodności oraz odporności na niekorzystne warunki otoczenia.

Wymiana informacji odbywa się jednokierunkowo zgodnie z taktiem zegara systemowego urządzenia master. Zazwyczaj w okablowaniu stosowane są dwie skrętki – jedna na transfer danych (enkoder –> napęd), druga na sygnał zegara (napęd –> enkoder) oraz dwa przewody zasilające. Prędkość wymiany danych zależna jest od długości przewodów transmisyjnych, maksymalnie sięga 10Mbit/s (dla przewodu o długości maksymalnie 5m).

## 7.3 EnDat

Encoder Data (EnDat) jest szeregowym interfejsem komunikacyjnym punkt-punkt dedykowanym do wymiany danych z enkoderami. Standard został opracowany przez niemiecką firmę Heidenhein i jest powszechnie stosowany w przemyśle. Podobnie jak SSI jest protokołem szeregowym ale daje możliwość wysyłania informacji dwukierunkowo – odczyt informacji (o pozycji/prędkości, statusie, typie urządzenia z enkoderów inkrementalnych oraz absolutnych), oraz wysyłanie danych do enkodera (aktualizacja parametrów enkodera lub zapisywanie nowych danych).

Komunikacja szeregowo ogranicza okablowanie do 4 przewodów transmisyjnych (plus zasilanie). Dane przesłane są synchronicznie zgodnie z taktiem generatora zegara po stronie urządzenia nadrzędnego. Typ transmisji (informacja o pozycji, ustawianie parametrów czy diagnostyka urządzenia) określany jest przez komendy wysyłane z PLC lub napędu. Prędkość wymiany danych zależna jest od długości przewodów transmisyjnych, maksymalnie sięga 4Mbit/s

## 7.4 Hiperface

Interfejs komunikacyjny enkoderów opracowany przez firmę Max Stegmann GmbH (obecnie SICK). Standard bazuje na standardzie elektrycznym RS-485. Wykorzystuje przewód 8-żyłowy – dwa komunikacyjne RS-485, dwa do zasilania oraz cztery na sygnał inkrementalny SIN/COS. Po zasileniu enkodera – informacja o aktualnej pozycji transferowana jest przez RS-485. Podczas dalszej pracy – zmiana pozycji rejestrowana jest przez sygnał inkrementalny. Aktualna pozycja nie jest korygowana przez sygnał absolutny, a co za tym idzie może wystąpić usterka, która spowoduje niepoprawny odczyt pozycji. W przeciwieństwie do większości standardów szeregowych

Hiperface nie ma specyfiki synchronicznej – nie ma taktu zegara generującego cykliczną wymianę danych.

Standard umożliwia komunikację point-to-point oraz pracę w sieci przemysłowej (jeden master dla wielu urządzeń pomiarowych). Ułatwia to kwestie okablowania. Dane przesyłane są stosunkowo powoli (38.4kbit/s) jednakże otrzymujemy znacznie więcej informacji niż, np. w przypadku interfejsu SSI. Podobnie jak w przypadku EnDat, możemy uzyskać dostęp do pamięci wewnętrznej enkodera – np. odczytać parametry silnika – napięcie, prąd czy typ; odebrać dane statusowe lub zapisać informacje w pamięci urządzenia.

## 7.5 BiSS

Bidirectional Serial Synchronous (BiSS) jest stosunkowo nowym standardem komunikacyjnym (opracowanym przez niemiecką firmę iC-Haus GmbH) dedykowanym dla czujników, enkoderów oraz urządzeń wykonawczych. BiSS został stworzony jako otwarta alternatywa dla standardów EnDat oraz Hiperface – oba kompatybilne sprzętowo z BiSS (RS-422).

Jako interfejs dwukierunkowy podobnie jak wspomniane protokoły – pozwoli na odczyt szeregu informacji

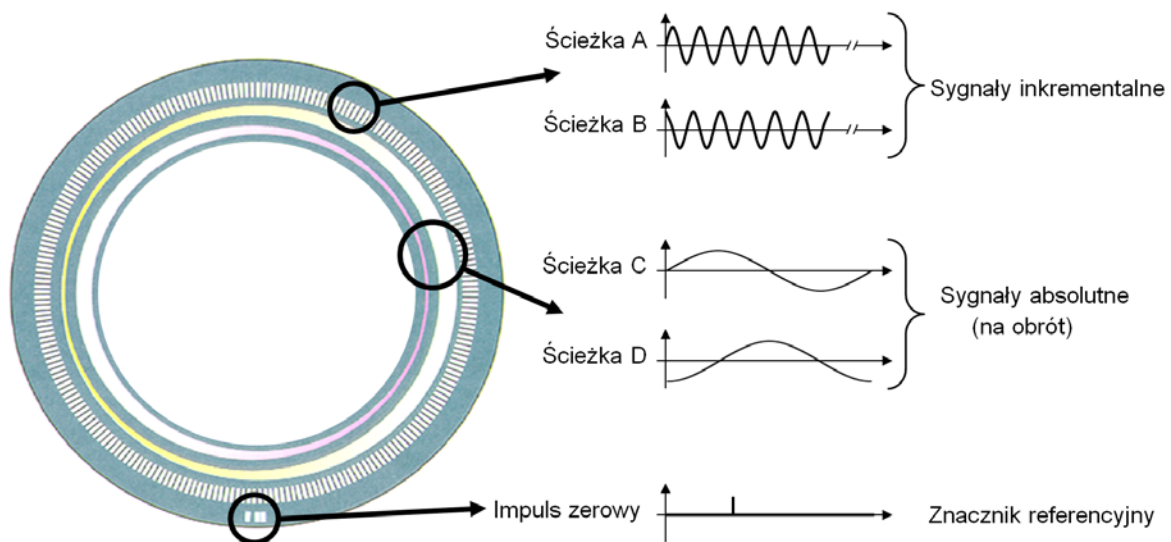
z nadajnika (pozycja absolutna, alarmy, ostrzeżenia, diagnostyka, parametry silnika czy temperatura) oraz zapis parametrów w pamięci wewnętrznej enkodera. Wymiana danych wywoływana jest synchronicznie.

Urządzenia w standardzie BiSS mogą pracować w strukturze punkt-punkt oraz w sieci przemysłowej. Przewód 6-żyłowy pozwala na komunikację z prędkością nawet 100Mbit/s.

## 7.6 SIN/COS ze ścieżką C/D

Specyficznym interfejsem komunikacyjnym stosowanym w enkoderach absolutnych jest omówiony już wcześniej standard inkrementalny SIN/COS, z tym, że wzbogacony o dodatkowe ścieżki sinusoidalne pozwalające zidentyfikować pozycję absolutną. Konstrukcja tarczy enkodera (rysunek) pozwala na dokładną interpretację

przyrostu pozycji (sygnał A/B konwertowany na sinus oraz cosinus), natomiast dodatkowe ścieżki umieszczone na tarczy enkodera (C/D) reprezentujące (w jednym obrocie mechanicznym) pełny okres funkcji sinus oraz cosinus pozwalają na identyfikację unikalnej pozycji kątowej.



Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość próbkowania sygnałów analogowych ścieżek C/D z bardzo wysoką częstotliwością, co pozwala na osiągnięcie adekwatnej

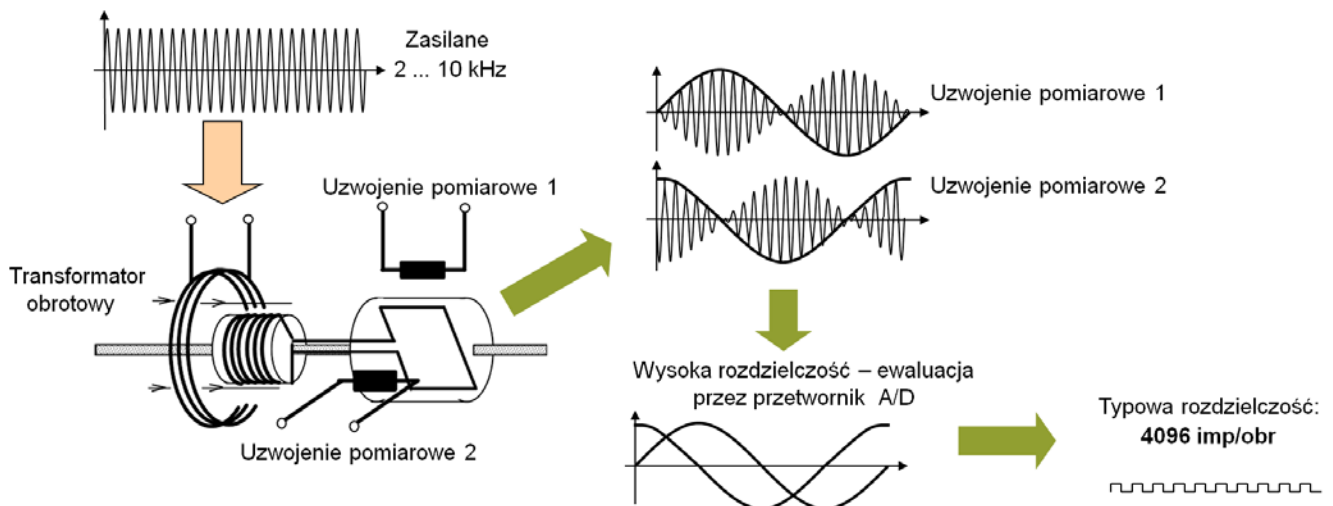
rozdzielczości pomiaru przy zachowaniu dobrych parametrów transmisji danych.

## 7.7 Resolver

Resolver to rodzaj przetwornika kąta obrotu, który można określić jako analogową wersję enkodera absolutnego. Przez analogowy sygnał wyjściowy dostarcza on informacji o aktualnym położeniu wału.

Zasada działania jest podobna jak w silniku elektrycznym – urządzenie składa się z wirnika oraz stojana. Uzwojenie pierwotne (wirnika) zasilane jest (przez transformator

obrotowy) prądem zmiennym, natomiast w uzwojeniach wtórnych (stojana) – przesuniętych względem siebie o kąt  $90^\circ$  – indukują się napięcia, które są proporcjonalnymi do sinusa oraz cosinusa kąta obrotu. Sinusoidalne sygnały wyjściowe jednoznacznie określają pozycję kątową wału.



Resolver jest urządzeniem indukcyjnym, a co za tym idzie w praktyce nie wymaga żadnej dodatkowej elektroniki w swojej konstrukcji. Sprawia to, że jest on stosunkowo

tani oraz odporny na niekorzystne warunki pracy. Uzyskamy tutaj również relatywnie wysoką dokładność pomiaru.

## 7.8 Sieć przemysłowa

Najbardziej zaawansowaną oraz najwygodniejszą metodą komunikacji jest wykorzystanie sieci przemysłowej. Standard komunikacyjny dla wszystkich urządzeń systemu automatyki pozwala na łatwą konfigurację, szybkie uruchomienie oraz kompleksową diagnostykę.

Wśród najpopularniejszych sieci przemysłowych, w których komunikować mogą się enkodery absolutne możemy wyróżnić:

- wysoka wydajność komunikacyjna,
- standardowy interfejs (niezależny od producenta),
- zintegrowane funkcje bezpieczeństwa (SINAMICS Safety Integrated),
- łatwa konfiguracja,
- automatyczna konfiguracja przez elektroniczną tabliczkę znamionową,
- kompaktowe oraz uniwersalne okablowanie dla wszystkich enkoderów,
- szybka oraz przejrzysta diagnostyka systemu pomiarowego (status urządzenia).

Zgodność z określonym standardem będzie kwestią charakterystyczną dla danego producenta.

Specyfika każdej z sieci jest inna – wybór odpowiedniego standardu będzie zależny od dostępnych protokołów, odległości oraz prędkości wymiany danych, warunków pracy urządzeń, typu okablowania, struktury komunikacyjnej, maksymalnej ilości urządzeń w sieci czy po prostu preferencji użytkownika.

Poniższa tabela przedstawia poglądowe porównanie podstawowych parametrów wybranych sieci przemysłowych, w których enkodery absolutne mogą występować jako urządzenia pomiarowe.

| Sieć        | Prędkość transmisji | Maks. rozmiar segmentu | Liczba stacji |
|-------------|---------------------|------------------------|---------------|
| Profinet IO | 1 Gbit/s            | 100 m                  | 256/segment   |
| Profibus DP | 12 Mbit/s           | 1200 m                 | 126           |
| Modbus RTU  | 19,2 Kbit/s         | 350 m                  | 250           |
| InterBus    | 500 Kbit/s          | 12.8 km                | 256           |
| CanOpen     | 1 Mbit/s            | 1000 m                 | 127           |
| DeviceNet   | 500 Kbit/s          | 500 m                  | 64            |

## 7.9 Enkoder liniowy

Specyficzną odmianą enkodera jest enkoder liniowy (inkrementalny bądź absolutny). Zasada działania jest podobna jak w przypadku enkoderów obrotowych – występują analogiczne technologie pomiaru (np. optyczne, magnetyczne lub pojemnościowe). Wielkość mierzona przetwarzana jest na sygnał elektryczny – analogowy lub

cyfrowy. Zasadniczą różnicą w stosunku do enkodera obrotowego jest fakt, iż celem urządzenia nie jest wykrycie obrotu wału, a przesunięcie liniowe względem wzorca np. magnetycznej taśmy pomiarowej umieszczonej na ruchomym elemencie.

## 7.10 Połączenie z systemami SIMATIC/SINAMICS

Specyficzną odmianą enkodera jest enkoder liniowy (inkrementalny bądź absolutny). Zasada działania jest podobna jak w przypadku enkoderów obrotowych – występują analogiczne technologie pomiaru (np. optyczne, magnetyczne lub pojemnościowe). Wielkość mierzona przetwarzana jest na sygnał elektryczny – analogowy lub

cyfrowy. Zasadniczą różnicą w stosunku do enkodera obrotowego jest fakt, iż celem urządzenia nie jest wykrycie obrotu wału, a przesunięcie liniowe względem wzorca np. magnetycznej taśmy pomiarowej umieszczonej na ruchomym elemencie.

### SINAMICS

Podłączenie enkodera absolutnego do systemów SIMATIC możliwe jest wyłącznie przez moduł technologiczny dla S7-1500/ET200MP – TM PosInput 2 lub przez analogiczny moduł dla systemów ET200SP – TM PosInput 1. Jedyńm wspieranym standardem komunikacji szeregowej jest SSI.

Alternatywą w przypadku enkoderów absolutnych jest zastosowanie enkodera z interfejsem sieci przemysłowej – w takim przypadku wykorzystując odpowiedni moduł komunikacyjny możemy wykonać bezpośrednie połączenie, np. przez sieć PROFINET, PROFIBUS czy MODBUS.

| Właściwość   | Moduł technologiczny    |                                 |
|--|-------------------------|---------------------------------|
|  | TM PosInput 1 (ET200SP) | TM PosInput 2 (S7-1500/ET200MP) |
| Liczba kanałów   | 1                       | 2                               |
| Maksymalna częstotliwość sygnału   | 1 MHz                   | 1 MHz                           |
| Maksymalna częstotliwość zliczania dla enkoderów inkrementalnych z ewaluacją kwadraturową (A, /A, B, /B) | 4 MHz                   | 4 MHz                           |
| Enkoder inkrementalny/pulsowy RS422/TTL  | ●                       | ●                               |
| Maksymalny zakres zliczania  | 32-bit                  | 32-bit                          |
| Enkoder absolutny SSI  | ●                       | ●                               |
| Maksymalny zakres wartości pozycji absolutnej  | 31-bit                  | 31-bit                          |
| Enkoder inkrementalny 24 V   | -                       | -                               |
| Enkoder pulsowy 24 V   | -                       | -                               |
| Zasilanie enkoderów 5 V  | -                       | ●                               |
| Zasilanie enkoderów 24 V   | ●                       | ●                               |
| Uproszczona konfiguracja Motion Control  | ●                       | ●                               |
| Praca w trybie izochronicznym  | ●                       | ●                               |

### SINAMICS

W przypadku systemów SINAMICS mamy nieco więcej możliwości. Bezpośrednie połączenie enkodera absolutnego do przekształtnika częstotliwości jest możliwe zarówno dla rodziny G120 jak i dla serwonapędów V90 (enkodery dedykowane) oraz S1x0. W zależności od konfiguracji sprzętowej wspierane są enkodery z interfejsem DRIVE-CLiQ oraz szeregowo typu SSI,

EnDat, SIN/COS, resolvery lub z enkodery interfejsem sieci przemysłowej (np. PROFINET czy PROFIBUS).

Poniższa tabela prezentuje możliwości połączeń enkoderów bezpośrednio do jednostek sterujących CU napędów SINAMICS.

| Napędy SINAMICS                           | Resolver                          | Enkodery inkrementalne |     |              | Enkodery absolutne |     |            |
|---|-----------------------------------|------------------------|-----|--------------|--------------------|-----|------------|
|   |                                   | HTL                    | TTL | Sin/cos 1Vpp | Endat              | SSI | DRIVE-CLiQ |
| G120 z CU250S-2                           | ●                                 | ●                      | ●   | ●            | ●                  | ●   | ●          |
| G120 z CU250S-2 poprzez moduł SMC lub SME | ●                                 | ●                      | ●   | ●            | ●                  | ●   |            |
| S110*                                     |                                   | ●                      | ●   |              |                    | ●   | ●          |
| S110 poprzez moduł SMC lub SME            | ●                                 | ●                      | ●   | ●            | ●                  | ●   |            |
| S120                                      | CU310-2 lub CUA32                 |                        | ●   | ●            |                    | ●   |            |
|   | CU310-2 poprzez moduł SMC lub SME | ●                      | ●   | ●            | ●                  | ●   |            |
|   | CU320-2                           |                        |     |              |                    |     | ●          |
|   | CU320-2 poprzez moduł SMC lub SME | ●                      | ●   | ●            | ●                  | ●   |            |

\*umożliwia podłączenie tylko 1 enkodera

Informację zawarte w powyższej tabeli są ogólnym opisem obsługiwanych, przez poszczególne jednostki sterujące CU, enkoderów.

Dokładne informacje odnośnie możliwości łączenia enkoderów znajdują się w dokumentach technicznych dostępnych do pobrania ze strony: <https://support.industry.siemens.com/>

W razie pytań lub wątpliwości zapraszamy również do bezpośredniego kontaktu ze wsparciem technicznym techniki napędowej: [automatyka.pl@siemens.com](mailto:automatyka.pl@siemens.com).

