

---

# Високоточен 10MHz опорен генератор, стабилизирен от GPS

## / 10 MHz GPSDO /

Виктор Маринов, LZ1NY

*Измерването на времето от край време е било от важно практическо значение за хората. От необходимостта да се определи точния момент за засаждане на посевите до системите за глобална навигация – всичко това е свързано с понятието време.*

*Необходимостта от точност при измерването на времето е породила появата на математическата абстракция за по-големите периоди от време – календара, както и часовника - апарат за измерване на по-кратки периоди от времето.*

*Създаването на инструменти за точно измерване на времето е занимавало умовете на най-големите гении на човечеството.*

*Преди пет века Фернандо Магелан е използвал на своите кораби 18 пясъчни часовника за нуждите на навигацията, а в днешно време атомни (предимно рубидиеви) еталони за честота може да се намерят по интернет-битаците даже за цени под 200 USD.*

Целта ми беше да конструирам опорен генератор, който да осигурява точност, достатъчна за работа на СВЧ обхватите до 10 GHz.

При нестабилност (неточност) на честотата  $10^{-9}$  за честота 10 MHz това означава отклонение 0.01Hz, а за 10 GHz съответно 10Hz, което в много случаи е допустимо.

За такива цели популярно решение е да се използва стабилен и качествен, генератор, чиято честота се донастройва, сравнявайки генерираната честота с особено прецизен източник. ОСХО осигуряват прецизност от порядък на  $10^{-8}$

А за такъв прецизен източник се използва сигнал от навигационни спътници. Преобладаващото мнозинство GPS/GLONASS приемници имат изход "1PPS" - (One Pulse per Second) и именно той може да се използва за времева база, поради факта, че е много точно синхронизиран с GPS времето (до 30ns).

По-малък брой приемници имат изход с точна честота 10kHz, който позволява да се използва в схема с фазова донастройка на честота (PLL).

Използваният (евтин...) приемен GPS модул (описан по-долу) генерира само сигнал 1PPS, който е неподходящ за PLL, за това в описания прибор се използва принципа на FLL ( Frequency Locked Loop)

## Основни елементи на генератора

Схемното решение се характеризира с простота и липса на всякакви настройки при оживяването му.

## 1. OCXO

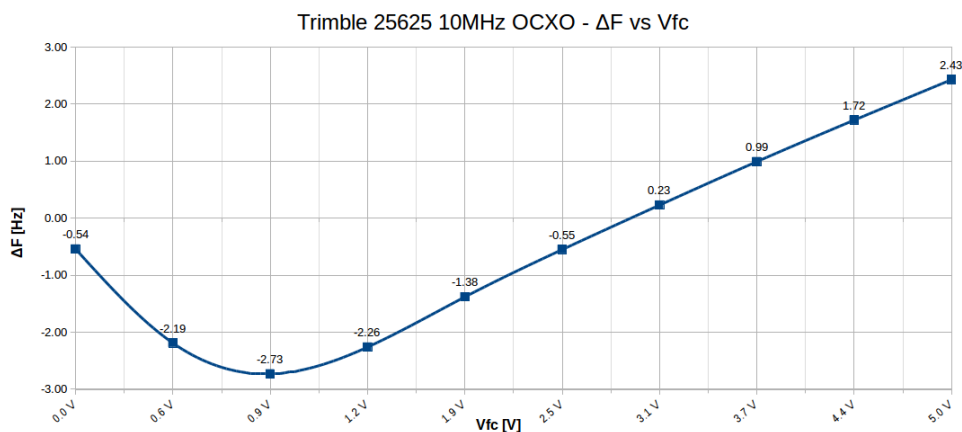
Най-съществен и най-скъп елемент е термостабилизираният генератор *Trimble 65256 OCXO* (Oven controlled crystal oscillator), закупен на достъпна цена през E-bay.



Фиг. 1 Trimble 65256 OCXO

Измерената зависимост на генерираната честота спрямо управляващото напрежение  $V_{fc}$  е показана на фигурата по-долу.

Забележка: Измерванията са направени след 30 минутно подгриване на уреда.

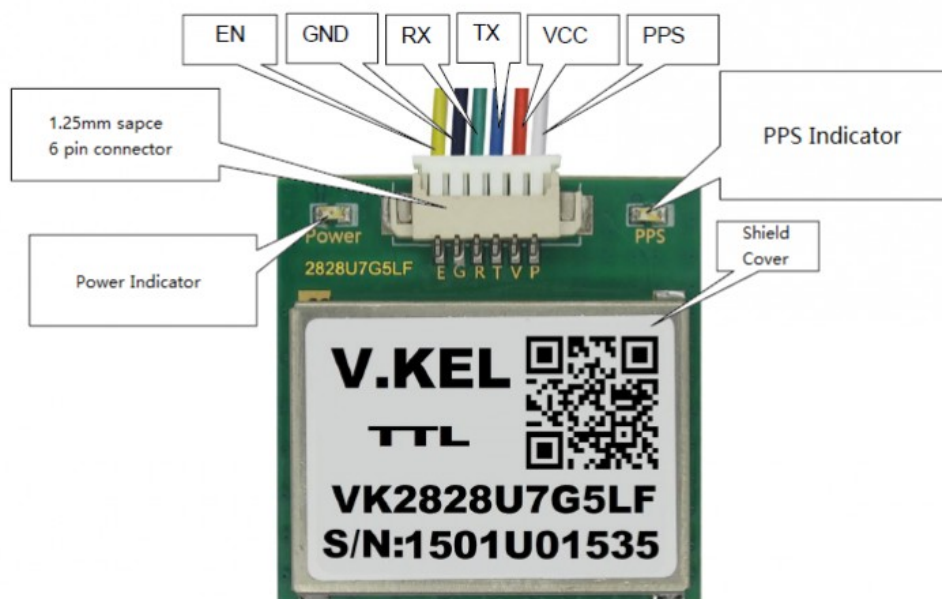


Фиг. 2: Зависимост на генерираната честота от управляващото напрежение

От графиката се вижда, че работният диапазон на управляващото напрежение  $V_{fc}$  трябва да се ограничи в областта от 1V до 5V.

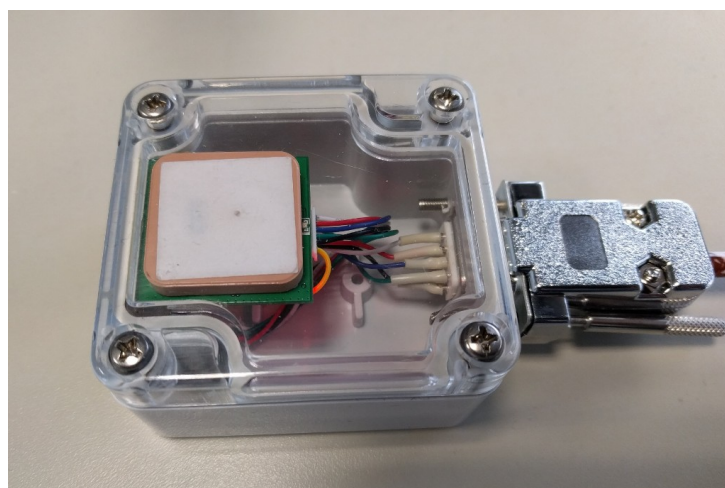
## 2. GPS модул с антена

Използван е GPS модул V.KEL монтиран в херметична кутия, за да може да приемникът да бъде изнесен на известно разстояние от генератора и да се осигури видимост на GPS спътници.



Фиг. 3 GPS модул V.KEL и неговите сигнали

Целта на приемния GPS модул е да осигури високоточния сигнал 1PPS, синхронизиран с GPS времето. Освен сигнала 1PPS, данните от приемника постъпват на контролера в NMEA-183 формат и след декодиране може да бъдат показани на екрана. Времето (чч:мм:сс) се изписва периодически на втория ред на индикатора.



Фиг. 4 GPS модулът в херметична кутия

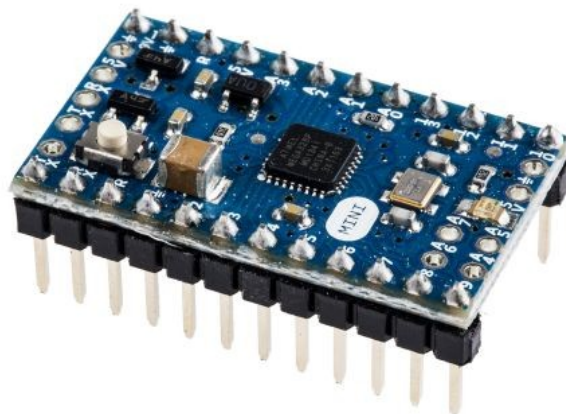
---

### 3. Контролер

Контролерът, управляващ донстройката на честота и индикацията е реализиран на базата на Arduino Mini. Софтуерът е писан на език **C**. За развойната дейност е използван софтуер Arduino 1.6.8 и Sublime Text (под Ubuntu Linux).

Едва 30-40% от flash и от динамичната памет на процесора се използват.

За регулиране на честотата се използва пропорционално-диференциално управление на честотата.



Фиг. 5: Контролер Arduino Mini

Данни за текущото си състояние приборът изпраща и по серийния си порт RS-232 (изведен на задния панел) – 38400,8,п,1.

Изпращането на данни (както и донстройката на честотата) става веднъж на всеки 20 секунди в режим **C** (COARSE) и веднъж на 200 секунди в режим **F** (FINE). Разполагайки с обективно измерване на честотата за всеки един период, можем да направим корекции при извършване на прецизни измервания на сигнали.

### 4. Общ изглед и индикация

Индикацията на прибора е OLED дисплей с размери 16x2

На фигурите по-долу са показани примери при различните етапи и режими на работа на прибора.



Фиг. 6: Начален екран при включване на генератора

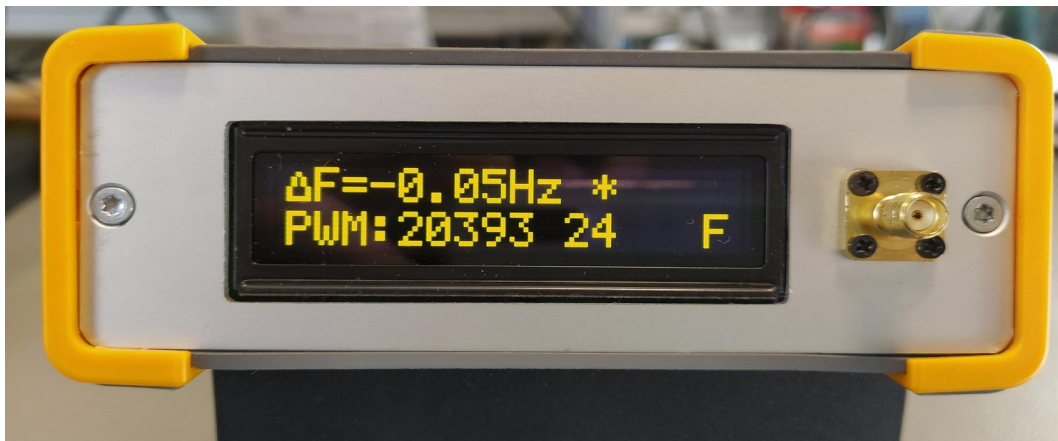


Фиг. 7: Генераторът е в очакване на синхронизиращите сигнали 1 PPS от GPS приемника

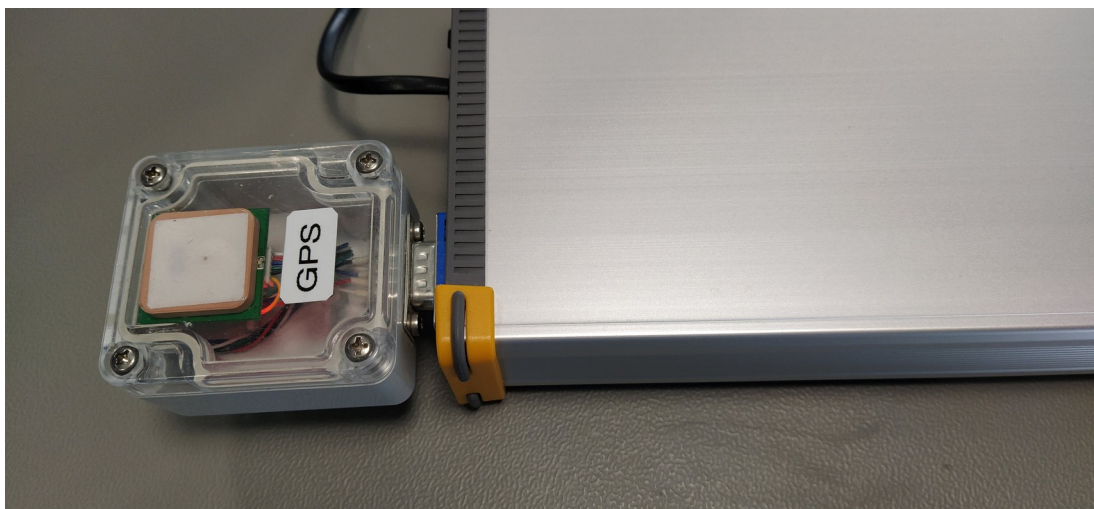


Фиг. 8: Режим "COARSE" – режим на груба донастройка на честотата,  $\Delta F > 0.5\text{Hz}$ , с индикация на времето





Фиг. 9: Режим "FINE" - прецизна донастройка на честотата  $\Delta F < 0.5\text{Hz}$ , индикация на PWM



Фиг. 10: GPS модулът може и директно да се свърже към прибора

### Описание на изобразяваните данни (вж. Фиг 8 и Фиг.9)

- **Първи ред на дисплея**

**Поле 1** - Отклонение (в Hz) на генерираната честота от точната стойност 10 000 000.00 Hz

**Поле 2** - Символ звезда „\*“ мигащ с честота 0.5Hz при наличие на сигнала 1PPS, постъпващ от GPS модула.

- **Втори ред на дисплея**

**Поле 3** - Редува се изписването на GPS времето (във формат ЧЧ:ММ:ССz) и стойността на за генератора на ШИМ (PWM), подаващ управляващо напрежение на ОСХО. PWM съответства на напрежението, подавано за управление на генератора: стойност PWM = 0 --> 0V , максимална стойност PWM = 65536 --> 5 V.

---

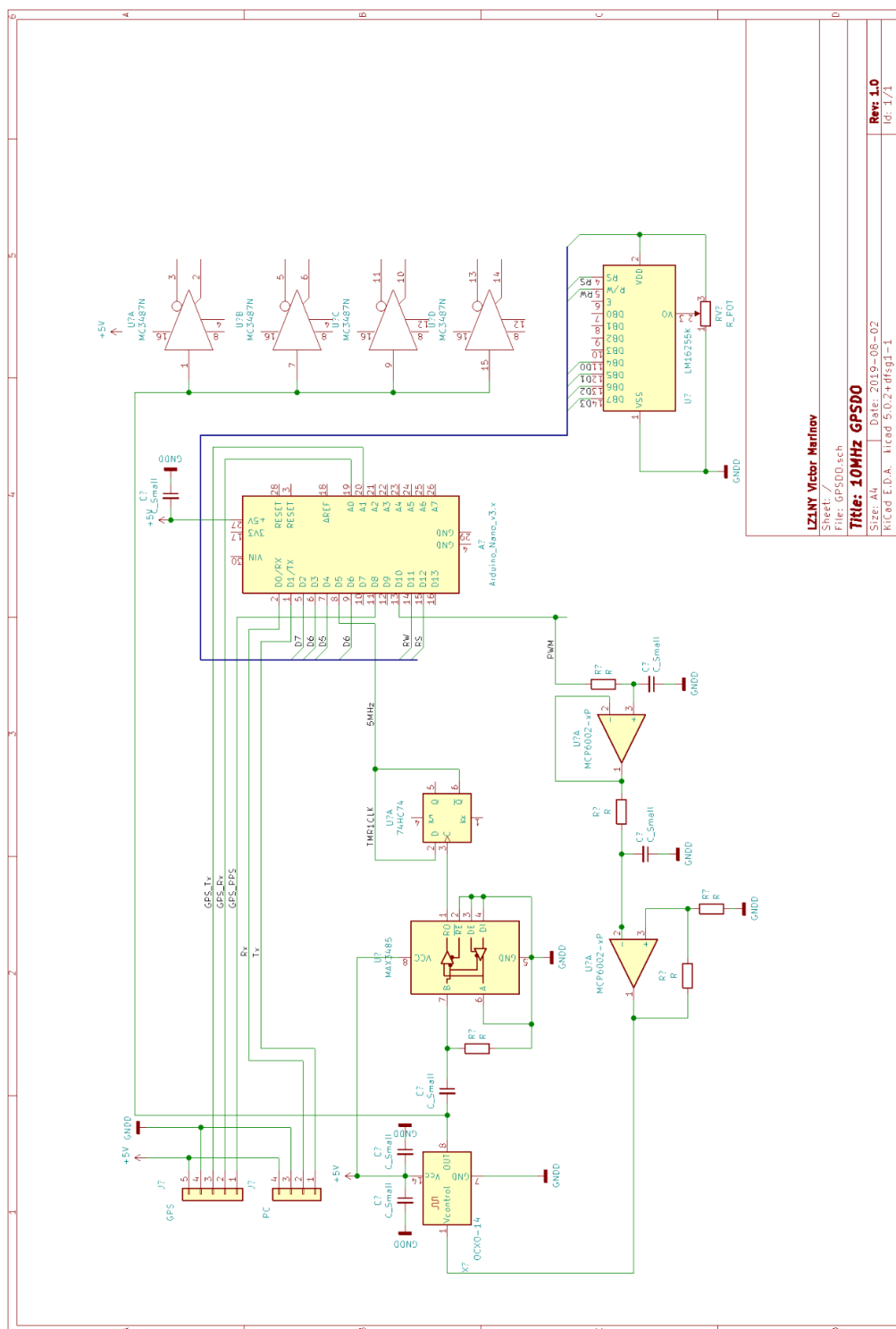
**Поле 4** – Прогрес-индикатор на измерването на честотата. Приема стойности от 0 до 100%. Периодът за измерване на честотата е 20s в режим **C** (COARSE), а при режим **F** (FINE) е 200s.

**Поле 5** – Режим за донастройка на честотата – **C** (COARSE) – груба донастройка или **F** (FINE)- прецизна донастройка на честота. Превключването на режимите става автоматично. При  $\Delta F > 0.5\text{Hz}$  работи в режим **C**, при по-ниски стойности на  $\Delta F$  в режим **F** (FINE)

## **5. Използвани съкращения**

GPS	Global Positioning System	PLL	Phase Locked Loop
GPSDO	GPS Disciplined Oscillator	FLL	Frequency Locked Loop
PWM	Pulse Width Modulation	(1)PPS	(One) Pulse per Second
ШИМ	Широчинно импулсна модулация	OCXO	Oven controlled crystal oscillator
NMEA	National Marine Electronics Association	OLED	Organic light-emitting diode
NMEA-183	Сериен ASCII стандарт за обмен на данни (в частност използван в GPS приемниците)		

## 6. Принципна схема





---

## 7. Използвани материали

- GPS synchronized 10MHz oscillator - [http://www.ik0otg.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=53&Itemid=59&lang=en](http://www.ik0otg.net/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=59&lang=en)
- A simplified GPS-Derived Frequency Standard QEX Magazine Sept/Oct 2006  
[http://ve2zaz.net/GPS\\_Std/Downloads/VE2ZAZ\\_GPS\\_Derived\\_Std\\_QEX\\_09\\_10\\_2006.pdf](http://ve2zaz.net/GPS_Std/Downloads/VE2ZAZ_GPS_Derived_Std_QEX_09_10_2006.pdf)
- VK2828U7G5LF Data Sheet 20150902 -  
<https://github.com/CainZ/V.KEL-GPS/blob/master/VK2828U7G5LF%20Data%20Sheet%2020150902.pdf>
- Anatomy of an OCXO - Oven Controlled Crystal Oscillators  
<http://blog.bliley.com/anatomy-of-an-ocxo-oven-controlled-crystal-oscillators>
- Arduino PID Example Lab -  
[https://www.pdx.edu/nanogroup/sites/www.pdx.edu.nanogroup/files/2013\\_Arduino%20PID%20Lab\\_0.pdf](https://www.pdx.edu/nanogroup/sites/www.pdx.edu.nanogroup/files/2013_Arduino%20PID%20Lab_0.pdf)