



**SEPARACJA GALWANICZNA
W NOWOCZESNYCH PRZYRZĄDACH
I SYSTEMACH POMIAROWYCH**

**GALVANIC ISOLATION
IN ADVANCED MEASUREMENT DEVICES
AND SYSTEMS**

Jacek Barański

L.Instruments

Słowa kluczowe: separacja galwaniczna, bezpieczeństwo pomiarów, obiekt doziemiony, konwerter USB-RS232, IrDA (warstwa fizyczna)

Key words: galvanic isolation, measurements safety, earthed object, USB-RS232 converter, IrDA (physical layer)

Streszczenie

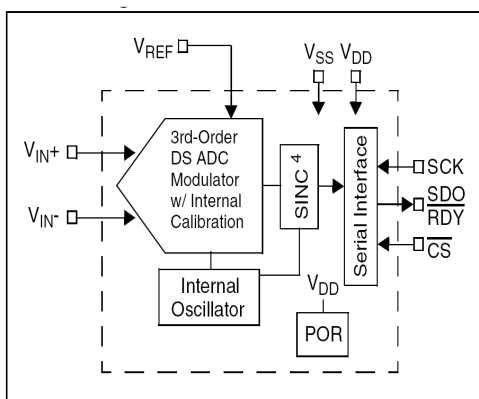
Referat dotyczy konieczności stosowania separacji galwanicznej w nowoczesnych systemach pomiarowych pracujących na obiektach doziemionych i współpracujących z komputerami PC (także z notebookami). Przedstawione są przykładowe rozwiązania, w tym: konwertery USB-RS232 z separacją galwaniczną, konwertery USB-IrDA (warstwa fizyczna) ®.

Summary

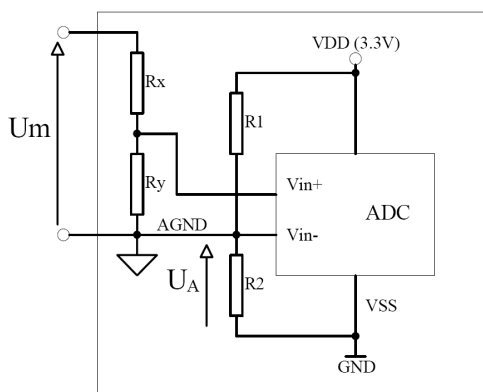
This paper explains why galvanic isolation is necessary in advanced measurement systems which are used on earthed objects and co-operate with PC computers (notebooks included). Some solutions have been presented, including: USB-RS232 converters with galvanic isolation, IrDA (physical layer) ® converters.

W ostatnich latach ma miejsce gwałtowny rozwój półprzewodników używanych do budowy sprzętu pomiarowego, w tym mikroprocesorów jednoukładowych (*embedded*) i przetworników analogowo-cyfrowych (ADC). Dają się zaobserwować tendencje zmierzające do obniżenia napięć zasilających i do uproszczenia sposobu zasilania. W starszych konstrukcjach przetworniki ADC były zwykle zasilane trzema napięciami (dwa analogowe dodatnie i ujemne – najczęściej $\pm 5 \div \pm 15V$ i jednocyfrowe – zwykle: $+ 5V$). W takich konstrukcjach masa analogowa była połączona galwanicznie z masą cyfrową w samym przetworniku lub gdzieś na płycie drukowanej.

Większość obecnie dostarczanych przetworników ADC – i to zarówno szybkich z rejestrem aproksymacyjnym, jak i wolniejszych, ale bardzo dokładnych, typu sigma-delta – zasilana jest jednym napięciem: najczęściej 3,0–3,3V. Przetworniki te są wyposażone w dwa wejścia różnicowe: dodatnie i ujemne (odwracające). Typowym przykładem jest przetwornik MCP3550 firmy Microchip (rys. 1). Dopuszczalny zakres zmienności napięć na każdym z wejść zawiera się między napięciem masy V_{SS} i napięciem zasilającym V_{DD} .



Rys. 1



Rys. 2

Aby na obiekcie mierzyć napięcia bipolarne, jedno z tych wejść musi stać się masą analogową. Najprościej dokonuje się tego poprzez dołączenie wybranego wejścia (najczęściej odwracającego V_{IN-}) przez dzielnik rezystancyjny $R1$ i $R2$ do masy cyfrowej i zasilania (rys. 2), kształtując potencjał masy analogowej V_A , np. na $\frac{1}{2} V_{DD}$, gdy oba te rezystory są równe.

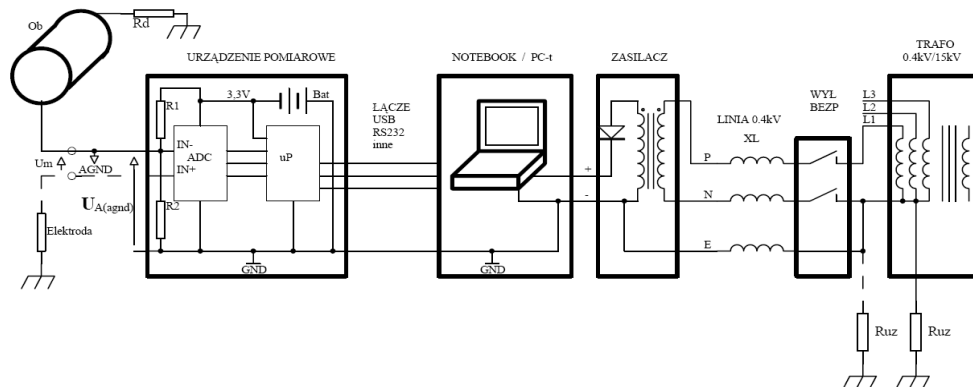
W celu ukształtowania właściwego dla aplikacji zakresu pomiarowego na drugie wejście dołącza się dzielnik rezystancyjny lub wzmacniacz pomiarowy odniesiony do nowej masy analogowej.

Aby powiązanie masy analogowej i cyfrowej było dobre, rezystancje $R1$ i $R2$ powinny być stosunkowo niskie. W układach rzeczywistych dzielnik ten jest często zastępowany przez aktywny układ buforujący, który spełnia tę samą rolę, lecz pobiera mniej energii.

Opisany wyżej układ pomiarowy spełnia doskonale swoją rolę w wyizolowanych, autonomicznych systemach pomiarowych i pozwala mierzyć napięcia lub spadki napięć (prądy) zarówno dodatnie, jak i ujemne względem masy analogowej.

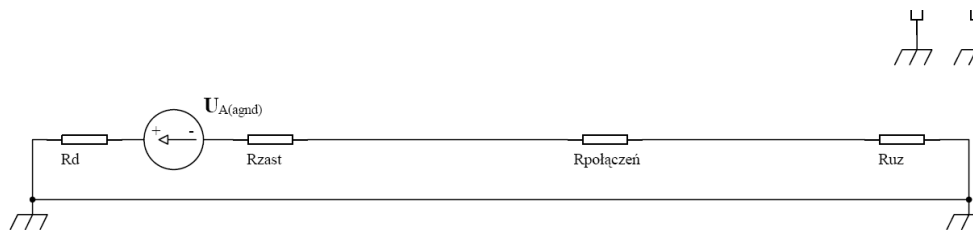
Problem pojawia się wtedy, gdy obiekt, na którym dokonujemy pomiarów jest doziemiony (np. rurociąg doziemiony poprzez defekt, szyny tramwajowe itd.), a jednocześnie do syste-

mu pomiarowego bądź rejestratora dołączamy komputer PC lub notebook, np. w celu wizualizacji pomiarów (rys. 3).



Rys. 3

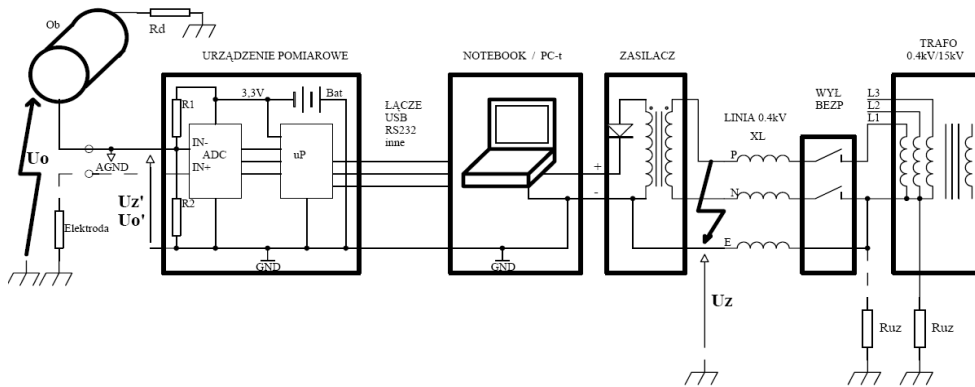
Powstaje obwód (rys. 4), którego źródłem wymuszającym jest różnica napięć U_A między masą analogową a cyfrową, który zamyka się z jednej strony poprzez doziemiony mierzony obiekt, a z drugiej strony – poprzez przewód ochronny instalacji elektrycznej, ponieważ masy elektryczne łącz USB i RS232 zastosowanych w komputerach PC są galwanicznie zwarte z bolcem ochronnym instalacji zasilającej 230 V.



Rys. 4

Dotyczy to także notebooków (np. w zewnętrznym zasilaczu notebooka DELL autora artykułu masa elektryczna wyjścia 19 V jest bezpośrednio dołączona do przewodu ochronnego E wtyku 230 V). W obwodzie (rys. 4) popłynie prąd, który zależy od napięcia U_A i sumy rezystancji wewnętrznej źródła, rezystancji uziomów i doziemień i rezystancji połączeń. Efektem tego będzie stały przepływ prądu w obwodach pomiarowych, a także przesunięcie punktu pracy masy analogowej, co w obu przypadkach prowadzi do zniekształceń w pomiarach.

Powstanie obwodu o podwójnym doziemieniu może też prowadzić w stanach awaryjnych do poważnych uszkodzeń sprzętu pomiarowego. Źródłem zagrożenia może być zarówno sieć energetyczna, jak i obiekt badany (rys. 5).

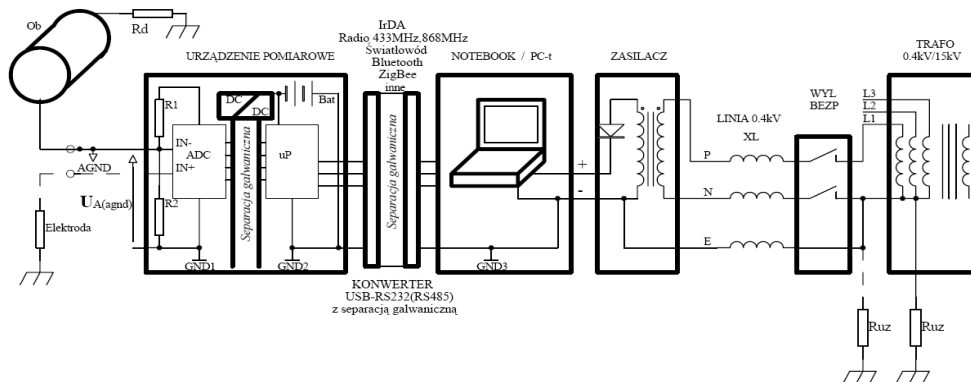


Rys. 5

Powstanie zwarcia w sieci energetycznej w pobliżu zasilacza pomiędzy przewodem fazowym P a ochronnym E powoduje, że całe napięcie zwarcia U_z lub znaczna jego część (zależy to od impedancji połączeń i rezystancji doziemienia) odłoży się na masie analogowej, powodując przepięcie mogące prowadzić do uszkodzenia niskonapięciowych układów (3,3 V) obwodu pomiarowego. Szybkie, tzn. kilkudziesięciomilisekundowe działania wyłącznika różnicowego prądowego może nie wystarczyć, aby zabezpieczyć obwody przetwornika ADC przed uszkodzeniem.

Podobnie będzie się działo, gdy na obiekcie badanym, np. na rurociągu lub na szynach, pojawi się wysokie napięcie (niebezpieczne dla układu pomiarowego) pochodzące ze źródła zewnętrznego i zostanie podane na masę analogową. Pamiętając, że masa cyfrowa układu pomiarowego jest poprzez odległy uziom dołączona do ziemi, widzimy, że na masie analogowej układu pomiarowego odłoży się napięcie obiektu U_o pomniejszone o spadki napięcia na przewodach i rezystancji uziomu odległego, co w przypadku zbyt dużej wartości tego napięcia prowadzi do uszkodzeń.

Rozwiązaniem problemu jest stosowanie separacji galwanicznej urządzeń, która powoduje przerwanie obwodu przedstawionego na rys. 3 i 4. Separację można zastosować zasadniczo w dwóch miejscach (rys. 6):



Rys. 6

1. pomiędzy przetwornikiem ADC a mikroprocesorem,
2. pomiędzy urządzeniem pomiarowym a komputerem.

Rozwiązanie pierwsze ma wiele zalet, szczególnie w odniesieniu do sprzętu pomiarowego wielokanałowego. Pozwala ono na elastyczne podłączenie kanałów pomiarowych w różne miejsca badanego obiektu bez obawy o uszkodzenia. Okupione jest jednak znacznym wzrostem kosztów, gdyż na każdy kanał trzeba użyć osobnego przetwornika ADC i zapewnić mu wyseparowane zasilanie. W sprzęcie przenośnym jest to nie tylko koszt elementów, ale przede wszystkim koszt związany ze zwiększonym zapotrzebowaniem na energię wskutek konieczności przesłania sygnałów poprzez barierę separacyjną, a co za tym idzie – skrócenie czasu pracy na bateriach zasilających.

Rozwiązanie drugie może przyjąć wiele form, jak np.:

- radio w dostępnym paśmie 433 MHz lub 868 MHz, 2,4 GHz,
- modemy radiowe „Bluetooth” i „Zigbee”,
- światłowód,
- łącze na podczerwień IrDA®,
- konwertery USB-RS232 lub USB-RS485 z separacją galwaniczną.

Poniżej zostaną omówione dwie ostatnie możliwości:

a) łącze na podczerwień IrDA®

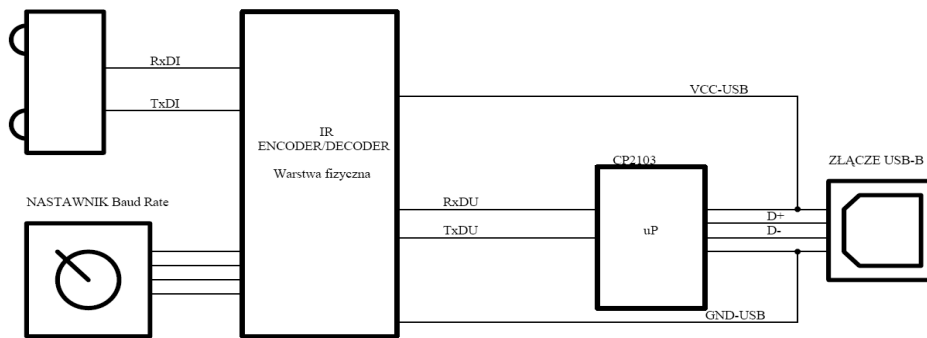
Standard IrDA® został określony przez organizację „Infrared Data Association” i wprowadzony przez Microsoft w pełni dopiero do systemu Windows 98. Poprzedni system Windows 95 korzystał jedynie z warstwy fizycznej ®. Standard IrDA® określa sposób łączności między komputerami PC a urządzeniami zewnętrznymi w oparciu o podczerwień, opisany w postaci stosu, który składa się z warstw.

Warstwy zdefiniowane są następująco:

- *warstwa fizyczna* ® – specyfikuje optyczny nadajnik-odbiornik, tzn. kształtowanie sygnałów podczerwieni, ich kodowanie oraz prędkości transmisji,
- *warstwa IrLAP*® – (Link Access Protocol) zajmuje się mechanizmem przesyłu danych, w skład którego wchodzi: nawiązanie łączności, retransmisja, kontrola potoku na niskim poziomie, detekcja błędów,
- *warstwa IAS*® (Intention Access Service) – zapewnia informacje o dostępnych usługach,
- *warstwa IrLMP*® (Link Management Protocol) – warstwa wyższa odpowiedzialna za zarządzanie transmisją i multipleksowanie

Pomimo implementacji standardu IrDA® w nowych systemach Windows oraz dostępności nadajników /odbiorników na podczerwień w każdym z notebooków standard ten, ze względu na swoje skomplikowanie i brak dostępnych opisanych przykładów realizacji, nie przyjął się powszechnie w sprzęcie pomiarowym. Najczęściej spotykane miejsca jego implementacji to produkcja wielkoseryjna, jak np. telefony komórkowe, notesy PDA, gdzie środki na wdrożenie są znaczne.

Autor referatu proponuje rozwiązanie opracowane w L.Instruments, omijające warstwy IrLAP® [...] IrLMP® i powrót do rozwiązań, jakie pracowały jeszcze pod Windows 95 – zewnętrzny konwerter USB-IrDA (warstwa fizyczna) ® (rys. 7).



Rys. 7. Konwerter USB-IRDA (wersja fizyczna)

Takie rozwiązanie jest tanie, wykorzystuje wszystkie zalety łącza na podczerwień, a jednocześnie jest łatwe w implementacji w sprzęcie pomiarowym, gdyż z punktu widzenia systemu operacyjnego konwerter jest widziany jako port logiczny COMx. Łatwe jest więc wdrożenie wszystkich protokołów transmisji pracujących na łączach RS232 lub RS485 w trybie half-duplex. Trzeba tu nadmienić, że najnowsze procesy jednoukładowe, np.: ARM-y pochodzące od wielu producentów są wyposażone w UART-y (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) zawierające obsługę warstwy fizycznej standardu IrDA®.

Konwerter USB-IrDA (warstwa fizyczna)® współpracuje z rejestratorami *mR0* i *mR1* firmy L.Instruments.

b) konwertery USB-RS232 (RS485) z separacją galwaniczną

Zastosowanie separacji galwanicznej na połączeniu USB-RS232 jest rozwiązaniem najtańszym. Stosowane jest na połączeniu przyrząd pomiarowy-komputer. Wychodzi ono również naprzeciw tendencjom obserwowanym na rynku sprzętu komputerowego.

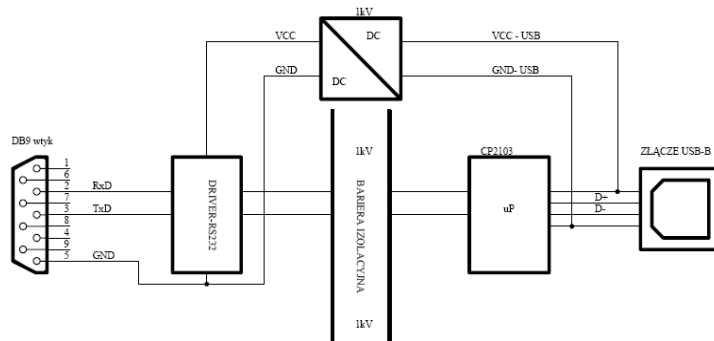
Z jednej strony nowoczesne notebooki coraz częściej pozbawiane są łącza RS232, będąc w zamian wyposażane w wiele gniazd USB. Z drugiej strony nowoczesne procesory jednoukładowe, w oparciu o które buduje się sprzęt pomiarowy, posiadają coraz większą liczbę jednostek UART umożliwiających łatwą budowę portów RS232 lub RS485.

Firma L.Instruments opracowała dwie wersje konwertera USB-RS232 z separacją galwaniczną:

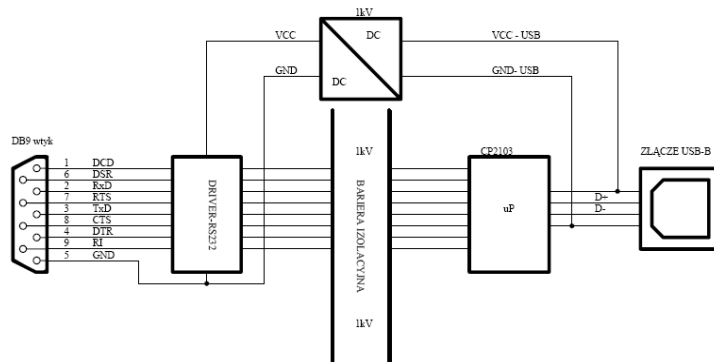
- *uproszczoną* – gdzie zaimplementowano tylko sygnały RxD i TxD (rys. 8),
- *pełną* – gdzie po stronie RS232 występują wszystkie sygnały modemowe, tzn. RxD, TxD, DCD, DTR, DSR, RTS, CTS, RI (rys. 9).

Podobnie jak wcześniej zaprezentowany konwerter USB-IrDA (warstwa fizyczna)® konwerter USB-RS232 widziany jest, dzięki zainstalowanym sterownikom, przez system operacyjny jako port logiczny COMx, gdzie *x* to numer portu, który może być ustawiany przez użytkownika.

Bariera separacyjna zbudowana jest w oparciu o najnowszą technologię *iCoupler*® firmy Analog Devices, pozwalającą na przesłanie w jednym układzie scalonym SMD do czterech sygnałów przy niskim zużyciu energii. Rozwiązanie to zastępuje dotychczas używane w tym celu transoptory.



Rys. 8. Konwerter USB-RS232, wersja uproszczona (TxD, RxD)



Rys. 9. Konwerter USB-RS232, wersja pełna („Full Modem”)

Na zakończenie należy dodać, że dwukanałowy rejestrator *mRA* firmy L.Instruments posiada wbudowany taki właśnie konwerter. Zapewnia to bezpieczne używanie łącza USB tego przyrządu do przesyłania na bieżąco do komputera wartości pomiarowych podczas prowadzenia prac na obiekcie doziemionym.