



***„Przetwornik stężenia
CO2 ► MODBUS RTU”***

1.Wprowadzenie	3
1.1.Funkcje urządzenia.....	3
1.2.Charakterystyka urządzenia	3
2.Dane techniczne	3
2.1.Parametry ogólne przetwornika	3
2.2.Parametry pomiaru CO2	4
2.3. Parametry wyjścia analogowego.....	4
2.4.Parametry interfejsu szeregowego	4
3.Instalacja	4
3.1.Bezpieczeństwo	4
3.2.Konstrukcja urządzenia	5
3.3.Opis wyprowadzeń	5
3.4.Konfiguracja adresu.....	6
3.5.Konfiguracja prędkości	6
3.6.Przywracanie ustawień fabrycznych	6
3.7.Sygnalizacja LED.....	7
3.8.Wytyczne	7
4.Protokół MODBUS	8
4.1.Mapa rejestrów	8
4.2.Funkcje protokołu	9
4.3.Format danych.....	10
4.4.Sumą kontrolna CRC.....	11

1. Wprowadzenie

Przedmiotem niniejszego opracowania jest charakterystyka funkcjonalności przetwornika stężenia CO₂ opartego na czujniku TELAIRE 6613, z interfejsem RS-485 z wbudowanym protokołem MODBUS RTU i opcjonalnie z wyjściem analogowym w standardzie 0-10V.

UWAGA: Przed przystąpieniem do uruchomienia modułu należy zapoznać się z tekstem zawartym w niniejszym opracowaniu.

1.1. Funkcje urządzenia

- pomiar stężenia **CO₂**
- analogowe wyjście napięciowe 0-10 [V] (proporcjonalne do stężenia CO₂)
- diodowa sygnalizacja pracy urządzenia
- szeregowy interfejs RS-485 (odczyt wartości pomiarowych, konfiguracja parametrów pracy)
 - protokół MODBUS RTU
 - komunikacja w trybie HALF DUPLEX
 - sprzętowo konfigurowany adres (1-127)
 - sprzętowo konfigurowana prędkość (9600, 19200, 38400, 57600, 115200)

1.2. Charakterystyka urządzenia

Podstawową funkcją przetwornika CO₂ v2 jest pomiar zawartości stężenia CO₂ w powietrzu. Zmierzone za pośrednictwem zintegrowanego czujnika TELAIRE 6613 wartości stężenia CO₂ są następnie przeliczane i uśredniane w mikrokontrolerze, dostępne są w jego pamięci (w rejestrach typu HOLDING REGISTERS) zgodnie ze standardem MODBUS. Odczyt rejestrów odbywa się za pomocą funkcji protokołu MODBUS przesyłanych szeregowym interfejsem RS-485. Sygnalizacja braku / błędu czujnika, stanu przekroczenia zakresu pomiarowego, realizowana jest za pośrednictwem rejestrów statusowych. Wartości mogą być prezentowane także w postaci analogowej na wyjściu napięciowym w standardzie 0-10V.

2. Dane techniczne

2.1. Parametry ogólne przetwornika

Zasilanie	
- napięciem stałym	DC 24V (20...30V)
- napięciem przemiennym	AC 24V (20...27,6V)
Pobór prądu	
- typowy ¹⁾	<35,0 mA
- maksymalny ²⁾	<70,0 mA
Sygnalizacja LED	opis w punkcie „Sygnalizacja LED”
Złącze instalacyjne	śrubowe w rastrze 5.00mm (≤ 2,5mm ²)
Wymiary	115 x 65 x 55 (L x H x W)
Waga	150g
Montaż ³⁾	
Środowisko pracy	bezpylowe, powietrze, gazy neutralne
Temperatura pracy	0°C ÷ 50°C

1) Średni pobór prądu urządzenia w warunkach: transmisja 10 zapytań na sekundę; prędkość transmisji 9600 b/s; jednoczesny odczyt 3 rejestrów; rezystory terminujące magistralę 2 x 120Ω; zasilanie 24V DC, wyjście napięciowe obciążone rezystancją 10k;

- 2) Maksymalny chwilowy pobór prądu urządzenia w warunkach jak w punkcie 1) + wyjście napięciowe obciążone rezystancją 1k;
- 3) Instalacji urządzenia powinien dokonywać wykwalifikowany personel;

2.2. Parametry pomiaru CO₂

Typ czujnika	TELAIRE 6613
Zakres pomiarowy	0 ÷ 2000 ppm
Dokładność:	
- w zakresie 400 ÷ 1250 ppm	± 3 %
- w zakresie 1250 ÷ 2000 ppm	± 5 % ± 30 ppm
Częstotliwość próbkowania	2 Hz
Czas odpowiedzi ¹⁾	< 2 min

1) Podany czas odpowiedzi jest równy jednej stałej czasowej odpowiadającej 90% wartości ustalonej;

2.3. Parametry wyjścia analogowego

Typ wyjścia	napięciowe
Zakres wyjściowy	10 V
Rozdzielczość	12 bitów (5 mV)
Obciążalność	R _L > 1 kΩ
Częstotliwość odświeżania	2 Hz

2.4. Parametry interfejsu szeregowego

Warstwa fizyczna	RS-485
Protokół komunikacji	MODBUS RTU
Konfiguracje połączeń ¹⁾	HALF DUPLEX
Prędkości transmisji	9600 / 19200 / 38400 / 57600 / 115200 b/s

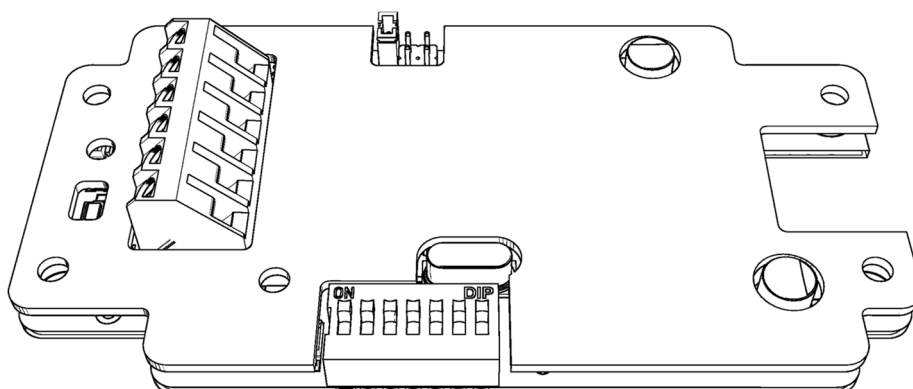
1) HALF DUPLEX – komunikacja dwukierunkowa jedną parą przewodów;

3. Instalacja

3.1. Bezpieczeństwo

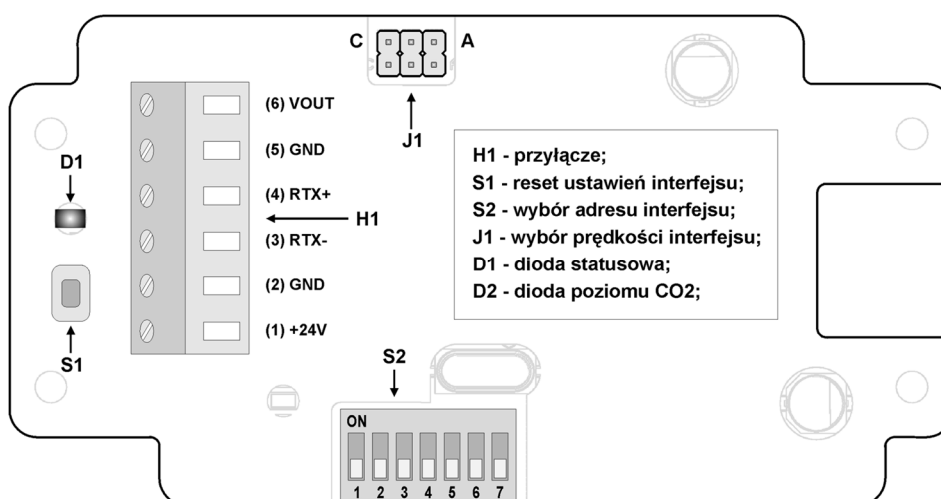
- Instalacji urządzenia powinien dokonywać wykwalifikowany personel!
- Wszystkie podłączenia należy wykonać zgodnie ze schematami elektrycznymi przedstawionymi w niniejszej specyfikacji!
- Przed przystąpieniem do uruchomienia należy sprawdzić wszystkie podłączenia elektryczne!

3.2. Konstrukcja urządzenia

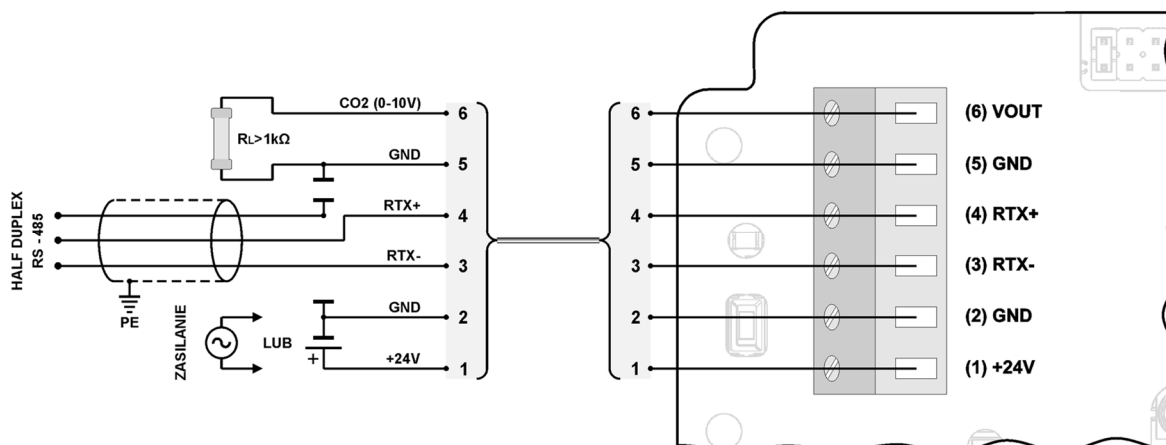


Rysunek 1. Widok obwodu drukowanego wersji **kanałowej** przetwornika.

3.3. Opis wyprowadzeń



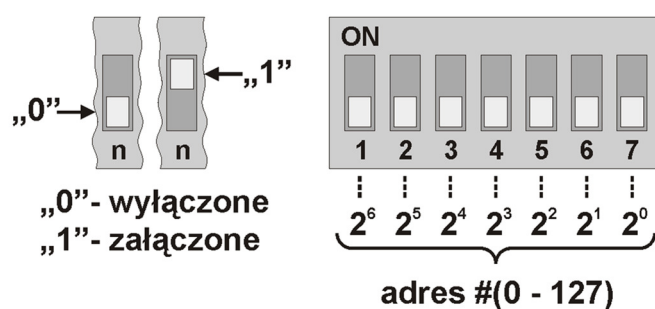
Rysunek 2. Opis wyprowadzeń przetwornika CO2 w wersji kanałowej.



Rysunek 3. Schemat podłączenia przetwornika CO2 w wersji kanałowej.

3.4. Konfiguracja adresu

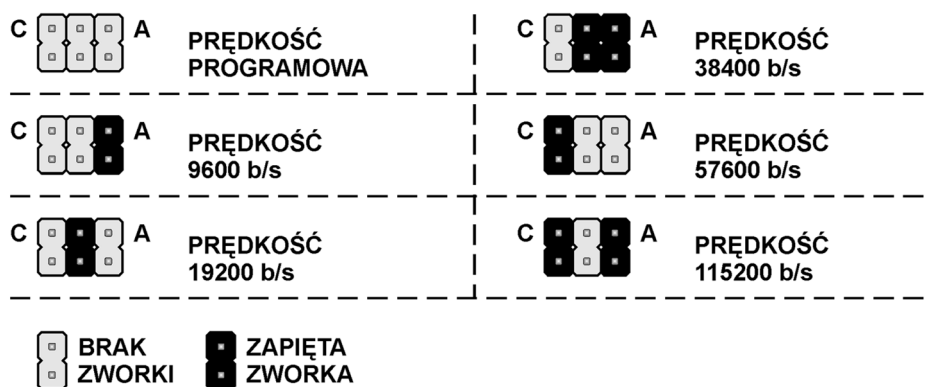
Urządzenie wyposażono w przełącznik 7-pozycyjny do sprzętowego ustalenia adresu (od „1” do „127”). Ustawienie adresu „0” na przełączniku spowoduje użycie adresu zapisanego w urządzeniu za pośrednictwem protokołu MODBUS (domyślnie „1”).



Rysunek 4. Adresacja przetwornika.

3.5. Konfiguracja prędkości

Urządzenie wyposażono w układ 3 zworek do sprzętowego ustalenia prędkości interfejsu RS-485 (zgodnie z poniższą tabelą). Brak zworek spowoduje użycie wartości prędkości zapisanej w urządzeniu za pośrednictwem protokołu MODBUS (domyślnie „9600 b/s”).



Rysunek 5. Konfiguracja prędkości interfejsu RS-485.

3.6. Przywracanie ustawień fabrycznych

Funkcja przywracania ustawień fabrycznych dotyczy wyłącznie parametrów transmisji interfejsu RS-485 (w tym adresu i prędkości). Aby przywrócić ustawienia należy nacisnąć i przytrzymać przycisk S1 przez około 2 sekundy (zabezpieczenie przed przypadkowym naciśnięciem). Gdy dioda D1 zacznie migać należy zwolnić przycisk. Urządzenie zacznie działać z nowymi ustawieniami automatycznie.

4.

4.1. Sygnalizacja LED

Tabela poziomów / statusów sygnalizowanych na diodzie D2:

Status	Opis	Kolor diody	Zachowanie
1	rozgrzewanie modułu CO2	zielony	mruganie (250ms / 250ms ^{**})
2	0 – 800 [ppm] *	zielony	świecenie ciągłe
3	800 – 1200 [ppm] *	żółty	świecenie ciągłe
4	1200 – 2000 [ppm] *	czerwony	świecenie ciągłe
5	> 2000 [ppm] czerwony	mruganie (250ms / 250ms ^{**})	
6	brak czujnika CO2 lub inny błąd	czerwony	mruganie (100ms / 600ms ^{**})

(*) Histereza przełączania stanu świecenia diody wynosi ± 50 ppm.

(**) Mruganie (XXX ms / YYY ms) oznacza XXX – czas załączenia, YYY – czas wyłączenia

4.2. Wytyczne

- W przypadku pracy w otoczeniu dużych zakłóceń, należy zastosować przewody ekranowane.
- Ekran przewodu należy podłączyć do najbliższego punktu PE od strony zasilacza.

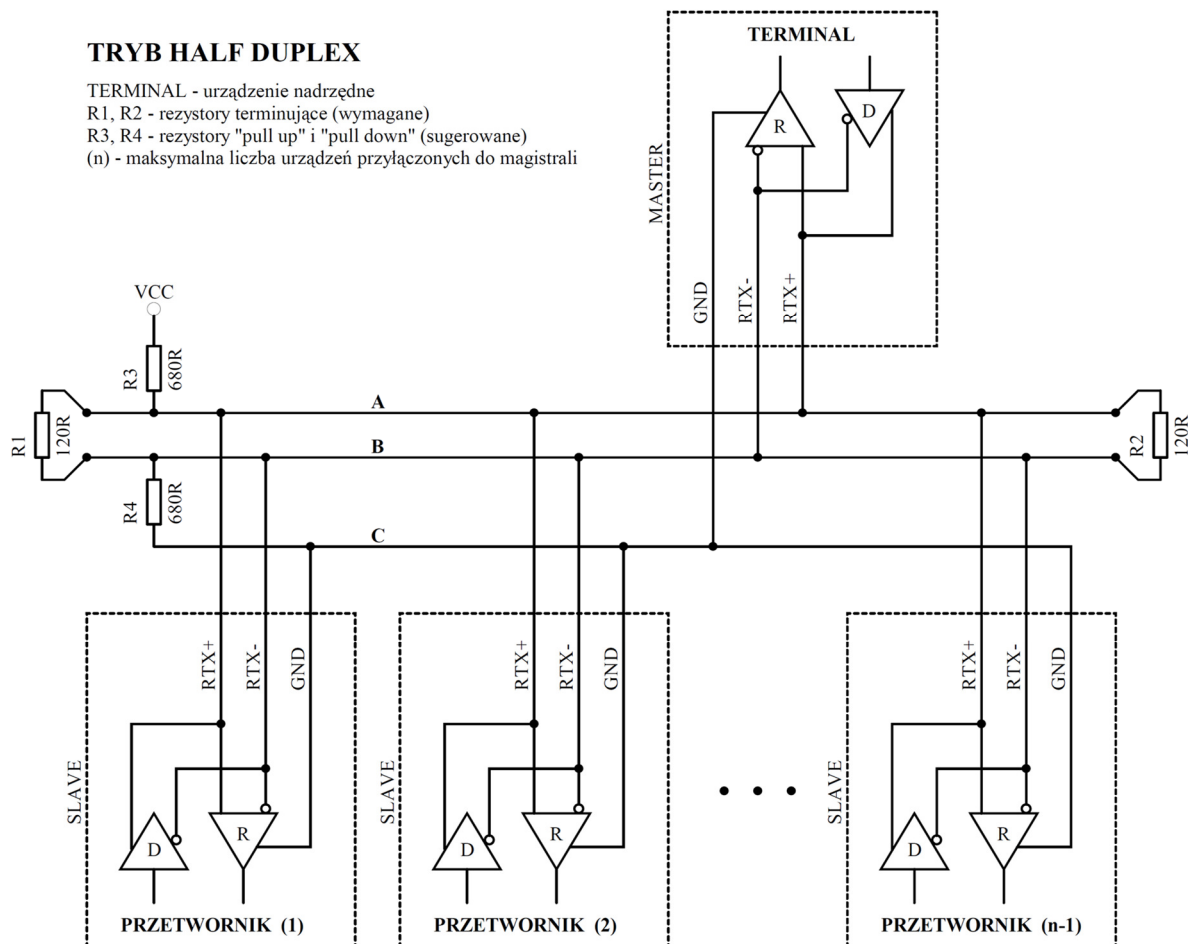
TRYB HALF DUPLEX

TERMINAL - urządzenie nadrzędne

R1, R2 - rezystory terminujące (wymagane)

R3, R4 - rezystory "pull up" i "pull down" (sugerowane)

(n) - maksymalna liczba urządzeń przyłączonych do magistrali



Rysunek 6. Sposób podłączenia przetwornika do magistrali RS-485 pracującej w trybie HALF DUPLEX.

5. Protokół MODBUS

5.1. Mapa rejestrów

Tabela rejestrów:

Nr rejestru	Wartości	Opis
1	400 – 2000	Stężenie CO2 [ppm] (1 = 1 ppm)
2	0 / 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6	Rejestr statusowy (0: "NO SENSOR", 1: "SENSOR OK", 2: "ERROR", 3: "WARM UP", 4: "CALIBRATION", 5: "IDLE", 6: "OVER RANGE (*)
3	1000 (0x03E8)	Wartość testowa - do weryfikacji poprawności odczytu rejestrów
4	1234	Rejestr hasła
5	1 / 2 / 3	Rejestr poleceń
6	wg tabeli poleceń	Rejestr parametru
7	0-65535	Licznik poprawnych ramek
8	0-65535	Licznik wyjątków
9	0-65535	Licznik błędnych CRC
10	0-65535	Licznik błędnych bajtów
11	-	nie używany
12	400 – 5000	wyłącznie dla celów serwisowych

(*) "NO SENSOR" – brak czujnika; "SENSOR OK" – prawidłowe działanie czujnika; "ERROR" – błąd działania czujnika; "WARM UP" – czujnik w trakcie podgrzewania; "CALIBRATION" – czujnik w trakcie kalibracji; "IDLE" – czujnik w trybie uśpienia; "OVER RANGE" – przekroczenie zakresu pomiarowego;

Tabela poleceń:

Nr polecenia	Funkcja	Parametry
1	Ustaw adres urządzenia	1 – 247 (1-wartość domyślna)
2	Ustaw prędkość transmisji	96 – 9600 b/s (wartość domyślna) 192 – 19200 b/s 384 – 38400 b/s 576 – 57600 b/s 1152 – 115200 b/s
3	Ustaw bity parzystości	0 – NO PARITY; brak bitu parzystości 1 – EVEN PARITY; (wartość domyślna) 2 – ODD PARITY,
4	Ustaw bity Stopu	1 – 1 x STOP; 1 bit stopu (wartość domyślna) 2 – 2 x STOP; 2 bity stopu
5	Ustaw elewację	0 – 2500 [m n.p.m.] (wysokość nad poziomem morza)
105	Odczytaj elewację	j.w.
6	Reset urządzenia	1 – programowy reset urządzenia

Uwagi:

- Podanie błędnej lub spoza zakresu wartości parametru, skutkuje wpisaniem do rejestru poleceń wartości 0xEEEE.

- Każdorazowemu wywołaniu polecenia musi towarzyszyć wpisanie hasła (1234 decymalnie).
- Wywołanie polecenia poprzez pojedyncze wpisy do rejestrów, musi zostać zakończone wpisaniem hasła.

5.2. Funkcje protokołu

W przetworniku zaimplementowano następujące funkcje standardu MODBUS:

KOD	ZNACZENIE
03 (0x03)	Odczyt N x 16-bitowych rejestrów
16 (0x10)	Zapis N x 16-bitowych rejestrów

5.2.1.

5.2.2. Odczyt zawartości grupy rejestrów wyjściowych (0x03)

Format żądania:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	0x03
Adres bloku danych	2 bajty	0x0000 – 0xFFFF
Liczba rejestrów (N)	2 bajty	1 – 125 (0x7D)
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

Format odpowiedzi:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	0x03
Licznik bajtów	1 bajty	2 x N
Wartości rejestrów	N x 2 bajty	wg mapy rejestrów
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

Format błędu:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	0x83
Kod błędu	1 bajt	0x01 / 0x02 / 0x03 / 0x04
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

5.2.3. Zapis do grupy rejestrów wyjściowych (0x10)

Format żądania:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	0x10
Adres bloku danych	2 bajty	0x0000 – 0xFFFF
Liczba rejestrów (N)	2 bajty	1 – 123 (0x7B)
Licznik bajtów	1 bajt	2 x N
Wartości	N x 2 bajty	użytkownika
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

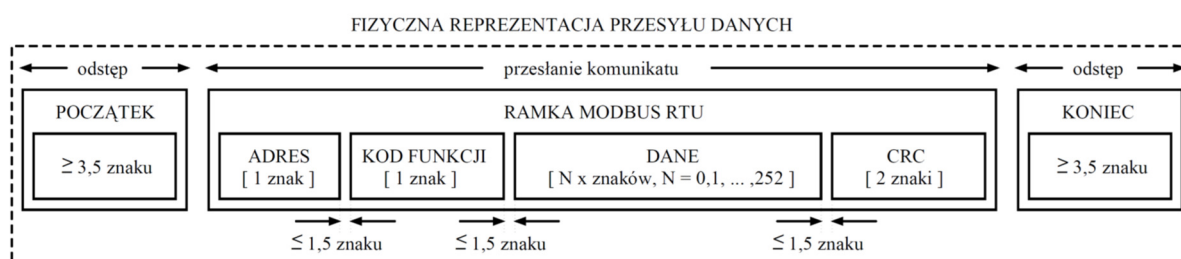
Format odpowiedzi:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	0x10
Adres bloku danych	2 bajty	0x0000 – 0xFFFF
Liczba rejestrów (N)	2 bajty	1 – 123 (0x7B)
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

Format błędu:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	0x90
Kod błędu	1 bajt	0x01 / 0x02 / 0x03 / 0x04
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

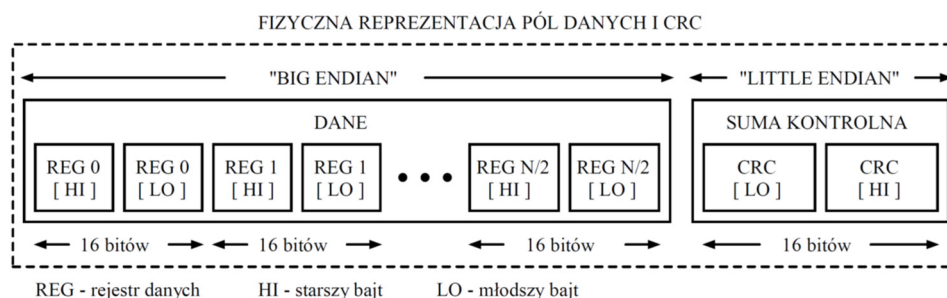
5.3. Format danych



Rysunek 7. Przesył danych w standardzie MODBUS RTU zaimplementowany w przetworniku.



Rysunek 8. Format znaku w standardzie MODBUS RTU zastosowany w przetworniku.



Rysunek 9. Format pól danych i CRC w standardzie MODBUS RTU zastosowany w przetworniku.

5.4. Suma kontrolna CRC

Zgodnie ze standardem MODBUS, do wyliczenia sumy kontrolnej CRC wykorzystano wielomian:

$$X^{16} + X^{15} + X^2 + 1.$$

5.4.1. Bitowy algorytm liczenia CRC:

Procedura wyznaczania sumy kontrolnej CRC metodą bitową:

- załadowanie wartości 0xFFFF do 16-bitowego rejestru CRC;
- pobranie pierwszego bajta z bloku danych i wykonanie operacji EX-OR z młodszym bajtem rejestru CRC, umieszczenie rezultatu w rejestrze;
- przesunięcie zawartości rejestru CRC w prawo o jeden bit w kierunku najmniej znaczącego bitu (LSB), wyzerowanie najbardziej znaczącego bitu (MSB);
- sprawdzenie stanu najmłodszego bitu (LSB) w rejestrze CRC, jeżeli jego stan równa się 0, to następuje powrót do punktu c, jeżeli 1, to wykonywana jest operacja EX-OR rejestru CRC ze stałą 0xA001;
- powtórzenie punktów c i d do ośmiu razy, co odpowiada przetworzeniu całego bajta;
- powtórzenie sekwencji b, c, d, e dla kolejnego bajta wiadomości, kontynuacja tego procesu aż do przetworzenia wszystkich bajtów wiadomości;
- zawartość rejestru CRC po wykonaniu wymienionych operacji jest poszukiwaną wartością sumy kontrolnej CRC;
- dopisanie sumy kontrolnej CRC do ramki MODBUS RTU musi zostać poprzedzone zamianą miejscami starszego i młodszego bajta rejestru CRC.

5.4.2. Tablicowy algorytm liczenia CRC:

Przykład implementacji procedury wyznaczania sumy kontrolnej CRC metodą tablicową:

```
/* The function returns the CRC as a unsigned short type */
unsigned short CRC16 ( puchMsg, usDataLen )
/* message to calculate CRC upon */
unsigned char *puchMsg ;
/* quantity of bytes in message */
unsigned short usDataLen ;

{
    /* high byte of CRC initialized */
    unsigned char uchCRCHi = 0xFF ;
    /* low byte of CRC initialized */
    unsigned char uchCRCLo = 0xFF ;
    /* will index into CRC lookup table */
    unsigned uIndex ;

    /* pass through message buffer */
    while (usDataLen--)
    {
        /* calculate the CRC */
        uIndex = uchCRCLo ^ *puchMsg++ ;
        uchCRCLo = uchCRCHi ^ auchCRCHi[uIndex] ;
        uchCRCHi = uchCRCLo[uIndex] ;
    }
    return (uchCRCHi << 8 | uchCRCLo) ;
}
```

```

/* Table of CRC values for high-order byte */
static unsigned char auchCRCHi[] = {
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0,
0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01,
0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0,
0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01,
0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,
0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0,
0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01,
0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0,
0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01,
0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40,
};

/* Table of CRC values for low-order byte */
static char auchCRCLo[] = {
0x00, 0xC0, 0xC1, 0x01, 0xC3, 0x03, 0x02, 0xC2, 0xC6, 0x06, 0x07, 0xC7, 0x05, 0xC5, 0xC4,
0x04, 0xCC, 0x0C, 0xD0, 0xCD, 0x0F, 0xCF, 0xCE, 0x0E, 0x0A, 0xCA, 0xCB, 0x0B, 0xC9, 0x09,
0x08, 0xC8, 0xD8, 0x18, 0x19, 0xD9, 0x1B, 0xDB, 0xDA, 0x1A, 0x1E, 0xDE, 0xDF, 0x1F, 0xDD,
0x1D, 0x1C, 0xDC, 0x14, 0xD4, 0xD5, 0x15, 0xD7, 0x17, 0x16, 0xD6, 0xD2, 0x12, 0x13, 0xD3,
0x11, 0xD1, 0xD0, 0x10, 0xF0, 0x30, 0x31, 0xF1, 0x33, 0xF3, 0xF2, 0x32, 0x36, 0xF6, 0xF7,
0x37, 0xF5, 0x35, 0x34, 0xF4, 0x3C, 0xFC, 0xFD, 0x3D, 0xFF, 0x3F, 0x3E, 0xFE, 0xFA, 0x3A,
0x3B, 0xFB, 0x39, 0xF9, 0xF8, 0x38, 0x28, 0xE8, 0xE9, 0x29, 0xEB, 0x2B, 0x2A, 0xEA, 0xEE,
0x2E, 0x2F, 0xEF, 0x2D, 0xED, 0xEC, 0x2C, 0xE4, 0x24, 0x25, 0xE5, 0x27, 0xE7, 0xE6, 0x26,
0x22, 0xE2, 0xE3, 0x23, 0xE1, 0x21, 0x20, 0xE0, 0xA0, 0x60, 0x61, 0xA1, 0x63, 0xA3, 0xA2,
0x62, 0x66, 0xA6, 0xA7, 0x67, 0xA5, 0x65, 0x64, 0xA4, 0x6C, 0xAC, 0xAD, 0x6D, 0xAF, 0x6F,
0x6E, 0xAE, 0xAA, 0x6A, 0x6B, 0xAB, 0x69, 0xA9, 0xA8, 0x68, 0x78, 0xB8, 0xB9, 0x79, 0xBB,
0x7B, 0x7A, 0xBA, 0xBE, 0x7E, 0x7F, 0xBF, 0x7D, 0xBD, 0xBC, 0x7C, 0xB4, 0x74, 0x75, 0xB5,
0x77, 0xB7, 0xB6, 0x76, 0x72, 0xB2, 0xB3, 0x73, 0xB1, 0x71, 0x70, 0xB0, 0x50, 0x90, 0x91,
0x51, 0x93, 0x53, 0x52, 0x92, 0x96, 0x56, 0x57, 0x97, 0x55, 0x95, 0x94, 0x54, 0x9C, 0x5C,
0x5D, 0x9D, 0x5F, 0x9F, 0x9E, 0x5E, 0x5A, 0x9A, 0x9B, 0x5B, 0x99, 0x59, 0x58, 0x98, 0x88,
0x48, 0x49, 0x89, 0x4B, 0x8B, 0x8A, 0x4A, 0x4E, 0x8E, 0x8F, 0x4F, 0x8D, 0x4D, 0x4C, 0x8C,
0x44, 0x84, 0x85, 0x45, 0x87, 0x47, 0x46, 0x86, 0x82, 0x42, 0x43, 0x83, 0x41, 0x81, 0x80,
0x40
};

```