

Piotr SZTERK, Albin CZUBLA, Roman OSMYK  
Główny Urząd Miar  
Samodzielne Laboratorium Czasu i Częstotliwości  
Przemysław KREHLIK, Łukasz ŚLIWCZYŃSKI  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
Katedra Elektroniki

## PRECYZYJNE DYSTRYBUTORY SYGNAŁÓW IMPULSOWYCH WYKONANE W GŁÓWNYM URZĘDZIE MIAR

W 2017 roku zaprojektowano i wykonano w Głównym Urzędzie Miar (GUM) 6 precyzyjnych dystrybutorów sygnałów impulsowych (PDA – ang. *Pulse Distribution Amplifier*), z zachowaniem jak największej stałości i zgodności opóźnień dystrybuowanych sygnałów. Podczas weryfikacji uzyskanych parametrów wykonane były dodatkowe modyfikacje i udoskonalenia. Przedmiotem artykułu będą przybliżenie wybranych aspektów realizacji PDA oraz przedstawienie ich charakterystyk metrologicznych.

**Słowa kluczowe:** dystrybutor sygnałów impulsowych, stabilność opóźnień, aktywny termostat

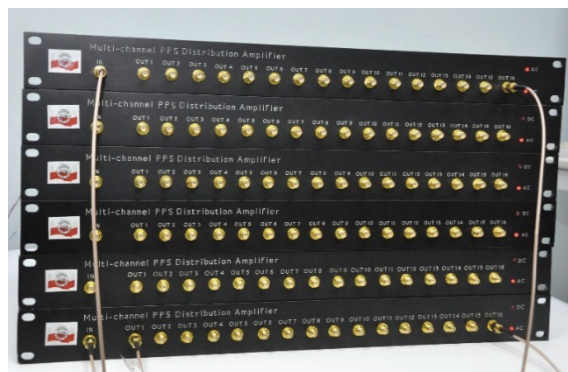
### PRECISE PULSE SIGNAL DISTRIBUTORS DEVELOPPED IN CENTRAL OFFICE OF MEASURES

In 2017, 6 precise Pulse signal Distribution Amplifiers (PDA) were designed and manufactured in Central Office of Measures (GUM), with keeping as much stability and coincidence of delays of the distributed signals as possible. During verification of the characteristics of PDA, additional modifications and improvements were applied. The chosen aspects of PDA manufacturing and the obtained metrological characteristics are presented in this paper.

**Keywords:** PDA, delays stability, active thermostat

## 1. OGÓLNE ZAŁOŻENIA BUDOWANYCH DYSTRYBUTORÓW SYGNAŁÓW IMPULSOWYCH.

Wykonane w Głównym Urzędzie Miar (GUM) dystrybutory sygnałów impulsowych (PDA – ang. *Pulse Distribution Amplifier*), przedstawione na fotografii 1., mają za zadanie powielenie sygnałów PPS (ang. *pulse per second*) z państwowego wzorca jednostek miar czasu i częstotliwości, który tworzą cezowe atomowe wzorce czasu i częstotliwości (typu HP5071A) oraz aktywny maser wodorowy (typu VCH-1005).



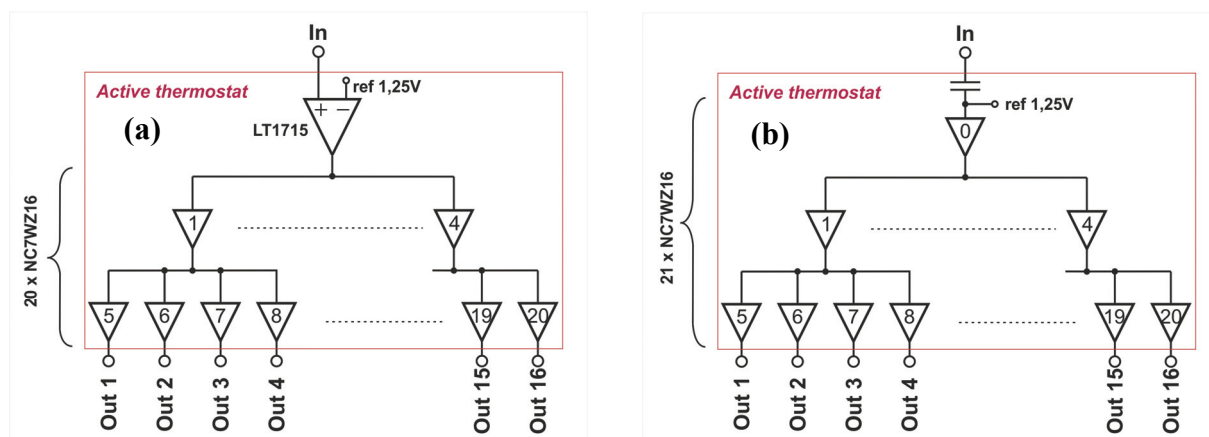
Fot. 1 Dystrybutory sygnałów impulsowych wykonane w GUM

Sygnaly PPS to powtarzający się co sekundę sygnał impulsowy o czasie trwania ok 20 us, poziomach napięć: „niskim” = 0 V i „wysokim” = 2.5 V, przy obciążeniu źródła impedancją 50  $\Omega$ . Bardzo ważne jest, aby czas narastania zbocza sygnału PPS był jak najkrótszy. Z metrologicznego punktu widzenia opadające zbocze może mieć dowolne nachylenie, kluczowe jest bowiem zbocze narastające.

Znajdujące się w Samodzielnym Laboratorium Czasu i Częstotliwości GUM dystrybutory PDA charakteryzują się szumem zbocza na poziomie 20 ps i jest to wartość pogarszająca znacznie jakość wyjściowego sygnału PPS z wzorca. Ma to szczególne znaczenie, przy maserach wodorowych, których szum krótkookresowy jest mniejszy niż w zegarach cezowych. Istniała zatem potrzeba wykonania PDA, których jitter zbocza byłby kilka razy niższy. Ponadto ważne jest, aby nowe PDA wyposażone były w złącza SMA. W laboratorium systematycznie wymieniane są wszystkie kable typu RG58, zakończone złączami BNC, na cieńsze teflonowe typu RG316, zakończone złączami SMA. Założono, że nowe PDA miały mieć 16 wyjść i mały być zasilane zarówno napięciem przemiennym ~230 V AC lub stałoprądowym 15-30 V DC. Ponadto zalecane jest, aby opóźnienie od wejścia do poszczególnych wyjść mieściło się w zakresie 100 ps. Ostatnie założenie projektowe, to koszt całkowity budowanych wzmacniaczy. Komercyjne rozwiązania to wydatek rzędu 10 tys. złotych za sztukę. Za połowę tej kwoty chciano zbudować 6 wzmacniaczy.

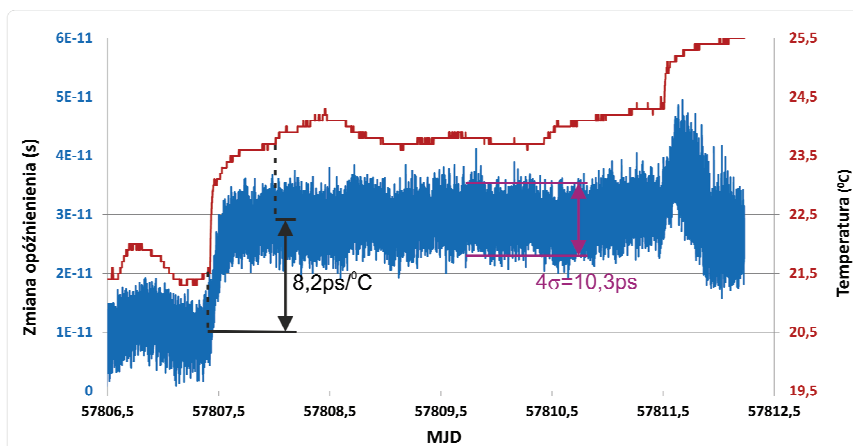
## 2. BUDOWA PRECYZYJNYCH DYSTRYBUTORÓW SYGNAŁÓW IMPULSOWYCH.

Na rysunku 1 a i b przedstawiono dwa rozwiązania analizowanych układów PDA. Różnią się one blokiem wejściowym, który stanowi szybki, podwójny komparator analogowy LT1715 firmy Linear Technology, lub podwójny bufor logiczny NC7WZ16 firmy Fairchild Semiconductor. Na etapie projektowania, uwzględniona została możliwość wykonania obwodów wejściowych dystrybutora w obu tych wariantach. Tak więc, bez ingerencji w obwód drukowany, możliwe było zbudowanie i pomierzenie różnych wersji PDA.



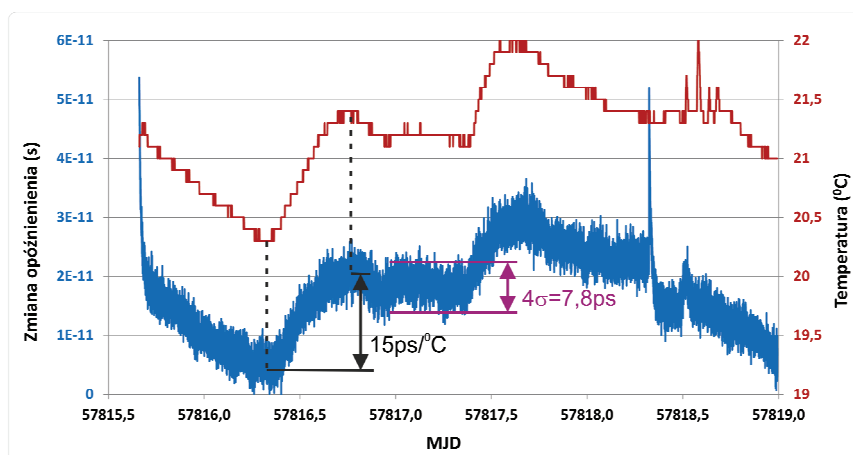
Rys. 1. Schematy blokowe PDA z komparatorem analogowym (a) i z komparatorem cyfrowym (b)

Zastosowane bufony logiczne NC7WZ16, charakteryzują się małym czasem propagacji ( $t_{PD} = 2,5$  ns), krótkim czasem narastania i opadania sygnału wyjściowego (poniżej 1 ns) i dużą obciążalnością prądową, wynoszącą 24 mA. Dzięki temu, łącząc równolegle dwie bramki logiczne, jesteśmy w stanie sterować wyjściem o impedancji 50  $\Omega$ . Ze względu na zaobserwowany nieco później w praktyce (rysunek 2 i 3) znaczny wpływ temperatury zewnętrznej na opóźnienia, konieczna była rozbudowa PDA o aktywny termostat. Utrzymuje on temperaturę na poziomie ok 36  $^{\circ}\text{C}$ , zmniejszając ponad dziesięciokrotnie wpływ zmian temperatury zewnętrznej na pracę budowanych wzmacniaczy.



Rys. 2. Wpływ zmian temperatury zewnętrznej (górny schodkowy wykres – skala z prawej strony) na zmiany opóźnienia dystrybutorów (dolny wykres – skala z lewej strony) w układzie z komparatorem analogowym

Na rysunku 2. przedstawiono wpływ temperatury na pracę PDA, którego układ wejściowy stanowił komparator analogowy LT1715. Widać, że opóźnienie zmienia się o ok  $8,2 \text{ ps}/^\circ\text{C}$ , przy jednoczesnym szumie opóźnienia (przy braku zmian temperatury zewnętrznej) ponad  $10 \text{ ps}$ . Dla porównania na rysunku 3. przedstawiono zachowanie się PDA z komparatorem wejściowym wykonanym na bramce logicznej. Przy tym rozwiązaniu wpływ temperatury, na zmianę opóźnień jest prawie dwa razy większy, jednakże szum (przy braku zmian temperatury) wynosi ok  $8 \text{ ps}$ . Z założenia celem było zaprojektowanie PDA o jak najniższym szumie własnym. Zastosowano zetem bramki logiczne jako komparator sygnału wejściowego.



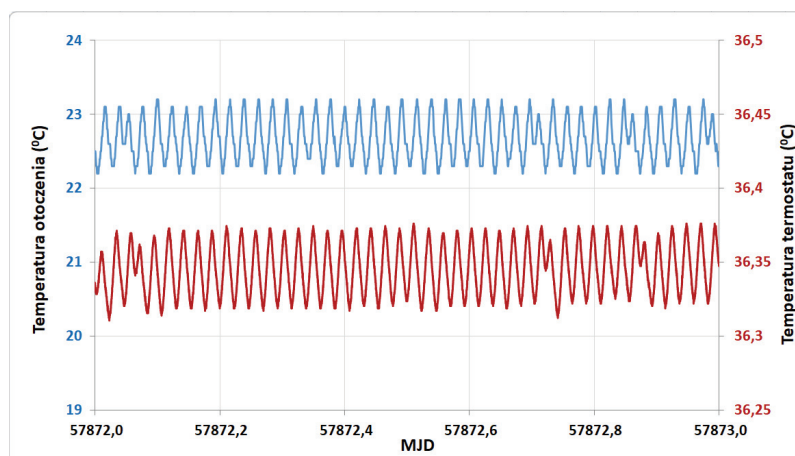
Rys. 3. Wpływ zmian temperatury zewnętrznej (górny schodkowy wykres – skala z prawej strony) na zmiany opóźnienia dystrybutorów (dolny wykres – skala z lewej strony) w układzie z komparatorem cyfrowym.

Jednoczesny wzrost wrażliwość termicznej został skompensowany przez termostat aktywny, o który ostatecznie zostały rozbudowane PDA, zmniejszając wielokrotnie wpływ wahań temperatury zewnętrznej na pracę układu. Możliwe było tym samym uproszczenie zasilacza o wyeliminowanie sekcji ujemnego zasilania, którego potrzebował komparator analogowy LT1715.

### 3. POMIARY PRECYZYJNYCH DYSTRYBUTORÓW SYGNAŁÓW IMPULSOWYCH

Większość prezentowanych w artykule pomiarów wykonano przy pomocy precyzyjnego czasomierza T4100U, zaprojektowanego przez inżynierów z Wojskowej Akademii Technicznej, którego szum pomiaru, jest minimalnie mniejszy, od szumu budowanych dystrybutorów ( $< 7\text{ps}$ ).

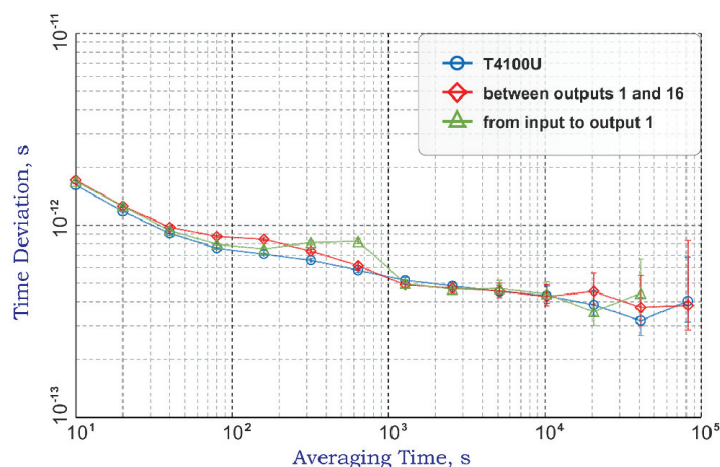
Na rysunku 4 przedstawiono skuteczność tłumienia zmian temperatury zewnętrznej przez termostat aktywny, w jaki został wyposażony każdy PDA.



Rys. 4. Wydajność tłumienia zmian temperatury przez zastosowanie aktywnego termostatu (górną krzywą odnosi się do zmian temperatury otoczenia – skala z lewej strony, dolną krzywą odnosi się do zmian temperatury wewnątrz termostatu – skala z prawej strony)

Widać, że zmiany temperatury otoczenia przenoszą się na układ PDA, z opóźnieniem ok 20 min, lecz tłumione są ponad 10-krotnie. Przy obserwacji długookresowej (ponad 7 dni), nie zaobserwowano dryftu punktu pracy modułu termostatu.

Na rysunku 5 przedstawiono wykresy stabilności długookresowej opóźnienia dystrybutorów z uwzględnieniem stabilności miernika przedziałów czasu T4100U, użytego do pomiarów stabilności opóźnienia.



Rys. 5. Wyniki pomiarów stabilności, jako odchylenia Allana w dziedzinie czasu, opóźnień wnoszonych przez PDA (linia (dolna) z kółkami – odpowiada stabilności miernika T4100U użytego do pomiarów stabilności opóźnień, linia z trójkątami – odpowiada stabilności pomiędzy wejściem a 1-szym wyjściem PDA, linia z rombami – odpowiada stabilności pomiędzy 1-szym a 16-tym wyjściem PDA)

Widać z nich, że dla czasu uśredniania 10 s odchylenie standardowe serii pomiarów jest niższe niż 2 ps. Zmiana opóźnienia od wejścia do wyjścia 1 jest nieco wyższa niż pomiędzy wyjściami tego samego wzmacniacza dystrybucyjnego. Pomiarów opóźnień wykonano także przy pomocy szybkiego oscyloskopu w Akademii Górniczo-Hutniczej. Potwierdziły one nasze wcześniejsze pomiary, a także wartości różnic opóźnień pomiędzy wyjściem 1 a pozostałymi wyjściami. Przykładowe różnice opóźnień (offsety) pomiędzy wyjściami (dla jednego egzemplarza) umieszczono w tabeli 1:

Wartości różnic opóźnień (offset) dla przykładowego egzemplarza PDA

Tabela 1

kanał	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
offset, ps	0	15	-17	42	45	35	73	39	36	80	74	36	-8	23	-18	43

Różnice opóźnień pomiędzy wyjściami dystrybutora, którego wyniki podano w Tabeli 1, zmieściły się w zakładanych 100 ps. W niektórych egzemplarzach, wartość ta została przekroczona.

#### 4. PODSUMOWANIE

Precyzyjne dystrybutory sygnałów impulsowych, doskonale uzupełniły wyposażenie znajdujące się w laboratorium. Pierwotny projekt nie zakładał konieczności rozbudowy ich o termostaty aktywne. Jednakże dzięki tej modyfikacji układowej udało się uzyskać bardzo dobre parametry budowanych urządzeń. Ostatecznie uproszczono układy wejściowe dystrybutorów (zrezygnowano z komparatorów analogowych) oraz zasilacz, który posiada wyłącznie stabilizatory napięcia dodatniego. Nie udało się jedynie zapewnić stałej wartości czasów propagacji do poszczególnych wyjść PDA. W niektórych egzemplarzach dystrybutorów przekroczona bowiem została założona wartość offsetu 100 ps pomiędzy wyjściami. Całkowity koszt budowy sześciu egzemplarzy PDA wyniósł zaledwie 3550 zł, z czego najdroższe okazały się gniazda SMA i obudowa. Niewielkim kosztem zbudowano urządzenia, które mogą śmiało konkurować z rozwiązaniami komercyjnymi.