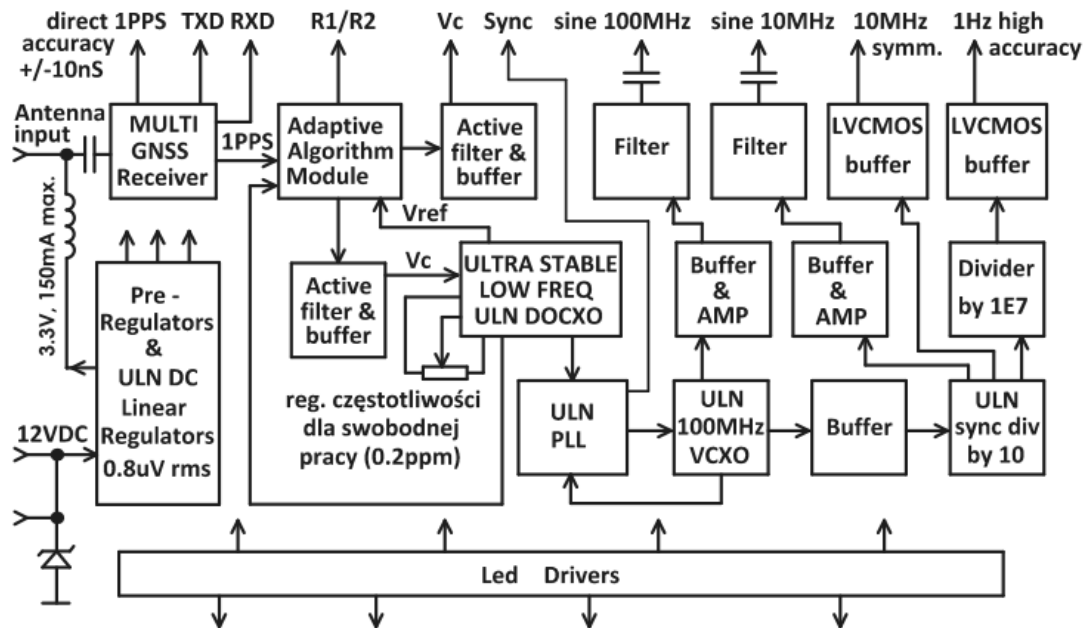


## Schemat blokowy GNSSDO – M9A



Oscylator Główny dyscyplinowany przez Globalny Nawigacyjny System Satelitalny z niskoszumiącymi, spójnymi fazowo wyjściami 100MHz, 10MHz, 1Hz

### Cechy urządzenia

- Wbudowany wielosystemowy odbiornik GNSS
- Precyzyjne, spójne fazowo sygnały wyjściowe
- Ultra – stabilne (zawiera Ultra Wysoko Stabilne DOCKO)
- Niskie szумы (blisko i daleko od nośnej)
- Zakres temperatury pracy -40 do +70°C
- Precyzyjny bieg swobodny i doskonała stabilność także bez sygnału z satelity
- Precyzyjna, frezowana obudowa
- Bardzo długi okres życia

### Przeznaczenie

- Sprzęt laboratoryjny
- Kalibracyjny standard
- Bezpośredni wzorzec dla pętli fazowych w sprzęcie: VHF, UHF i mikrofalowym
- Doskonały dla bezobsługowych radiolatarni
- Pasuje do wszystkich wymagań telekomunikacyjnych

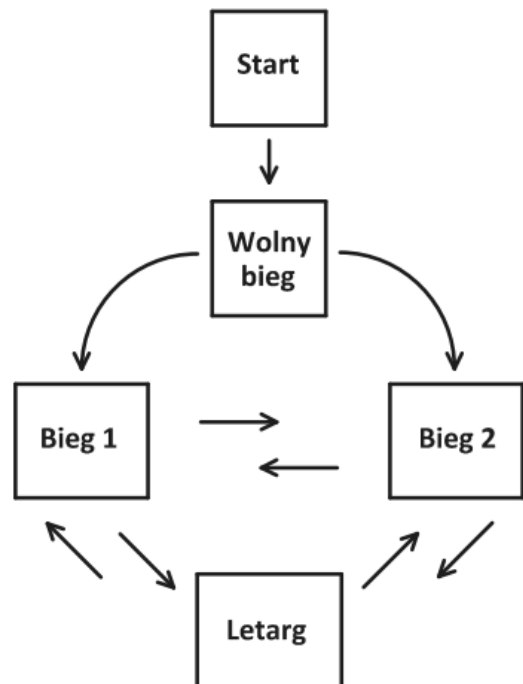
### Przebieg pracy

**Wolny bieg:** praca na ustawionym Vc bez anteny GNSS (brak impulsów 1PPS)

**Bieg 1:** normalny tryb (diody R1/R2 pulsują)

**Bieg 2:** delikatny tryb (diody R1/R2 świecą)

**Letarg:** zmodyfikowane napięcie Vc jest zamrożone, dioda GNSS jest zgaszona (brak impulsów 1PPS)



## Parametry techniczne

Zakres temperatur pracy	-40 do 70 stopni C
Napięcie zasilania	+12 Woltów +/- 5%
Pobór mocy	< 5,5W@25 stopni C, < 10W podczas nagrzewania
Stabilność długoterminowa bez sygnału GNSS, po 30 dniach nieprzerwanej pracy	< 0,2ppb/dzień, < 5ppb/miesiąc, < 30ppb/1-rok < 20ppb/2-rok
Dokładność początkowa – po 20 minutach	< 5ppb
Dokładność po 24 godzinach pracy przy ciągłej obecności sygnału GNSS	< 0,1ppb (< 1Hz @ 10GHz wliczając złą pogodę)
Powtarzalność po uruchomieniu (retrace) bez GNSS	< 2ppb (24 godz. wyłączony / 24godz. włączony)
Stabilność krótkoterminowa, tau = 0,2 do 10s	< 0,01ppb (tau = 1s, < 0,003ppb)
Typ gniazda wejściowego anteny	SMA żeńskie dla aktywnej anteny GNSS 3.3V
Zdolność śledzenia odbiornika GNSS	-165dbm
Odbiornik: GPS/GLONASS/GALILEO/BeiDou, NF=0.65db Aktywna eliminacja interferencji i zakłóceń	210 kanałów/ 66 Identyfikowanych/ 22 Śledzonych SBAS, WAAS, EGNOS, QRZZ, GAGAN wsparcie
Czas do pierwszego impulsu 1PPS (odkryte niebo)	zimny start 35s, ciepły start 1s
Interfejs	UART 9600bps (domyślny), NMEA 0183
Typ gniazd wyjściowych	SMA żeńskie
Poziom wyjściowy (na 50 omach)	+13dBm +/- 2dBm (10MHz i 100MHz)
Poziom harmonicznych	<-40dBc @ 10MHz, <-50dBc @ 100MHz
Fałszywe modulacje	<-70dBc
Dodatkowe wyjścia: LVCMOS 3,3V	10MHz, 1Hz, 1PPS+/-10nS (gdy jest śledzenie GNSS), TXD, RXD, Sync (gdy PLL 100MHz trzyma)
Buforowane wyjście napięcia przestrajania Vc	Wyznacza częstotliwość GNSSDO (0 DO 6V)
Czas nagrzewania (do spadku o 40% pobieranej mocy)	20 minut (przy 20 stopniach Celsjusza)
Obudowa	Mocna, frezowana obudowa ze stopu aluminium
Ciężar	695g
Rozmiary (uwzględniono gniazda i gumowe nogi)	l = 138mm, W = 79mm, H = 66mm
Zaplanowana długość życia	>20 lat ciągłej pracy
Regulacje prawne	CE, ETS 300-019-2-[1,2,3], PN-EN 50561-1:2013-12, PN-ETSI EN 300 386 V2.1.1:2017-02

<b>Szumy fazowe L(f), dBc/Hz, typowe:</b>	<b>10MHz</b>	<b>100MHz</b>
1Hz	-100	-81
10 Hz	-107	-88
100 Hz	-137	-118
1kHz	-155	-141
10kHz	-165	-158
100kHz	-166	-161
1MHz	-167	-165

Zegary GNSS dostarczają informacji o taktowaniu z poziomami dokładności wymaganymi dla aplikacji nowej generacji. GNSSDO - M9A to urządzenie zbudowane technologią mieszaną (części SMD zamknięte w części makro) w celu uzyskania minimalnego rozmiaru, wagi, zużycia i kosztów. Elementy są umieszczone wewnątrz na 5 oddzielnych płytkach drukowanych. Kaskadowe połączenie wielu ultraniskoszumnych regulatorów napięcia jest stosowane dla każdej płytki osobno. Częstotliwość DOCXO (Oscilloquartz OCXO 8676) jest dyscyplinowana przez podstawowy standard cezu satelity za pomocą odbiornika GNSS i modułu mikroprocesorowego. Oscylator ultraniskoszumny 100MHz (Abracon ABLNO-V-100.000 MHz) jest zsynchronizowany fazowo z DOCXO, aby zapewnić jego stabilność długoterminową i niższy szum fazowy w wąskim paśmie pętli PLL. Wyjścia 1Hz, 10MHz i 100MHz są doskonale spójne fazowo, ponieważ częstotliwości 10MHz i 1Hz są generowane przez dzielniki synchroniczne bezpośrednio z oscylatora 100MHz bez pętli fazowej. Wzmacniacze kanałowe są poprzedzone buforami kaskadowymi, aby osiągnąć wysoką separację wsteczną. Do uzyskania czystych sygnałów sinusoidalnych zastosowano rozległe filtry wyjściowe. Urządzenie nie zawiera kondensatorów elektrolitycznych i innych elementów podlegających szybkiemu starzeniu. DOCXO pochodzi z zapasów MAVI i jest to jego pierwsze użycie. Urządzenie zostało specjalnie zaprojektowane jako główny oscylator do zwielokrotnienia do 24GHz i 60GHz i ma znacznie niższy szum fazowy niż przeciętne źródła. Zastosowano również złącza SMA odpowiednie dla tej klasy urządzeń. Każde urządzenie jest wstępnie podłączone do zasilania i anteny GNSS i jest kalibrowane minimum po 24 godzinach ciągłej pracy. Starannie zaprojektowana frezowana obudowa ze stopu aluminium oddziela urządzenie od wpływu środowiska i gwarantuje stałą jakość przez wiele lat w zakresie temperatur **od -40 do +70** stopni Celsjusza. M9A to jednostka wykonana w krótkiej serii kilkuset sztuk dla wymagających użytkowników. DOCXO Oscilloquartz 8676 jest trudno dostępny. Podobne parametry ma dostępne OCXO AOCJY6-10.000MHz-1 ale zawiera pojedynczy termostat, więc nie może pracować w temperaturze -40 st. C

### Uwaga 1:

Po podłączeniu urządzenia do zasilacza napięcie Vc zostaje przyłożone do oscylatora DOCXO. Vc jest ustawione fabrycznie z dokładnością do 0,01 V. Daje to ustawienie fabryczne częstotliwości po wygrzaniu DOCXO z dokładnością 5ppb. Odbierając sygnały GNSS urządzenie przez cały czas koryguje napięcie Vc. Moduł algorytmu adaptacyjnego działa non-stop i ma na celu osiągnięcie dokładności częstotliwości, takiej jak sam sygnał GNSS. Priorytetem podczas projektowania było użycie najwyższej jakości DOCXO, dzięki czemu można także korzystać z urządzenia bez podłączania anteny GNSS. Po bardzo długim okresie użytkowania można przeprowadzić kalibrację, aby zapewnić najwyższą dokładność częstotliwości w trybie „swobodnego biegu”. Aby to zrobić, zmierz i zapisz bieżące napięcie Vc po długotrwałej pracy z sygnałem GNSS. Napięcie Vc jest dostępne na złączu urządzenia. Jest to najbardziej aktualne napięcie zapewniające najwyższą dokładność częstotliwości. Następnie wyłącz urządzenie od źródła zasilania i włącz je ponownie szybko, aby nie ostygło, ale bez anteny GNSS. Urządzenie jest teraz w trybie „swobodnego działania”. Zmierz napięcie Vc ponownie na złączu urządzenia. Jest to wartość ustawiona dla poprzedniej kalibracji. Jeżeli te dwa odczyty różnią się, można ustawić nową wartość Vc za pomocą dostępnego potencjometru wieloobrotowego. **Jeśli urządzenie działa tylko z podłączoną anteną GNSS, nie ma potrzeby przeprowadzania kalibracji kiedykolwiek.**

### Uwaga 2:

Jeśli chcesz jak najszybciej uruchomić zimne urządzenie, zalecamy, aby nie podłączać anteny GNSS przez pierwsze 20 minut pracy. Podczas ogrzewania DOCXO występują duże zmiany częstotliwości, a moduł algorytmu adaptacyjnego próbuje je skompensować. Wydłuża to czas samoregulacji. Bez anteny GNSS napięcie Vc jest równe wartości ustawionej podczas kalibracji. Gdy impulsy 1PPS pojawiają się dopiero po rozgrzaniu urządzenia, moduł adaptacyjny ma małe zadanie do wykonania. Czas do osiągnięcia pełnej dokładności jest wtedy najkrótszy. To samo zostanie osiągnięte, jeśli po pierwszych 20 minutach pracy zresetujemy urządzenie przez krótkie odłączenie zasilania. W takim przypadku antena może być podłączona przez cały czas.

**Uwaga 3:**

Moduł M9A zapewnia niski poziom szumu fazowego bez jakiegokolwiek nieciągłości fazy podczas pracy. Urządzenie działa bardzo stabilnie, nawet jeśli sygnał GNSS jest słaby lub pojawia się sporadycznie. Nieprzewidywalna fluktuacja 1pps nie ma negatywnego wpływu na stabilność systemu w perspektywie krótko - lub długoterminowej. W zależności od potrzeb urządzenie automatycznie wybiera rodzaj pracy: bieg1, bieg 2 lub letarg. Gdy DOCXO jest zimny, dioda SYNC jest wyłączona. To jest normalny objaw. Jeśli dioda GNSS miga, a pozostałe diody LED nie migają, ale świecą przez co najmniej 1 godzinę, dokładność wynosi już < 1ppb.

**Uwaga 4:**

M9A ma bardzo dobrze buforowane porty wyjściowe, aby zminimalizować wpływ obciążenia na generowane sygnały. Częstotliwości wyjściowe po przejściu przez filtry są czystymi falami sinusoidalnymi o bardzo niskiej zawartości częstotliwości harmonicznych. Ponadto sygnały LVCMOS 3,3V, 10MHz i 1Hz są zawsze dostępne w gnieździe z tyłu urządzenia. Sygnał LVCMOS 3,3V, 1PPS jest dostępny tylko wtedy gdy odbiornik GNSS odbiera sygnał satelitarny. M9A wytwarza wszystkie sygnały oprócz 1PPS w pełni spójne fazowo. To jest ważne w wielu aplikacjach. Niektóre źródła zakładają, że ten warunek jest spełniony, gdy urządzenie ma wspólny oscylator odniesienia dla różnych pętli fazowych wytwarzających różne częstotliwości wewnątrz urządzenia. Jednak tak generowane częstotliwości nie są całkowicie spójne fazowo. Możemy się o tym przekonać, tworząc dwie różne pętle PLL sterowane przez ten sam główny oscylator i wytwarzające dwie takie same częstotliwości. Okazuje się że po ich odjęciu od siebie w typowym mikserze, otrzymujemy fluktuacje subhercowe na wyjściu zamiast całkowitego braku sygnał przemiennego. Jest to dowód na to, że generowane w ten sposób częstotliwości nie są całkowicie spójne fazowo. To staje się szczególnie ważne, gdy chcemy zwielokrotnić uzyskane w ten sposób częstotliwości do zakresu gigahercowego. Na wysokich częstotliwościach takie sygnały mieszają się jeszcze łatwiej, powodując wzajemne fluktuacje wartości kilku herców. Pojawia się wtedy problem niechcianych modulacji pasożytniczych. Nowoczesne modulacje takie jak 1024QAM, 2048QAM itp. muszą być wolne od pasożytniczych modulacji fazy lub amplitudy. Układ elektryczny M9A jest inny w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami aby zachować spójność fazy sygnałów wychodzących. Jeśli chcesz dowiedzieć się więcej na ten temat można zapoznać się z materiałem informacyjnym firmy Holzworth Instruments. Ta firma bardzo poważnie podchodzi do kwestii spójności faz.

**Uwaga 5:**

Częstotliwość 10MHz jest tradycyjną częstotliwością wzorcową używaną powszechnie od wielu lat. Jednak stały postęp techniczny zaowocował pojawieniem się nowoczesnych scalonych pętli fazowych mogących porównywać fazę na częstotliwości 50MHz a nawet 100MHz. Daje to ogromne korzyści dla jakości wytwarzanego sygnału, w tym jego szumów fazowych. Częstotliwość 100MHz oscylatora głównego staje się już nowym standardem w nowoczesnych konstrukcjach. Dlatego w urządzeniu M9A udostępniliśmy obie te częstotliwości.

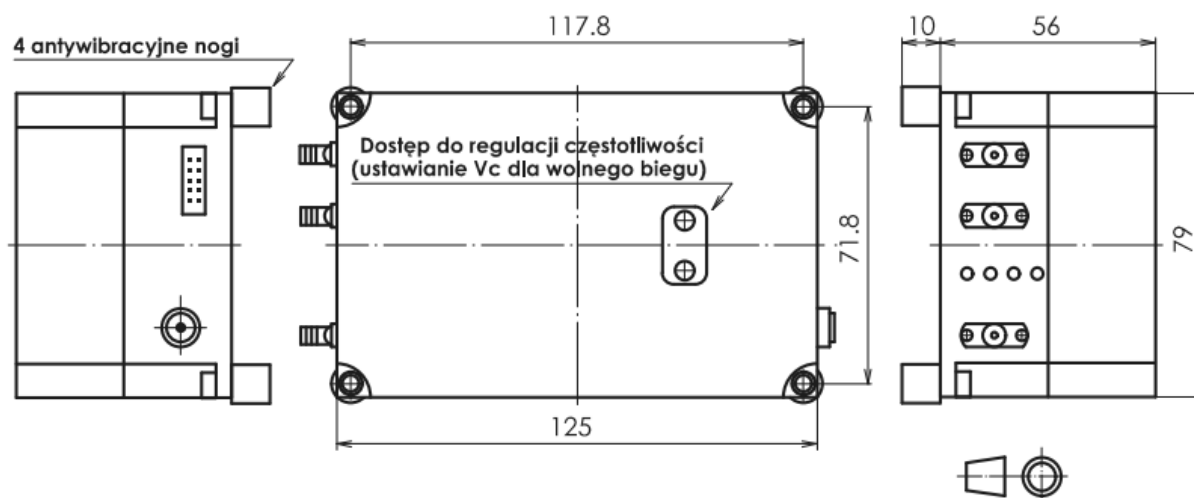
**Uwaga 6:**

Jeśli nie masz anteny GNSS 3,3V do odbioru wszystkich systemów satelitarnych, możesz podłączyć typową antenę GPS 3,3V. Nie spowoduje to pogorszenia parametrów urządzenia. W tym przypadku odbierać będziesz jedynie satelity systemu GPS.

**Uwaga 7:**

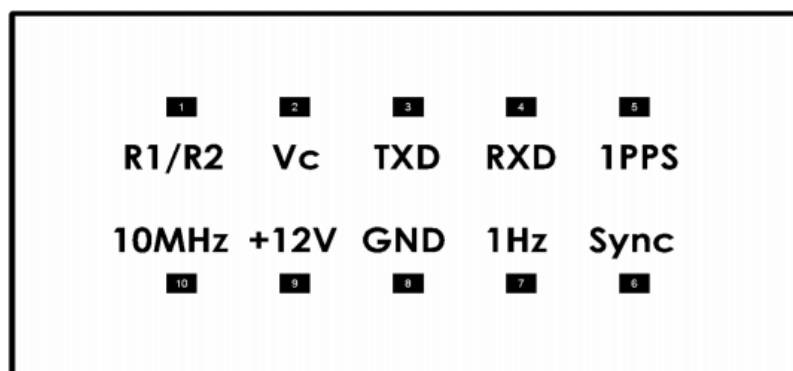
Porty RXD i TXD są dostępne do komunikacji z odbiornikiem GNSS.

Rysunek wymiarowy GNSSDO – M9A



Wszystkie wymiary podano w mm

Z tyłu urządzenia znajduje się gniazdo z sygnałami do wykorzystania przez użytkownika.



- R1/R2** - sygnały wychodzące sterujące diodą R1 / R2
- Vc** - buforowane wyjście napięcia dostrajającego DOCXO
- TXD** - cyfrowy sygnał wyjściowy z odbiornika GNSS
- RXD** - cyfrowy sygnał wejściowy do odbiornika GNSS
- 1PPS** - wyjście sygnału LVCMOS 3.3V 1PPS (aktywne tylko, gdy sygnały z satelit są odbierane)
- 10MHz** - wyjście sygnału LVCMOS 3,3V 10MHz
- +12V** - 12 V wyjście / wejście zasilania
- GND** - masa, minus napięcia, uziemienie
- 1Hz** - wyjście LVCMOS 3,3V, 1Hz
- Sync** - wyjście LVCMOS 3,3V, stan wysoki, gdy oscylator 100 MHz jest w fazie z DOCXO, stan niski, gdy DOCXO jest bardzo zimny i oscylator 100MHz jest poza zakresem chwytania pętli PLL

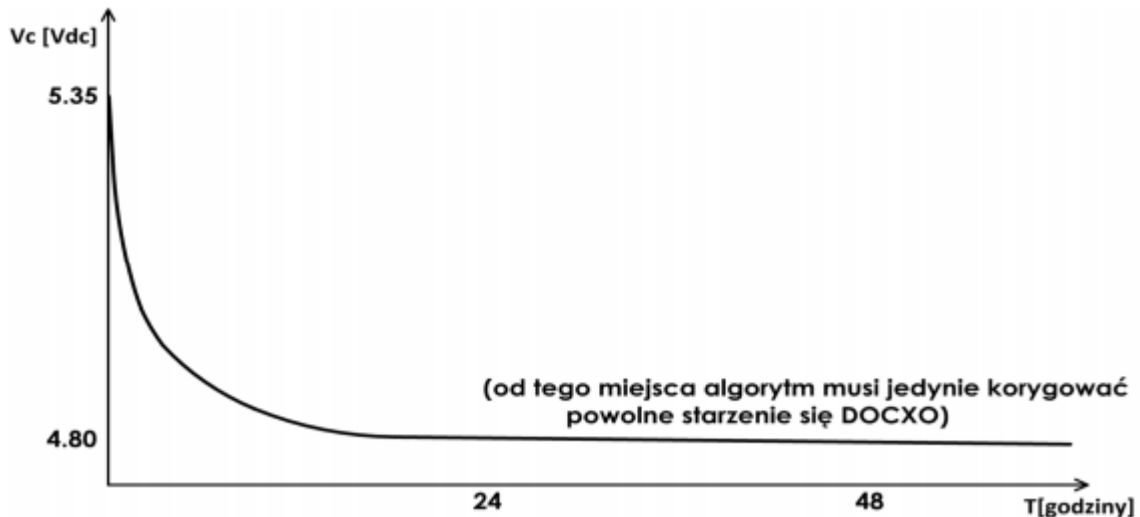
Satelity GNSS przenoszą dokładny czas z zegarów atomowych. Odbiorniki GNSS generują impulsy o niskim jitter bez dryftu. Impuls 1PPS stanowi doskonały sygnał częstotliwościowy z pewnym drganiem resztkowym. Krótkoterminowe wahania okresu sygnału 1PPS są rzędu dziesiątek ns, co oznacza, że względne zmiany częstotliwości sygnału 1PPS są tego rzędu. Aby usunąć ten jitter, algorytm adaptacyjny M9A pomija próbki, które można uznać za wadliwe, a pozostałe są filtrowane w celu wskazania trendu sygnału i usunięcia efektu krótkoterminowych wahań. Dokładność analizy jest tym większa, im dłużej trwa pobieranie próbek. Zasadniczo sygnał 1PPS jest odpowiedzialny tylko za długoterminową stabilność urządzenia. M9A ma również wysoką stabilność krótkoterminową i niski poziom szumu fazowego, głównie dzięki zastosowaniu wysokiej jakości oscylatorów. Zastosowano tu ultra-stabilną szerokotemperaturową wersję DOCXO który jest sprzęgnięty fazowo z nowoczesnym VCXO 100 MHz posiadającym bardzo niski szum fazowy. Frezowana aluminiowa obudowa została zaprojektowana tak, aby wymiary urządzenia były jak najmniejsze. Z przodu urządzenia znajdują się gniazda SMA dla wyjść sygnałowych 10MHz i 100MHz oraz wejście SMA dla anteny GNSS / GPS. Istnieją również 4 zielone diody LED wskazujące działanie urządzenia. Z tyłu urządzenia znajduje się gniazdo zasilania 12V typu 5,5mm / 2,1mm i 10-pinowe gniazdo IDC o rastrze 2mm. Funkcje pinów opisano powyżej gniazda. W górnej części urządzenia znajduje się dostęp do wieloobrotowego potencjometru ustawiającego napięcie Vc. Jest to napięcie kontrolujące częstotliwość DOCXO podczas pracy bez sygnału GNSS. Algorytm adaptacyjny zmienia to napięcie (w razie potrzeby) na podstawie odebranych impulsów 1PPS. Podczas przerw w odbiorze napięcie jest zamrożone na dowolny okres czasu. Gdy odbiór satelitów jest niezakłócony, proces dostosowywania jest kontynuowany. Dopiero odłączenie urządzenia od napięcia powoduje utratę zgromadzonych danych, a wartość Vc wraca do poziomu ustawionego potencjometrem.



### M9A

Proste konstrukcje GPSDO oparte na obwodach PLL lub FLL sterowane bezpośrednio przez przychodzące impulsy 1PPS lub ich wielokrotności generują sygnał o wysokim jitter. Ponadto tego rodzaju urządzenia tracą dokładność przy braku sygnału GNSS. Takie źródła sygnału nie nadają się do zastosowania jako oscylator główny urządzenia radiowego a tym bardziej do zwielokrotnienia częstotliwości do zakresu GHz.

Napięcie  $V_c$  jest generowane przez moduł mikroprocesora M9A na podstawie przychodzących impulsów 1PPS z odbiornika GNSS. Typowy zakres napięcia  $V_c$  wynosi od 4 do 6 VDC. Nachylenie regulacji wynosi 0,5ppm/V. Napięcie przyjmuje wartość, dla której częstotliwość DOCXO pokrywa się z częstotliwością wzorca atomowego odbieranego satelity. W pierwszych godzinach po uruchomieniu urządzenia napięcie to zmienia się najbardziej. Po kilkudziesięciu godzinach ciągłej pracy napięcie prawie się zatrzymuje w obszarze 4 do 5V. Potem zmienia się bardzo niewiele, maksymalnie o 0,6V przez pierwsze 10 lat. Każde urządzenie ma ustawione fabrycznie napięcie  $V_c$  po uprzednim rozgrzaniu przez minimum 24 godziny. Po ponownym włączeniu od tego napięcia mikroprocesor rozpoczyna proces regulacji i w razie potrzeby koryguje to napięcie. Gwarantuje to wysoką dokładność urządzenia natychmiast po rozgrzaniu, nawet bez sygnału GNSS. W ten sposób wysoka jakość DOCXO jest również wykorzystywana podczas pracy M9A bez sygnału GNSS. Najbardziej aktualne napięcie  $V_c$  jest zawsze dostępne w gnieździe wyjściowym i możemy je zmierzyć i porównać z napięciem ustawionym podczas ostatniej kalibracji. Poniższy schemat pokazuje typowy przykład zmiany napięcia  $V_c$  **po pierwszym uruchomieniu** DOCXO Oscilloquartz 8676.  $V_c$  jest to napięcie przy którym częstotliwość DOCXO jest w danej chwili zgodna z wzorcem cezowym satelity. Kolejne uruchomienia DOCXO mają coraz bardziej łagodny przebieg.



**Wykres zmian napięcia  $V_c$  po pierwszym uruchomieniu DOCXO Oscilloquartz 8676**

Według wielu producentów oscylatorów proces stabilizacji DOCXO (tj. Stabilizacja  $V_c$ ) w trybie swobodnym trwa do 30 dni. Oczywiście moduł mikroprocesora na bieżąco koryguje wartość  $V_c$ , gdy dostępny jest sygnał satelitarny. Algorytm robi to w najkrótszym możliwym czasie, w zależności od jakości odbieranego sygnału GNSS, wahań impulsu 1PPS, a nawet jego braku, przy jednoczesnym utrzymaniu spójności faz i niskiego szumu sygnału podczas regulacji. Ta funkcja jest kluczowa, gdy używasz M9A jako głównego oscylatora do zwielokrotnienia do zakresu wielu GHz. Jak pokazuje wykres, na początku pracy urządzenia potrzebna jest szybsza korekcja częstotliwości, więc mikroprocesor wybiera tryb pracy Bieg1 (dioda R1/R2 miga). Następnie obserwujemy naprzemienne działanie Bieg1 i Bieg2, aż potrzebna będzie tylko bardzo mała korekta lub jej całkowity brak w trybie Bieg2 (dioda R1/R2 świeci). Dobrze zaprojektowana frezowana obudowa zapewniająca ekranowanie i równomierny rozkład temperatury wewnątrz jest niezbędna dla tej klasy urządzeń. Gdyby GNSSDO wykonano wyłącznie na płycie drukowanej przeznaczonej do instalacji w większym urządzeniu, miałyby ono przypadkową odporność na wstrząsy i miałyby różne parametry w zależności od lokalizacji w stosunku do innych elementów generujących pola elektryczne, magnetyczne i temperaturę. M9A nie wymaga żadnej regulacji ani konserwacji po zakupie. Przewidziane jest do pracy jako wolno stojące urządzenie lub jako moduł sterujący do zabudowania. Powyższe informacje mają głównie na celu zapoznanie się z budową i oceną naszego urządzenia.