

**Uniwersytet Morski w Gdyni**

Nr ewidencyjny .....

**Wydział Elektryczny**

Data złożenia pracy .....

**Katedra Elektroenergetyki  
Okrętowej**

Nr albumu 41880

---

**PRACA DYPLOMOWA**



Dyplomant:	Filip Szreiber	
Specjalność:	Elektroautomatyka Okrętowa	
Promotor:	dr inż. Bolesław Dudojć	Ocena:
Recenzent:		Ocena:
Egzamin dyplomowy:	Data:	Ocena:

Temat: Pomiary z wykorzystaniem przetworników programowalnych HART

Subject: Measurements using HART programmable transducers

Recenzent: .....

Promotor: .....

Dziekan: .....

Dyplomant: .....

**Gdynia 2020**

Filip Szreiber

Gdynia, dnia .....r.

## OŚWIADCZENIE

Świadoma odpowiedzialności prawnej oświadczam, że złożona praca licencjacka / inżynierska / magisterska\* pt.:

### **Pomiary z wykorzystaniem przetworników programowalnych HART**

została napisana przeze mnie samodzielnie.

Równocześnie oświadczam, że w pracy wykorzystano tylko cytowaną literaturę a więc praca nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. 1994, nr 24, poz. 83) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym.

Ponadto praca nie zawiera informacji i danych uzyskanych w sposób nielegalny i nie była wcześniej przedmiotem innych procedur urzędowych związanych z uzyskaniem dyplomów lub tytułów zawodowych uczelni wyższej.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną na płycie CD.

Na podstawie art. 75 §2 kodeksu postępowania administracyjnego wnoszę o odebranie tego oświadczenia, jako dowodu prawdziwości okoliczności w nim podanych, przy czym jestem świadomy odpowiedzialności karnej z art. 233 §1 i §6 k.k. za złożenie fałszywego oświadczenia.

.....  
*podpis*

## Streszczenie

W pracy przedstawiono standardy komunikacji analogowej wykorzystywane w przemyśle. Omówiono podział standardów na analogowy i cyfrowy. Opisano organizację NAMUR zajmującą się rozwojem i formułowaniem opinii na temat bieżących problemów automatyków. W pracy przedstawiono wybrane zagadnienia standardu prądowego 4-20 mA. Opisując standard prądowy 4-20 mA ograniczono się do dwuprzewodowego prądowego sposobu przesyłania informacji na duże odległości. Przedstawiono standard komunikacji cyfrowej HART rozszerzający możliwości standardu prądowego 4-20 mA. Analizując takie zagadnienia jak topologię sieci HART, typowe programatory przemysłowe, opisując wybrane przetworniki programowalne komunikujące się za pomocą protokołu HART, a także wybrany separator izolacyjny wykonany w technice iskrobezpiecznej stosowany w obszarach niebezpiecznych. Przedstawiono i opisano wyświetlacz procesowy RIA15 jako układ indykacji. Wyznaczono charakterystykę prądowo-napięciową wyświetlacza jak i obliczono rezystancję wewnętrzną jaką wnosi do obwodu pomiarowego, a także wyznaczono dopuszczalny obszar pracy na przykładzie układu pomiarowego wraz z wyświetlaczem RIA 15. Przeprowadzono pomiary określające wpływ rezystancji na komunikację za pomocą protokołu HART. Określono próg dolny i górny wykorzystując trzy komunikatory przemysłowe, a także wykorzystano separator izolacyjny TURCK IM33-22Ex-Hi do określenia granicznych wartości rezystancji podczas komunikacji za pomocą HART.

## **Abstract**

The paper presents analog communication standards used in industry. The division of standards analogue and digital was discussed. The organization NAMUR, which develops and formulates opinions on the current problems of automatics, is described. The paper presents selected issues of 4-20 mA current standard. Describing the 4-20 mA current standard is limited to a two-wire long distance current transmission. The HART digital communication standard is presented, extending the capabilities of the 4-20 mA current standard. Analyzing such issues as HART network topology, typical industrial programmers, describing selected programmable transmitters communicating with HART protocol, as well as selected intrinsically safe isolating separator used in hazardous areas. The RIA 15 process display is shown and described as an indication system. The current-voltage characteristics of the display have been determined and the internal resistance it brings to the measuring circuit has been calculated, as well as the permissible working area has been determined on the example of the measuring circuit together with the RIA 15 display. Measurements were carried out to determine the effect of resistance on communication using the HART protocol. The lower and upper threshold was determined using three industrial communicators and the TURCK IM33-22Ex-Hi separator were determined.

# SPIS TREŚCI

Spis treści.....	5
Wstęp.....	7
1. Standardy komunikacji przemysłowej.....	9
1.1. Interfejs analogowy .....	9
1.2. Interfejs cyfrowym .....	9
2. Organizacja NAMUR .....	11
3. Dwuprzewodowy tor pomiarowy w standardzie prądowym 4-20 mA. ....	12
3.2. Pomiar prądu w układzie pomiarowy z wykorzystaniem diody półprzewodnikowej.....	17
3.3. Charakterystyki statyczne toru pomiarowego w standardzie prądowym 4-20 mA. ....	19
3.4. Dopuszczalny obszar pracy układu pomiarowego .....	21
4. Protokół HART.....	24
4.2. Rzeczywisty sygnał HART .....	26
4.3. Topologia łączenia urządzeń programowalnych zgodnie z protokołem HART .....	28
5. programatory przemysłowe .....	37
5.1. Komunikator polowy 375 .....	37
5.2. AMS Trex™ Device Communicator.....	39
5.3. System zarządzania aparaturą obiektową HART .....	41
5.4. System zarządzania urządzeniami HART.....	43
6. Przetworniki HART i urządzenia peryferyjne.....	50
6.1. Przetwornik Rosemount 2088 .....	50
6.2. Przetwornik temperaturowy Rosemount 3244MV .....	51
6.3. Przetwornik ciśnienia Rosemount 3051C .....	52
6.4. Wskaźnik procesowy RIA15.....	53
6.5. Separator izolacyjny TURCK IM33-22Ex-Hi .....	59
7. Konfiguracja wyświetlacza RIA 15. ....	61
7.1. Schemat połączenia .....	61
7.2. Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej wskaźnika procesowego RIA 15 .....	63
7.2.1. Schemat połączenia układu pomiarowego .....	63
7.2.2. Cel badania .....	64

7.2.3. Charakterystyki pomiarowe RIA 15 .....	66
7.3. Wpływ rezystancji w układzie pomiarowy na komunikację z wykorzystaniem protokołu HART. ....	68
7.3.2. Wpływ rezystancji na komunikację za pomocą protokołu HART z wykorzystaniem separatora TURCK IM33-22Ex-Hi.....	69
7.3.3. Schemat połączenia układu pomiarowego .....	70
7.4. Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej separatora TURCK IM33- 22Ex-Hi. ....	71
Podsumowanie .....	78
Bibliografia .....	80
Załącznik 1 .....	82
Załącznik 2.....	90
Załącznik 3.....	94

## WSTĘP

Komunikacja i pomiary w instalacjach przemysłowych są integralną częścią układów automatyki. Dobór standardu przesyłania informacji jest bardzo ważnym aspektem. W pracy omówiono standardy komunikacji analogowej i cyfrowej. Dzięki dużej ilości dostępnych standardów komunikacji możliwe jest dobranie interfejsu komunikacji indywidualnie dla każdego rodzaju toru pomiarowego lub sterowania występujących w instalacjach przemysłowych. Jedną z pierwszych organizacji technicznych, która wspierała i rozwijała zagadnienie przesyłania sygnałów na duże odległości jest organizacja NAMUR. Organizacja ta nadal skupia się na wspieraniu rozwoju technologii w zakresie automatyki przemysłowej, prowadzi nadzór i wydaje rekomendacje oraz zalecenia odnośnie współczesnych problemów technicznych związanych z automatyzacją procesów przemysłowych. Jednym z jej osiągnięć jest opracowanie i wdrożenie do zastosowań przemysłowych standardu prądowego 4-20 mA. Spośród analogowych sposobów przesyłania informacji standard prądowy 4-20 mA stał się dominujący, w szczególności w wersji dwuprzewodowej. Postęp technologiczny, szczególnie w technologiach mikroprocesorowych spowodował wspomaganie standard analogowego poprzez budowę przetworników z zastosowaniem mikroprocesorów. Zastosowanie technik mikroprocesorowych spowodowało gromadzenie dużych ilości danych technicznych w przetwornikach do których dostęp był ograniczony. Rozwiązanie problem swobodnego, zdalnego dostępu do danych cyfrowych w latach 80 ubiegłego wieku spowodowało rozwój różnych rozwiązań, z których sposób opracowany przez firmę Rosemount stał się standardem międzynarodowym. Sposób ten określany został akronimem HART- Highway Addressable Remote Transducer. Praca obejmuje wybrane elementy standardu prądowego 4-20 mA aplikowane w automatyce przemysłowej. Protokół HART będący interfejsem hybrydowym jest standardem komunikacji analogowo-cyfrowej. Powstał, jako standard cyfrowy dodatkowo rozszerzający możliwości standardu prądowego 4-20 mA o komunikację z przetwornikami często, określanymi jako smart. Standard HART może pracować, jako sieć w topologii „point-to-point” czyli jeden przetwornik komunikujący się z urządzeniem nadrzędnym, jak również w konfiguracji „multi-drop” pozwalającej komunikować się pomiędzy większą grupą urządzeń.

Sposoby komunikacji omówiono na przykładzie trzech typowych komunikatorów przemysłowych typu master, są to: dwa ręczne komunikatory polowe 375 i AMS Trex oraz program AMS. W pracy omówiono również wykorzystane przykładowe przetworniki. Środowisko potencjalnie zagrożone wybuchem wymaga szczególnej uwagi związanej z aplikacją, jak i eksploatacją toru pomiarowego. W związku z tym zaprezentowany został przykładowy iskrobezpieczny separator izolacyjny. Badania obejmowały wpływ rezystancji na komunikację za pomocą protokołu HART z użyciem separatora. Wyznaczono charakterystykę prądowo-napięciową oraz określono specyfikę pracy separatora w korelacji z obciążeniem rezystancyjnym toru pomiarowego.



# **1. STANDARDY KOMUNIKACJI PRZEMYSŁOWEJ**

## **1.1. Interfejs analogowy**

Komunikacja w złożonym systemie kontrolno-pomiarowym jest kluczowym aspektem wymiany informacji. Wśród typowych standardów analogowej komunikacji przemysłowej możemy wyróżnić dwie grupy:

- Standard prądowy: 0,2- 1mA, 0-5 mA, 0-20 mA, 4-20 mA, 10-50mA;
- Standard napięciowy: 0-5 V, 0-10 V, 1-5 V, -10 do +10 V.

Tory pomiarowe zbudowane w oparciu o przetworniki pomiarowe wykorzystujące sygnał prądowy do przesyłania informacji:

- mogą posiadać relatywnie dużą wartość rezystancji przewodów łączeniowych, co umożliwia przesyłanie informacji na duże odległości;
- są niewrażliwe na zakłócenia oraz na możliwe wahania napięcia zasilającego;
- posiadają dużą tolerancję zakresu napięcia zasilającego, dzięki czemu można stosować mniej stabilne źródła zasilania.

## **1.2. Interfejs cyfrowym**

Standard komunikacji cyfrowej jest ważną częścią układu komunikacyjno-informującego systemu sterowania i pomiarów. Panują w nim ściśle określone reguły dotyczące zarządzania systemem pomiarowym przez kontroler, jak i metody kodowania informacji oraz jej przesyłania. Reguły te precyzują parametry elektryczne sygnałów, metody transmisji, protokoły komunikacyjne, metody kodowania sygnałów, wymagania techniczne dotyczące normalizacji gniazd łączeniowych i rozmieszczenia w nich poszczególnych sygnałów. Standard komunikacji cyfrowej możemy podzielić na dwie grupy szeregowo i równoległe.

**W interfejsie szeregowym** przesyłanie bitów danego słowa odbywa się kolejno bit po bicie. Standard ten jest wykorzystywany do przesyłania informacji na duże odległości z uwagi na aspekt ekonomiczny, ponieważ do budowy toru wykorzystuje się tylko dwa do trzech przewodów. Jeszcze do niedawna najbardziej popularnym interfejsem szeregowym był interfejs RS-232C oraz jego pokrewne standardy takie jak np. RS-423, RS-422 oraz RS- 285. Był stosowany do komunikacji jednostki zarządzającej z urządzeniami peryferyjnymi. Interfejs ten jest stosowany w systemach pomiarowych niewymagających wysokiej sprawności działania. Na dzień dzisiejszy najbardziej rozpowszechnionym interfejsem szeregowym jest USB (ang. *Universal Serial Bus*).

**W interfejsie równoległym** przekazywaną informację rozkłada się na słowa po 8 bądź 16 bitów. Wszystkie bity danego słowa nadaje się jednocześnie, tymczasem pojedyncze słowa przesyła się szeregowo, jedno po drugim. To pozwala stwierdzić, że teoretycznie interfejsy równoległe są szybsze od transmisji szeregowej. Mankamentem transmisji równoległej jest niewątpliwie wysoki koszt okablowania, ponieważ każdy bit danego słowa potrzebuje indywidualnej linii. Interfejsy równoległe są zazwyczaj stosowane w systemach modułowych, ponieważ odległość pomiędzy modułami umieszczanymi w kasecie są niewielkie, i gdzie konieczna jest wysoka szybkość działania np. w interfejsie PXI lub VXI oraz GPIB. Coraz szybszy rozwój technologii sprawia, że interfejs równoległy zostaje wyparty przez interfejs szeregowy. Spowodowane jest to możliwością osiągania coraz większych szybkości przesyłania interfejsu szeregowego. Nowoczesne technologie, np. sieciowa transmisja bezprzewodowa zwiększa znaczenie pozycji systemów transmisji szeregowej [1].

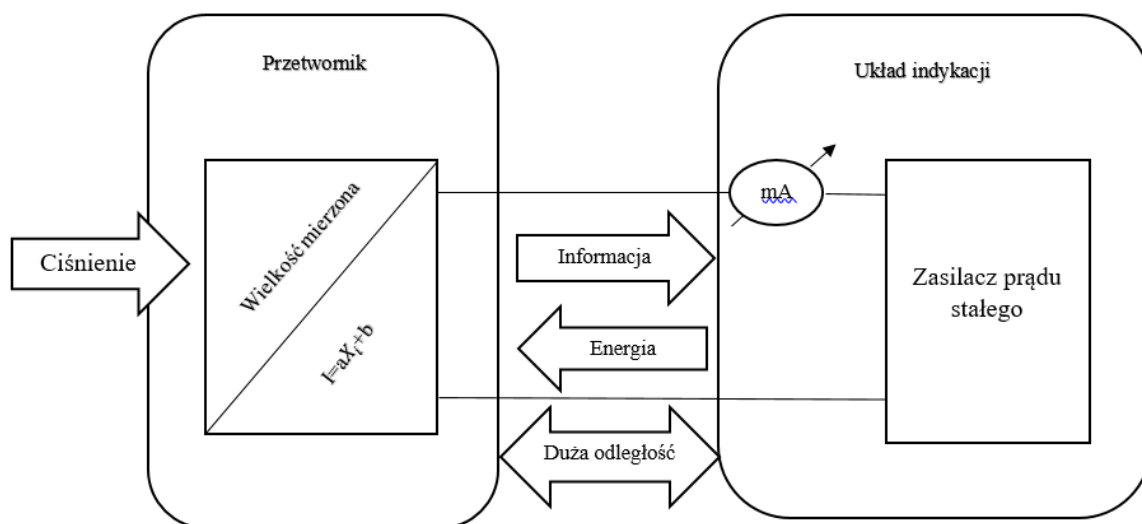
## 2. ORGANIZACJA NAMUR

Organizacja NAMUR została założona w Leverkusen 3 listopada 1949 roku. Założycielami organizacji są znani eksperci w dziedzinie chemii pracujący dla firm chemicznych takich jak: Bayer (dr Sturm), BASF (dr Hengstenberg), Hüls (dr Winkler) i innych. Organizacja została powołana, jako organ reprezentujący interesy użytkowników technologii pomiarowej w przemyśle chemicznym. Na drugim spotkaniu w grudniu 1949 roku członkowie grupy roboczej przyjęli nazwę Stowarzyszenie Normalizacji Miar i Automatyki w Przemśle Chemicznym stąd akronim NAMUR (**N**ormen**a**rbeitsgemeinschaft für **M**ess- und **R**egeltechnik in der chemischen Industrie). Członkostwo w organizacji NAMUR jest otwarte dla firm i dostawców usług dla przemysłu przetwórstwa chemicznego, farmaceutycznego, petrochemicznego i innych organizacji technicznych oraz naukowych np. uniwersytety. Organizacja NAMUR nie przyznaje członkostwa osobistego pozwalającego na uczestnictwo w spotkaniach członków. Misja organizacji NAMUR to łączenie umiejętności i “know-how” użytkowników automatyzacji i cyfryzacji w branży procesowej. NAMUR poprawia wykorzystanie technologii automatyzacji i cyfryzacji oraz zachęca i wspiera wykwalifikowane talenty. W ramach organizacji NAMUR prowadzone są prace techniczne w prawie 40 grupach roboczych. Grupy robocze opracowują i utrzymują zalecenia. Arkusze NAMUR formułują opinię na temat bieżących problemów w społeczności inżynierów automatyków. Podział grup roboczych na cztery główne obszary pracy [2][3] jak:

- Planowanie i budowa projektów;
- Systemy automatyzacji procesów i instalacji;
- Technologia elektryczna i oprzyrządowanie;
- Obsługa i konserwacja.

### **3. DWUPRZEWODOWY TOR POMIAROWY W STANDARDZIE PRĄDOWYM 4-20 mA.**

Standard prądowy jest jednym z najczęściej stosowanych analogowych sposobów przesyłania informacji na duże odległości w systemach pomiarowo-sterujących. Standard ten został zasugerowany do stosowania w warunkach przemysłowych przez Stowarzyszenie NAMUR w postaci rekomendacji NE 06 w 1979 roku. Działania nad wprowadzeniem standardu prądowego 4-20 mA były prowadzone znacznie dłużej, jednakże za datę powstania standardu przyjmuje się 6 października 1966 roku. W tym dniu na spotkaniu członków NAMUR zatwierdzono decyzję o wprowadzeniu standardu prądowego 4-20 mA, jako sygnału normatywnego. Należy zaznaczyć ogromny udział Otto Winkler'a, który jako jeden z pierwszych założycieli organizacji NAMUR zaproponował wdrożenie tego standardu do używania w warunkach przemysłowych. O ugruntowanej i stabilnej pozycji standardu prądowego 4-20 mA świadczy aktualna powszechność i dostępność urządzeń automatyki pracująca w tym standardzie. Standard 4-20 mA został opisany w normie [4], niestety informacje tam zawarte są ograniczone i nie odpowiadają merytorycznie na oczekiwania projektantów i użytkowników, co determinuje dużą liczbą potencjalnych błędów w projektowaniu, jak i eksploatacji torów pomiarowych. Bardziej rozbudowane wersje układu pomiarowego składają się z elementów, których rodzaj, właściwości oraz zastosowanie determinuje środowisko w jakim układ ma pracować. Wśród takich środowisk znajdują się obszary zagrożone wybuchem, takie jak obszary portów oraz specjalistyczne statki morskie przewożące ładunek o podwyższonym ryzyku, np. statki do przewozu skroplonego gazu LNG i LPG, a także chemikaliowce i tankowce. Właściwa praca układu pomiarowego wynika z poprawnego dopasowania wszystkich elementów składowych. Na rysunku 3.1 przedstawiono tor pomiarowy w prądowym standardzie 4-20 mA. Należy podkreślić, że informacja o wartości wielkości mierzonej z przetwornika przesyłana jest do układu indykacji w postaci prądu, natomiast z zasilacza energia przesyłana jest do przetwornika.



Rys. 3.1. Zasada działania dwuprzewodowego toru pomiarowego.

**Przetwornik** jest to podstawowy element toru pomiarowego. Jego zadaniem jest przetwarzanie informacji współpracując wraz z czujnikiem wartości wielkości mierzonej. Przetworniki w współcześnie budowane są bardzo często z wykorzystaniem technologii mikroprocesorowej. Z elektrycznego punktu widzenia przetwornik reprezentowany jest przez źródło prądowe sterowane wielkością mierzoną, które nie posiada własnego zasilania, a więc jest to źródło pasywne. Wartość prądu determinuje oddziaływanie wartości wielkości mierzonej na przetwornik. Przetworniki budowane są w różnych wersjach jak z zintegrowanym czujnikiem (rysunek 3.2), np. hydrostatyczny przetwornik poziomu cieczy. Kolejną wersją budowy przetwornika jest wykonanie go jako niezależnego urządzenia, do którego należy podłączyć zewnętrzny czujnik bądź kilka czujników (rysunek 3.3). Tego typu rozwiązania są charakterystyczne w przetwornikach temperatury, gdzie czujnik jest oddzielnym elementem. Przykładem mogą być wersje z dwoma czujnikami podłączonymi do przetwornika. Dzięki takiemu rozwiązaniu przetwornik monitoruje pracę czujników mierzących, np. temperaturę w tym samym rurociągu. W przypadku wykrycia nieprawidłowej pracy czujnika przetwornik automatycznie się przełącza na drugi sprawny czujnik. Zastosowana redundancja pozwala zwiększyć niezawodność pomiaru najbardziej wrażliwych miejsc pomiarowych.



Rys. 3.2. Przetwornik temperatury z zintegrowanym czujnikiem [5].



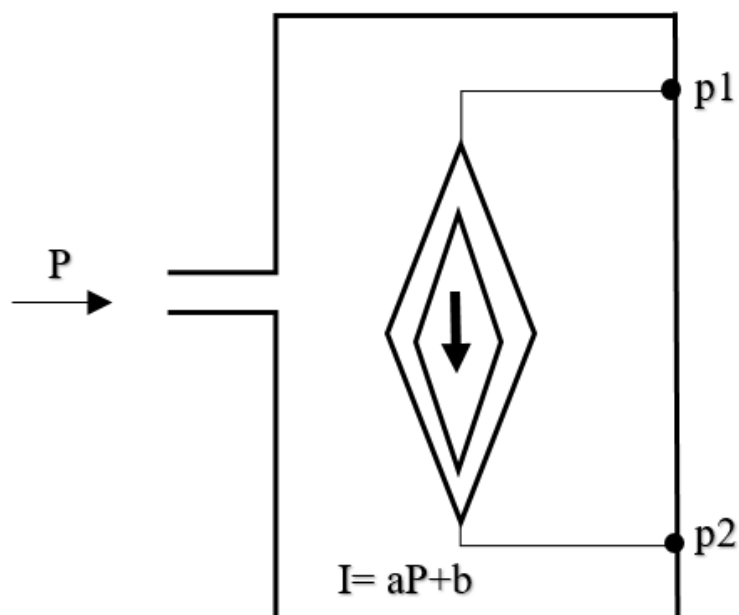
Rys. 3.3. Przetwornik ciśnienia z osobnym dodatkowym czujnikiem temperatury [6].

Uznając, że wielkość mierzona będzie reprezentowana przez  $X_i$  oraz przetwarzany sygnał z czujnika współpracujący z przetwornikiem jest prostoliniowy możemy stwierdzić, że wartość prądu źródła wyraża się równaniem:

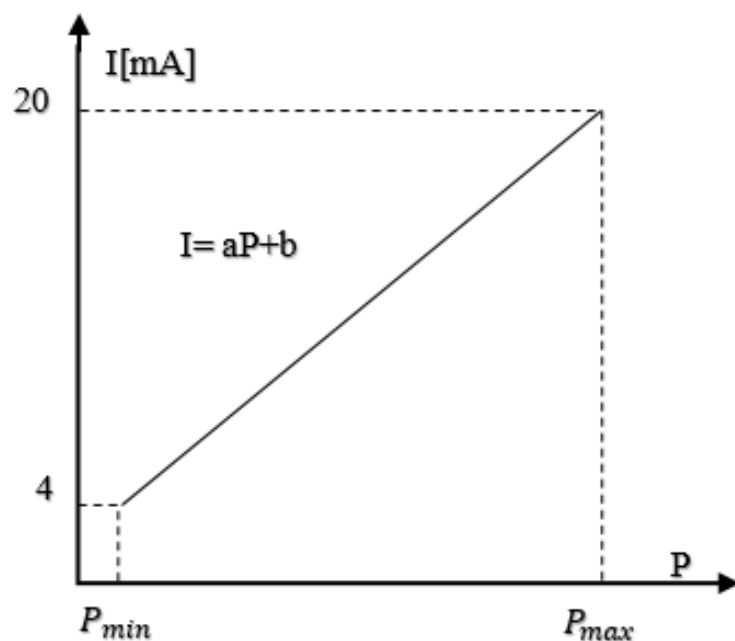
$$I = aX_i + b$$

Gdzie :

- $X_i$  jest to wielkość mierzona;
- $a$  i  $b$  są to parametry określające przyjęty zakres pomiarowy wielkości mierzonej  $X_i$ .



Rys. 3.4. Model elektryczny przetwornika ciśnienia.



Rys. 3.5. Charakterystyka statyczna przetwornika ciśnienia.

**Zadaniem układu indykacji** jest przedstawienie wartości wielkości mierzonej w jednostkach miary wprowadzonych przez osobę konfigurującą. Układ indykacyjny może składa się z dwóch elementów. Pierwszym elementem jest urządzenie pomiarowe przekształcające wartość mierzonego prądu na wybrane przez użytkownika jednostki miary. Drugim zaś jest zasilacz prądu stałego dostarczający energię do układu pomiarowego. Najprostszy układ indykacji może składać się z amperomierza wyskalowanego w wartościach wielkości mierzonej. Bardziej złożonym układem indykacji jest wyświetlacz procesowy wyposażony w mikroprocesorowy układ pracujący w standardzie 4-20 mA (rysunek 3.6) bądź system komputerowy wyposażony w układy kondycjonowania sygnału wizualizujący wartości wielkości mierzonej na ekranie w CMK lub innym pomieszczeniu nadzorującym pracę układu pomiarowego.



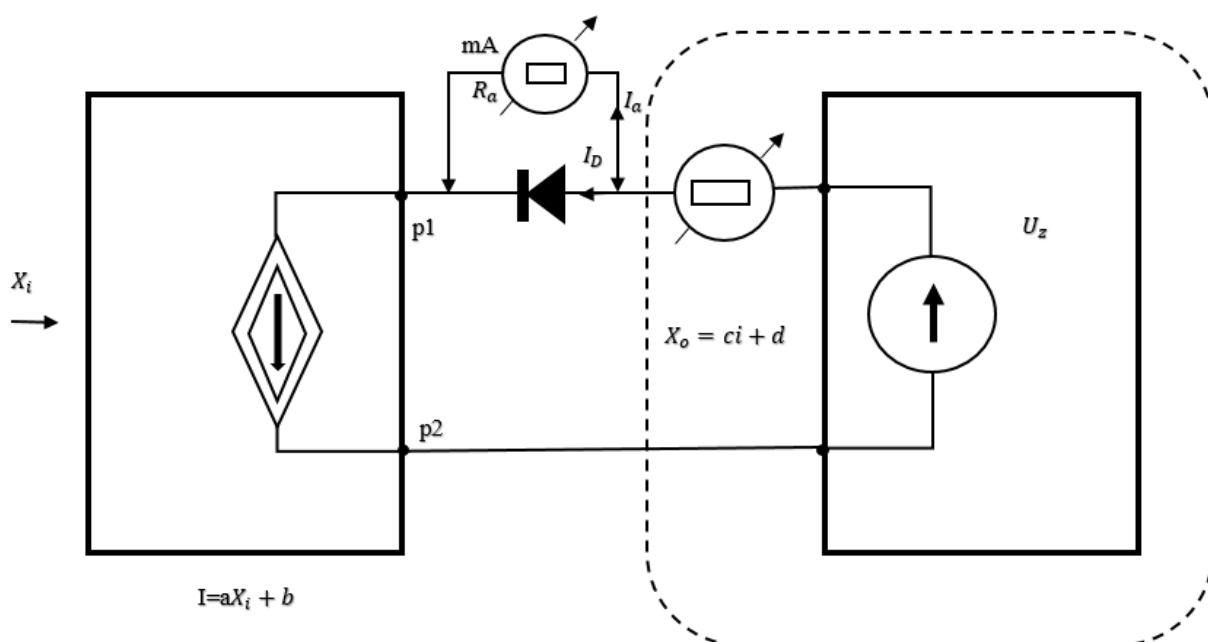


Rys. 3.6. Miernik procesowy w roli indykatora [8].

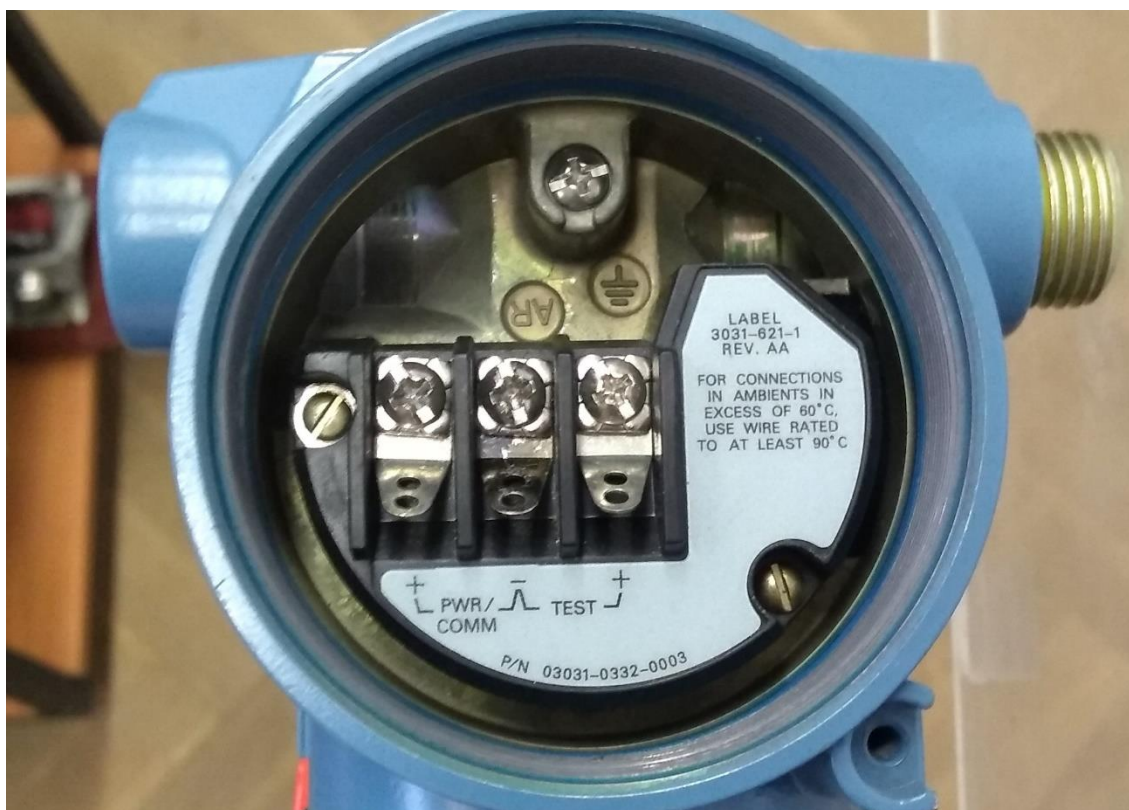
### 3.2. Pomiar prądu w układzie pomiarowy z wykorzystaniem diody półprzewodnikowej

Podczas normalnej eksploatacji toru pomiarowego, pomiar prądu w obwodzie realizuje indykator wyskalowany w wartościach wielkości mierzonej. Natomiast podczas kalibracji, bądź diagnostyki pracy toru wskazana jest znajomość wartości prądu, jaka przepływa przez przetwornik. Tradycyjnym sposobem pomiaru prądu jest przerwanie obwodu i zainstalowanie dodatkowe miliamperomierza. Takie rozwiązanie posiada jednak wadę w postaci przerywania toru w celu pomiaru prądu, co nie jest możliwe w każdych warunkach. Przerwanie obwodu toru pomiarowego może prowadzić do szeregu negatywnych konsekwencji np.: w postaci “blackout’u”, bądź w najgorszym wypadku zatrzymania silnika głównego. Natomiast dużo bardziej unikalną

metodą pomiaru prądu w obwodzie bez przerywania go, jest włączenie szeregowo do obwodu pomiarowe diody półprzewodnikowej w dowolnym miejscu toru (rysunek 3.7). Zainstalowanie takiej diody podczas postoju w porcie nie niesie za sobą żadnych konsekwencji, a pozwala na pomiar prądu w dowolnej chwili. Najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest zainstalowanie diody na etapie prac projektowych, nie jest to jednak regułą. Wprowadzenie diody do układu dostarcza dodatkowej rezystancji w granicach  $30\Omega$  do  $35\Omega$  w odniesieniu do maksymalnego prądu pomiarowego wynoszącego  $I=20\text{mA}$ . Praktykę zainstalowania diody stosują niektórzy producenci przetworników. Podłączając się amperomierzem do zacisków przetwornika „- test +” można bez przerywania obwodu zmierzyć prąd w układzie (rysunek 3.8). Pomiar prądu w układzie z wykorzystaniem diody, opiera się na zmianie punktu pracy na charakterystyce statycznej diody półprzewodnikowej. Podłączając amperomierz do diody, równolegle cały prąd znajdujący się w obwodzie przepływa przez amperomierz, natomiast przez diodę płynie prąd o pomijalnej wartości.



Rys. 3.7. Pomiar prądu za pomocą diody półprzewodnikowej w torze pomiarowym.

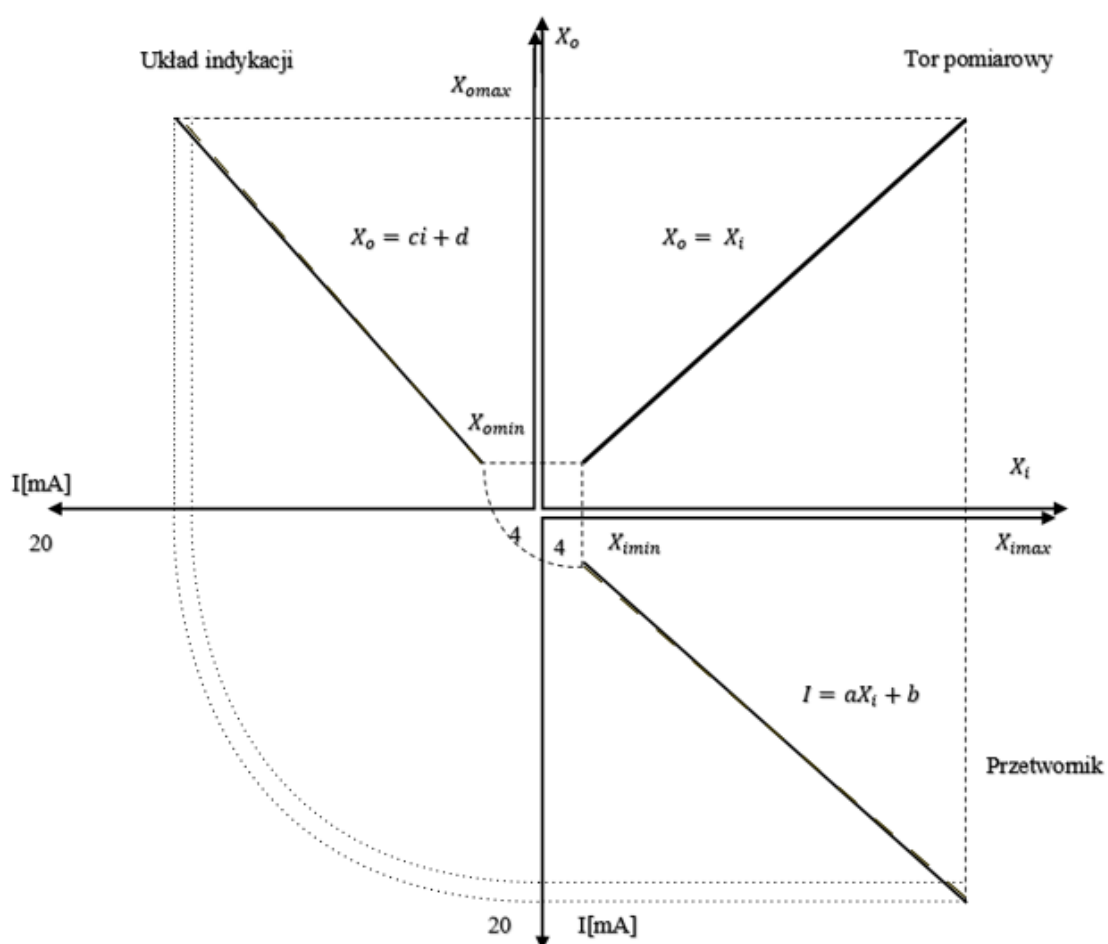


Rys. 3.8. Zaciski przetwornika z możliwością pomiaru prądu za pomocą zacisku test

### 3.3. Charakterystyki statyczne toru pomiarowego w standardzie prądowym 4-20 mA.

Tor pomiarowy pracujący w standardzie 4-20 mA można opisać trzema charakterystykami statycznymi. Na rysunku 3.9 przedstawione są charakterystyki statyczne toru pomiarowego. Jedna z nich przedstawia wypadkową charakterystykę statyczną opisującą relację pomiędzy wartościami wielkości mierzonej  $X_i$  a wartościami wskazanymi przez indykator  $X_o$ . W prawidłowo skalibrowanym torze powinna ona być linią prostą przedstawioną za pomocą równania  $X_i = X_o$ . Wszelkie odchylenia od tego równania traktować należy, jako błędy pomiaru.

Charakterystyka statyczna układu pomiarowego jest zestawieniem charakterystyk statycznych przetwornika i indykatora. Na rysunku przedstawiono sytuację idealną za pomocą czarnej, linii ciągłej. Z wykresów można zauważyć, że charakterystyka przetwornika i układu indykacji jest zgodna z równaniem teoretycznym. W zderzeniu z rzeczywistością taka sytuacja jest rzadkością. W instalacjach przemysłowych zazwyczaj można spotkać tory pomiarowe wymagające kalibracji. Zaznaczone są na rysunku, jako czarna, przerywana linia. Przy projektowaniu toru pomiarowego trzeba zaplanować, co najmniej jeden sposób realizacji kalibracji układu pomiarowego. Kalibracji można przeprowadzić w przetworniku, jak i w układzie indykacji, bądź obu urządzeniach jednocześnie. Regulacja układu pomiarowego może być wykonana zarówno przez ręczny komunikator polowy lokalnie, jak również przez program AMS pozwalający zdalnie kalibrować tor pomiarowy z pozycji komputera.



Rys. 3.9. Charakterystyki statyczne toru pomiarowego w standardzie 4-20 mA.

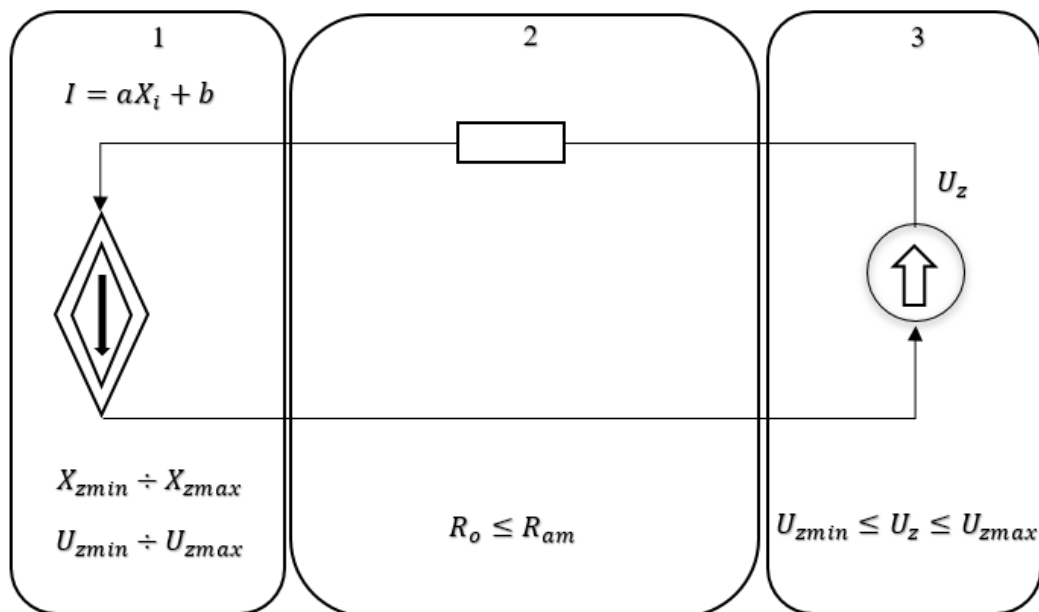
### 3.4. Dopuszczalny obszar pracy układu pomiarowego

Tor pomiarowy w standardzie prądowym 4-20 mA można przedstawić za pomocą jednego oczka, jako szeregowe połączenie zasilacza napięcia stałego, przetwornika oraz rezystancji zastępczej będącej sumą wszystkich rezystancji w obwodzie (rysunek 3.20). Przetwornik będący sterowanym źródłem prądowym wymaga dostarczenia zasilania, którego parametry podane są przez producenta na tabliczce znamionowej w postaci przedziału  $U_{zmin}$  do  $U_{zmax}$ . Dostarczenie do układu napięcia niższego lub wyższego może powodować nieprawidłową pracę przetwornika, a w najgorszym wypadku jego uszkodzenie. Stąd tak ważnym aspektem jest warunek wartości napięcia dostarczanego do układu przez źródło napięciowe  $U_{zmin} \leq U_z \leq U_{zmax}$ . W układzie pomiarowym między zasilaczem, a przetwornikiem znajdują się różne rezystancje. Zaczynają się od rezystancji przewodów łączeniowych, rezystancji statycznej diody a kończą na rezystancji wewnętrznej indykatora. Wszystkie rezystancje znajdujące się w obwodzie można zsumować i przedstawić w postaci jednej rezystancji  $R_o$  obciążenia układu pomiarowego. Wartość tej rezystancji musi być mniejsza od maksymalnej dopuszczalnej rezystancji  $R_{am}$  wyrażonej dla danego napięcia zasilania, przy uwzględnieniu maksymalnego prądu przetwornika  $I_{max} = 20 \text{ mA}$ .

Kryterium to przedstawić można za pomocą nierówności:

$$R_o [k\Omega] \leq R_{am} = (U_z - U_{zmin})[V]/20[mA] \quad (1)$$

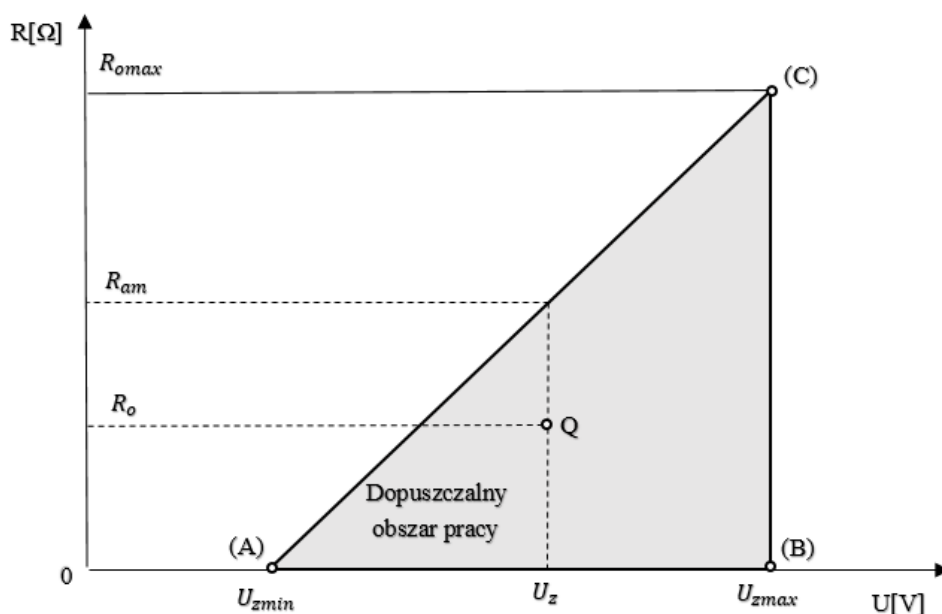
Uwzględniając tą nierówność, tor pomiarowy można opisać w postaci statycznego modelu elektrycznego toru pomiarowego przedstawionego na rysunku 3.10.



Rys. 3.10. Statyczny dwuprzewodowy tor pomiarowy w standardzie 4-20 mA.

1- sterowane źródło prądowe (przetwornik), 2- rezystancja obciążenia układu pomiarowego, 3- zasilacz napięcia stałego.

Interpretacja graficzna nierówności (1) przedstawiona jest na rysunku 3.11 w postaci dopuszczalnego obszaru pracy toru pomiarowego. Dopuszczalny obszar pracy układu pomiarowego można przedstawić trójkątem ABC w układzie współrzędnych uwzględniając na osi odciętych napięcie określone przez producenta przetwornika  $U_{zmin}$  do  $U_{zmax}$ . Natomiast na osi rzędnych przedstawiona zostaje suma wszystkich rezystancji w obwodzie. Wobec tego dopuszczalny obszar pracy toru pomiarowego uwzględnia właściwości wszystkich jego elementów. Na rysunku 3.11 zaznaczono punkt Q oznaczający punkt pracy toru pomiarowego.



Rys. 3.11. Dopuszczalny obszar pracy toru pomiarowego.

W prawidłowo zaprojektowanym torze pomiarowym punkt pracy musi znajdować się wewnątrz dopuszczalnego obszaru pracy. Należy pamiętać również o tym warunku podczas wymiany przetwornika, który może mieć inny zakres napięcia zasilania, co może spowodować zmianę punktu pracy. W bardzo niesprzyjających warunkach punkt pracy toru pomiarowego, może zostać przesunięty poza dopuszczalny obszar pracy. Skutkowałoby to prawidłową pracą tylko do pewnej wartości prądu, powyżej której przetwornik pracowałby nieprawidłowo. Jednym z pozytywnych aspektów zmiany punktu pracy w dopuszczalnym obszarze pracy jest możliwość zasilania układu pomiarowego z niestabilnego źródła prądu stałego [8].

## 4. PROTOKÓŁ HART

HART czyli Highway Addressable Remote Transducer opracowany przez firmę ROSEMOUNT w 1986 roku jest to cyfrowy protokół komunikacji pozwalający na komunikowanie się z innymi urządzeniami typu smart z prawie dowolnego miejsca w pętli prądowej 4-20 mA. W protokole HART zastosowana jest technika modulowana częstotliwości FSK (Frequency Shift Keying). Standard ten opiera się na technice nałożenia sygnału przemiennego, wysokoczęstotliwościowego na standardowy analogowy sygnał prądowy 4-20 mA. Nałożenie sygnału nie wprowadza zakłóceń sygnału stałoprądowego, ponieważ średnia wartość sygnału zmiennego równa jest zero. Cyfrowa komunikacja polega na generowaniu dwóch częstotliwości; 1200 Hz odpowiadające bitowi „1” oraz 2200 Hz reprezentujące bit „0” (rysunek 4.1 i 4.2). Jednoczesna współpraca analogowego sygnału prądowego 4-20 mA z protokołem HART pozwala na komunikację i konfigurację z przetwornikiem w sposób nie zakłócający się wzajemnie. W każdym układzie pomiarowym HART może znajdować się do dwóch urządzeń master włączonych w pętlę pomiarową. Urządzenia typu master dzielą się na primary i secondary. Urządzeń polowych slave w jednej pętli pomiarowej może być zainstalowanych do 15 w wersji HART 5 lub 62 w wersji HART 7 urządzeń [9].

Urządzeniami master primary mogą być :

- rozproszony system kontroli (DCS);
- programowalny sterownik logiczny (PLC);
- komputer (PC).

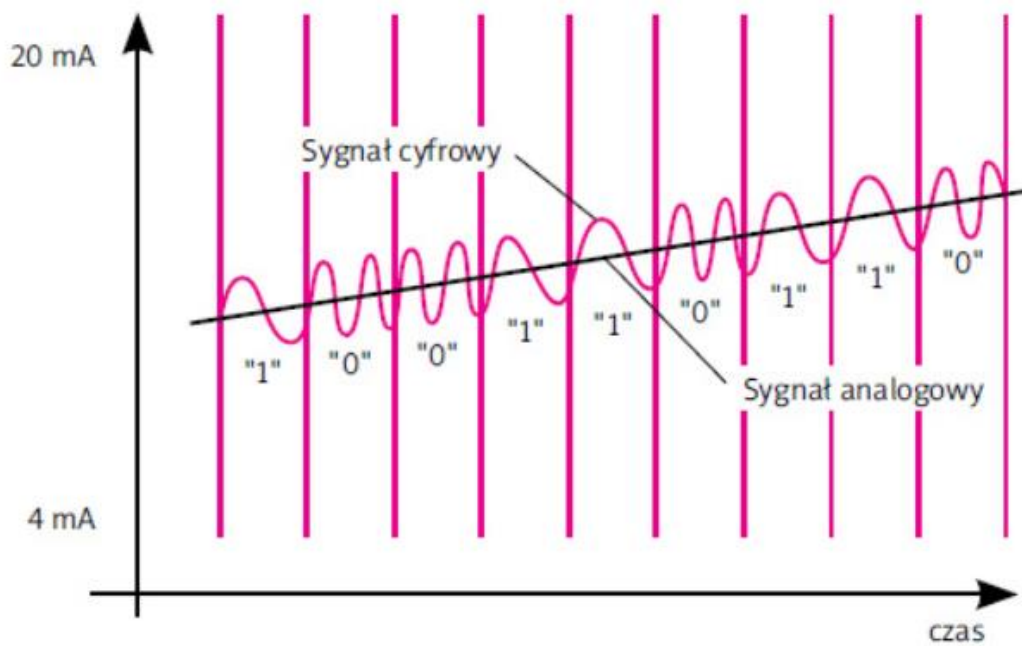
Urządzeniami master secondary mogą być :

- ręczny polowy komunikator (HHC);
- wyświetlacz procesowy;
- inny komputer (PC).

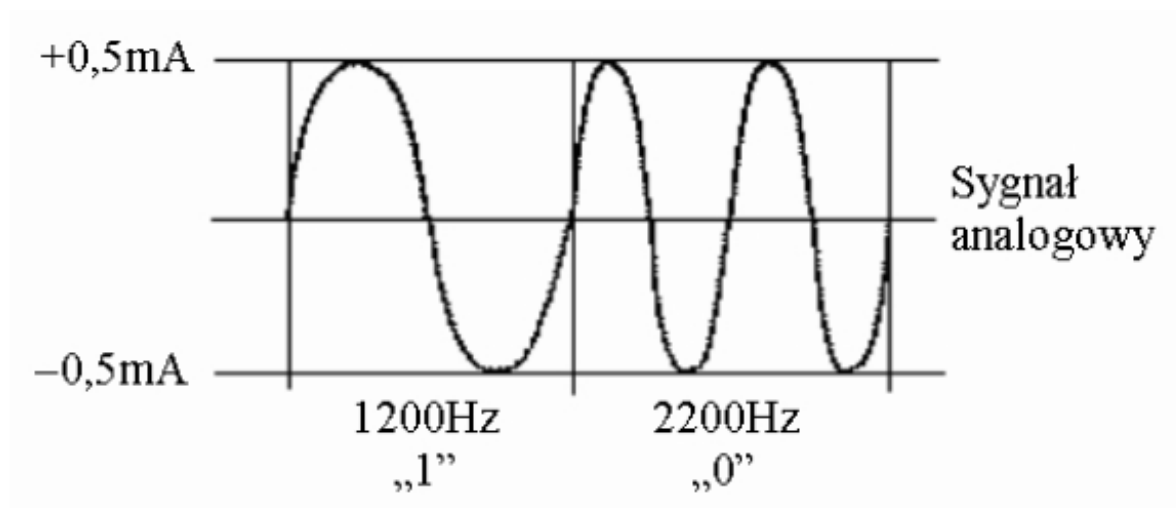
Urządzeniami typu slave mogą być :

- przetworniki;
- siłowniki;
- zawory .





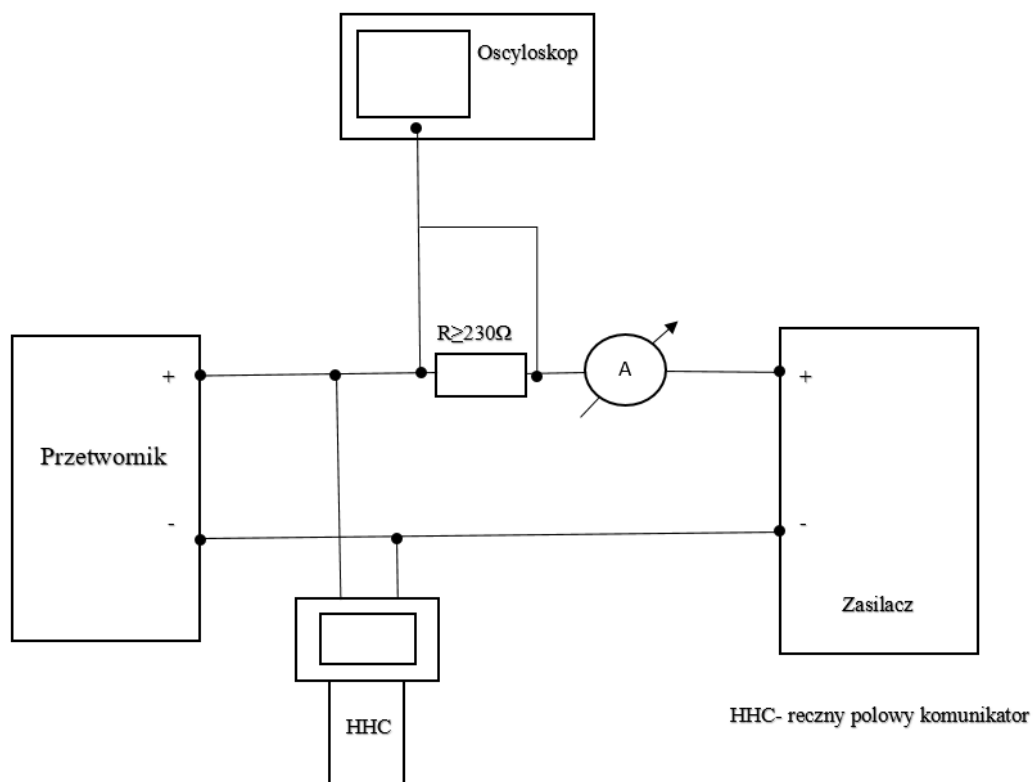
Rys. 4.1. Przedstawienie nałożonego sygnału cyfrowego na sygnał prądowy [10].



Rys. 4.2. Prezentacja przebiegu sygnału cyfrowego [11].

## 4.2. Rzeczywisty sygnał HART

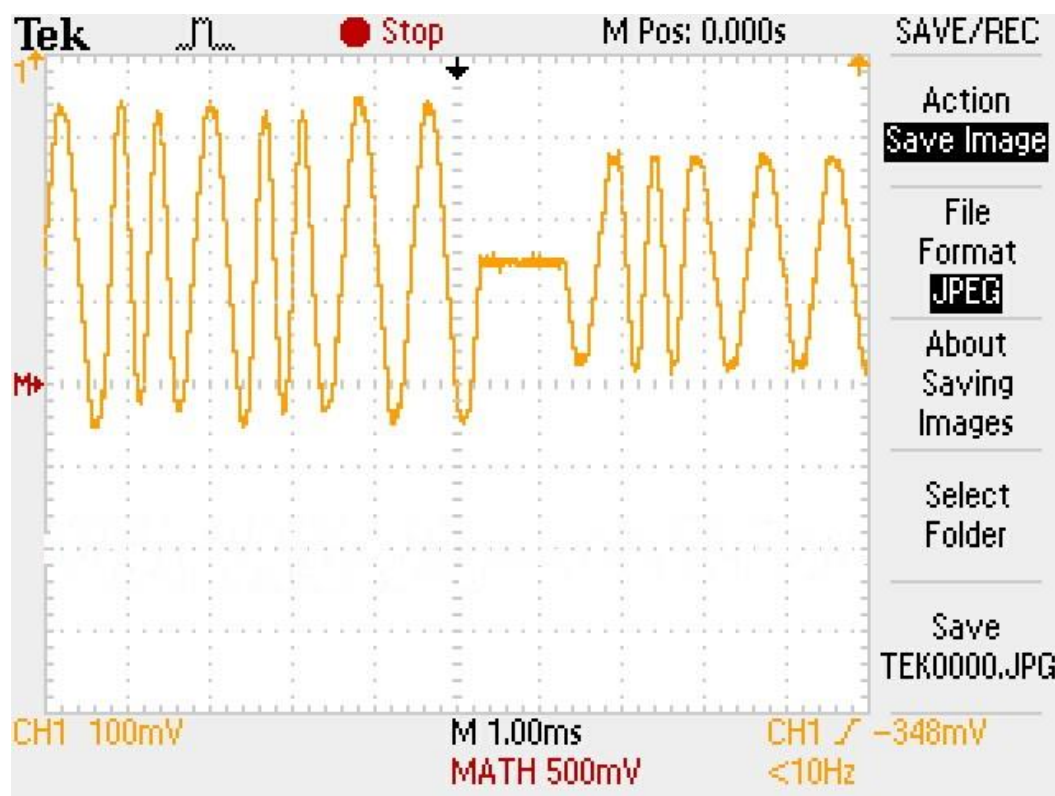
Wykorzystując oscyloskop zarejestrowany został rzeczywisty kształt sygnałów w komunikacji HART. Pomiary przeprowadzono za pomocą układu pomiarowego przedstawionego na rysunku 4.3.



Rys. 4.3. Schemat układu pomiarowego, w którym zarejestrowano sygnał HART.

W układzie pomiarowym wykorzystano:

- Oscyloskop Tektronix TDS 2024C
- Opornik dekadowy MRD-93-GO;
- Zasilacz laboratoryjny MCP M10-SP-303E;
- Digital multimeter V562 w roli amperomierza;
- Przetwornika ciśnienia firmy Rosemount model 2088.



Rys. 4.4. Rzeczywisty przebieg sygnału HART zarejestrowany za pomocą oscyloskopu.

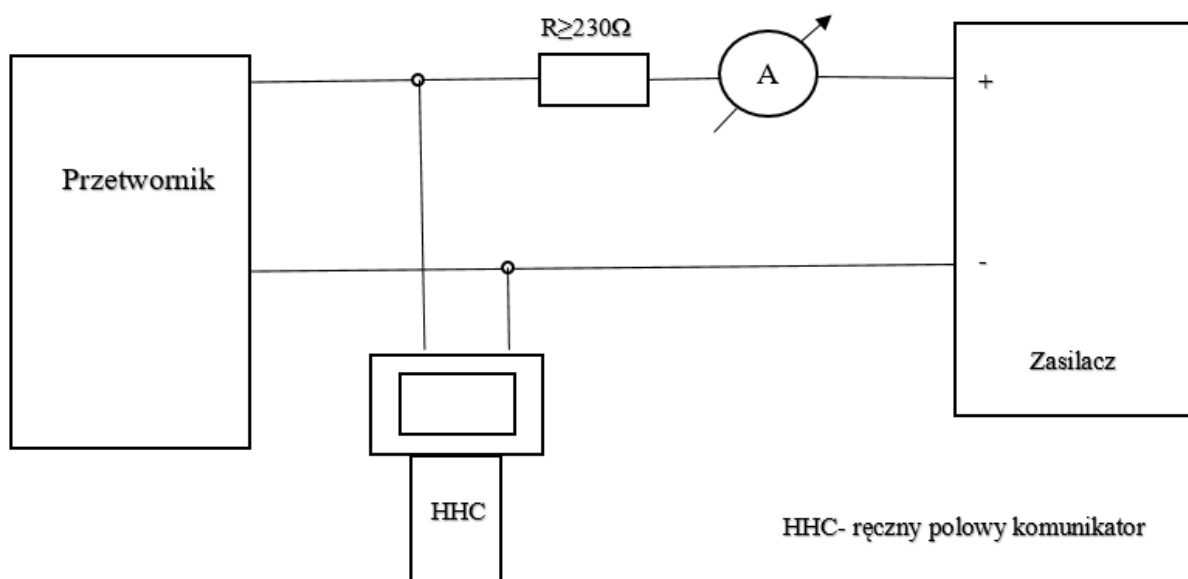
Na rysunek 4.4 przedstawiono rzeczywisty przebieg sygnałów HART. Zarejestrowany przebieg pokazuje moment, w którym następuje przerwa w komunikacji HART. W przerwie tej drugie urządzenie typu master może się włączyć do komunikacji z urządzeniem typu slave. Natomiast, gdy drugie urządzenie typu master nie podejmuje komunikacji, pierwotny master wznowia komunikację. Przebieg pokazuje również inne poziomy sygnałów HART, przed przerwaniem komunikacji sygnały mają dużo wyższe napięcie, natomiast zaraz po wznowieniu komunikacji sygnał napięciowy jest znacznie niższy. Wynika to z faktu generowania sygnałów przez różne urządzenia.

### 4.3. Topologia łączenia urządzeń programowalnych zgodnie z protokołem HART

Urządzenia HART mogą pracować w jednej z dwóch konfiguracji sieciowych Point-to-Point lub Multi-drop.

#### Point-to-Point

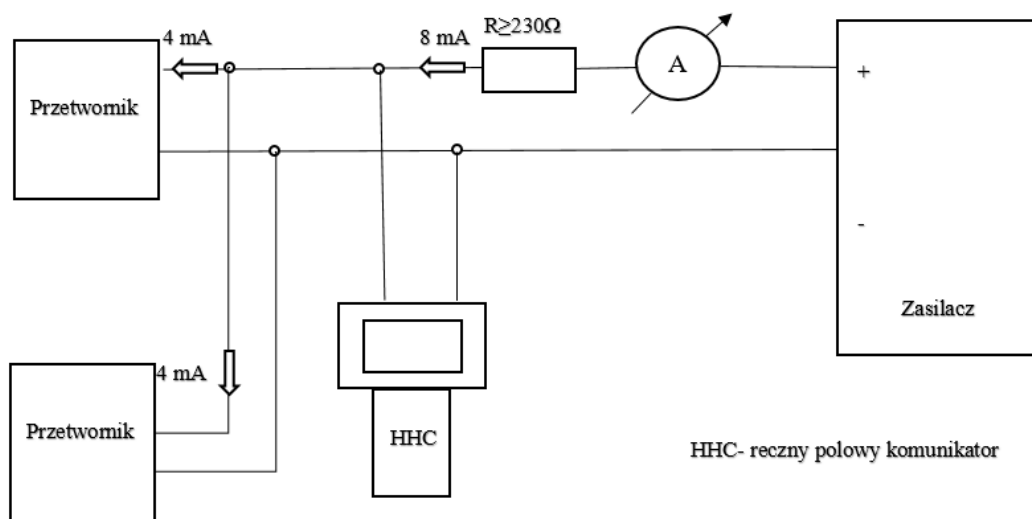
W trybie point-to-point sygnał prądowy 4-20 mA służy do przesyłania jednej zmiennej procesowej. Natomiast dodatkowe zmienne procesowe, parametry konfiguracyjne i inne dane urządzenia przesyłane są cyfrowo za pomocą protokołu HART. Cyfrowy sygnał komunikacyjny HART zapewnia dostęp do zmiennych wtórnych i innych danych, które można wykorzystać do celów operacyjnych, rozruchu, konserwacji oraz diagnostyki. Przykład toru pomiarowego w konfiguracji sieciowej point-to-point przedstawiony jest na rysunku 4.5.



Rys. 4.5. Konfiguracja point-to-point.

## Multi-drop

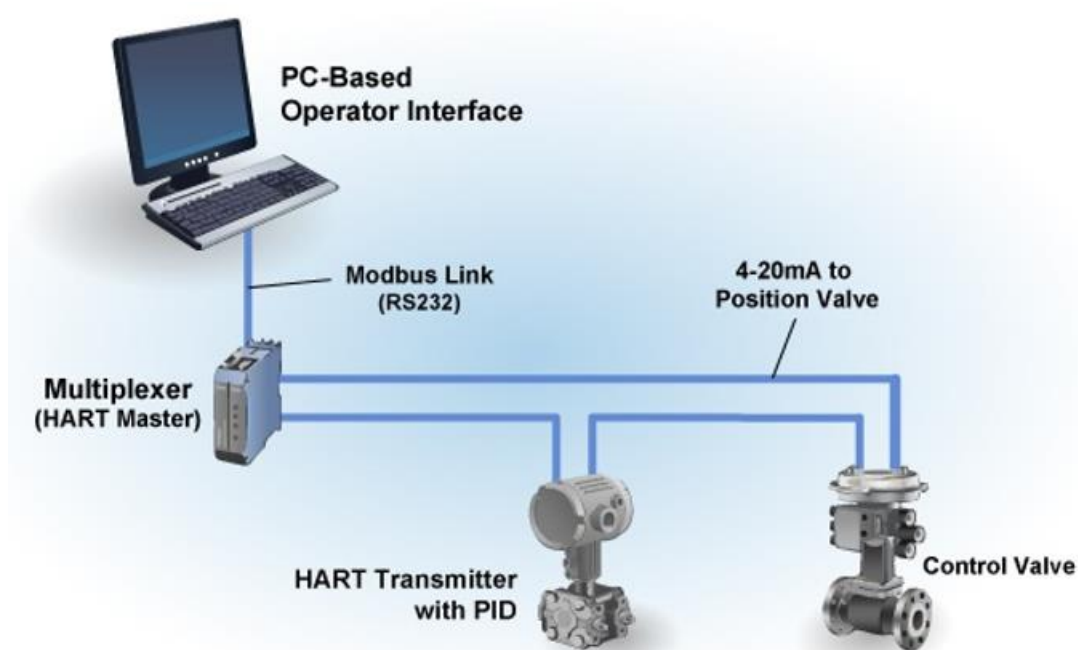
Konfiguracja sieciowa multi-drop wykorzystuje tylko jedną parę przewodów. Ilość urządzeń znajdujących się w pętli zależna jest od wersji protokołu HART. Układ pomiarowy oparty na HART 5 obsługuje do 15 urządzeń polowych, natomiast HART 7 już do 62 urządzeń polowych. Wszystkie wartości procesowe są przesyłane cyfrowo. W trybie multi-drop wszystkie adresy urządzeń muszą być unikalne, różne od zera w zakresie od 1 do 63 w zależności od wersji HART, aby umożliwić masterowi rozpoznanie danego urządzenia. Przykład połączenia przetworników w trybie multi-drop przedstawiony jest na rysunku 4.6. Należy pamiętać aby w trybie multi-drop nie używać adresu 0, ponieważ może to spowodować, że master HART przestanie szukać innych urządzeń. Sygnał prądowy każdego przetwornika w trybie multi-drop jest ustawiony na minimalną wartość 4 mA. Konfiguracji sieciowej multi-drop używa się w instalacjach nadzoru, które są rozproszone na duże odległości, takie jak rurociągi, farmy cystern czy stacje przesyłu środków powiertniczych.



Rys. 4.6. Komunikacja multi-drop.

## Kontrola w urządzeniach polowych

Inteligentne oprzyrządowanie oparte na mikroprocesorze umożliwia obliczanie algorytmów sterowania w urządzeniach polowych w pobliżu procesu technologicznego. Niektóre z urządzeń typu smart wykorzystujące protokół HART obsługują funkcje sterowania w urządzeniu, co pozwala na oszczędności płynące z eliminacji potrzebnego oddzielnego sterownika, sprzętu, instalacji oraz rozruchu. Pozwala to na kontrolę, w miejscach gdzie wcześniej było to ekonomicznie nieopłacalne. Podczas gdy, algorytm sterowania wykorzystuje sygnał analogowy. Komunikacja HART zapewnia monitorowanie pętli, zmiany konfiguracji nastaw oraz parametrów sterowania. Dzięki takiemu zastosowaniu znacznie wzrasta dokładność pomiaru, ponieważ nie ma potrzeby przesyłania danych do osobnego kontrolera. Sterowanie odbywa się przy wysokiej częstotliwości aktualizacji czujnika, co prowadzi do zapewniania lepszej wydajności dynamicznej [9].



Rys. 4.7. Przetwornik HART z regulatorem PID [9].

## **Tryb komunikacji MASTER- SLAVE**

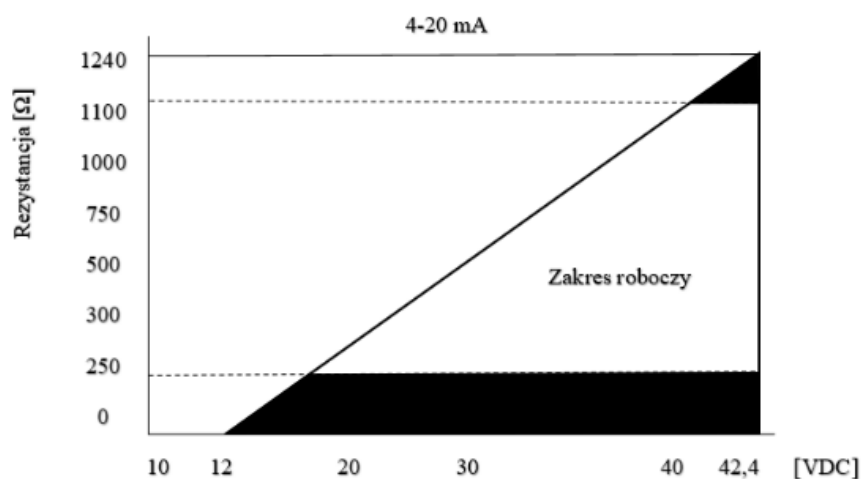
Protokół HART zapewnia komunikację pomiędzy urządzeniami MASTER i SLAVE na zasadzie odpowiedzi wysłanej z potwierdzeniem otrzymania komunikatu. Jeśli MASTER odpowiedzialny za kontrolę komunikatów nie otrzyma odpowiedzi w określonym czasie urządzenie wysyła komunikat ponownie. Brak odpowiedzi ze strony urządzenia SLAVE skutkuje przerwaniem komunikacji ze strony MASTERA i wyświetleniu komunikatu o braku komunikacji. Poprawna komunikacja pomiędzy MASTEREM a SLAVEM występuje, gdy jedna z operacji zostanie całkowicie wykonana. MASTER nie wysyła przez krótki czas dalszych dyspozycji dając możliwość włączenia się do komunikacji drugiemu urządzeniu typu MASTER. Pozwala to na udział dwóch MASTERÓW z urządzeniem typu SLAVE.

## **Tryb BURST**

Tryb BURST obsługują niektóre urządzenia. Jest to tryb komunikacji impulsowej, który umożliwia szybką komunikację z prędkością 3-4 aktualizacji danych na sekundę. W trybie burst, master instruuje urządzenie polowe, aby stale wysyłało standardowy komunikat odpowiedzi HART. Master odbiera komunikaty od urządzenia do czasu kiedy nie poinstruuje urządzenia o zakończeniu. Tryb ten jest wykorzystywany wtedy, gdy jedno urządzenie znajduje się w pętli.

## **Zasilanie**

Przetworniki typu smart w standardzie prądowym 4-20 mA pracują zasilane napięciem np.: 12.0 do 42.2 V. Komunikacja za pomocą protokołu HART wymaga wprowadzenia do obwodu obciążenia rezystancyjnego wynoszącego minimum 230  $\Omega$  do 1100  $\Omega$ . Praktycznie jako minimalną wartość rezystancji przyjmuje się 250 $\Omega$  (rysunek 4.8).



Rys. 4.8. Obszar pracy toru pomiarowe z protokołem HART.

### Poziom sygnałów protokołu HART

Komunikacja protokołu HART cechuje się tym, że urządzenie typu MASTER wysyła napięciowe sygnały do urządzenia typu SLAVE. Tymczasem urządzenie typu SLAVE odpowiada sygnałem prądowym, który konwertowany jest na sygnał napięciowy, dzięki rezystancji znajdującej się w układzie. Zestawienie sygnałów oraz ich wartości przedstawia się następująco:

Tabela 1 Przedstawia poziomy sygnałów protokołu HART.

Sygnał wysyłany przez urządzenie typu MASTER	Min – 400 mV
	Max – 600 mV
Sygnał wysyłany przez urządzenie typu SLAVE	Min- 0.8 mA
	Max – 1.2 mA
Sygnał urządzenia typu SLAVE przy obciążeniu minimalnym obciążeniu 230 $\Omega$	184 mV
Sygnał urządzenia typu SLAVE przy maksymalnym obciążeniu 1100 $\Omega$	1320 mV
Czułość odbiornika	120 mV – 2.0 V
Próg odbiornika	0-80 mV



Ponieważ przewody do urządzeń pracujących w układzie pomiarowym prowadzone są w torach kablowych, gdzie nieunikniona jest obecność innych przewodów, istnieje zjawisko „przesłuchu” na skutek pojemności między żyłowych i indukcyjności własnych. Skutkuje to pojawieniem się sygnału zmiennego na innych parach przewodów, aby wyeliminować wpływ zakłóceń na działanie urządzenia został wprowadzony próg czułości odbiornika wynoszący 80 mV. Sygnały poniżej tej wartości traktowane są, jako zakłócenia. Do poprawnej komunikacji wymagany jest sygnał o wartości 120 mV do 2 V.

### **Obciążenie rezystancyjne w układzie pomiarowym.**

Obciążenie rezystancyjne jest ważne w układzie pomiarowy z protokołem HART, ponieważ potrzebna jest pewna impedancja pętli, aby sygnał prądowy HART wysyłany przez przetwornik mógł być widziany przez urządzenie nadrzędne, takie jak komunikator polowy HART lub modem HART. Spadek napięcia (IR) potrzebny do komunikacji HART jest wytwarzany na dołączonej rezystancji. Natomiast urządzenia typu master komunikują się z urządzeniem typu slave napięciowo. W tej sytuacji rezystancja pełni rolę obciążenia (odbiornika) toru, zabezpieczając go przed zwarcie. Niektóre z urządzeń odbiorczych (PLC, DCS, wskaźnik procesowy) mają zainstalowany na wyjściu analogowym rezystor 250  $\Omega$ . Nie jest to jednak regułą, dlatego do każdego urządzenia należy podchodzić indywidualnie i w razie braku włączyć w obwód. Zgodnie ze specyfikacją techniczną protokołu HART minimalna wartość rezystancji obciążenia wynosi 230  $\Omega$ . Jednak powszechnie stosowana jest rezystancja 250  $\Omega$  która umożliwia konwersję sygnału prądowego 4-20 mA na napięciowy 1-5V [12].

$$V = I * R$$

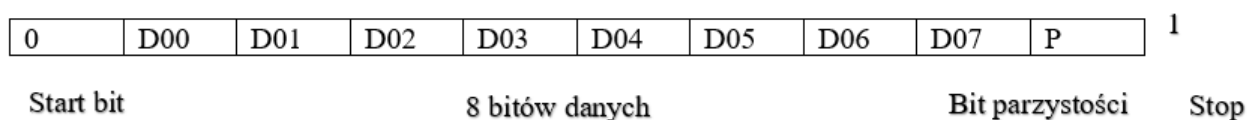
$$R = 250\Omega$$

$$V = \frac{4 \text{ mA} * 250\Omega}{1000} = 1V$$

$$V = \frac{20 \text{ mA} * 250\Omega}{1000} = 5$$

## Kod cyfrowy HART

Sygnal cyfrowy HART kodowany jest, jako serie 8-bitowych bajtów, przesyłane przez przewód używając funkcji UART (ang. Universal Asynchronous Receiver Transmitter) do szeregowania każdego bitu. W asynchronicznych połączeniach komunikacyjnych bit startowy, bit parzystości i bity końcowe są dodawane do każdego bajta. Na skutek tego odbierający UART może określić początek każdego znaku i błędy bitów spowodowane zakłóceniami. Protokół HART korzysta z pojedynczej parzystości. Pojedynczy 8-bitowy bajt jest, zatem wysyłany jak następująca sekwencja od 1s do 0s.



Rys. 4.9. Sekwencja pojedynczego 8 bitowego bajtu.

## Struktura telegramu HART

Preambuła	Bajt startu	Pole adresowe	Bajt komendy	Pole zliczania bajtów	Status	Dane	Bajt sumy kontrolnej
-----------	-------------	---------------	--------------	-----------------------	--------	------	----------------------

Rys. 4.10. Struktura telegramu HART.

Urządzenia HART w wersji oprogramowania 4 i poniżej używają krótkiego formatu ramki. W trybie normalnej pracy w pętli 4-20 mA urządzenie typu SLAVE ma adres 0, natomiast w trybie multi-drop od 1 do 15. W wersji 5 i późniejszych protokołów HART określa dwa formaty telegramów wykorzystujące różne formy adresowania. Wprowadzony został krótki format ramki adresowej urządzenia typu SLAVE zawierającej 4 bity. Dodano także format ramki długiej. Format ten pozwala na komunikację większej liczbie uczestników oraz lepiej zabezpiecza przed odebraniem komendy adresowanej innemu urządzeniu.

### **Zadania wykonywane przez elementy telegramu HART:**

**Preambula** składająca się z trzech lub więcej szesnastkowych znaków FF służy do synchronizacji sygnałów różnych uczestników transmisji.

**Bajt startu** wskazuje, które z urządzeń nadaje (MASTER, SLAVE, SLAVE w trybie BURST) oraz jaki format adresu (długi/krótki) jest używany.

**Pole adresowe** w formacie krótkim zawiera jeden bajt, z jednym bitem służącym do rozróżniania dwóch urządzeń nadrzędnych i jednym bitem wskazującym telegramy wysyłane w trybie BURST. Do adresowania urządzeń podrzędnych używane są cztery bity (adresy od 0 do 15). W formacie długim zawiera 5 bajtów, więc do identyfikacji urządzenia podrzędnego wykorzystuje się 38 bitów.

**Bajt komendy** koduje polecenia urządzenia nadrzędnego. Wyróżniamy trzy typy komend:

- komendy uniwersalne – posiadają je wszystkie urządzenia HART;
- komendy typowe – używane do specyficznych funkcji;
- komendy charakterystyczne dla urządzenia- komendy specjalne dla każdego rodzaju urządzenia.

**Pole zliczania bajtów-** znak bajtu zliczającego zawiera liczbę bajtów, które są w dalszej części komunikatu status i dane. Bajt sumy kontrolnej nie jest zawarty w tym

zliczeniu. Urządzenie odbierające używa tego znaku aby zidentyfikować bajt sumy kontrolnej i rozpoznać czy komunikat jest kompletnie przesłany.

**Status** – występuje tylko w odpowiedzi z urządzenia podrzędnego. Składa się z dwóch bajtów kodowanej bitowo informacji. Pierwszy bajt przedstawia czy komunikacja została przeprowadzona poprawnie, zaś drugi bajt wskazuje stan działania urządzenia podrzędnego. Urządzenie pracujące poprawnie powinno oba bajty mieć ustawione na poziomie logicznego zera.

**Dane** - mogą być przesyłane jako liczby całkowite bez znaku, zmiennoprzecinkowe lub ciągi znaków w kodzie ASCII. Bajt komendy determinuje format danych, należy zaznaczyć że nie wszystkie komendy i odpowiedzi zawierają dane.

**Bajt sumy kontrolnej** – zawiera wskaźnik parzystości wszystkich bajtów telegramu.

## Format adresów HART

### Krótki format ramki

master	burst	0	0	bit 3	bit 2,...,1,0
--------	-------	---	---	-------	---------------

### Długi format ramki

master	burst	0	0	bit 3	bit 35,34,...,1,0
--------	-------	---	---	-------	-------------------

Rys. 4.11. Formaty ramek stosowane w protokole HART [13].

## **5. PROGRAMATORY PRZEMYSŁOWE**

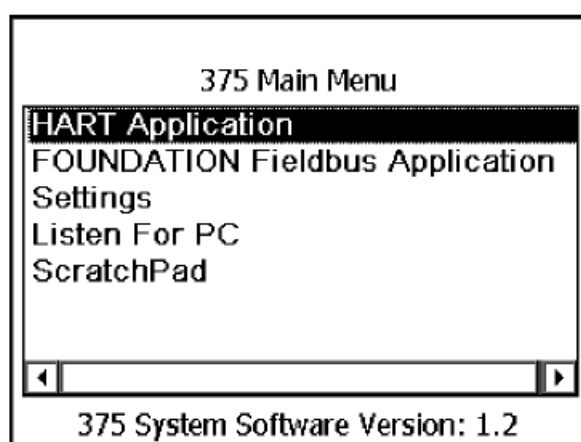
Komunikatory przemysłowe pozwalają na komunikację z urządzeniami polowymi w prawie każdym miejscu w pętli prądowej 4-20 mA. Praktycznie każda z firm produkująca urządzenia komunikujące się za pomocą protokołu HART posiada w swojej ofercie również komunikatory przemysłowe. Komunikatory przemysłowe pozwalają na wygodną konfigurację, diagnostykę oraz obsługę urządzeń polowych. Komunikatory polowe wykonane mogą być na osobnej jednostce, są to ręczne komunikatory polowe. Posiadają wysoką odporność na niekorzystne czynniki środowiska oraz odporne są na upadki. Niektóre komunikatory występują w wersji dostarczając energię z komunikatora do przetwornika bez konieczności zasilania zewnętrznego. Takie rozwiązanie ułatwia pracę na obiekcie. Poniżej opisane są wybrane typowe przemysłowe komunikatory ręczne.

### **5.1. Komunikator polowy 375**

Komunikator polowy 375 zapewnia możliwość komunikowania się poprzez protokół HART. Wyposażony jest w monochromatyczny ekran dotykowy z rysikiem, dwadzieścia pięć klawiszy obejmujących cztery klawisze działania, dwadzieścia klawiszy alfanumerycznych, cztery klawisze funkcyjne, on/off i cztery klawisze nawigacyjne. Komunikator zasilany jest pięcioma akumulatorami NiMh AA o napięciu zasilania 6.0 V pozwalający na pracę do 10 godzin. Klasa ochrony obudowy komunikatora to IP 51. Komunikator odporny jest także na uderzenia. Przeszedł testy upadku z wysokości 1 metra na betonowe podłoże. Waga komunikatora wraz z akumulatorami to około 950 g.



Rys. 5.1. Ręczny komunikator polowy model 375.



Rys. 5.2. Menu główne komunikatora 375.

**HART Application** uruchomienie tej funkcji poprzez dwukrotne kliknięcie powoduje uruchomienie aplikacji HART, która poszukuje podłączonych urządzeń komunikujących się po protokole HART.

**FOUNDATION Fieldbus Application** funkcja pozwala uruchomienie aplikacji Foundation Fieldbus.

**Settings** funkcja ta pozwala konfigurować ustawienia komunikatora.

**Listen for PC** jest to funkcja pozwalająca na sterowanie komunikatorem z komputera za pomocą dedykowanych programów. W celu połączenia komunikacji między komputerem, a komunikatorem należy zbliżyć do siebie porty podczerwieni IrDA komunikatora polowe i komputera.

**ScratchPad** funkcja ta ma za zadanie uruchomienie aplikacji ScratchPad. Funkcja ta możliwa jest także, z klawiatury poprzez naciśnięcie ikony z sygnaturą kartki. Aplikacja ta jest edytorem tekstowym, dzięki któremu możemy tworzyć, edytować i zapisywać proste zbiory tekstowe (.txt). Możliwa jest także wymiana zbiorów tekstowych między komputerem, a komunikatorem poprzez użycie programu narzędziowego Programming Utility [14].

## 5.2. AMS Trex™ Device Communicator

Jest to komunikator polowy pozwalający na pracę w terenie. Użytkownicy mogą komunikować się z urządzeniami typu SMART w miejscu montażu, co pozwala na oszczędność czasu w porównaniu z demontażem urządzenia i kalibrowaniem go w warsztacie w celu diagnostyki lub zmiany konfiguracji ustawień. Problemy związane z urządzeniami komunikującymi się po protokole HART mogą być diagnozowane w miejscu pracy urządzenia bez konieczności jego demontażu, dzięki czemu możemy natychmiast rozwiązywać problemy. Komunikator AMS Trex jest urządzeniem diagnozującym, umożliwiając identyfikację problemów bez zakłócenia procesu produkcji. Zmiany konfiguracji przetworników wprowadzone na obiekcie zostają automatycznie zsynchronizowane z bazą danych AMS Device Manager, poprzez

wykorzystanie połączenia USB lub Wi-Fi. Komunikator jest wykonany z solidnych materiałów pozwalających na pracę w każdym środowisku, ponieważ jest odporny na otarcia i upadki. Obudowa została wykonana zgodnie z globalnymi wymaganiami iskrobezpieczeństwa ATEX, CSA (USA/KANADA), IECEx oraz FISCO.



Rys. 5.3. AMS Trex komunikator.



AMS Trex ma wbudowane aplikacje:

**Field Communicator** - jest to aplikacja pozwalająca na konfigurację oraz rozwiązywanie problemów z urządzeniami komunikującymi się po protokole HART i FOUNDATION Fieldbus.

**Loop Diagnostics** – umożliwia zasilanie pętli na obiekcie z urządzenia. Pozwala także na kontrolę parametrów układu pomiarowego, jak również identyfikację i rozwiązywanie problemów z okablowaniem.

**Valvelink Mobile**- umożliwia analizę oraz przegląd stanu i parametrów roboczych zaworów bez wpływu na przebieg procesu.

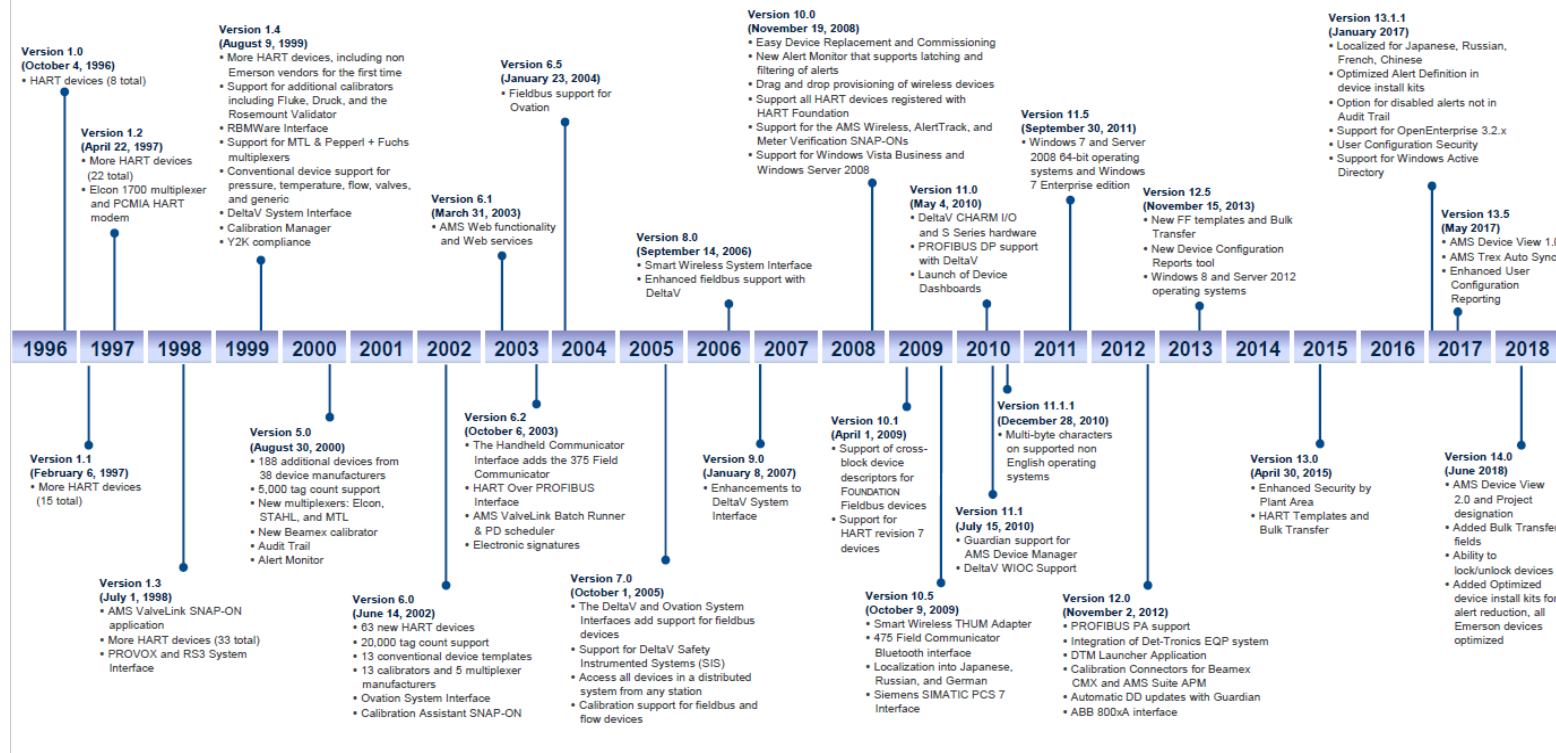
**Fieldbus Mobile**- aplikacja ta jest zestawem narzędzi ułatwiająca diagnostykę segmentów FOUNDATION Fieldbus.

**Trex Help**- aplikacja dostarcza informacji i porad na temat pracy z komunikatorem [15].

### 5.3. System zarządzania aparaturą obiektową HART

Systemy zarządzania aparaturą obiektową pozwalają na komunikację z urządzeniami HART za pomocą specjalnych złączy. Jest to specjalne oprogramowanie pozwalające na konfigurację urządzeń polowych, tworzenie i zarządzanie bazą urządzeń polowych, zarządzaniem systemem a także ściąganie informacji z komunikatorów polowy. Przez co w znaczny sposób można skrócić czas uruchomienia procesów technologicznych, zminimalizować ilość nieplanowanych przestojów, a także zredukować ilość przechowywanych części zamiennych. Oprogramowanie to ciągle się rozwija obrazując to na przestrzeni lat za pomocą rysunku 5.4. Poniżej opisany jest typowy system przemysłowy AMS w wersji 1.3.

## AMS Device Manager Release Timeline



Rys. 5.4. Rozwój oprogramowania AMS na przestrzeni lat [16].

#### 5.4. System zarządzania urządzeniami HART

AMS (ang. Asset Management Solutions) software version 1.3 jest to w pełni funkcjonalne oprogramowanie, które pozwala komunikować się poprzez protokół HART z urządzeniami oraz zarządzać nimi. Program AMS pozwala skonfigurować i skalibrować urządzenie polowe oraz sprawdzić jego status pracy, a także zachować notatki dotyczące konkretnego urządzenia polowego. Program AMS zapewnia przejrzysty i jasny interfejs dla urządzeń HART w wersji 3, 4 i 5. Łatwość w obsłudze oprogramowania pozwala użytkownikowi skupić uwagę na zarządzaniu urządzeniami. Oprogramowanie należy do rodziny komputerów PC firmy Fisher-Rosemount. Jest to oprogramowanie komputerowe pozwalające łączyć się za pomocą protokołu HART z układem pomiarowym poprzez złącze smart HI311 Hart Interface (rysunek 5.5). Jest to izolowany interfejs sieciowy RS232 bądź USB (rysunek 5.6) na HART dla standardowych portów szeregowych DB9 na PC oraz laptopy. Jest to modulator częstotliwości (1200 Hz i 2200 Hz) z przewodem o długości 1.5m zakończonymi złączkami typu minigrabber.

Wykorzystując program AMS można :

- przeprowadzić procedurę kalibracji linii pomiarowych;
- skonfigurować tor pomiarowy;
- sprawdzić status;
- wykonać test pętli i auto test;
- pobrać informacje od komunikatora polowego HART 275;
- zautomatyzować dokumentację serwisową;
- śledzić historię urządzenia;
- połączyć powiązane uwagi dotyczące urządzenia.



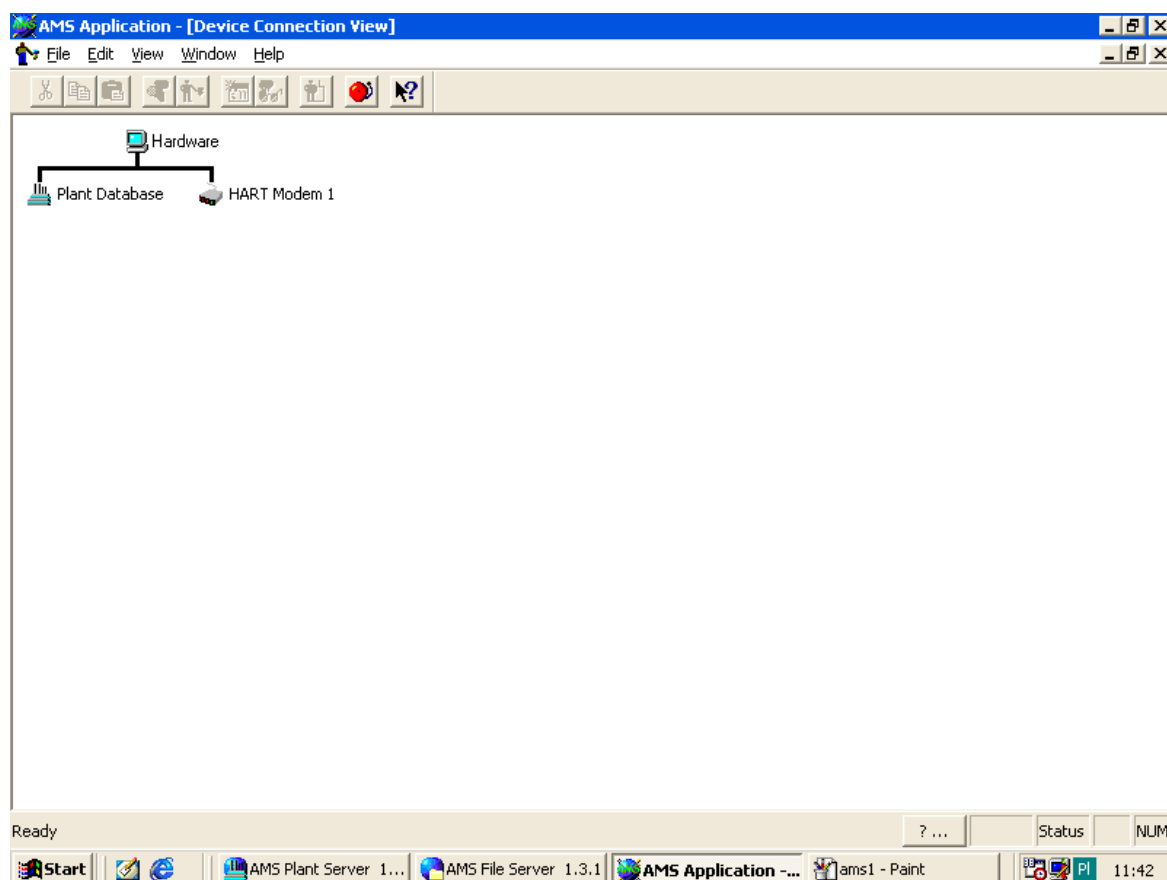
Rys. 5.5. Złącze HI311 HART Interface z końcówkami typu minigrabber.



Rys. 5.6. Izolowane złącze USB HART Modem [17].

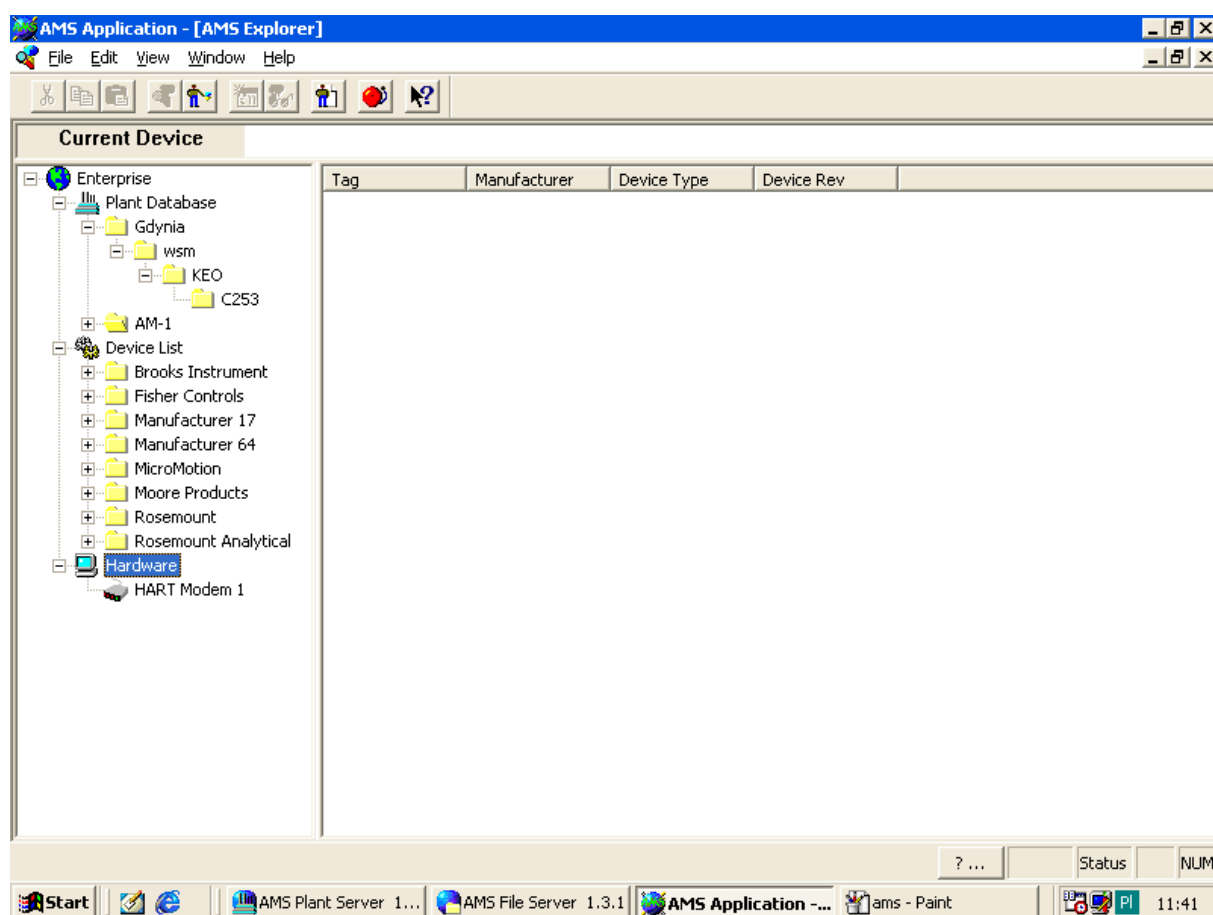
## Opis poszczególnych funkcji programu AMS:

- **Rejestruj i zarządzaj urządzeniami HART** – Program AMS komunikuje się z urządzeniami polowymi za pomocą urządzenia pośredniczącego, np. modemu HART, multipleksera HART czy za pomocą złącza dla pojedynczych urządzeń.



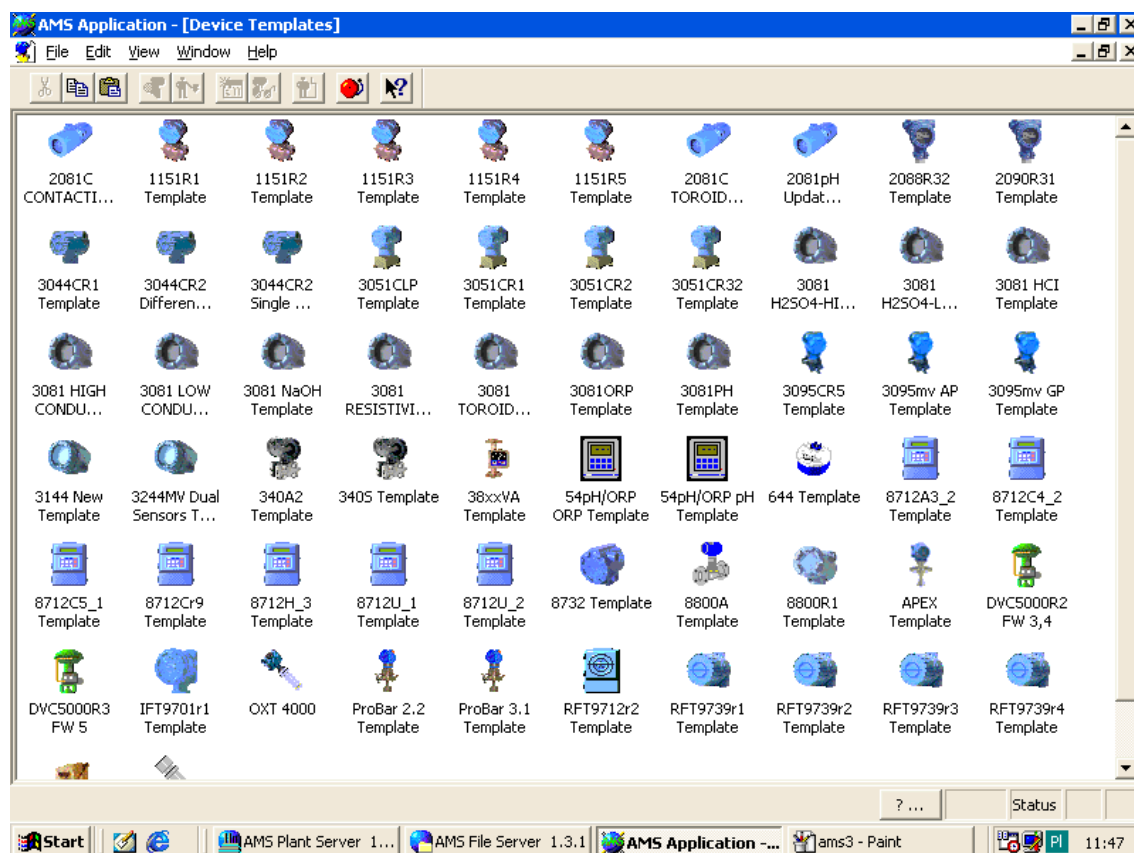
Rys. 5.7. Podłączone urządzenia w widoku połączonych urządzeń.

- **Lista urządzeń** - wizualizacja eksploratora programu AMS przedstawia te same informacje, co widok połączonych urządzeń. Urządzenia zarejestrowane, to takie które zostało podłączone do programu AMS i może być obserwowane w bazie programu AMS przez jego ikonę. Informacje o podłączonym urządzeniu można wyświetlić za pomocą menu kontekstowego urządzenia należy prawym przyciskiem myszy kliknąć dwukrotnie na ikonę urządzenia.



Rys. 5.8. Widok listy urządzeń w programie.

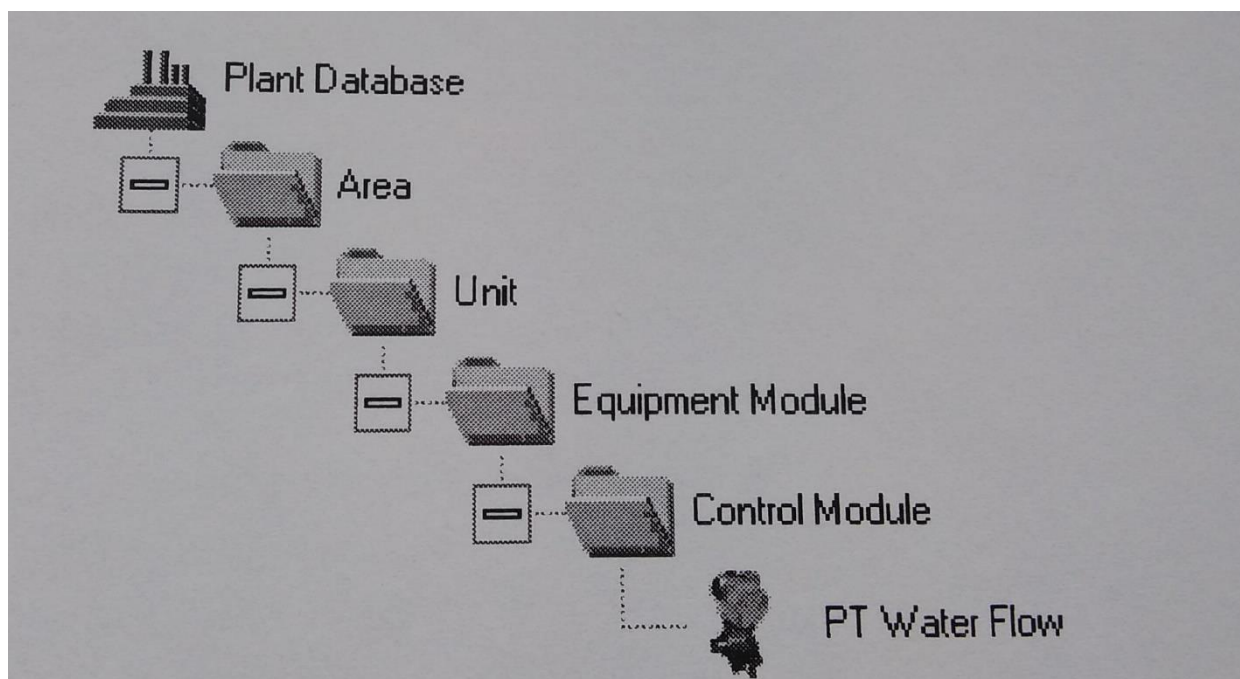
- **Tworzyć konfigurację urządzeń** – program AMS pozwala na konfigurację urządzeń na dwa sposoby. Można indywidualnie zmienić parametry konfiguracji urządzenia lub zastosować już wcześniej przygotowany zapisany szablon zawierający pełną konfigurację urządzenia. Program AMS zawiera szeroki wybór szablonów urządzeń, które określają domyślne ustawienia dla danego typu urządzenia. Producenci urządzeń mogą także opracować autorskie szablony dla urządzeń osobne dla nowych i specjalnych urządzeń.



Rys. 5.9. Okno zawierające przygotowane szablony konfiguracyjne.

- **Zaprojektować własną strukturę** – struktura bazy danych zainstalowanych torów pomiarowych jest modelem hierarchicznym utworzonym w programie AMS. Hierarchiczny model struktury jest podobny do struktury katalogów na czterech poziomach:

- Poziom pierwszy jest to najwyższy obszar, w którym baza danych może zawierać dowolną liczbę obszarów;
- Poziom drugi to obszar jednostki, w którym baza danych może zawierać dowolną liczbę jednostek;
- Poziom trzeci to obszar modułu wyposażenia, każda jednostka może zawierać dowolną liczbę modułów wyposażenia;
- Poziom czwarty to obszar modułu sterującego, każdy moduł wyposażenia może zawierać dowolną liczbę modułów sterujących.



Rys. 5.10. Struktura bazy danych programu AMS.



- **Przypisać urządzenie do bazy danych** - po zarejestrowaniu urządzenia program AMS zapisuje wszystkie zarejestrowane pozycje w folderze zapasowym. Oczekuje także na przypisanie do odpowiedniego obszaru bazy danych, aby przypisać urządzenia do określonego miejsca w strukturze. Należy kliknąć prawym przyciskiem myszy ikonę modelu sterowania i wybrać z wyświetlonego menu odpowiednia pozycje.

- **Porównaj konfiguracje urządzeń** – funkcja ta pozwala na wyświetlenie parametrów konfiguracyjnych obu wybranych urządzeń, aby porównać różnicę i przenieść wartości ustawionych parametrów z jednego urządzenia na drugie.

- **Śledzić historię urządzenia i struktury** – program AMS pobiera rysunki i notatki od polowego komunikatora 275 stworzone podczas pracy lokalnie o urządzeniach. Pobrane notatki i rysunki zapisywane są w odpowiednim katalogu w bazie danych wraz z innymi uwagami serwisowymi stworzonymi wcześniej [18].

## 6. PRZETWORNIKI HART I URZĄDZENIA PERYFERYJNE

### 6.1. Przetwornik Rosemount 2088

Przetwornik ciśnienia Rosemount 2088 Smart służy do pomiarów ciśnień względnych, jak i bezwzględnych. Przetwornik typu Smart pozwala na komunikację poprzez protokół HART, jak również standardowo wykorzystując sygnał prądowy 4-20 mA. Wykorzystuje on czujnik ciśnienia z krzemu polikrystalicznego i jest wyposażony w membranę oddzielającą ze stali nierdzewnej 316L. Niewielka ilość cieczy (oleju silikonowego) wypełniającej gwarantuje mały wpływ temperatury i wysoką dokładność pomiarów. Przetwornik wyposażony jest w standardowe przyłącze procesowe gwintowane ½ cala NPT. Model 2088 posiada ciekłokrystaliczny wyświetlacz do odczytu wartości ciśnienia i komunikatów diagnostyki. Wyświetlane informacje są przesyłane bezpośrednio przez mikroprocesor, co gwarantuje ich dokładność i wiarygodność [19]. Drzewko ustawień konfiguracyjnych znajduje się w załączniku 1.



Rys. 6.1. Przetwornik firmy Rosemount model 2088[20].

## 6.2. Przetwornik temperaturowy Rosemount 3244MV

Przetwornik 3244MV jest to przetwornik temperaturowy dwuczujnikowy, umożliwiający pomiar temperatury dwoma czujnikami. Czujniki temperatury generują sygnał proporcjonalny do wartości mierzonej. Przetwornik 3244MV konwertuje sygnał z czujników na standardowy sygnał prądowy 4-20 mA lub poprzez protokół HART. Przetwornik dzięki wykonaniu w wersji iskrobezpiecznej może pracować w strefach zagrożonych wybuchem [21]. Drzewko ustawień konfiguracyjnych znajduje się w załączniku 2.



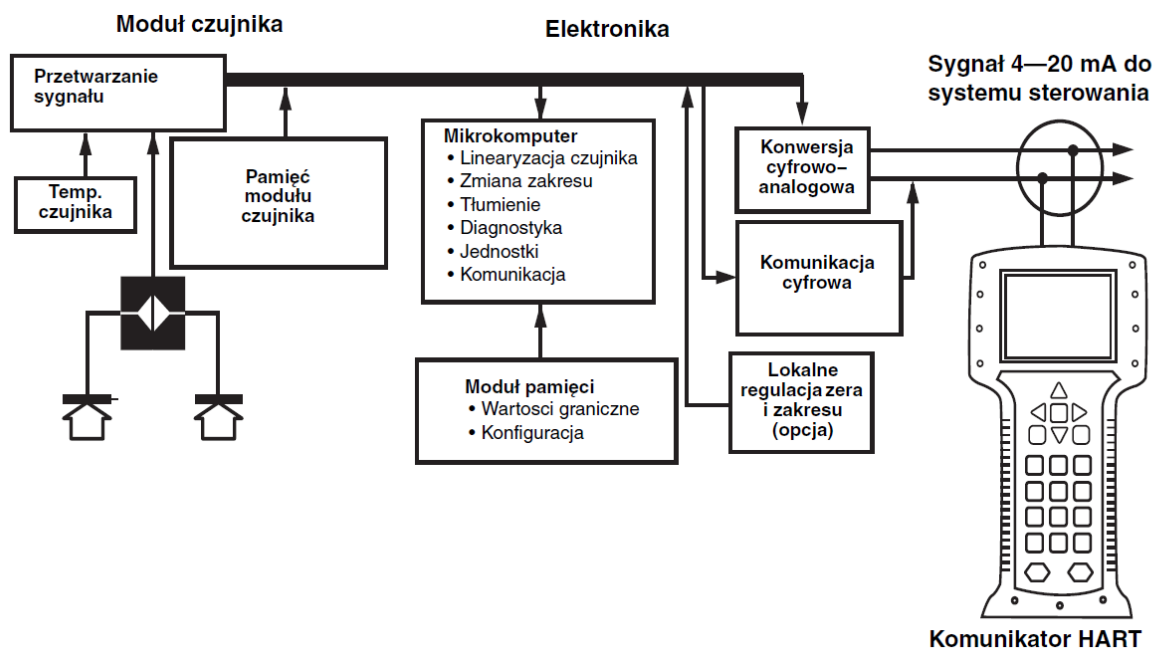
Rys. 6.2. Przetwornik firmy Rosemount model 3244MV [22].

### 6.3. Przetwornik ciśnienia Rosemount 3051C

Przetwornik 3051C dokonuje pomiaru ciśnienia względnego, ciśnienia bezwzględnego oraz różnicy ciśnień. Pomiar ciśnienia względnego opiera się na odniesieniu do ciśnienia otoczenia, natomiast pomiar ciśnienia bezwzględnego odnosi się do próżni. Sposób pomiaru przetwornika 3051C jest następujący. Ciśnienie podane jest na membrany oddzielającej. Olej powoduje ugięcie membrany środkowej, co powoduje zmianę pojemności. Sygnał pojemnościowy zmieniany jest na cyfrowy w konwerterze C/D. Mikroprocesor na podstawie sygnałów z czujnika RTD i konwertera C/D oblicza prawidłowy sygnał wyjściowy przetwornika. Sygnał ten jest wysyłany do konwertera D/A, który zamienia sygnał ponownie na sygnał analogowy i nakłada sygnał HART na sygnał prądowy 4-20 mA [23]. Drzewko ustawień konfiguracyjnych znajduje się w załączniku 3.



Rys. 6.3. Przetwornik różnicowy ciśnienia firmy Rosemount model 3051C [24].



Rys. 6.4. Schemat blokowy działania przetwornika różnicowego ciśnienia 3051C [23].

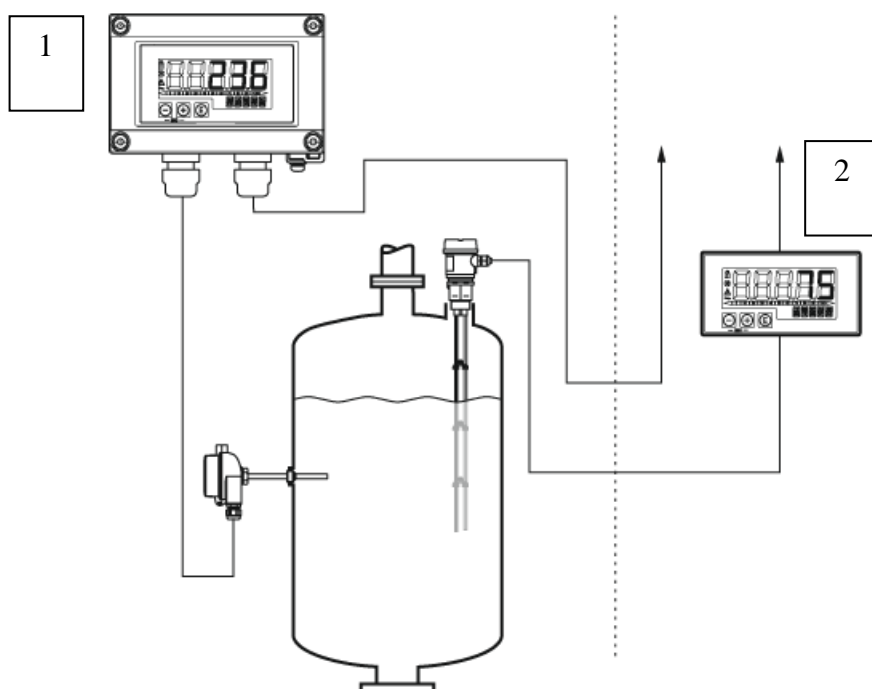
## 6.4. Wskaźnik procesowy RIA15

Wskaźnik procesowy RIA15 mierzy prąd w pętli prądowej, a następnie wyświetla wartość na ekranie z dużą dokładnością oraz rozdzielczością do czterech liczb po przecinku. Wskaźnik wyświetla pomiar za pomocą cyfr i wskaźnika słupkowego wyrażonego w procentach, co 10%. Ekran wyposażony jest w 5 cyfrowy, 7 segmentowy wyświetlacz ciekłokrystaliczny. Obsługa urządzenia za pomocą przycisków +, -, E jest łatwa i intuicyjna. Przy pomocy trzech przycisków można łatwo zmieniać zakresy pomiarowe oraz zmieniać ustawienia w trakcie pracy urządzenia. Wskaźnik współpracuje także z protokołem HART umożliwiając wyświetlenie do czterech wartości mierzonych na jednym urządzeniu pomiarowym. Wyświetlacz procesowy można aplikować w wielu rozwiązaniach, np. w miejscu gdzie nie można odczytać wartości lokalnie z przetwornika bądź, gdy przetwornik nie został wyposażony w wyświetlacz.



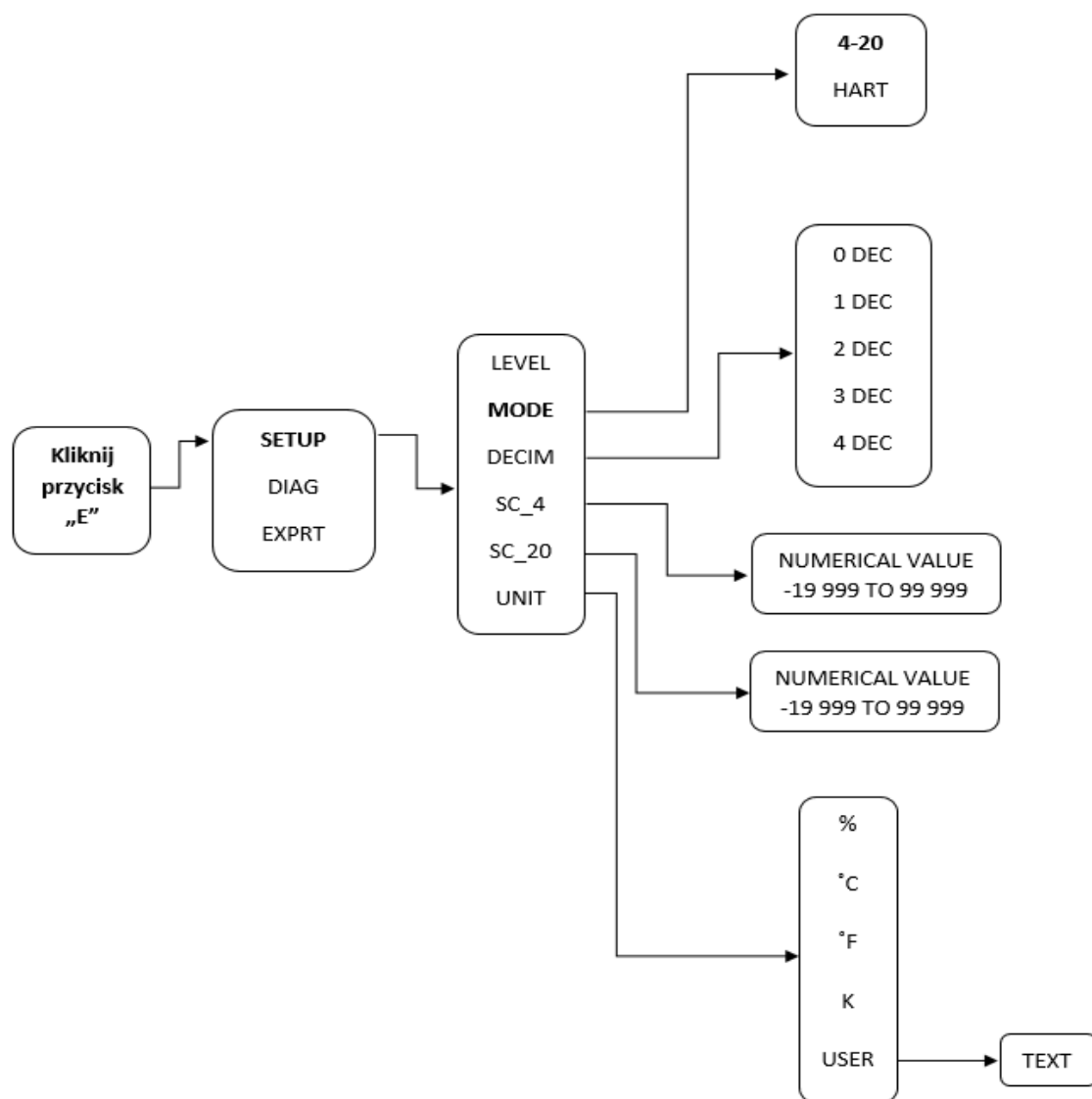
Rys. 6.5. Wskaźnik procesowy RIA15.

Przykład zastosowania:



Rys. 6.6. Wskaźnik procesowy RIA 15 w zastosowaniu jako wyświetlacz procesowy (1) i panelowy (2).

Menu wyświetlacza procesowego RIA 15 w postaci „drzewka” cz1. :



Rys. 6.7. Drzewko menu wyświetlacza dla części ustawień do pracy w standardzie prądowym 4-20 mA.

### **Opis funkcji dostępnych dla standardu prądowego 4-20 mA.**

**MODE** - wybór rodzaju komunikacji wyświetlacza z przetwornikiem. Możliwa jest komunikacja poprzez protokół HART lub w standardzie prądowym 4-20 mA.

**DECIM** - funkcja pozwala na określenie dokładności wskazań wyświetlacza do ilu liczb po przecinku ma wyświetlać. Wyświetlacz pozwala na wyświetlenie do czterech liczb po przecinku.

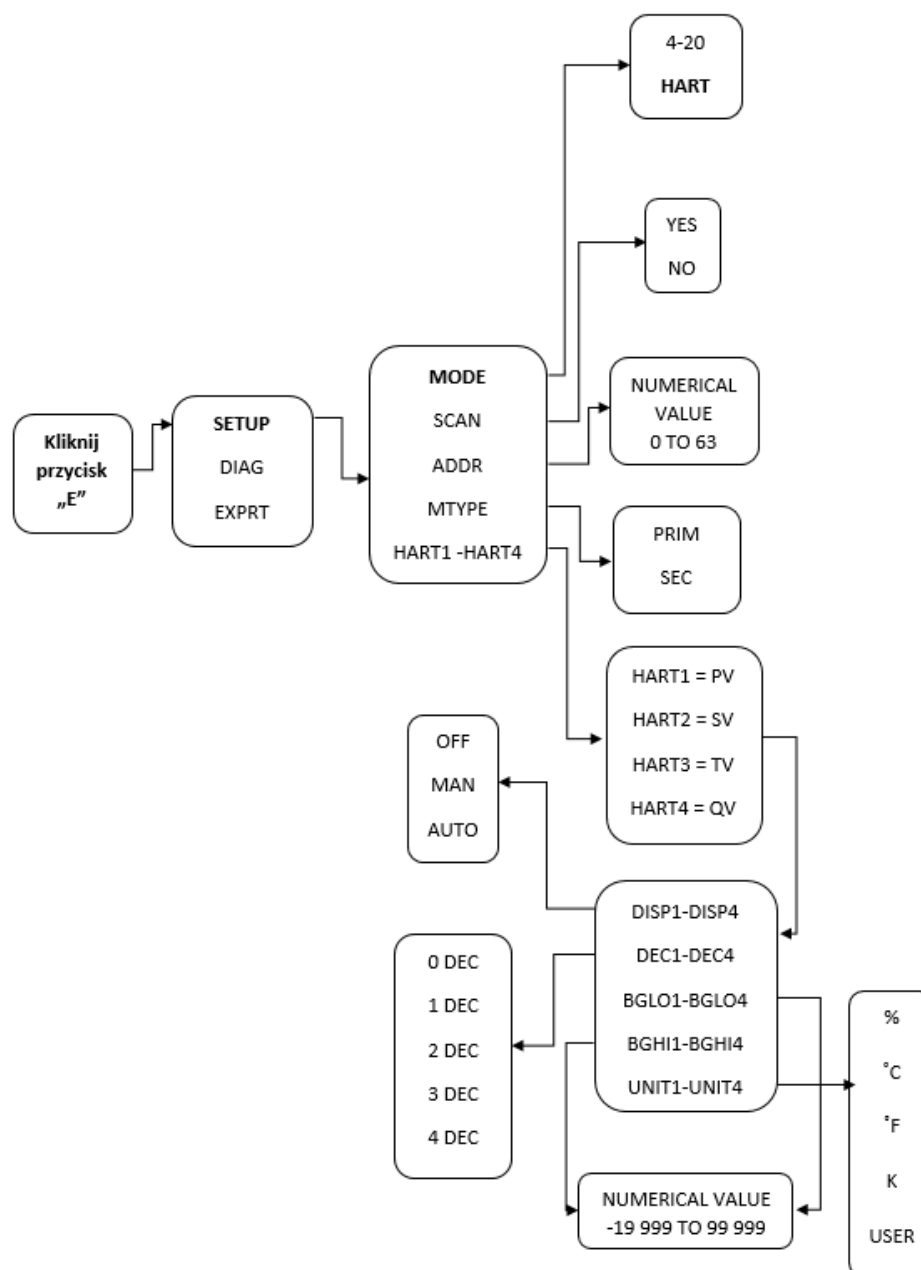
**SC\_4** – przypisanie wartości mierzonej dla sygnału prądowego 4 mA zakres wartości wynosi od -19 999 do 99 999, np. sygnał 4 mA przypisuje się wyświetlaczowi wartość 0.

**SC\_20** – przypisanie wartości mierzonej dla sygnału prądowego 20 mA zakres wartości wynosi od -19 999 do 99 999, np. sygnał 20 mA przypisuje się wyświetlaczowi wartość 6.

**UNIT** – określenie jednostek miary. Do wyboru mamy zaproponowane przez wyświetlacz jednostki. Wybierając opcję USER można wprowadzić interesującą nas jednostkę poprzez przyciski + i – oraz E potwierdzając wybraną literę. Wyświetlacz pozwala na wprowadzenie do pięciu znaków.



Menu wyświetlacza procesowego RIA 15 w postaci „drzewka” cz2. :



Rys. 6.8. Drzewko menu wyświetlacza dla części ustawień dostępnych do pracy w protokole HART.

### **Opis funkcji dostępnych dla protokołu HART.**

**MODE** - wybór rodzaju komunikacji wyświetlacza z przetwornikiem, możliwa jest komunikacja poprzez protokół HART lub w standardzie prądowym 4-20 mA.

**SCAN** – funkcja ta pozwala na automatyczne wyszukiwanie przetworników z nadanym adresem od 0 do 63.

**ADDR** – pozwala na wprowadzenie ręczne adresu interesującego nas przetwornika.

**MTYPE** - funkcja ta pozwala na określenie ważności naszego wyświetlacza. Do wyboru mamy primary master czyli główny master oraz secondary master czyli drugorzędny master. Określenie ważności naszego wyświetlacza jest kluczowe, gdyż w układzie mogą jednocześnie pracować tylko dwa mastery. Podczas podłączenia się komunikatorem do naszego układu pomiarowego może pracować tylko jeden główny master i jeden drugorzędny.

**HART1-HART4** – funkcja ta pozwala na wyświetlenie do czterech parametrów mierzonych przez jeden przetwornik na raz.

HART 1 = PV (PRIMARY VALUE) pierwsza wartość;

HART 2 = SV (SECONDARY VALUE) druga wartość;

HART 3 = TV (TERTIARY VALUE) trzecia wartość;

HART 4 = QV (QUATERNARY VALUE) czwarta wartość;

DISP1-DISP4 – używając tej funkcji możemy wybrać opcje spośród ;

AUTO – wyświetlacz automatycznie zmienia ekrany;

MAN – manualnie zmieniamy ekrany przyciskami + i –;

OFF – ekran jest wyłączony.

**DECIM** - funkcja pozwala na określenie dokładności wskazań wyświetlacza do ilu liczb po przecinku ma wyświetlać. Wyświetlacz pozwala na wyświetlenie do czterech liczb po przecinku.

**BGLO1-BGLO4** – funkcja ta pozwala przypisać dolny zakres pomiarowy danej wartości mierzonej dla poszczególnych ekranów. Zakres wynosi od -19 999 do 99 999.

**BGHI1-BGHI4** – funkcja ta pozwala przypisać górny zakres pomiarowy danej wartości mierzonej dla poszczególnych ekranów. Zakres wynosi od -19 999 do 99 999.

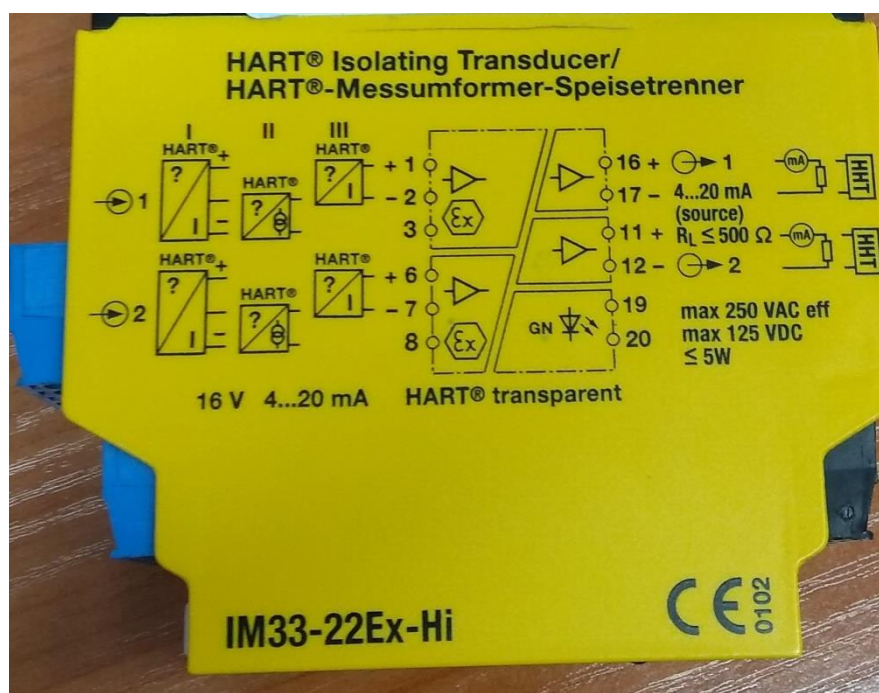
**UNIT1-UNIT4** – określenie jednostek miary dla poszczególnych ekranów. Do wyboru mamy zaproponowane przez wyświetlacz jednostki. Wybierając opcję **USER** można wprowadzić interesującą nas jednostkę poprzez przyciski + i – oraz **E** potwierdzając wybraną literę. Wyświetlacz pozwala na wprowadzenie do pięciu znaków [25].

## **6.5. Separator izolacyjny TURCK IM33-22Ex-Hi**

Separator izolacyjny TURCK IM33-22Ex-Hi to dwukanałowy separator sygnałów analogowych dedykowany do zasilania iskrobezpiecznych połączonych dwuprzewodowo przetworników pracujących z protokołem HART w obszarze zagrożonym wybuchem. Służą także do przekazywania sygnału o wielkości mierzonej do obszaru bezpiecznego. Urządzenie poza sygnałem prądowym w standardzie 4-20 mA zapewnia pełną komunikację wykorzystując protokół HART. Możliwa jest komunikacja także z przetwornikami wymagającymi połączenia trzema przewodami [26].



Rys. 6.9. Separator izolacyjny TURCK.

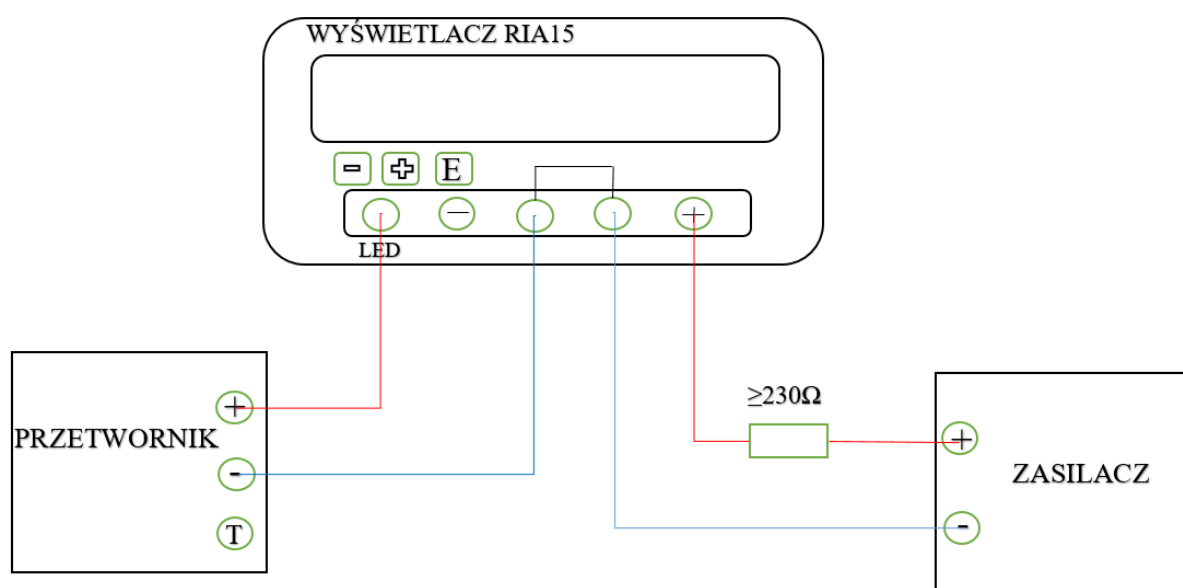


Rys. 6.10. Schemat podłączenia separatora zamieszczony na urządzeniu.

## 7. KONFIGURACJA WYŚWIETLACZA RIA 15.

### 7.1. Schemat połączenia

Przetwornik z wyświetlaczem procesowym RIA15 komunikują się przez protokół HART. Schemat połączenia pokazany na rysunku 8.1. Jest to uniwersalne połączenie zapewniające pracę wyświetlacza z protokołem HART, jak i standardem prądowym 4-20 mA.

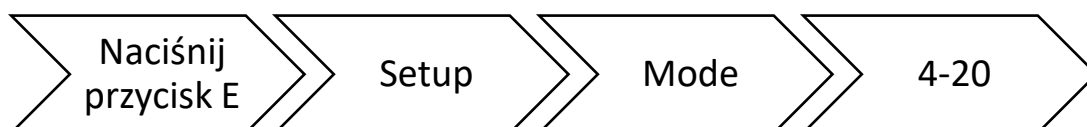


Rys. 7.1. Schemat połączenia wyświetlacza RIA 15.

Sekwencja wyboru parametrów konfiguracyjnych dla dostępnej części z protokołem HART i 4-20 mA.



Rys. 7.2. Sekwencja wyboru ustawień do pracy z protokołem HART.

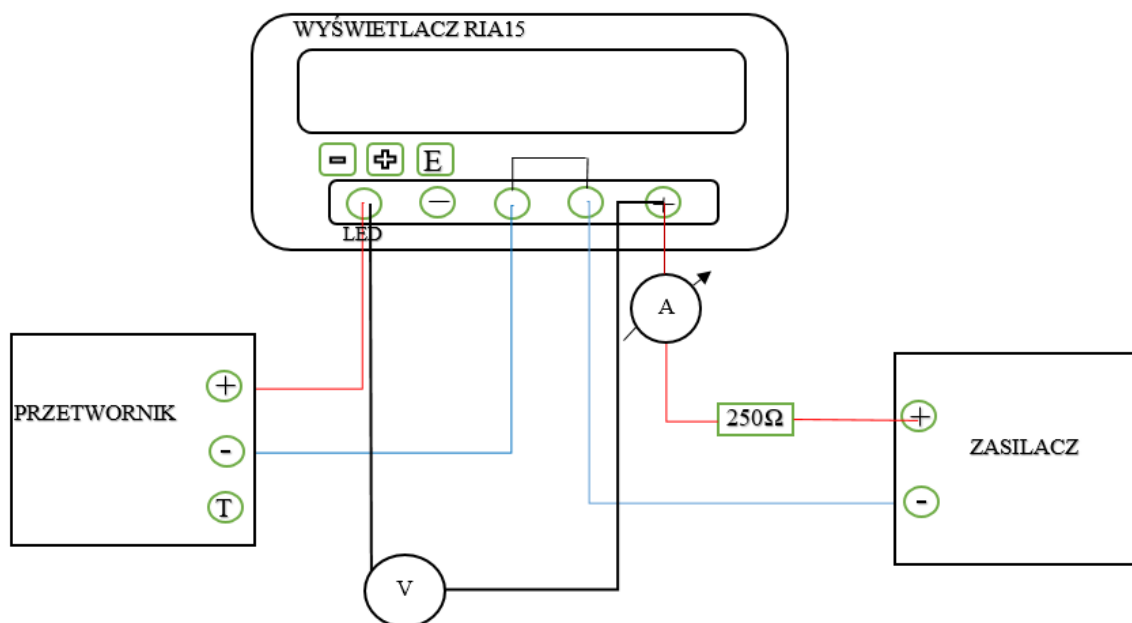


Rys. 7.3. Sekwencja wyboru ustawień dla pracy w standardzie prądowym 4-20 mA.

Wyświetlacz po wyborze sposobu komunikacji HART pyta się czy wyszukać urządzenia. Możliwe jest także wprowadzenie ręczne adresu interesującego nas urządzenia poprzez funkcje ADDR, gdzie wpisujemy adres urządzenia od 0 do 63 znajdującego się w pętli. Po wprowadzeniu tych ustawień konieczne jest wyznaczenie ilości ekranów (DISP1-4). Wyświetlacz obsługuje do czterech wartości mierzonych przez przetwornik. Określenie wartości granicznych mierzonych jest to wartość dolna (BGLO) i górna (BGHI,) a także jednostki miary (UNIT) oraz dokładność wskazywanego pomiaru do ilości liczb po przecinku (DECIMAL).

## 7.2. Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej wskaźnika procesowego RIA 15

### 7.2.1. Schemat połączenia układu pomiarowego



Rys. 7.4. Schemat połączenia elektrycznego układu pomiarowego.

### 7.2.2. Cel badania

Wykonane badanie ma na celu wyznaczenie rezystancji wewnętrznej wyświetlacza. Poznanie rezystancji wewnętrznej wyświetlacza pozwala ustalić punkt pracy toru prądowego w zakresie 4-20 mA i w prawidłowy sposób zaprojektować tor pomiarowy.

W układzie pomiarowym wykorzystano:

- Wyświetlacz RIA 15;
- Opornik dekadowy MRD-93-GO;
- Zasilacz laboratoryjny MCP M10-SP-303E;
- Digital multimeter V562 w roli amperomierza;
- Digital multimeter V560 w roli woltomierza;
- Przetwornik ciśnienia model 2088.

Pomiar polega na wymuszeniu prądu w obwodzie w zakresie 4-20 mA co 1 mA za pomocą przetwornika. Przetwornik jako pasywne źródło prądowe sterowane wielkością mierzoną był podłączony do praski kalibracyjnej wymuszającej ciśnienie na układ pomiarowy przetwornika. Regulując ciśnienie za pomocą praski i włączonego w obwód amperomierza możliwe było ustalenie dokładnej wartości prądu w obwodzie w przedziale 4-20 mA. Woltomierz podłączony na zaciski wyświetlacza procesowego pozwalał na określenie spadku napięcia na urządzeniu w zależności od zmieniającego się prądu w obwodzie. Korzystając z otrzymanych wyników i prawa Ohma można określić rezystancję wewnętrzną wyświetlacza. Otrzymane wyniki zamieszczone są w tabeli 2.



Tabela 2 Zawiera wyniki pomiarów.

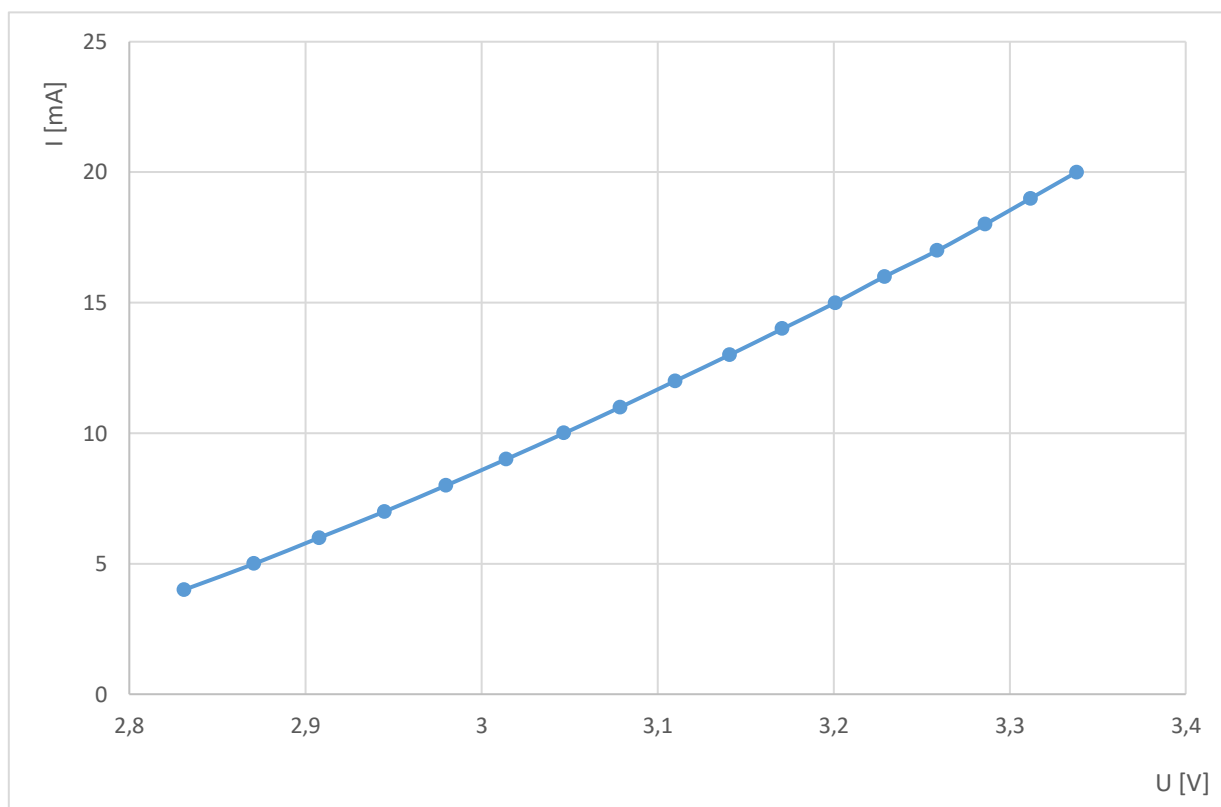
Napięcie [V]	Prąd [mA]	Obliczona rezystancja wewnętrzna [ $\Omega$ ]
2,831	4	707,75
2,871	5	574,20
2,908	6	484,67
2,945	7	420,71
2,980	8	372,50
3,014	9	334,89
3,047	10	304,70
3,079	11	279,91
3,110	12	259,17
3,141	13	241,62
3,171	14	226,50
3,201	15	213,40
3,229	16	201,81
3,259	17	191,71
3,286	18	182,56
3,312	19	174,32
3,338	20	166,90

Obliczona rezystancja dla prądu 20 mA:

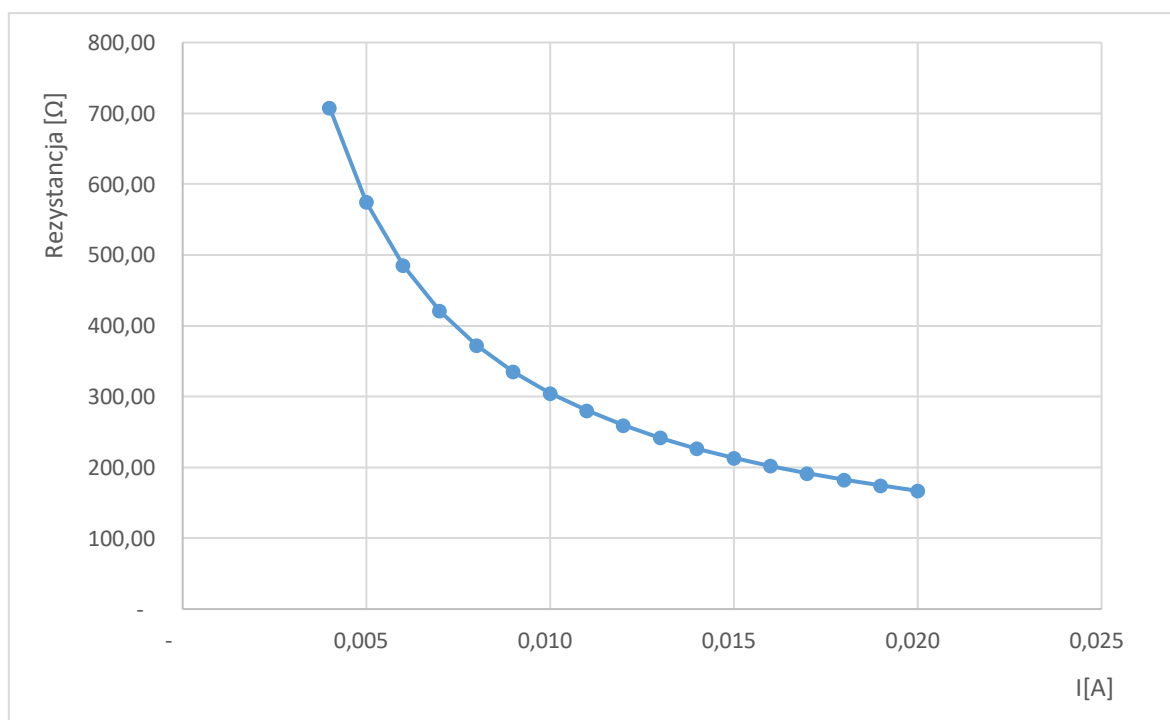
$$R = \frac{U}{I}$$

$$\frac{3,338 \text{ V}}{0,020 \text{ A}} = 166,9 \Omega$$

### 7.2.3. Charakterystyki pomiarowe RIA 15



Rys. 7.5. Charakterystyka prądowo- napięciowa RIA 15.



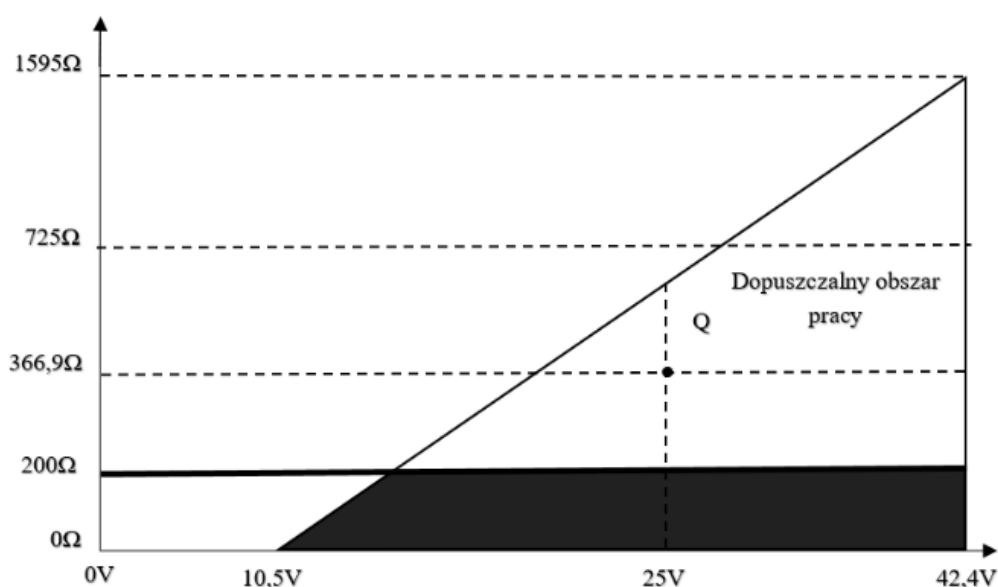
Rys. 7.6. Wykres przedstawiający zmiany rezystancji wewnętrznej wyświetlacza procesowego RIA 15 w zależności od przepływającego prądu.

Wyniki pomiarów przedstawiają dość dużą rezystancję wewnętrzną wyświetlacza dla 4 mA i wynosi ona 707,75  $\Omega$  a dla 20 mA odpowiednio 166,9  $\Omega$ . Tak wysoka rezystancja wprowadza duże ograniczenia dla punktu pracy toru pomiarowego. Sytuację tę ilustruje następujący przykład z przetwornikiem ciśnienia firmy Rosemount model 2088, gdzie napięcie zasilania przetwornika podane przez producenta wynosi od 10,5 V do 42,4 V DC. Powyższe wartości napięcia zasilania wykorzystywane zostaną do obliczeń. Dla przykładu przyjęto napięcie zasilania 25V. Korzystając ze wzoru :

$$R_o[k\Omega] \leq R_{am} = (U_z - U_{zmin})[V]/20[mA]$$

$$R_o = \frac{25V - 10,5V}{0,020A} = 725 \Omega$$

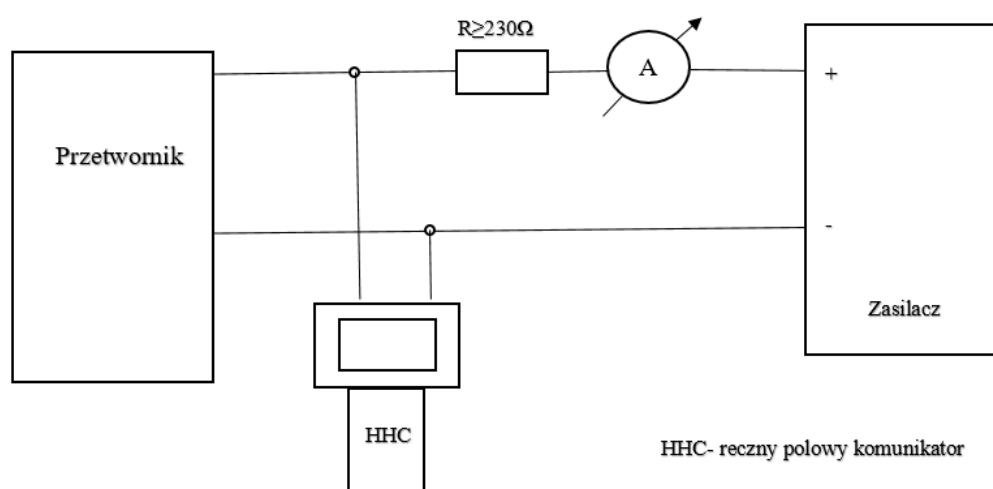
Z obliczeń wynika, że maksymalna wartość rezystancji obciążenia wynosi 725  $\Omega$ . Przyjmując że rezystancja toru pomiarowego bez włączonego wyświetlacza wynosi 200 $\Omega$ . Zainstalowanie wyświetlacza w tor pomiarowy wprowadza nam dodatkową rezystancję dla 4 mA to 707,75  $\Omega$ , a dla 20 mA to 166,9 $\Omega$ . Pozwala to określić sumę rezystancji w obwodzie, która wynosi 366,9  $\Omega$  dla 20 mA. Podany przykład ilustruje rysunek 7.7



Rys. 7.7. Dopuszczalny obszar pracy toru pomiarowego w standardzie 4-20 mA z wyświetlaczem RIA 15.

### 7.3. Wpływ rezystancji w układzie pomiarowy na komunikację z wykorzystaniem protokołu HART.

Pomiar polega na wyznaczeniu granicznych wartości rezystancji włączonej w obwód pomiarowy pozwalający na komunikację za pomocą protokołu HART. Na rysunku 7.8 przedstawiono układ pomiarowy. Badanie przeprowadzono w układzie pomiarowym z przetwornikiem różnicowym ciśnienia firmy Rosemount model 3051C.



Rys. 7.8. Układ pomiarowy do badania wpływu obciążenia  $R_o$  na komunikację zgodnie z protokołem HART.

Jako źródło zasilania został wykorzystany zasilacz laboratoryjny o wartości napięcia 25 VDC. Badania przeprowadzono dla trzech urządzeń wykorzystanych do komunikowania się z przetwornikiem. W trakcie badań zmieniano rezystancję obciążenia i szukano przy jakich wartościach nastąpi zerwanie komunikacji.

W układzie pomiarowym wykorzystano:

- Opornik dekadowy MRD-93-GO;
- Zasilacz laboratoryjny MCP M10-SP-303E;
- Digital multimeter V562 w roli amperomierza;
- Trzy komunikatory HART
- Przetwornik różnicowy ciśnienia model 3051C.

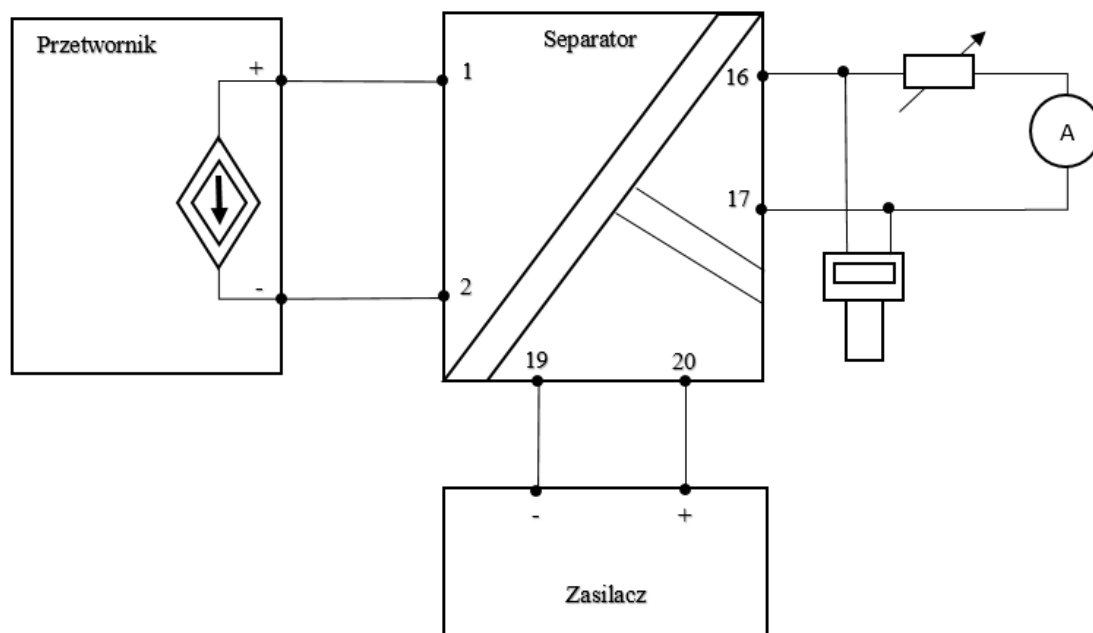
Tabela 3 Przedstawia wyniki pomiarów wartości granicznej rezystancji dla poszczególnych komunikatorów.

Zakres	AMS Trex™ Device Communicator	Komunikator polowy 375	AMS software version 1.3
Dolny próg rezystancji	52Ω	36Ω	58Ω
Górny próg rezystancji	4840Ω	4810Ω	4700Ω

Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić jednoznacznie, że, graniczne wartości rezystancji dla trzech typowych komunikatorów przemysłowych HART są bardzo zbliżone.

### **7.3.2. Wpływ rezystancji na komunikację za pomocą protokołu HART z wykorzystaniem separatora TURCK IM33-22Ex-Hi**

### 7.3.3. Schemat połączenia układu pomiarowego



Rys. 7.9. Schemat układu pomiarowego.

Celem pomiarów było wyznaczenie wartości rezystancji, przy której ręczny komunikator polowy nie będzie mógł komunikować się z urządzeniem. Badanie polegało na zbudowaniu układu narysowanego na rysunku 7.9, nawiązaniu komunikacji pomiędzy ręcznym komunikatorem polowym, a przetwornikiem z wykorzystaniem separatora TURCK Im33-Ex22-Hi oraz za pomocą znajdującego się w układzie opornika dekadowego regulowana była rezystancja do momentu zerwania komunikacji. Otrzymane wyniki znajdują się w tabeli 4.

W układzie pomiarowym wykorzystano:

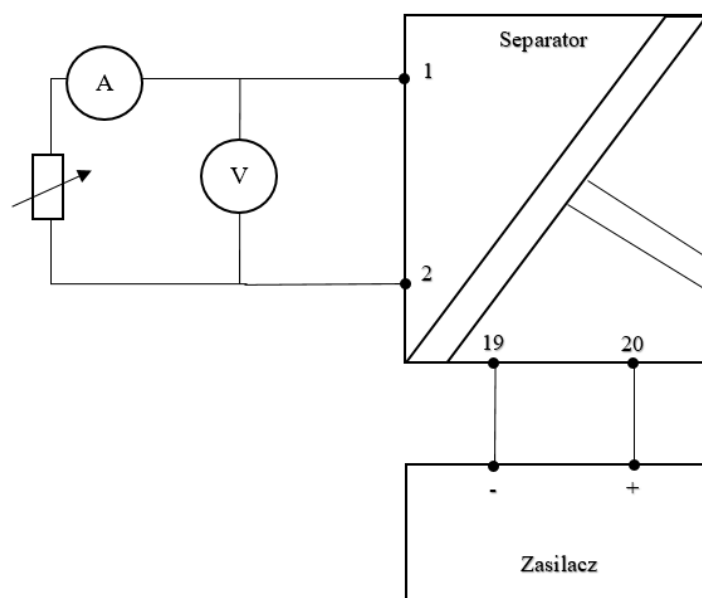
- AMS Trex™ Device Communicator;
- Opornik dekadowy MRD-93-GO;
- Zasilacz laboratoryjny MCP M10-SP-303E;
- Digital multimeter V562 w roli amperomierza;

- Digital multimeter V560 w roli woltomierza;
- Separator TURCK IM33-22Ex-Hi;
- Przetwornik różnicowy ciśnienia firmy Rosemount model 3051C.

Tabela 4 Wyniki pomiarów wartości granicznych rezystancji w układzie z użyciem separatora izolacyjnego.

Zakres	AMS Trex™ Device Communicator
Dolny próg rezystancji	48Ω
Górny próg rezystancji	4720Ω

#### 7.4. Wyznaczenie charakterystyki prądowo-napięciowej separatora TURCK IM33-22Ex-Hi.



Rys. 7.10. Schemat układu pomiarowego do wyznaczania wejściowej charakterystyki prądowo-napięciowej separatora.



Rys. 7.11. Zdjęcie stanowiska pomiarowego.

Celem pomiarów było wyznaczenie wejściowej charakterystyki prądowo-napięciowej separatora. Znajomość tej charakterystyki pozwala określić rezystancję obciążenia toru pomiarowego z podłączonym przetwornikiem. Pomiary wykonano w układzie przedstawionym na rysunku 7.9. Na zaciski „1” i „2” będące wyjściem separatora, podłączony został opornik dekadowy wraz z amperomierzem mierzącym prąd w pętli i woltomierzem mierzącym napięcie na zaciskach separatora. W trakcie pomiarów zmieniano wartość rezystora  $R_1$ . Otrzymane wyniki umieszczone są w tabeli 5.

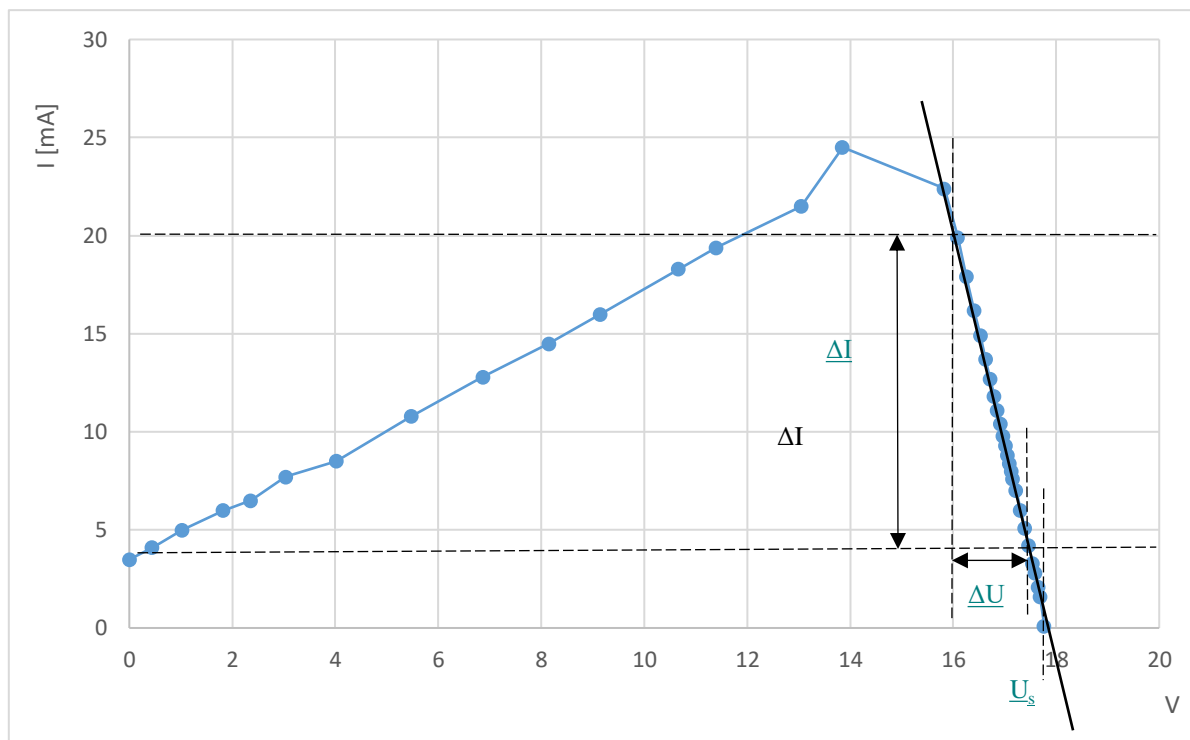
W układzie pomiarowym wykorzystano :

- Opornik dekadowy MRD-93-GO;
- Zasilacz laboratoryjny MCP M10-SP-303E;
- Digital multimeter V562 w roli amperomierza;
- Digital multimeter V560 w roli woltomierza;
- separator TURCK IM33-22Ex-Hi



Tabel 5 przedstawia wyniki pomiarów wyznaczających charakterystykę prądowo-napięciową separatora TURCK IM33-22Ex-Hi.

Prąd I[mA]	Napięcie [V]	Obciążenie [Ω]
3,5	0,01	0
4,1	0,45	100
5	1,03	200
6	1,83	300
6,5	2,36	350
7,7	3,04	400
8,5	4,02	450
10,8	5,48	500
12,8	6,87	530
14,5	8,15	550
16	9,15	560
18,3	10,67	570
19,4	11,4	580
21,5	13,05	590
24,5	13,85	600
22,4	15,83	700
19,9	16,09	800
17,9	16,26	900
16,2	16,41	1000
14,9	16,53	1100
13,7	16,63	1200
12,7	16,72	1300
11,8	16,8	1400
11,1	16,86	1500
10,4	16,92	1600
9,8	16,97	1700
9,3	17,02	1800
8,8	17,06	1900
8,4	17,1	2000
8	17,13	2100
7,6	17,16	2200
7	17,22	2400
6	17,31	2800
5,1	17,39	3300
4,2	17,47	4000
3,3	17,54	5000
2,8	17,59	6000
2,1	17,66	8000
1,6	17,69	10000
0,08	17,77	20000



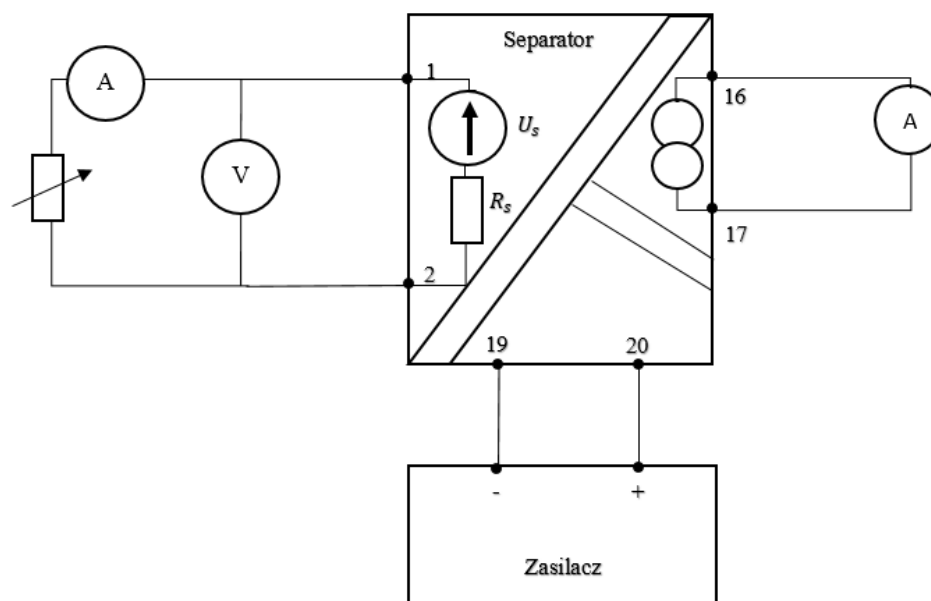
Rys. 7.12. Charakterystyka prądowo-napięciowa separatora TURCK IM33-22Ex-Hi. $U_s$

Korzystając z otrzymanych wyników można obliczyć elementy zastępcze separatora. Obliczenia przykładowe:

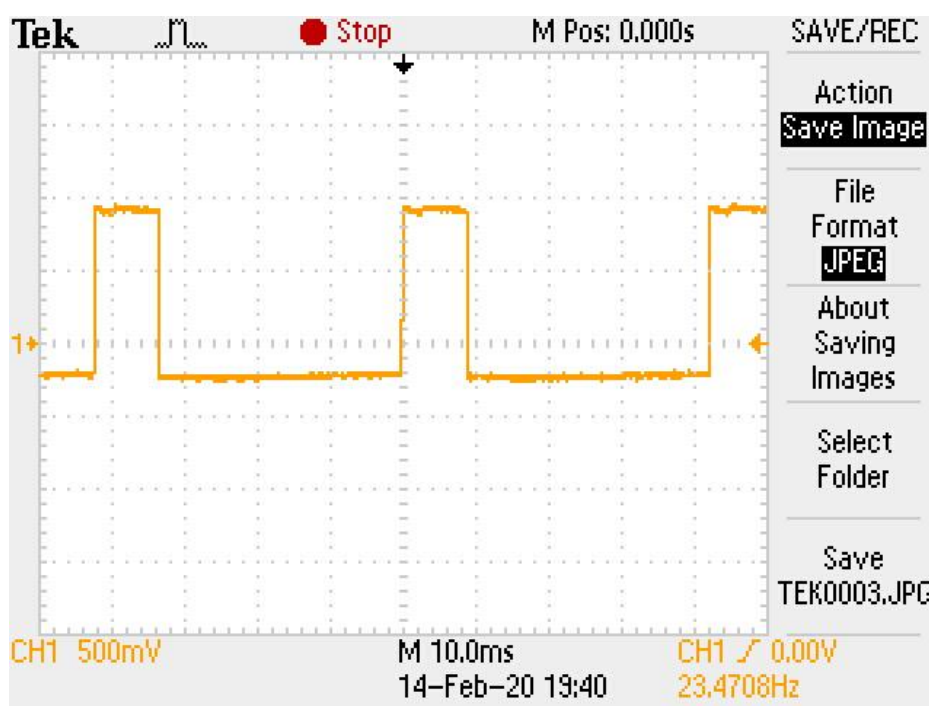
$$R_s = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{17,47 \text{ V} - 16,09 \text{ V}}{19,9 \text{ mA} - 4,2 \text{ mA}} = 88 \Omega$$

$$U_s = 17,8 \text{ V}$$

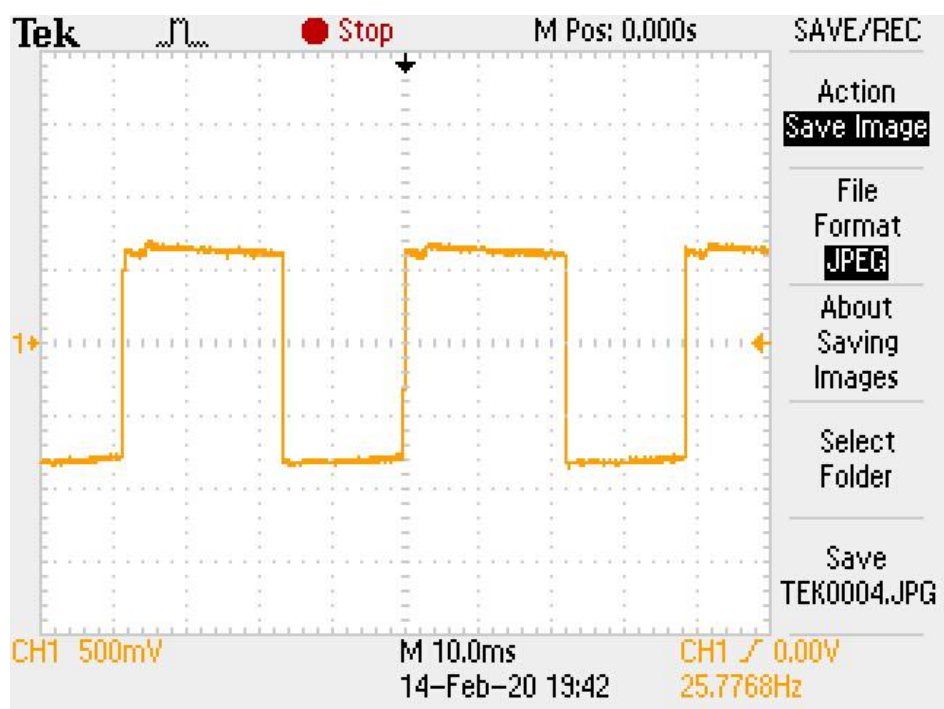
Rezystancja zastępcza wynosi  $R_s = 88 \Omega$ , natomiast napięcie  $U_s = 17,8 \text{ V}$  jest to ostatni odczytany i zaokrąglony wyniki pomiaru z wykresu. Układ z wyznaczonymi elementami ukazuje rys. 7.12. Z otrzymanych wyników można stwierdzić, że separator TURCK IM33-22Ex-Hi obciążony rezystancją poniżej  $600 \Omega$  pracuje niestabilnie ze względu na duże wahania wartości prądu w układzie. Spowodowane jest to układem wewnętrznym separatora, który mierzy, próbuje samoczynnie wartość rezystancji w obwodzie, gdy zmierzona rezystancja jest zbyt mała uznaje to za zwarcie. Po przekroczeniu wartości  $600 \Omega$  separator uznaje wartość rezystancji za wystarczającą do poprawnej pracy, a jego odpowiedź wartości prądowej nie waha się.



Rys. 7.13. Schemat układu separatora z wyznaczonymi elementami zastępczymi.



Rys. 7.14. Przebieg zarejestrowany na zaciskach separatora przy obciążeniu  $350\ \Omega$ .



Rys. 7.15. Przebieg zarejestrowany na zaciskach separatora przy obciążeniu 550Ω.



Rys. 7.16. Przebieg zarejestrowany na zaciskach separatora przy obciążeniu 600Ω.

Porównując rysunek 9.9 z rysunkiem 9.10 można stwierdzić że, wraz ze wzrostem rezystancji w obwodzie wzrasta szerokość sygnału prostokątnego. Natomiast po przekroczeniu  $600\ \Omega$  układ pomiarowy separatora stabilizuje się i można to zaobserwować na rysunku 9.11.

## PODSUMOWANIE

Praca obejmuje konfigurację, komunikację oraz pomiary z przetwornikami typu smart w standardzie prądowym 4-20 mA wykorzystujące protokół HART. Przedstawione i opisane zostały poszczególne wybrane aspekty wiedzy teoretycznej. Przeprowadzone zostały także pomiary dla trzech typowych komunikatorów przemysłowych. Pomiary obejmują również układ indykacji w tym przypadku jest to wyświetlacz procesowy RIA 15 współpracujący ze standardem prądowym 4-20 mA, jak również z protokołem HART. W oparciu o przeprowadzone badania analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że dla trzech użytych w pomiarach komunikatorów przemysłowych wartość graniczna rezystancji przerywająca komunikację z użyciem protokołu HART nie odbiega znacząco od siebie. Dolny próg rezystancji oscyluje w granicy 50  $\Omega$ , natomiast górna granica rezystancji wynosi uśredniając wynik około 4800  $\Omega$ . Pozwala to na stwierdzenie, że wartości graniczne rezystancji wykorzystując komunikację HART dla każdego przemysłowego komunikatora są bardzo zbliżone. Pomiary rezystancji wewnętrznej układu indykacji jakim jest wyświetlacz procesowy RIA 15 wskazują, że wyświetlacz wnosi do układu pomiarowego dodatkowe nieliniowe obciążenie. Wielkość tego obciążenia zależy od wartości mierzonego prądu. Znajomość wnoszonej wewnętrznej rezystancji indykatora (wyświetlacza) niezbędne jest do prawidłowego zaprojektowania toru pomiarowego. Otrzymane wyniki rezystancji wewnętrznej wyświetlacza RIA 15 dla prądu 4 mA to 707,75  $\Omega$  a dla 20 mA to 166,9  $\Omega$ . W pracy przedstawiono i podano obliczenia dopuszczalnego obszaru pracy dla toru pomiarowego z zainstalowanym wyświetlaczem procesowym RIA 15. Uwzględniając w pracy toru pomiarowe pracujące w obszarach zagrożonych wybuchem zostały przeprowadzone pomiary separatora TURCK IM33-22Ex-Hi. Układ pomiarowy zawierający separator izolacyjny pozwalający na wykorzystanie komunikacji HART został poddany badaniu wartości rezystancji granicznej przy jakiej zerwane zostanie połączenie. Uzyskane wyniki nie odbiegają od wyników uzyskanych w pomiarach nie zawierających separatora izolacyjnego. Pozwala to stwierdzić że wykorzystanie separatora izolacyjnego w torze pomiarowym nie wprowadza dodatkowych ograniczeń w porównaniu z torami pomiarowymi pracującymi w obszarach bezpiecznych. Wyznaczenie charakterystyki prądowo-

napięciowej separatora izolacyjnego pozwala określić, że praca separatora bez wymaganego obciążenie toru pomiarowego jest niestabilna. Odpowiedź prądowa separatora jest niestabilna dla wartości rezystancji do  $600\ \Omega$ . Po przekroczeniu rezystancji  $600\ \Omega$  separator pracuje stabilnie. Z przeprowadzonego badania wynika, że wewnętrzny układ separatora mierzy obciążenie znajdujące się w obwodzie próbkując go, co pewien okres czasu. W przypadku obciążenia układu rezystancją mniejszą niż  $600\ \Omega$  separator uznaje, że obwód jest zwarty i zaczyna co jakiś czas ponownie włączać zasilanie. Powyższe, ilustrują przebiegi oscyloskopowe na zaciskach separatora dla rezystancji mniejszych od  $600\ \Omega$  w postaci sygnałów prostokątnych i odpowiednio sygnał ciągły dla rezystancji większych od  $650\ \Omega$ .

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Romuła Maśnicki, Janusz Mindykowski : Metrologia, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, ISBN 978-83-7421-260-1
- [2] <https://www.namur.net/de/> 31.01.2020
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/NAMUR#cite\\_note-8](https://en.wikipedia.org/wiki/NAMUR#cite_note-8) 31.01.2020
- [4] IEC 60381-1:1982, Analogue signals for process control systems. Part 1: Direct current signals.
- [5] PN-EN 60654-2:1999. Warunki pracy urządzeń do pomiarów i sterowania procesami przemysłowymi- Zasilanie.
- [6] <https://automatykab2b.pl/produkty/pomiary/czujniki-wielkosci-nieelektrycznych/4084-emerson-process-management-sp-z-oo-zmodernizowany-przetwornik-temperatury-rosemount-644>  
data 1.02.2020
- [7] <https://manualzz.com/doc/12437321/przetwornik-rosemount-3051s-multivariable%E2%84%A2-przep%C5%82ywomierz...>  
data 1.02.20
- [8] <https://www.simex.pl/uploads/product/8d1af9c28d6d92abadd136ae3c9ab6a78475d17b.jpg> data 1.02.20
- [9] Bolesław Dudojć, Zastosowanie iskrobezpiecznych torów pomiarowych w dwuprzewodowym standardzie 4-20 mA na statkach morskich. Przegląd Elektrotechniczny, 9/2009, str.: 94-101.
- [10] HART communication Application Guide data publikacji 27września 2013r.
- [11] <https://www.podkontrola.pl/pomiary-cisnienia-cz-2-elektroniczne-urzadzenia-do-pomiaru-cisnienia/>
- [12] Zygmunt Kubiak, Protokoły w systemach wbudowanych
- [13] <https://blog.lesman.com/2011/10/06/add250-ohm-resistors-to-make-hart-work/>
- [14] <https://mikrokontroler.pl/2013/08/28/protokol-hart-dla-kogo-do-czego-jakich-podzespolow-uzyc/4/>
- [15] Instrukcja obsługi Komunikator polowy 375, 00375-0047-0001, Rev. B, Listopad 2003
- [16] Karta katalogowa, AMS Trex Device Communicator, Wrzesień 2017
- [17] <https://www.emerson.com/documents/automation/manuals-guides-ams-device-manager-release-timeline-en-39154.pdf>
- [18] <https://visaya.solutions/en/product/hm-usb-iso>
- [19] AMS Installation Guide, Luty 1998,
- [20] Skrócona instrukcja obsługi 2088, 00825-0114-4108, wersja EA, Luty 2019



- [21]<https://www.petrogas.sm/product/rosemount-2088-gage-and-absolute-pressure-transmitter>
- [22] Instrukcja obsługi 3244MV, 00809-0114-4021, wersja BA, Kwiecień 2003
- [23]<https://www.emerson.com/en-us/catalog/rosemount-sku-3144p-temperature-transmitter>
- [24] Instrukcja obsługi 3051C, 00809-0114-4051, wersja AA, Styczeń 2007
- [25]<https://www.emerson.com/pl-pl/catalog/rosemount-sku-3051-coplanar-pressure-transmitter-pl-pl>
- [26] Instrukcja obsługi RIA 15, BA01170K/09/EN/05.15, 71300896, Wersja 01.04.xx
- [27] Karta katalogowa TURCK IM33-2EX-HI

Załącznik 1. Diagram konfiguracji przetwornika ciśnienia model 2088 firmy Rosemount

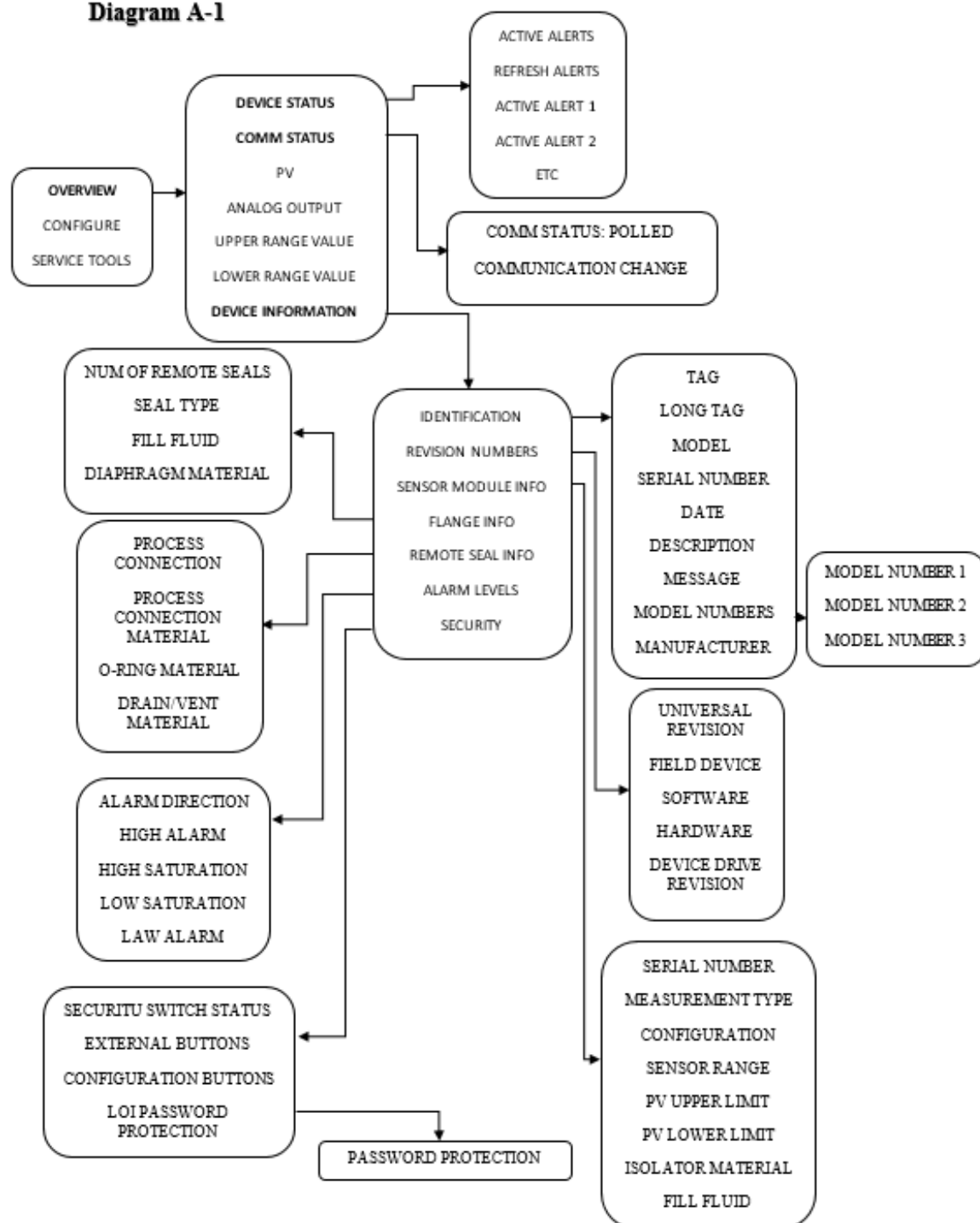
Załącznik 2. Diagram konfiguracji przetwornika temperaturowy model 3244MV firmy Rosemount

Załącznik 3. Diagram konfiguracji przetwornika ciśnienia różnicowego model 3051C firmy Rosemount

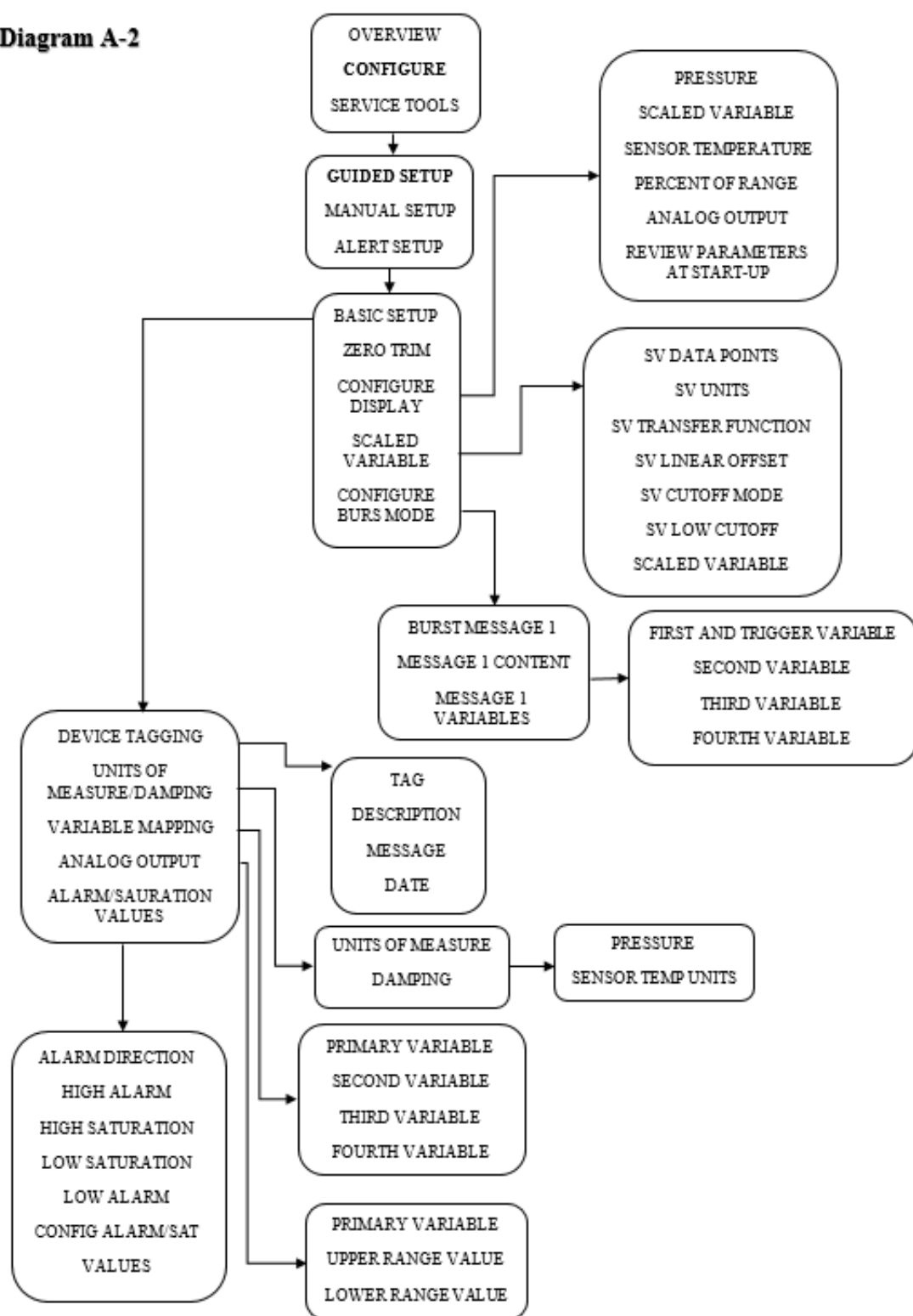
# ZALĄCZNIK 1

Diagram konfiguracji przetwornika ciśnienia model 2088 firmy Rosemount.

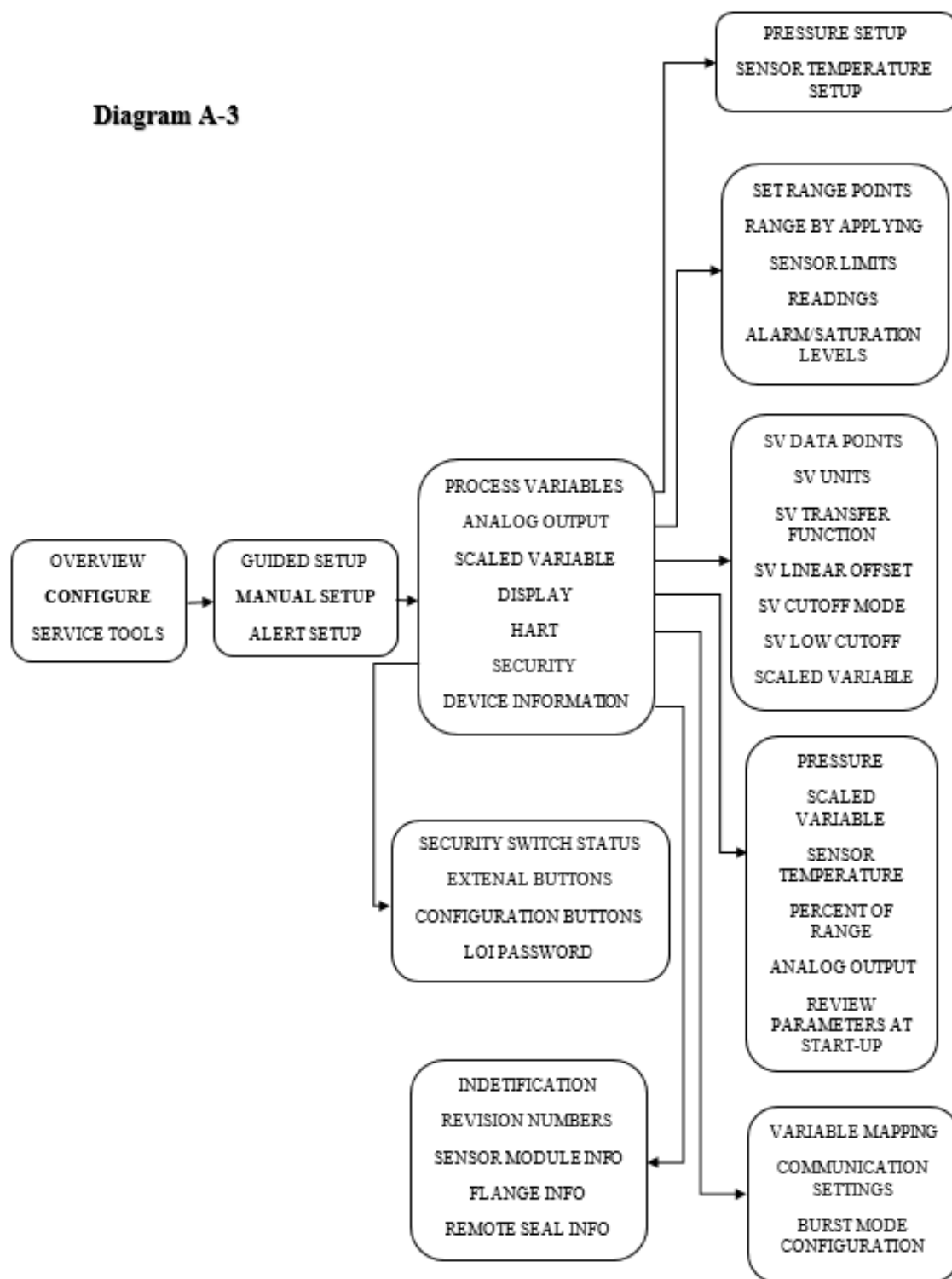
**Diagram A-1**



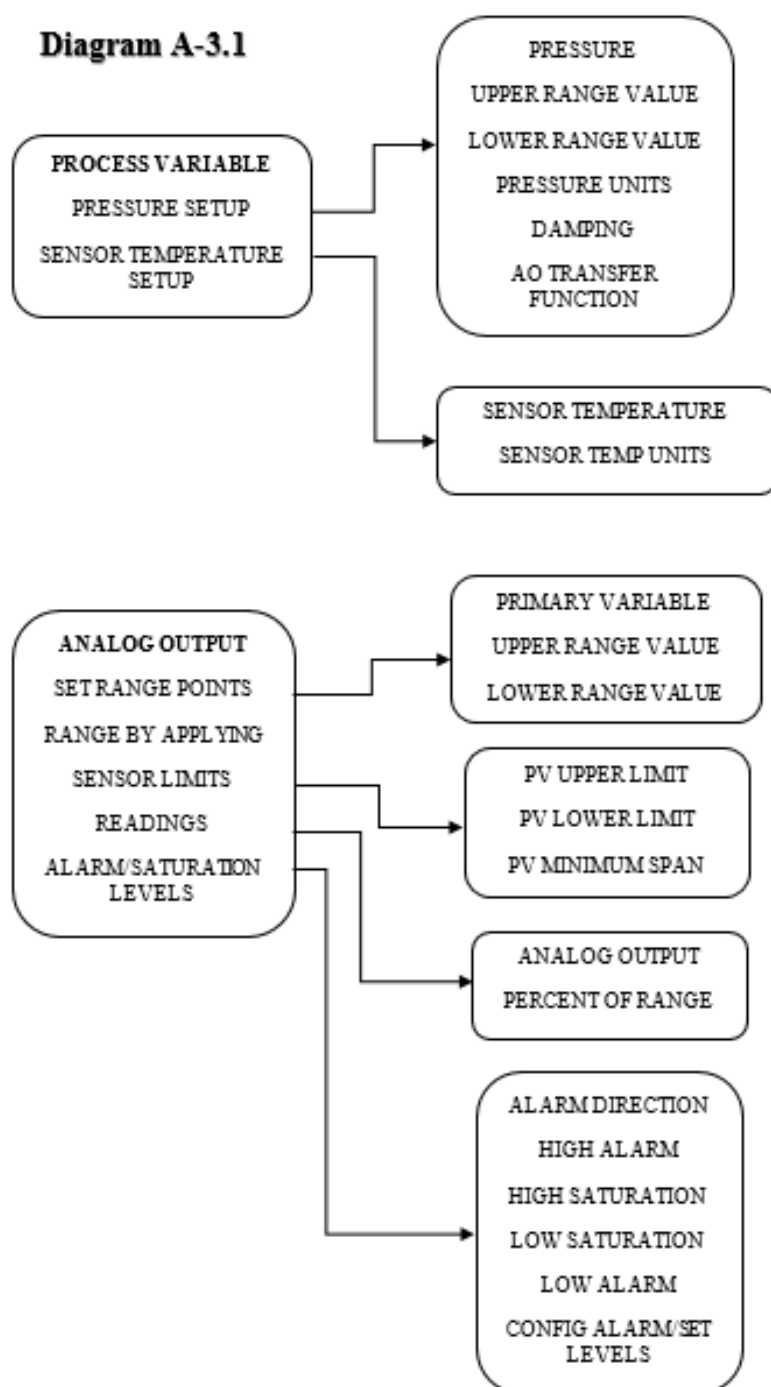
**Diagram A-2**



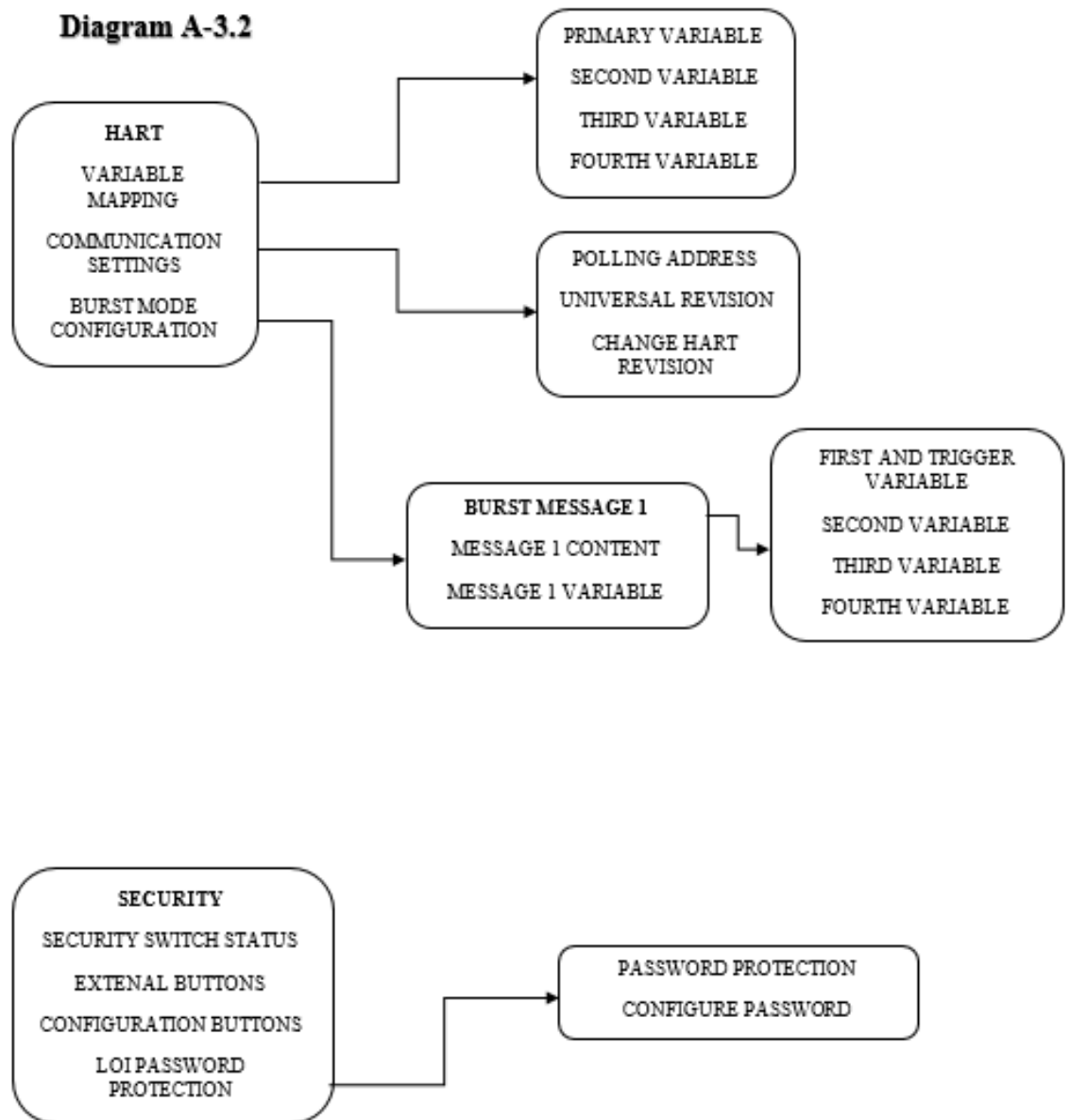
**Diagram A-3**



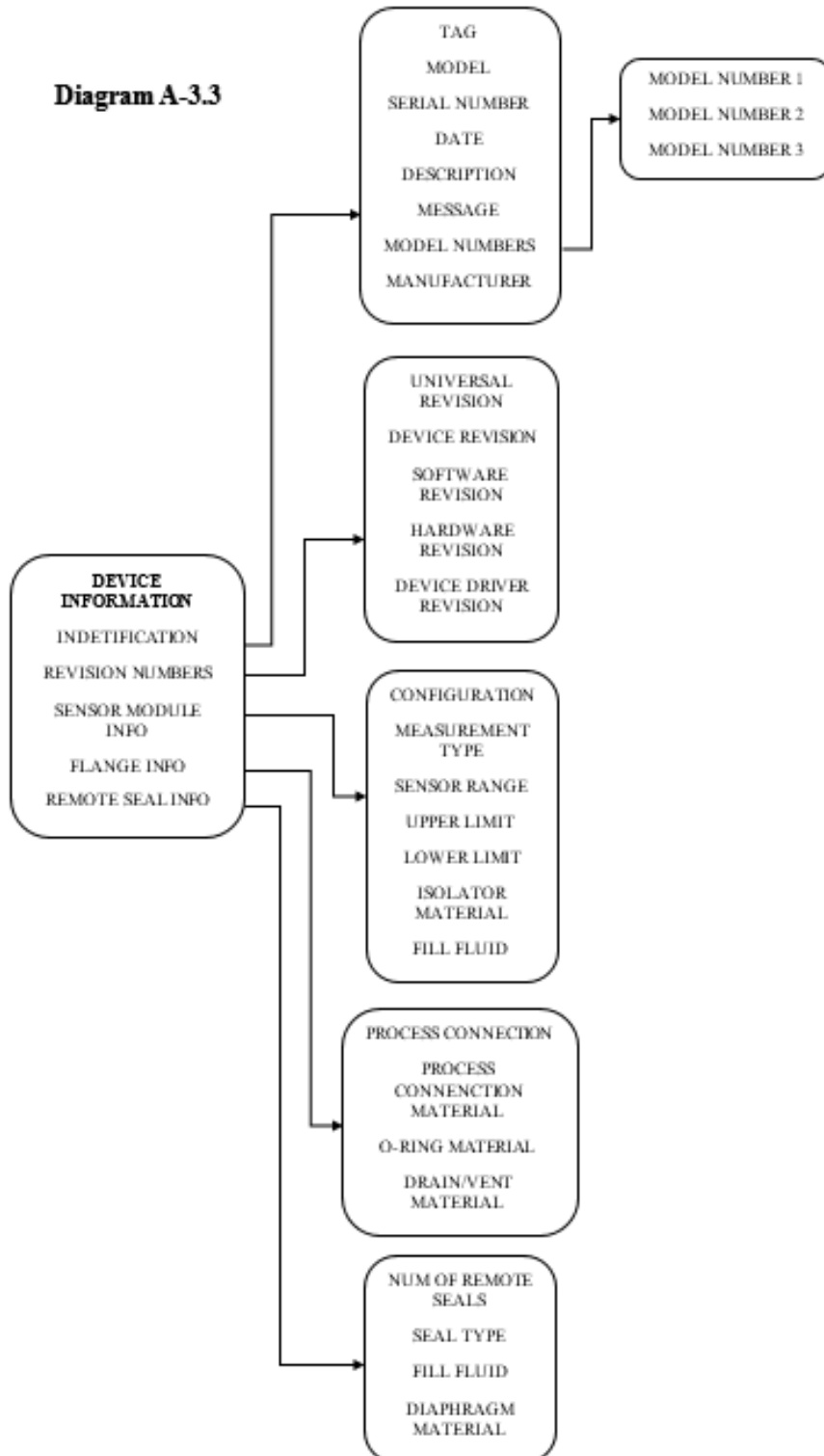
**Diagram A-3.1**



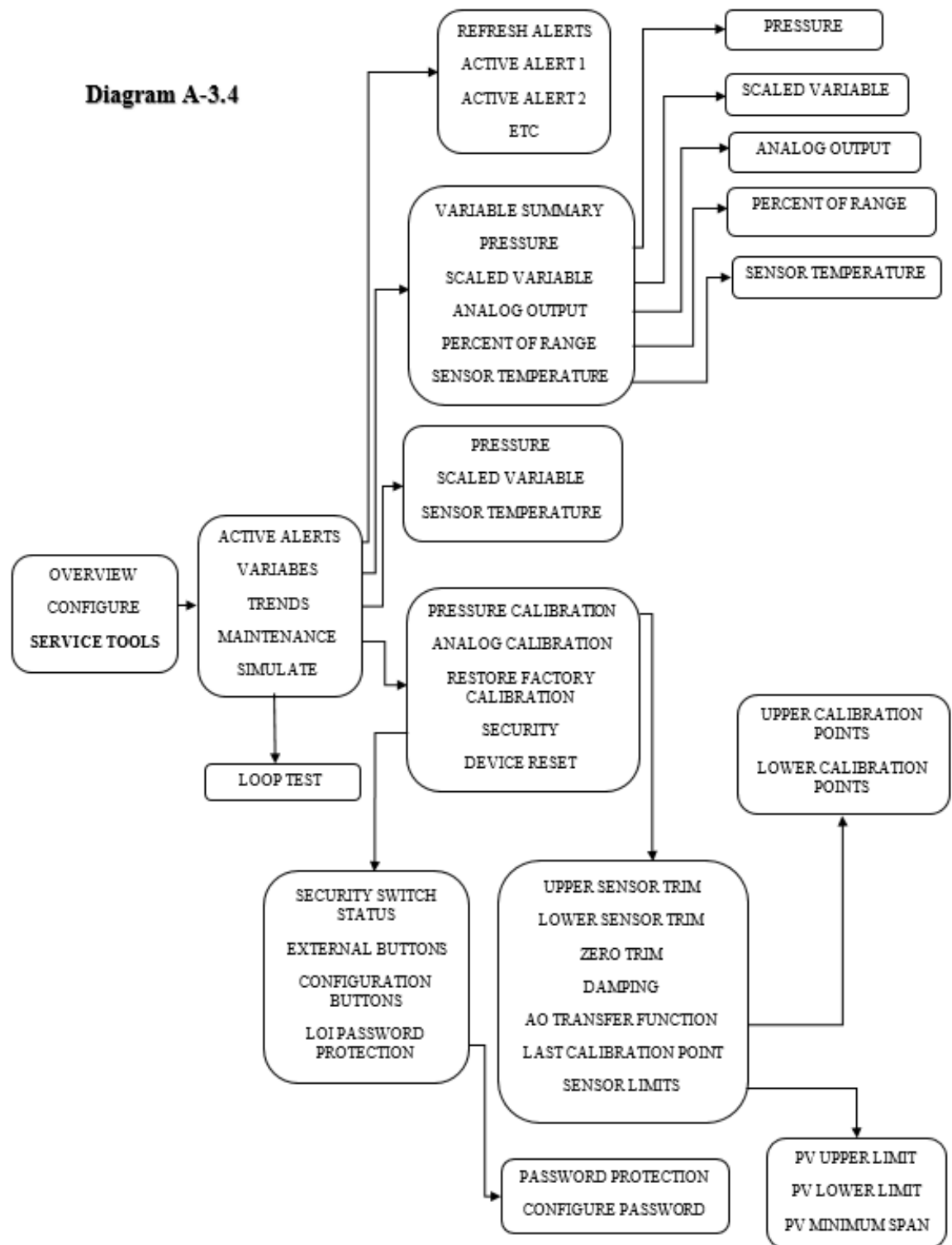
**Diagram A-3.2**



**Diagram A-3.3**

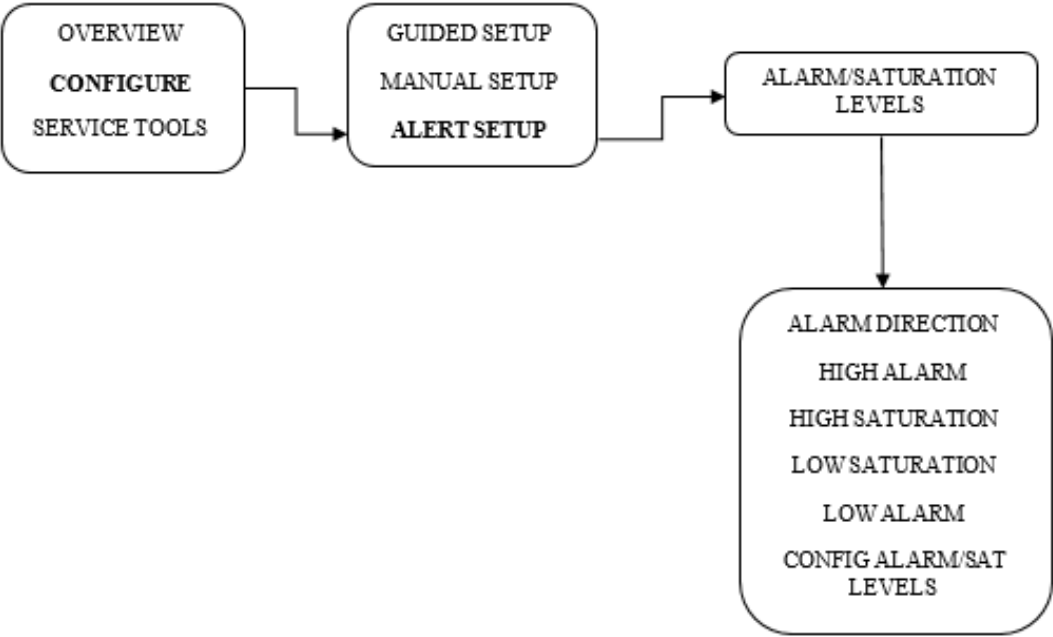


**Diagram A-3.4**





**Diagram A-4**



## ZALĄCZNIK 2

Diagram konfiguracji przetwornika temperaturowy model 3244MV firmy Rosemount

Diagram B-1

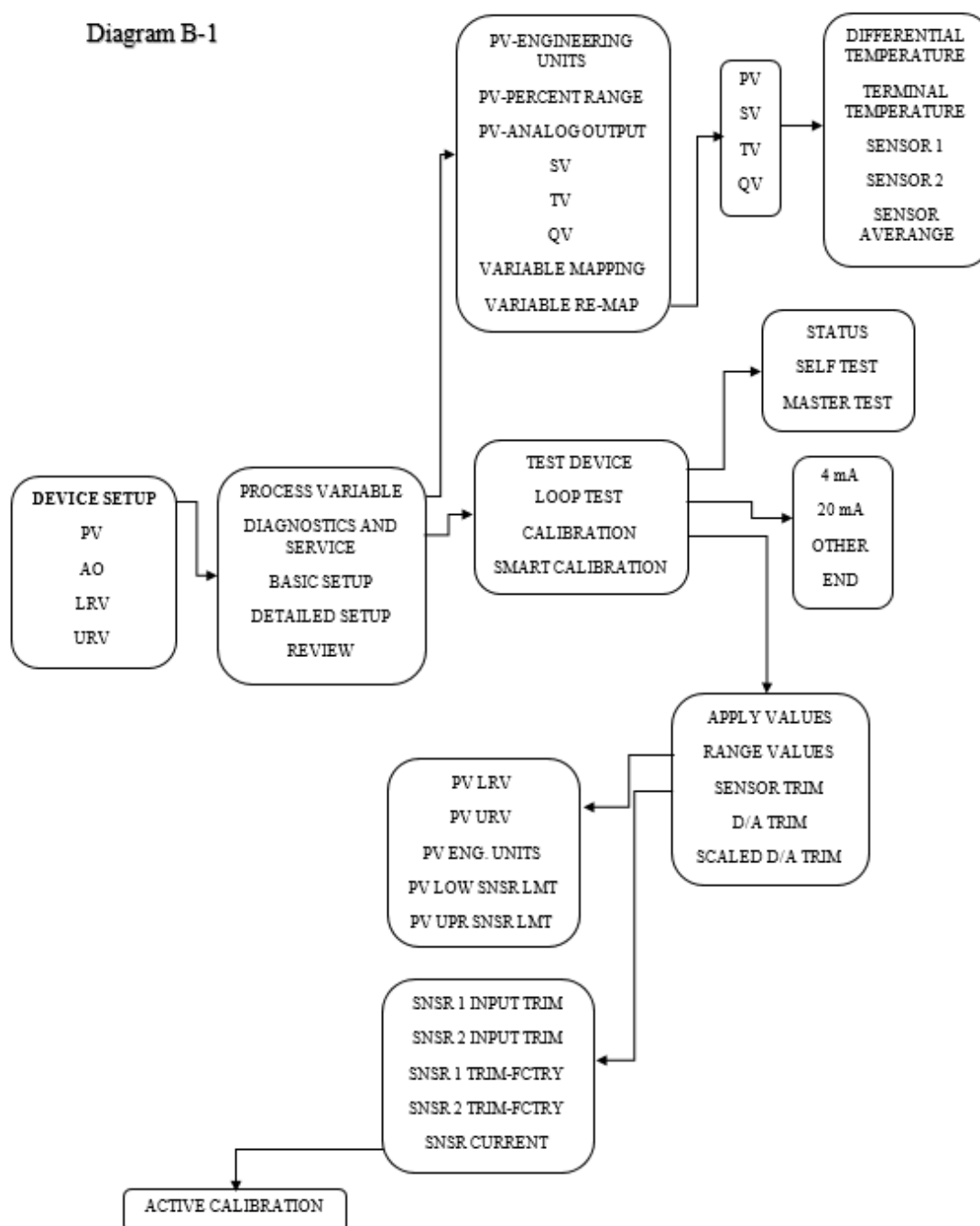


Diagram B-2

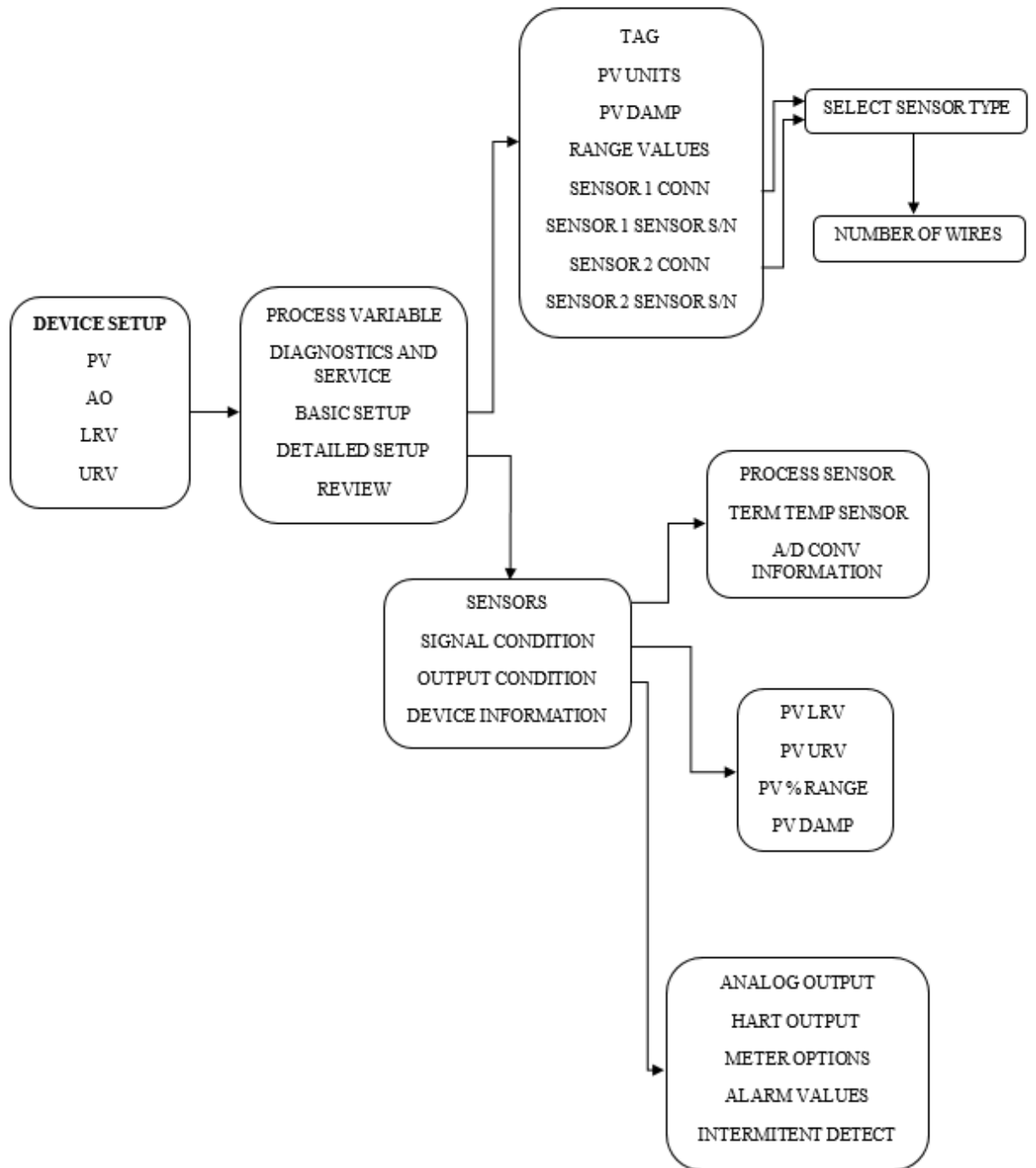


Diagram B-3

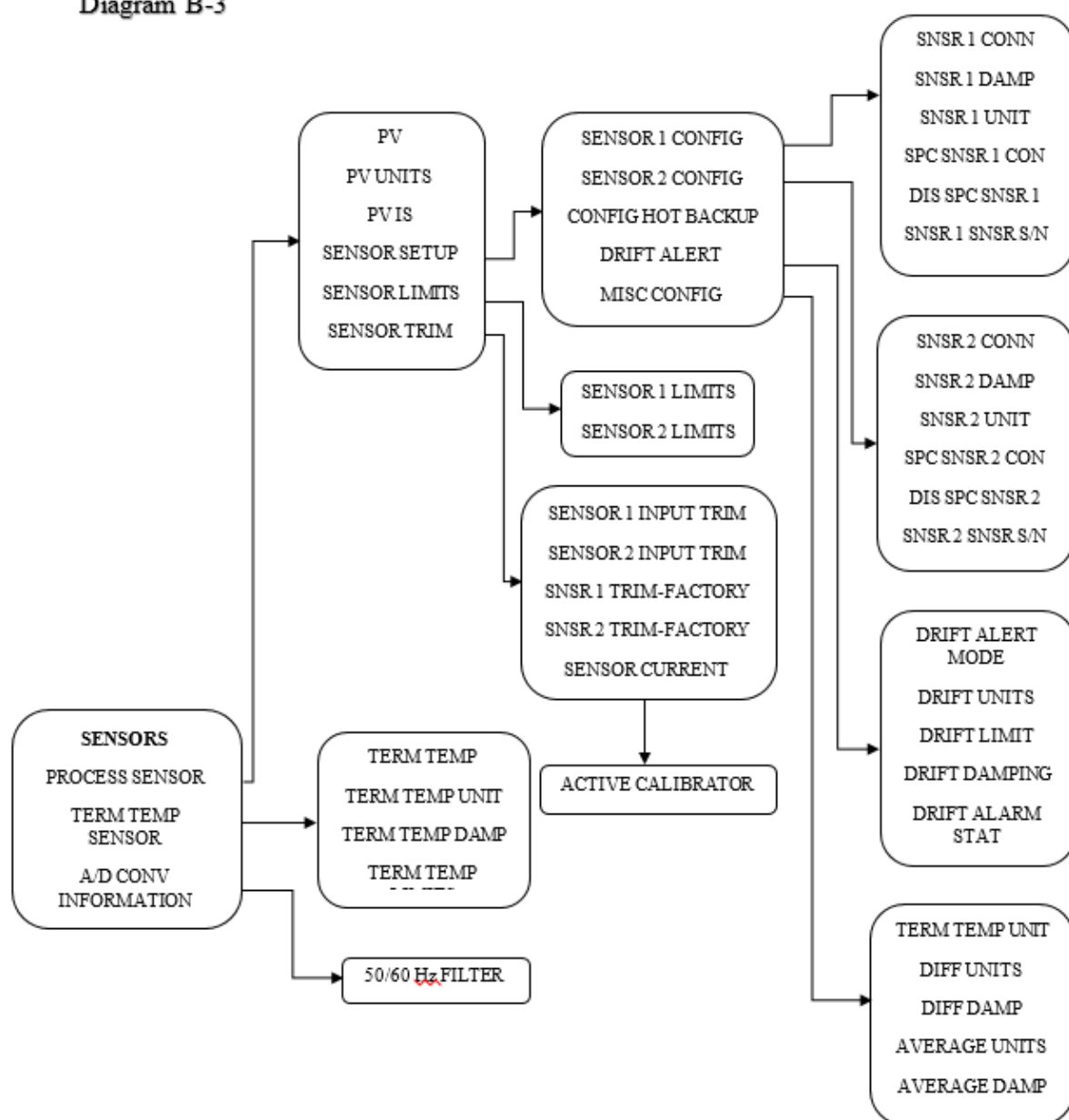
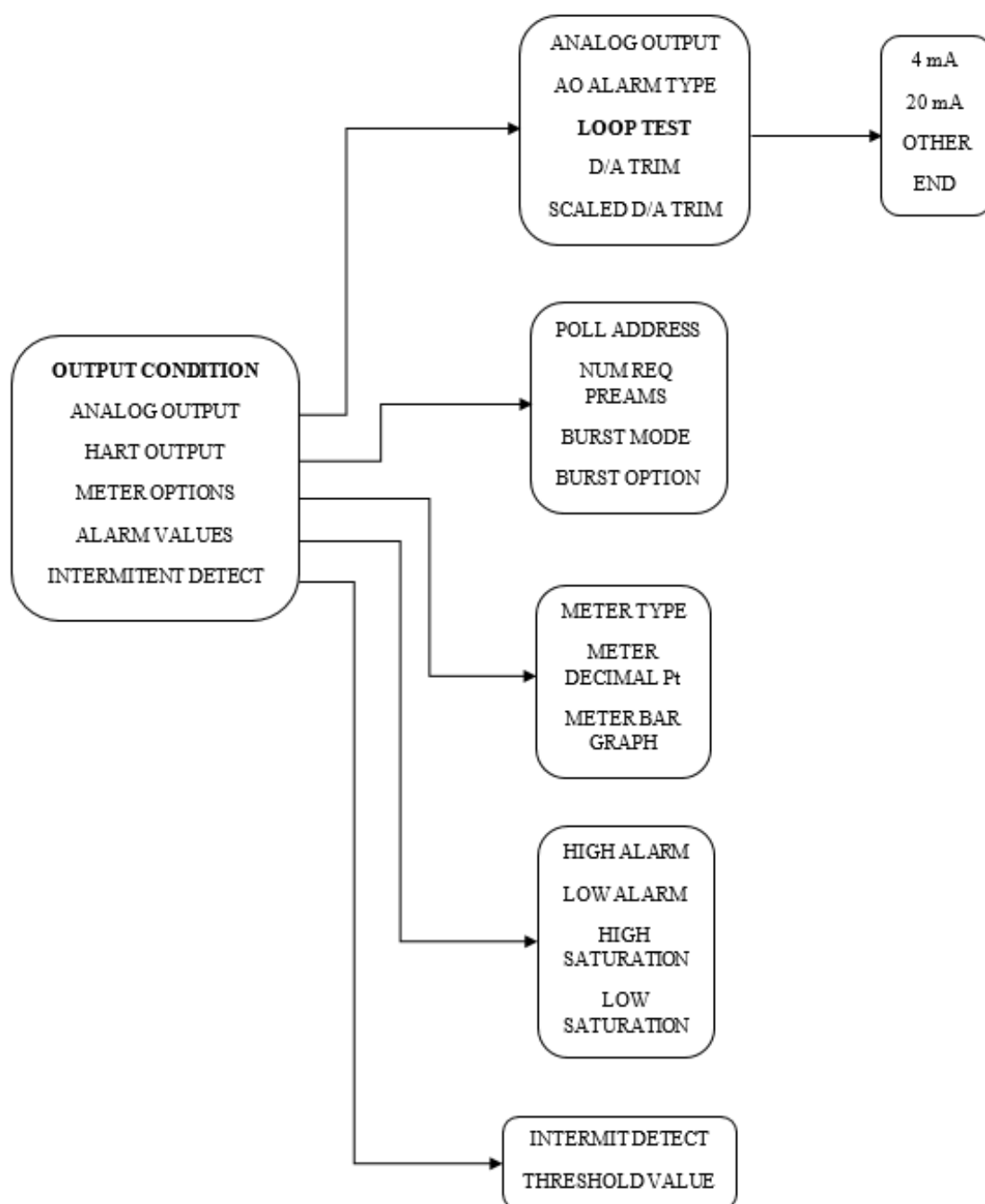


Diagram B-4



## ZALĄCZNIK 3

Diagram konfiguracji przetwornika ciśnienia różnicowego model 3051C firmy Rosemount.

Diagram C-1

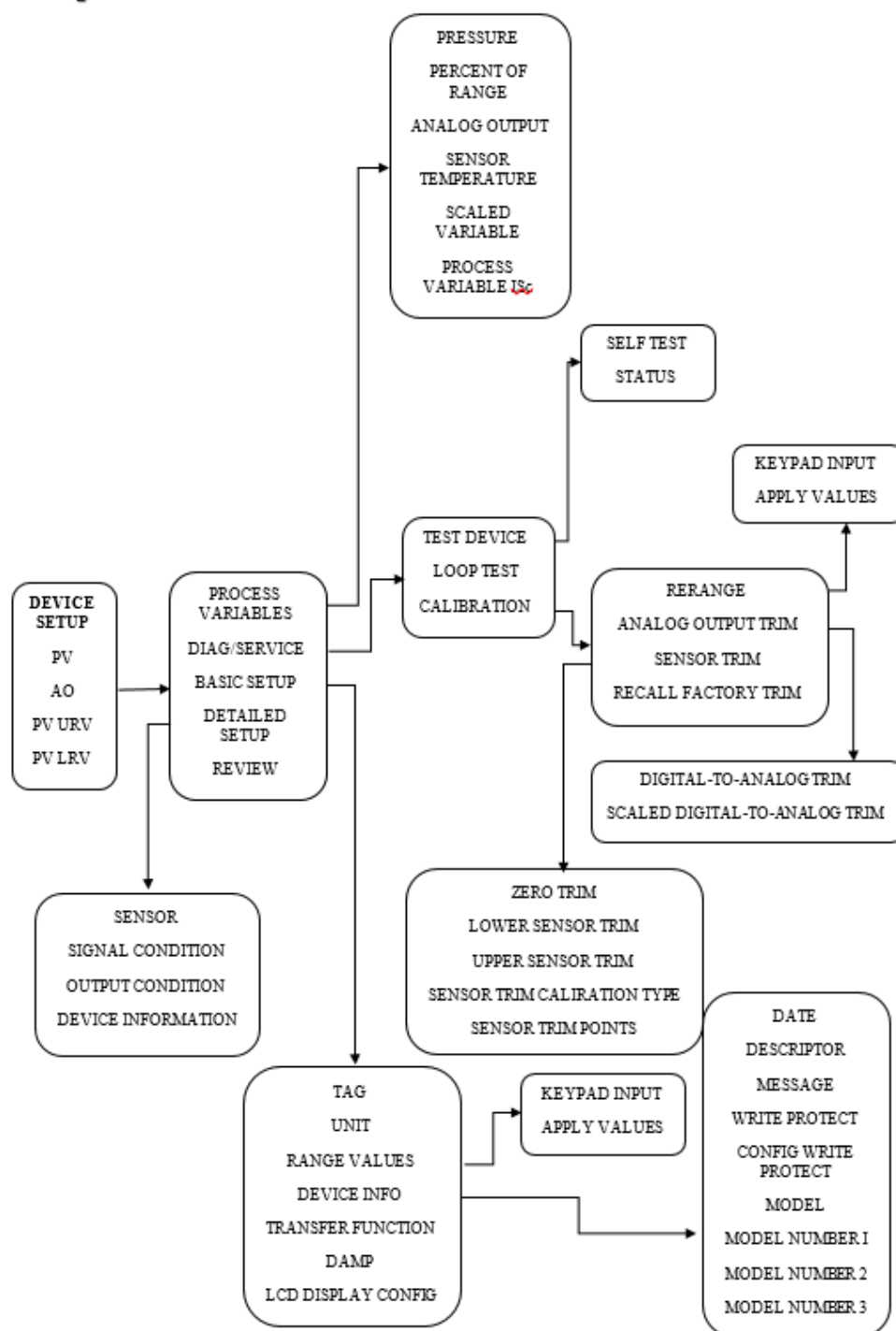


Diagram C-2

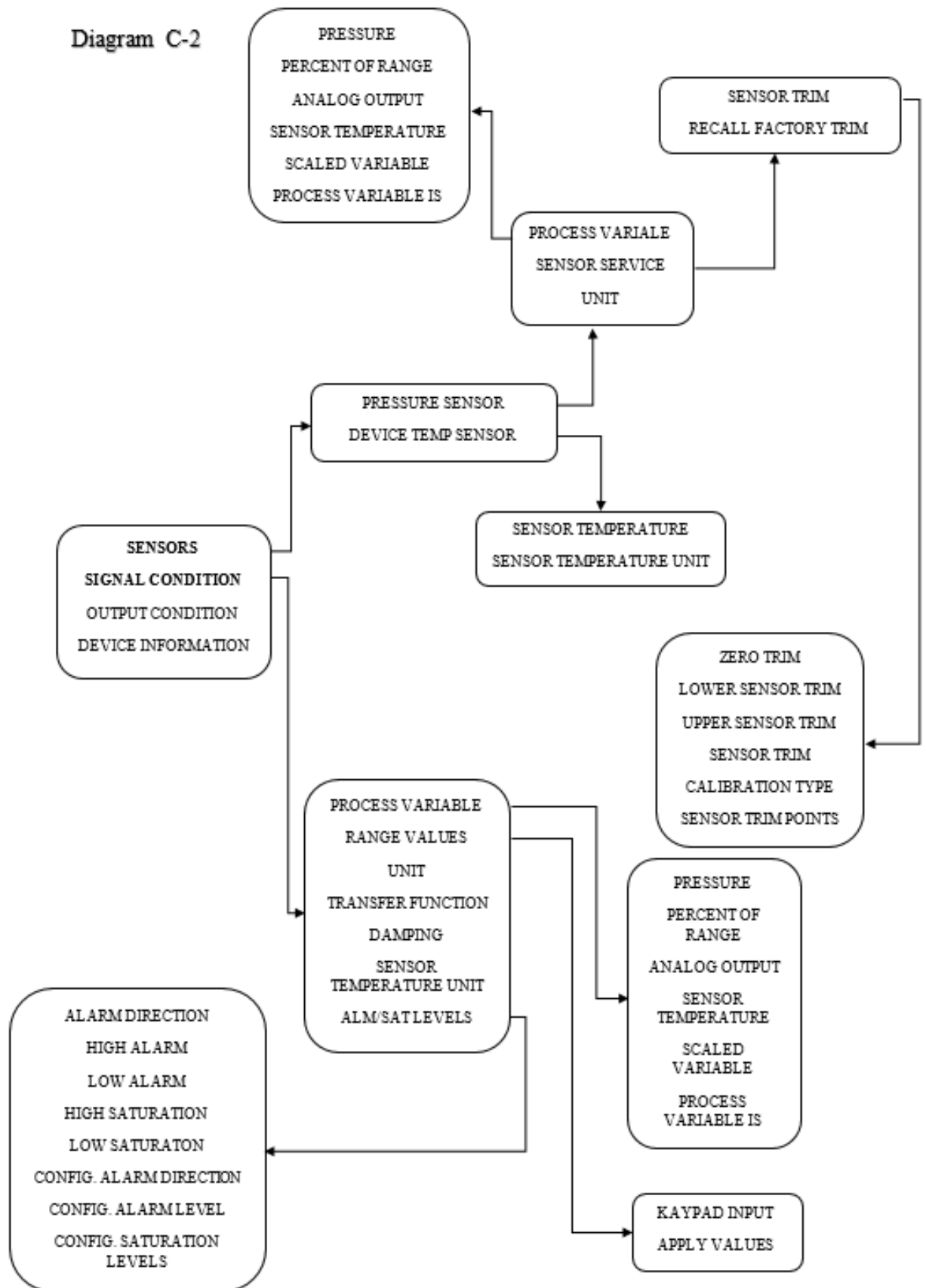


Diagram C-3

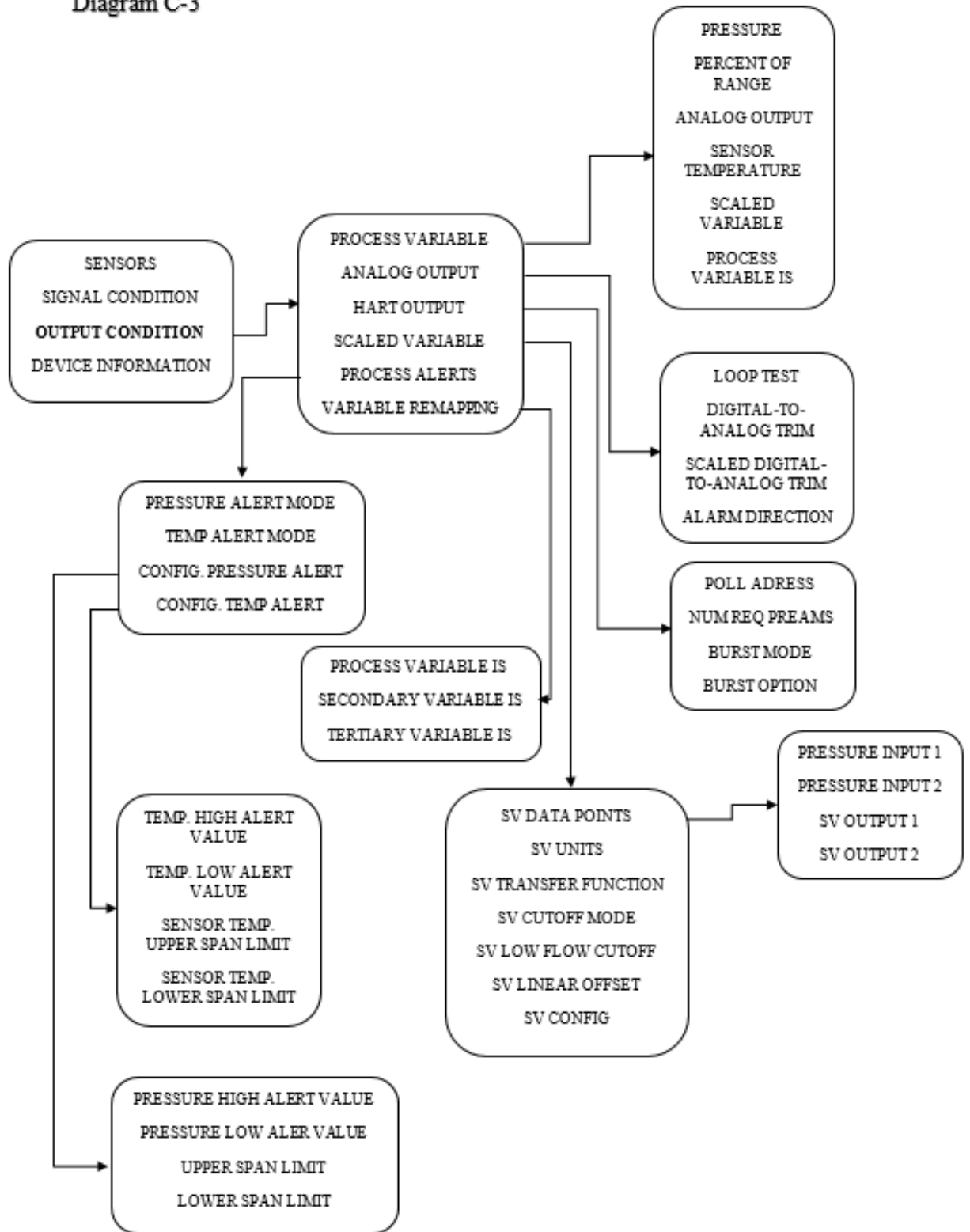




Diagram C-4

