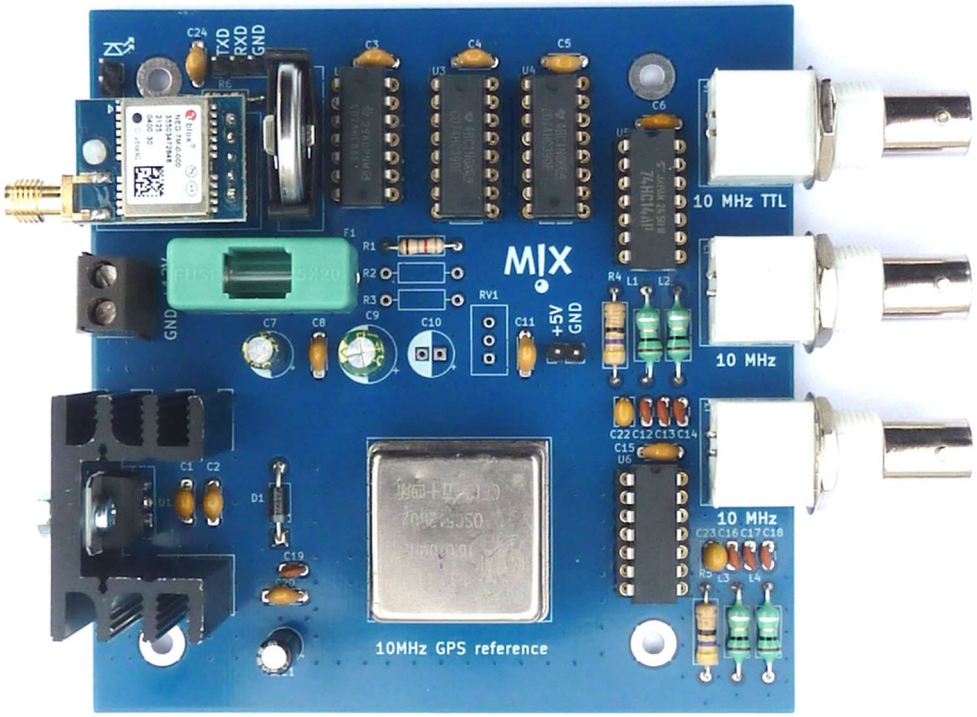
Bouw van de 10 MHz GPSDO



Disclaimer:

Het beschreven ontwerp is goed reproduceerbaar maar NIET bedoeld voor zelfbouwers zonder enige elektronica bouwervaring!
Heb je totaal geen ervaring (of twijfel je) vraag dan een ervaren zelfbouwer om hulp om dan samen de GPSDO te bouwen.

Veel plezier gewenst met de bouw en het gebruik van de GPSDO.
Heb je vragen op en/of aanmerkingen: mail@pe1mix.nl

Waarschuwing:

Het uitgangsvermogen van de schakeling is ± 12 dBm in 50 Ω.
Kijk goed wat het maximale ingangsniveau van het aangesloten toestel is!
Het kan nodig zijn om een verzwakker te gebruiken!

Voor een correcte werking van de GPSDO is goede GPS ontvangst vereist!

10 MHz GPSDO

Inhoud

Disclaimer: 1

Inleiding: 4

De standaard uitvoering van de GPSDO: 5

Uitleg van het GPSDO schema: 5

- Het voedingsgedeelte: 5
- Ontkoppeling van de IC's en OCXO: 6
- 10 MHz OCXO, frequentiedelers en GPS ontvanger: 6
- Welke GPS ontvanger te kiezen? 8
- Het output circuit: 8
- Wat te doen met ongebruikte poorten? 10
- SuperCap of batterij backup: 10
  - SuperCap backup: 10
  - Batterij backup: 10

Benodigde componenten: 11

- Benodigde componenten elektronisch: 11
- Benodigde componenten mechanisch: 12

Bouwbeschrijving van de GPSDO: 13

- Componenten en locatie op de print: 13
- Componentenopstelling: 14
- Inbouw van de schakeling: 14
- Afmetingen van de print: 15
- Het solderen van de print: 15

Tips bij de bouw: 16

Ombouw van de GPS ontvanger: 17

- Test de GPS ontvanger voor modificatie: 17
- Vervanging pinheader: 17
- Hoe kunnen we de instellingen van de GPS ontvanger bewaren: 17
  - Ontvanger met (niet vluchtig) geheugen: 17
  - Gebruik van een SuperCap: 17
  - Gebruik van een backup batterij: 17
  - De modificaties op de foto: 18
  - Backup aansluiting op de GPSDO print: 18

10 MHz GPSDO

Programmeren van de GPS ontvanger: 19

Installatie van de software en verbinden met de GPS ontvanger: 19

Instellingen opvragen van de GPS ontvanger: 20

Aanpassen van de instellingen: 20

Modificaties, tips, trucks en wetenswaardigheden: 23

TCXO of OCXO: 23

TCXO en OCXO = VCTCXO en VCOCXO: 24

Thermische isolatie van de OCXO: 24

Loopfilter experimenten: 25

OCXO met voorspanning: 25

Waarom welke GPS instellingen? 26

Outputfrequentie: 26

Lock indicatie: 26

Een zijstapje naar SBAS: 26

GNSS, alleen GPS enabled: 27

De GPS antenne: 27

De printkroonsteen gebruiken of draad solderen: 28

KiCad voor het schema en printlayout: 28

Uitgevoerde metingen: 28

Is dit de beste GPSDO? Nee, zeker niet: 29

Als het niet meteen werkt? 29

Zijn er bouwpakketjes van? 29

Voorbeeld van een ingebouwde GPSDO print: 30

Volledige schema: 32

Specificaties: 33

Internetlinks: 33

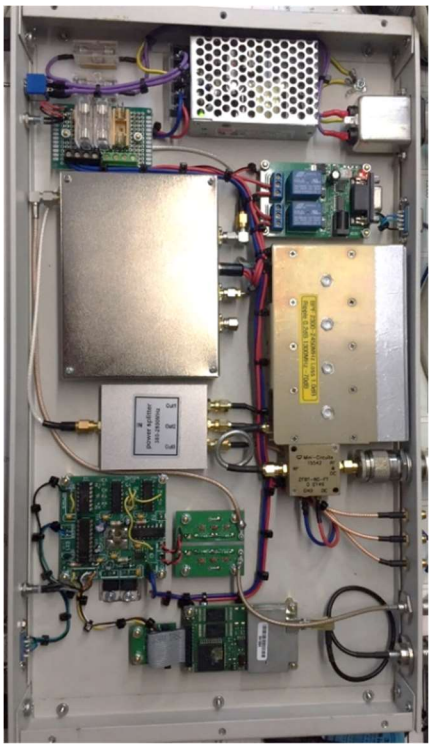
Bouw en gebruik zijn op eigen verantwoordelijkheid: 33

10 MHz GPSDO

Inleiding:

Een van de eerste keren dat radioamateurs kennismaakten met een GPSDO (GPS Disciplined Oscillator), een frequentie referentie die wordt gestabiliseerd door middel van een GPS ontvanger, waren schakelingen die gebruik maakten van een Jupiter GPS-module. Deze modules waren er in verschillende versies en van merken zoals Rockwell, Conexant en Navman. Zodra de module “gelocked” was aan de GPS-satellieten, leverde deze een heel stabiele 1 Hz- en 10 kHz-puls. Deze pulsen konden we gebruiken om een oscillator te stabiliseren, zodat we een supernauwkeurige frequentie konden genereren. Meestal wordt voor dit doel 10 MHz gebruikt, deze nauwkeurige frequentie kan dienen als referentie voor bijvoorbeeld meetapparatuur of voor transverters die werken in het Gigahertz gebied waarbij we de zend- en ontvangstfrequentie zo precies en stabiel mogelijk willen krijgen.

Het eerste ontwerp met deze modules waar ik zelf mee in aanraking kwam, was een ontwerp van G3RUH. In dit ontwerp werd de gewenste uitgangsfrequentie van 10 MHz opgewekt door een OCXO. Een OCXO is een kristaloscillator die met een oven op temperatuur wordt gehouden, en waarvan de frequentie een beetje aangepast kan worden door een stuurspanning. De 10 MHz die uit de OCXO kwam, werd gedeeld door 1000 en vergeleken met de 10 kHz uit de GPS-module. Deze GPSDO's werden gebouwd verkocht maar waren destijds voor mij onbetaalbaar. Een ontwerp van W1GHZ was gebaseerd op hetzelfde principe, maar dan met TCXO's. Dat zijn kristaloscillatoren zonder oven, maar wel temperatuurgestabiliseerd. OCXO’s waren toen namelijk moeilijk te krijgen en als ze al beschikbaar waren, waren ze behoorlijk duur. Van het W1GHZ-ontwerp zijn er in de regio verschillende exemplaren gebouwd, en die doen het nog steeds prima. Later meer over de verschillen tussen OCXO’s en TCXO’s.



In 2016 ontstond (waarschijnlijk tijdens een biertje op een afdelingsavond) het idee voor een 3 cm WebSDR. Het idee was simpel; het zou wel leuk zijn om zo'n ding te hebben en (uiteraard) ook gewoon omdat het kon. En ja, dat laatste is eigenlijk de ware reden voor veel projecten. Gelukkig had ik “toevallig” de benodigde hoogfrequent materialen nog liggen, we konden dus meteen aan de slag. De 3 cm WebSDR kwam online in november 2016, in september 2018 volgde de 13 cm WebSDR. Beide WebSDR's werden meteen voorzien van zo'n W1GHZ GPSDO. Deze GPSDO's werkten jarenlang goed totdat de 3 cm WebSDR verplaatst moest worden en de GPS-ontvanger het niet meer deed. Tijdens het werk aan de 13 cm WebSDR ontdekten we dat de GPSDO hiervan soms wat kuren vertoonde. De GPS-ontvanger van de 3 cm WebSDR is inmiddels vervangen door een nieuwer model. Voor de 13 cm WebSDR, die op een lastig toegankelijke plek staat, gaan we in de toekomst de hele GPSDO vervangen door het ontwerp dat hier wordt beschreven. Rechts op de foto zie je het RF-gedeelte van de 13 cm WebSDR.

10 MHz GPSDO

Omdat de Jupiter GPS-modules inmiddels verouderd, bijna niet meer te krijgen en daardoor ook duur zijn, was het eigenlijk logisch om die niet meer te gebruiken voor een nieuw ontwerp. Tegenwoordig heeft bijna elke GPS-ontvanger nog wel de 1 Hz puls (1 PPS of gewoon PPS) als output, maar de 10 kHz niet meer. Gelukkig zijn er nu modules waarvan je de output kunt programmeren, zoals de NEO-serie van U-Blox, waar ik later meer over vertel. Ook heb ik besloten om meteen een OCXO toe te passen. De CTI OSC5AB02 en Vectron C4550A1-0213 worden vaak voor een goede prijs aangeboden en passen beide op de print omdat ze pin-compatible zijn.

Dit ontwerp is trouwens niet alleen ontstaan omdat we een nieuwe GPSDO nodig hadden voor onze WebSDR's. Het kwam vooral door de vraag van de leden van de VERON afdeling Eindhoven naar een leuk bouwproject voor de afdeling. Daarom is de GPSDO gemaakt met "ouderwetse" bedrade componenten, en is extra aandacht aan een goede reproduceerbaarheid.

De standaard uitvoering van de GPSDO:

Bij de bouw van de standaard uitvoering van deze GPSDO worden R2, R3, RV1, C10 en C24 **NIET** aangebracht, de plekken voor deze componenten op de print blijven dus leeg. De 10 MHz is in de standaard uitvoering stabiel binnen ± 6 mHz. Dat is goed genoeg voor eigenlijk alle amateur toepassingen en door de snelle opwarmtijd (± 10 minuten) ook geschikt voor incidenteel gebruik in de shack. Ook voor portabel gebruik met bijvoorbeeld transverters is de GPSDO ideaal door de korte opwarmtijd. De bouwbeschrijving gaat uit van deze versie, de andere mogelijkheden voor de knutselaars worden later uitgebreid besproken.

Opmerking: Het uitgangsvermogen van de sinus output is ± 12 dBm in 50 Ω.
Kijk goed wat het apparaat wat je er op aan wilt sluiten nodig heeft.
Het kan nodig zijn om een verzwakker te gebruiken!

Uitleg van het GPSDO schema:

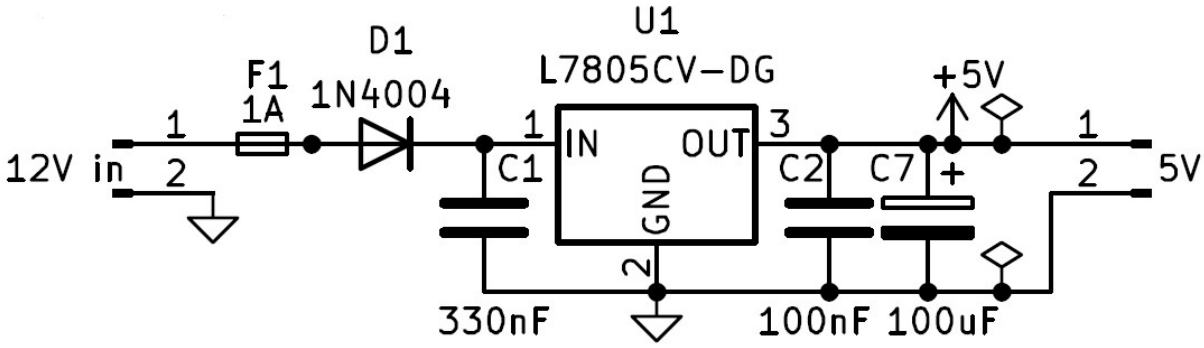
Het schema is, om het overzichtelijk te houden, opgedeeld in een aantal functionele blokken.

Het voedingsgedeelte:

De voeding is rechttoe rechtaan en is opgebouwd rondom een L7805CV-DG, dat is een 5 Volt 1,5 Ampère lineaire spanningsregelaar. In serie met de voedingspanning zitten een zekering en een diode, de laatste dient om schade te voorkomen als de voeding verkeerd om aangesloten wordt. Tevens verminderd de spanningsval over deze diode de dissipatie in de stabilisator een beetje. De symbolen in het schema die op een Wybertje lijken en het pijltje omhoog bij de + 5 Volt zijn noodzakelijk en dienen om signalen binnen de gebruikte ontwerpsoftware (KiCad) te definiëren. We moeten de stabilisator om oscillatie te voorkomen goed ontkoppelen, hiervoor zijn C1 en C2 opgenomen, de waarden hiervoor komen rechtstreeks uit de datasheet. De ingangsspanning van dit type stabilisator moet minimaal 8 Volt zijn, tel daar de drempelspanning van de diode bij op en de minimale voedingsspanning bedraagt dan zo'n 8,7 Volt. Een 12 Volt voeding of adapter (**minimaal 600 mA**) is gewoon geschikt maar kies indien mogelijk de voedingsspanning zo **laag** mogelijk.

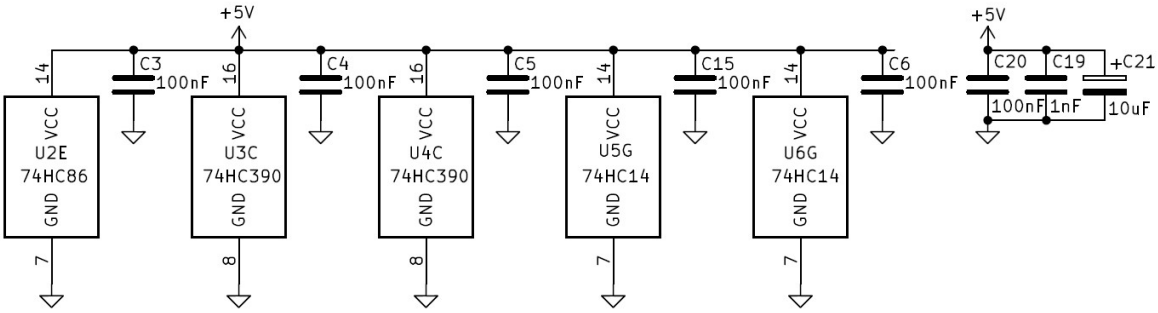
10 MHz GPSDO

Dit is om de warmteontwikkeling op een eenvoudige zoveel mogelijk te beperken. Ingebouwd in een behuizing kan de temperatuur namelijk oplopen door de warmte die wordt gegenereerd door de stabilisator en de OCXO. Dit zal normaal gesproken geen problemen opleveren behalve bij bijvoorbeeld een erg krappe behuizing. Maar het kan natuurlijk nooit kwaad om de stabilisator extra te koelen of aan de behuizing vast te maken met een stukje aluminium. Zowel het koellichaam als de behuizing van de stabilisator zijn met massa verbonden, er hoeft dus niets extra geïsoleerd te worden. Zelf heb ik de GPSDO op een 9 Volt voeding draaien maar je kunt zelf gewoon testen hoe warm het geheel wordt bij de toegepaste voedingsspanning. Na slechte ervaringen met 5 Volt regelaars van een wat vagere herkomst gebruik ik nu altijd deze L7805CV-DG die ik bij bijvoorbeeld Reichelt bestel. De stabilisator dient uiteraard met wat koelpasta op het koellichaam gemonteerd te worden.



Ontkoppeling van de IC's en OCXO:

Net als de stabilisator moeten ook alle IC's en de OCXO goed ontkoppeld te worden. In het linker gedeelte van de tekening zien we de ontkoppeling voor de IC's, in het rechter gedeelte voor de OCXO. Ontkoppeling dient altijd zo dicht mogelijk bij de component aangebracht te worden. Voor de OCXO lukt dat, zonder inzet van SMD componenten, niet helemaal maar de gekozen opzet voldoet prima.

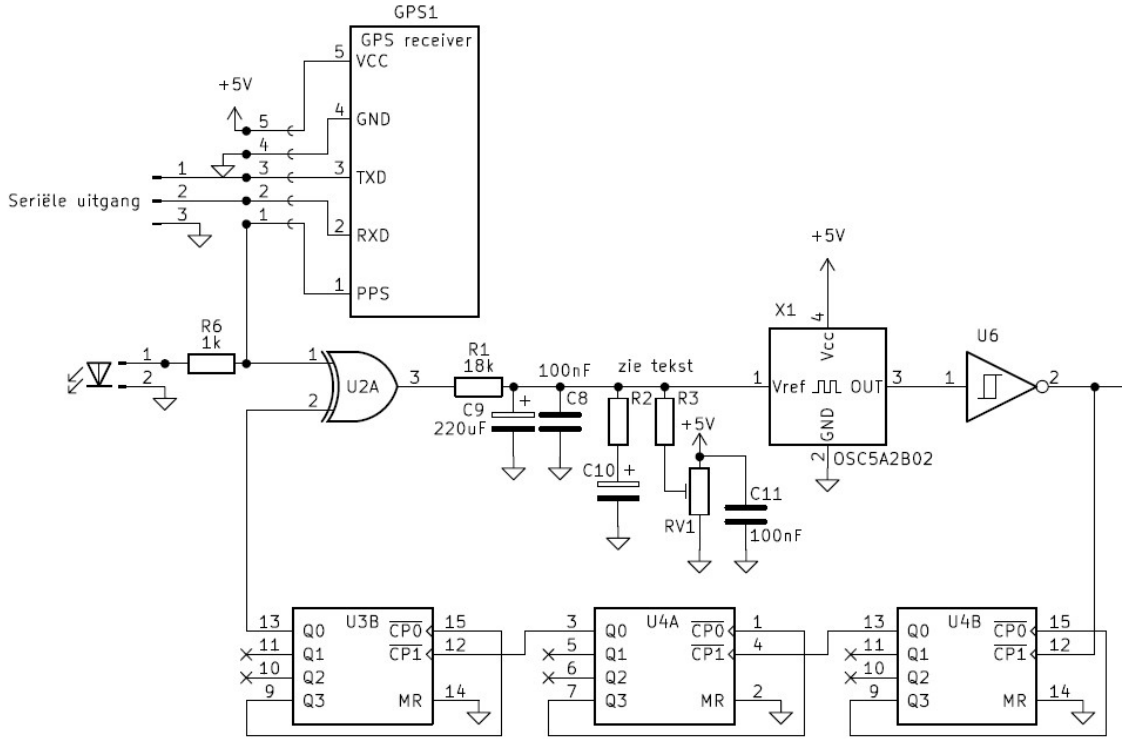


10 MHz OCXO, frequentiedelers en GPS ontvanger:

De 10 MHz wordt opgewekt door X1, een 10 MHz OCXO. De gebruikte OCXO is een CTI OSC5AB02 of een Vectron C4550A1-0213. De opgewekte 10 MHz gaat na buffering door middel van een Schmitt trigger naar de uitgangen (deze worden later besproken) maar ook naar de ingang van een 74HC390. De 74HC390 is een IC waarin 2 delers zitten die elk door 10 kunnen delen. Deze tiendelers bestaan elk weer uit een losse vijfdeler en tweedeler, immers 5 x 2 = 10. De tweedeler wordt altijd als laatste geschakeld zodat we altijd een signaal overhouden met een nette 50% duty cycle.

10 MHz GPSDO

Er worden in deze schakeling 3 van deze tiendelers achter elkaar geschakeld zodat we onze 10 MHz delen door 1000 (10 x 10 x 10) met 10 kHz als resultaat. De GPS ontvanger is zo geprogrammeerd dat deze ook 10 kHz als uitgangsignaal heeft. Deze frequentie is, doordat deze gelinkt is aan het GPS signaal, zeer nauwkeurig en stabiel en daardoor geschikt om de frequentie van de OCXO bij te regelen. Dat wordt met een XOR (U2A) gedaan, de uitgang hiervan is hoog als beide ingangen niet aan elkaar gelijk zijn. Door R1, C8 en C9 (het loopfilter) wordt dit omgevormd tot een regelspanning welke de frequentie van de OCXO corrigeert. De waarden van dit loopfilter verschillen nogal per ontwerp. De waarden zoals genoemd in het schema en de onderdelenlijst voldoen bij mij goed. R2 en C10 zijn toegevoegd voor de amateurs die nog met het loopfilter willen experimenteren. R3 en RV1 kunnen gebruikt worden om de OCXO een voorspanning te geven, R1 en C9 moeten dan ook een andere waarde krijgen. Deze mogelijkheid wordt later uitgebreid besproken.



Er wordt een GPS ontvanger op een printje gebruikt, de daadwerkelijke GPS module is namelijk uitgevoerd in SMD en daardoor lastiger te monteren. De haakse pinheader die op deze ontvanger printjes zit vervangen we door een 5 polig recht exemplaar, dan past de ontvanger netjes op de print. Mocht je zelf de onderdelen verzamelen kijk dan goed dat de je juiste uitvoering besteld. Andere GPS ontvanger printjes hebben vaak een andere maat print met afwijkende montagegaten en soms is ook de volgorde van de aansluitingen anders. Uiteraard kan het 10 kHz signaal van een andere GPS ontvanger worden gebruikt maar deze ontvanger kan dan wellicht geen plek direct op de print krijgen. De 10 kHz frequentie is straks beschikbaar op de PPS aansluiting van de GPS ontvanger print. We gaan deze aansluiting ook “misbruiken” om een LED aan te sturen zodat we een visuele indicatie van een GPS lock hebben. Zie voor meer informatie het gedeelte “Waarom welke GPS instellingen?”. Om de GPS ontvanger te kunnen programmeren is een 3 polige pin header opgenomen, de signalen zijn serieel en hebben een 3,3 Volt TTL niveau.

10 MHz GPSDO

Welke GPS ontvanger te kiezen?

In principe maakt het niet uit welke GPS ontvanger je gebruikt, zolang er maar 10 kHz uit kan komen. Voor een goede verkrijgbaarheid zit je dan al snel aan de NEO modellen van U-Blox vast. Maar het lastige is echter dat als je bij AliExpress bijvoorbeeld een NEO-M8N besteld je haast 100% zeker weet dat deze niet op de print zit. Ik heb er zo'n 30 getest en ze waren allemaal namaak, dat is voor de functionaliteit gelukkig helemaal niet erg, op één defect exemplaar na ontvingen ze allemaal prima. Alleen het flash geheugen wat in de NEO-M8N zou moeten zitten zit er dan vaak niet in, de ontvanger bestaat dan wellicht uit een andere chipset zonder flash geheugen. Op alle bestelbare printjes zit ook een EEPROM maar die werkt nog niet in de helft van de gevallen, dit is waarschijnlijk ook weer chipset afhankelijk. Overigens is een echte NEO-M8N module zo'n 4 tot 5 keer duurder dan je bij AliExpress betaald voor een compleet printje. En eigenlijk weten we het allemaal wel; als het te mooi is om waar te zijn…….

Meestal worden de NEO-6M, NEO-7M en de NEO-M8N aangeboden waarvan de M8N de duurste van het stel is. Je kunt een M8N bestellen en hopen dat het flash geheugen of EEPROM werkt of een goedkopere kiezen. Bij de meeste NEO-6M's bleek het toch mogelijk om de instellingen op te slaan, bij de printjes gemarkeerd met NEO-7M (20 stuks getest) werkte dit nooit. Zonder uitzondering waren alle bestelde modellen gelukkig wel programmeerbaar met de U-Blox software waardoor ik vermoed dat er toch U-Blox chips in zitten. Het is heel vreemd allemaal en wat je krijgt is helaas niet te voorspellen, het is mij althans niet gelukt. Inhoudelijke hulp hoef je bij AliExpress ook niet te verwachten, ze verkopen alleen. Maar voel je vooral vrij om eens met GPS ontvangers te gaan experimenteren! De prijzen laten het best toe 😉

Om toch elke geleverde NEO-xxx ontvanger te kunnen gebruiken kan de print voorzien worden van een CR2023 knoopcel om de instellingen te bewaren, de print kan voor een korter durende backup ook voorzien worden van een SuperCap. Maar hierover later meer.

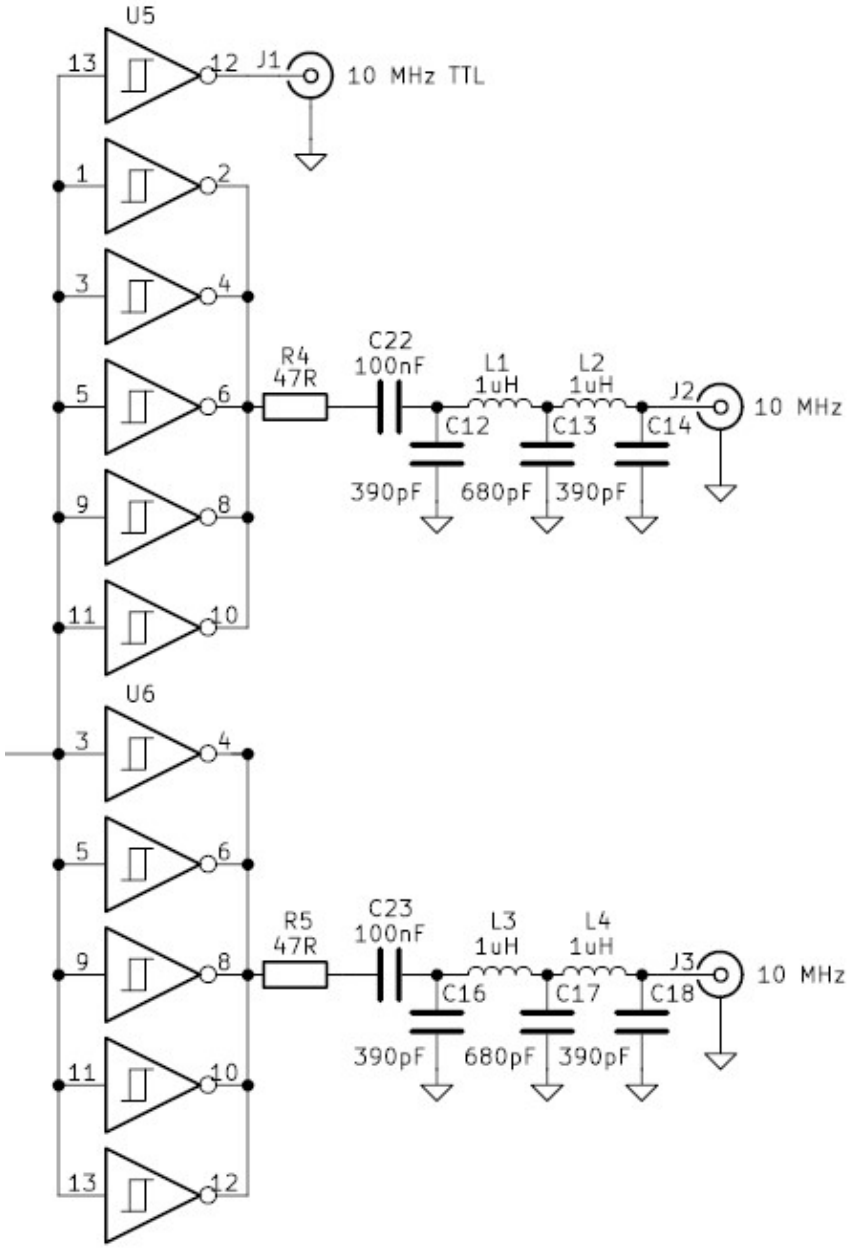
Op de print is een (rode of groene!) LED aan te sluiten waaraan we, behalve de GPS lock-status, ook de staat van de backup batterij kunnen zien. Deze LED is links van de ontvanger in het schema getekend. Dit is allemaal in detail beschreven in het gedeelte "Waarom welke GPS instellingen?".

Het output circuit:

Aan de linkerkant van het schema komt in het midden de gebufferde 10 MHz binnen van de OCXO. Eén Schmitt trigger wordt gebruikt voor een TTL uitgang. Van de overgebleven Schmitt triggers worden 2 50 Ω uitgangen met een sinusvormige output gemaakt. Voor één sinus uitgang er 5 parallel gezet, dat lijkt een beetje overkill maar het is stiekem toch redelijk wat vermogen wat we willen leveren in 50 Ω. De uitgangsimpedantie van een Schmitt trigger is heel klein, 5 van deze uitgangen parallel met een 47 Ω weerstand en de DC weerstand van de spoelen in serie komt dan ergens rond de 50 Ω uit, dat is de uitgangsimpedantie van de schakeling. We sluiten de schakeling ook af met 50 Ω, het IC ziet dan 100 Ω als belasting, namelijk 2 keer 50 Ω in serie. Als de uitgang van de Schmitt triggers hoog is hebben we een spanning van 5 Volt over 100 Ω, dat resulteert in een stroom van 100 mA wat tevens het maximum is wat het IC in totaliteit mag leveren. De praktijk is gelukkig wel een stuk gunstiger omdat we met een sinusvormig signaal te maken hebben.

10 MHz GPSDO

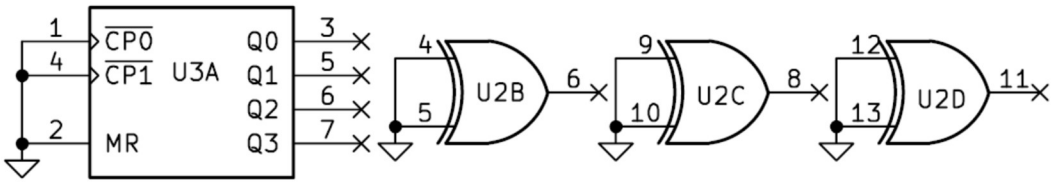
Maar een GPSDO staat vaak continu aan en een opstellocatie van een onbemand stations is vaak lastig toegankelijk, ik houd er daarom niet van om op het randje van de specificaties te zitten en kies altijd voor veiligheid en betrouwbaarheid. Om dezelfde reden zijn voor R4 en R5 0,5 Watt weerstanden gebruikt, exemplaren van 0,25 Watt zouden kunnen voldoen maar toepassing van 0,5 Watt exemplaren voelt beter en deze zullen minder warm worden. Na de 47 Ω weerstanden is een seriecondensator en een 5 polig laagdoorlaatfilter opgenomen. Resultaat is dat van het blokgolfsignaal een nette sinus wordt gemaakt zonder een DC component. De smoorspoelen zijn overigens ook zo gekozen dat ze de eerder genoemde 100 mA aan kunnen. De output na het filter bedraagt zo'n 12 dBm in 50 Ω.



10 MHz GPSDO

Wat te doen met ongebruikte poorten?

Het is een goede gewoonte (eigenlijk noodzaak) om ook aandacht te besteden aan de ongebruikte poorten van de logica IC's, De uitgangen zijn niet aangesloten, dat is te zien aan een kruisje in het schema. De ingangen hebben een gedefinieerde status gekregen door ze aan massa te leggen. Dit voorkomt onvoorspelbaar gedrag van de IC's door zwevende, en daardoor mogelijk fluctuerende, ingangen.



SuperCap of batterij backup:

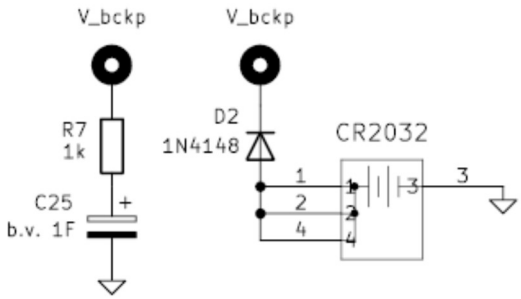
Als de gebruikte GPS ontvanger niet beschikt over de mogelijkheid om instellingen in flash geheugen of EEPROM op te slaan zullen we iets moeten verzinnen om te zorgen dat de instellingen toch worden bewaard als de GPSDO pint, en dus ook de ontvanger, geen spanning heeft. Dat kunnen we doen door toepassing van een SuperCap of een backup batterij. De GPS ontvanger moet hiervoor wel iets aangepast worden, hoe dit gedaan kan worden is later beschreven. De opgenomen stroom uit de SuperCap of backup batterij is zo'n 15 µA.

SuperCap backup:

Een SuperCap zou toegepast kunnen worden als de GPSDO altijd aan staat en alleen een kortdurende spanningsuitval overbrugd hoeft te worden. Afhankelijk van de gekozen condensatorwaarde kan tot een aantal dagen overbrugd worden. Om het instorten van de voedingsspanning bij inschakelen te voorkomen wordt de laadstroom van de SuperCap hier flink begrensd door een 1 kΩ weerstand, de laadtijd is hierdoor wel lang, dat maakt verder niet zoveel uit want de GPSDO staat normaal toch altijd aan. Door de lage ontlaadstroom is de spanningsval over de weerstand te verwaarlozen, deze is slechts 0,015 Volt. Mijn proefopstelling met een 1 F 3,6 Volt SuperCap houdt het net een dag vol.

Batterij backup:

Een backup batterij, zoals de hier toegepaste CR2032 zou de instellingen tot zo'n 1,5 jaar moeten kunnen bewaren. Bij het gebruik van een backup batterij willen we voorkomen dat er stroom de batterij in gaat, een CR2032 is namelijk niet oplaadbaar. Dat is ook de reden dat er een 1N4148 diode in serie opgenomen is met de batterij. De spanningsval over deze diode is, door de geringe ontlaadstroom, gelukkig erg laag en zit zo rond de 0,25 Volt. Aangezien de benodigde minimale spanning voor het bewaren van de instellingen rond de 1,6 tot 1,9 Volt ligt en de spanning van een CR2032 pas instort als de batterij haast leeg is kunnen we de spanningsval over de diode verwaarlozen. Als de GPSDO maar af en toe wordt gebruikt heeft het gebruik van een batterij de voorkeur boven een SuperCap. De benodigde modificaties zijn beschreven in "Ombouw van de GPS ontvanger".



10 MHz GPSDO

Benodigde componenten:

In de onderstaande tabellen staan de benodigde componenten. Bij een aantal componenten staat de opmerking “niet aanbrengen”, deze plekken zijn voor amateurs die willen experimenteren zoals later wordt beschreven. De tabellen gaan uit van opbouw van de GSPDO **met** batterij backup, hiervoor dienen B1 en D2 aangebracht te worden. Heb je een versie met geheugen dan kunnen B1 en D2 dus gewoon weggelaten worden. C24 heeft ook nog een plekje op de print maar wordt nooit aangebracht!

Benodigde componenten elektronisch:

Type	Waarde	Aantal	Nummering op print	Opmerking
Weerstand	18 kΩ	1	R1	0,25W uitvoering
Weerstand			R2	Niet aanbrengen
Weerstand			R3	Niet aanbrengen
Weerstand	47 Ω	2	R4, R5	0,5W uitvoering
Weerstand	1 kΩ	1	R6	
Instelpotmeter			RV1	Niet aanbrengen
Smoorspoel	1 µH	4	L1, L2, L3, L4	
Condensator	330 nF	1	C1	Steek 5 mm, 334
Condensator	100 nF	9	C2, C3, C4, C5, C6, C8, C11, C15, C20	Steek 5 mm, 104
Condensator	100 µF	1	C7	
Condensator	220 µF	1	C9	
Condensator			C10	Niet aanbrengen
Condensator	390 pF	4	C12, C14, C16, C18	391
Condensator	680 pF	2	C13, C17	681
Condensator	1 nF	1	C19	102 of 1n0
Condensator	10 µF	1	C21	
Condensator	100 nF	2	C22, C23	Steek 2,5 mm, 104
Condensator	100 nF	1	C24	Niet aanbrengen
Diode	1N4004	1	D1	
Diode	1N4148	1	D2	
Stabilisator	L7805CV-DG	1	U1	Monteren met koelpasta
IC	74HC86	1	U2	Montage in voetje
IC	74HC390	2	U3, U4	Montage in voetje
IC	74HC14	2	U5, U6	Montage in voetje
OCXO	10 MHz	1	X1	OSC5AB02, C4550A1-0213
Batterij	CR2032	1	B1	Backup batterij
GPS ontvanger	NEO-xxx	1	NEO-xxx	Print, rechte pinheader
GPS antenne	diversen	1		Aansluiten op NEO-xxx
PCB		1		

10 MHz GPSDO

Benodigde componenten mechanisch:

Type	Waarde	Aantal	Nummering op print	Opmerking
IC-voet	14 pins	3	U2, U5, U6	
IC-voet	16 pins	2	U3, U4	
Pinheader	2 pins	1	Pinheader male 2 polig	5 V aansluiting
Pinheader	2 pins	1	Pinheader male 2 polig	LED t.b.v. uitgang GPS
Pinheader	3 pins	1	Pinheader male 3 polig	Seriële poort
Pinheader	5 pins	1	Pinheader female 5 polig	GPS ontvanger
Connector	BNC	3	J1, J2, J3	Female printchassis
Koelprofiel	SK76 25 STS	1	U1	
Batterijhouder	CR2032	1	B1	Batterijhouder voor CR2032
Zekeringhouder	1A	1	F1	1A zekering met houder
Printkroonsteen	2 polig	1	12V aansluiting op PCB	
Afstandsbus	11 mm	1	GPS ontvanger	Inclusief boutje M3x6
Boutje	M3x8	1	U1	Inclusief M3 moer en veerring

10 MHz GPSDO

Bouwbeschrijving van de GPSDO:

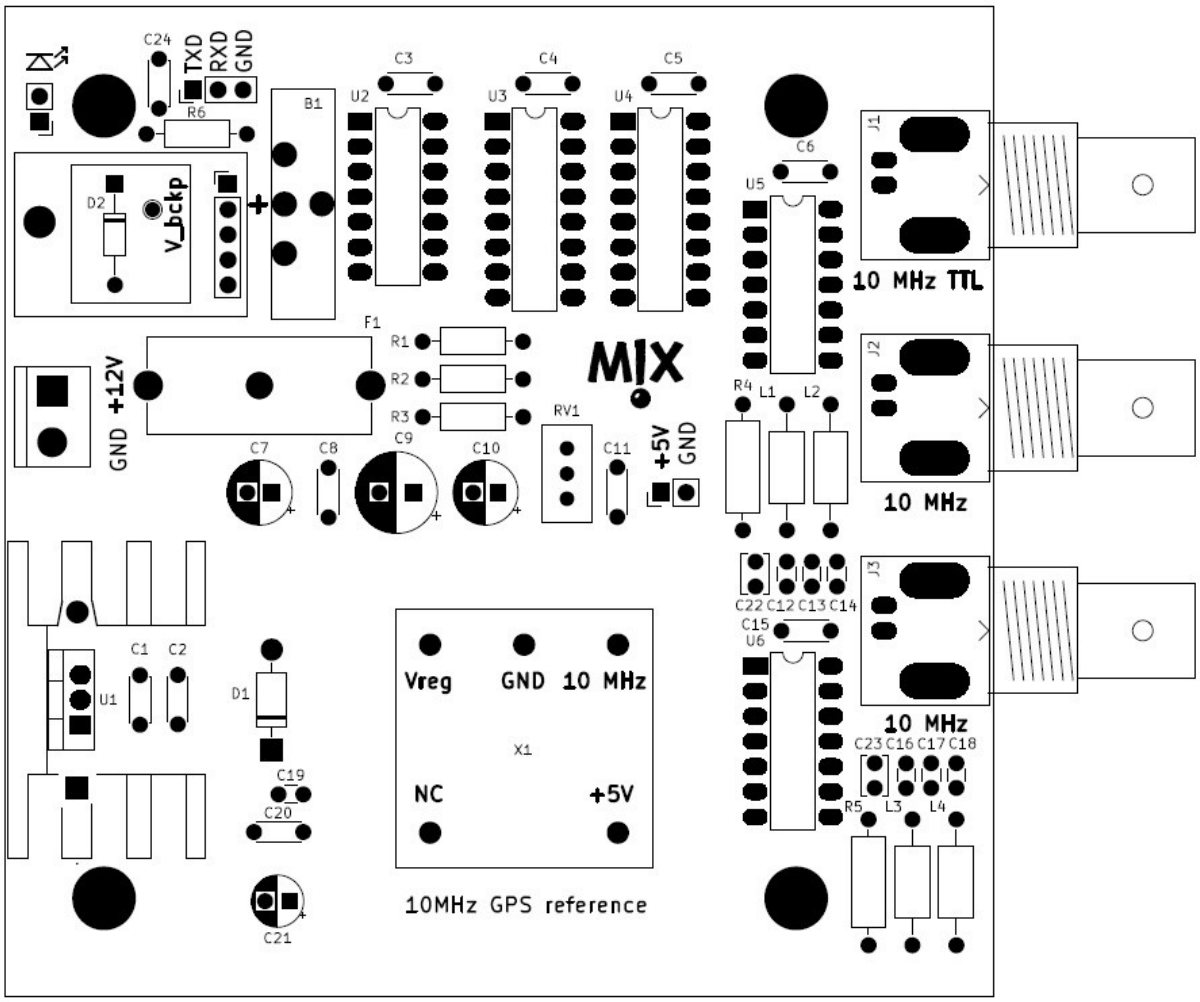
Componenten en locatie op de print:

Nummering op print	Waarde
R1	18 kΩ
R4, R5	47 Ω
R6	1 kΩ
L1, L2, L3, L4	1 µH
C1	330 nF
C2, C3, C4, C5, C6, C8, C11, C15, C20	100 nF, steek 5 mm
C7	100 µF
C8	100 nF
C9	220 µF
C12, C14, C16, C18	390 pF
C13, C17	680 pF
C19	1nF
C21	10 µF
C22, C23	100 nF, steek steek 2,5 mm
D1	1N4004
D2	1N4148
U1	L7805CV-DG met koelprofiel
U2	74HC86 in IC voet 14 pins
U3	74HC390 in IC voet 16 pins
U4	74HC390 in IC voet 16 pins
U5	74HC14 in IC voet 14 pins
U6	74HC14 in IC voet 14 pins
X1	10 MHz OCXO
B1	CR2032 in batterijhouder (indien nodig)
F1	Zekeringhouder
J1, J2, J3	BNC chassideel
-	Printkroonsteen
-	Header 2 polig male, LED
-	Header 2 polig male, 5 Volt
-	Header 3 polig male, seriële poort
-	Header 5 polig female t.b.v. GPS ontvanger
-	GPS ontvanger met afstandbus

- Kies voor de werkspanning van de elco's exemplaren van 16 Volt of hoger.
- Van sommige componenten is de plek op de print niet gemarkeerd, waar deze moeten komen wijst zichzelf, kijk bij twijfel op de foto van de opgebouwde print.

10 MHz GPSDO

Componentenopstelling:

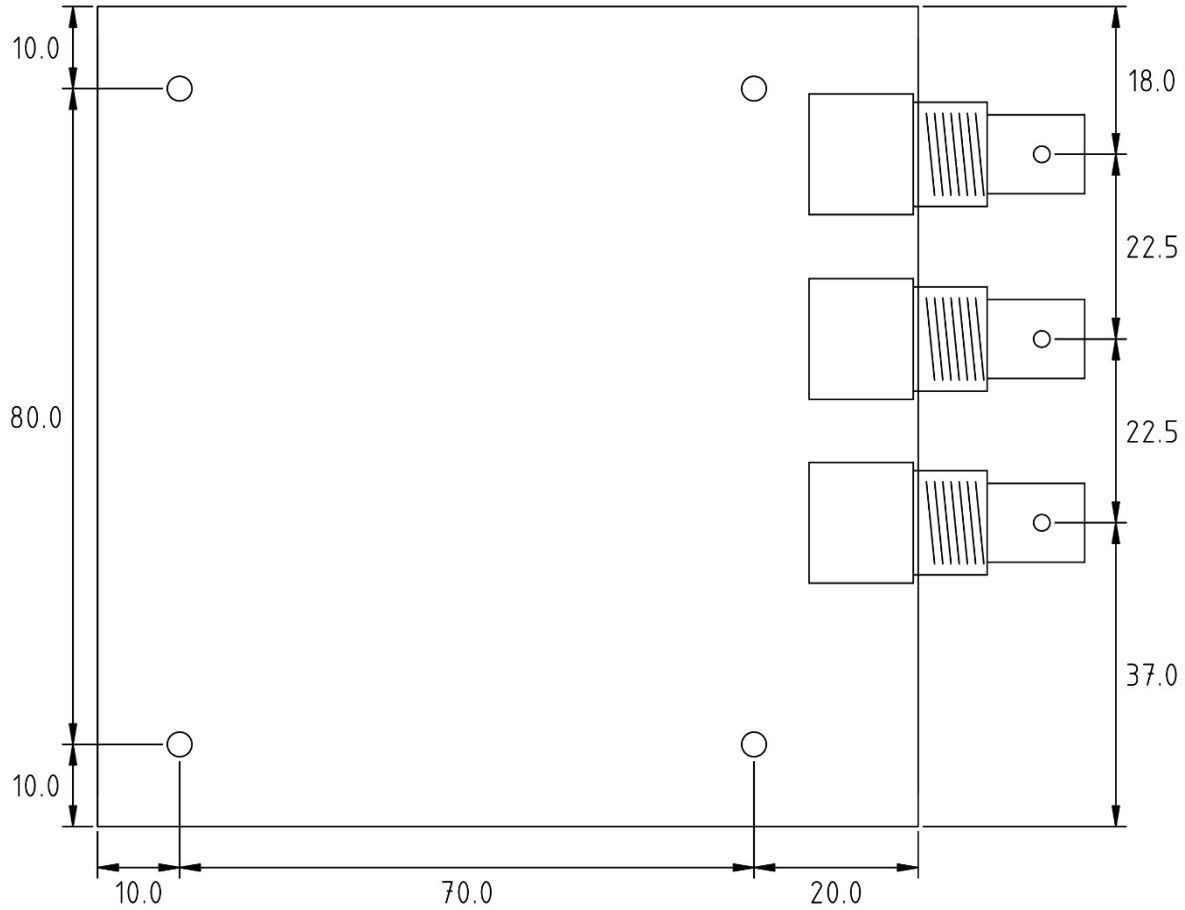


Inbouw van de schakeling:

De afmetingen van de print zijn 10 x 10 cm en deze past bijvoorbeeld in een “eurokaart” behuizing zoals onder andere de GEH EG 1, dit type ik bij Reichelt het goedkoopste verkrijgbaar. De print wordt dan in sleuven in de zijkanten van de behuizing geschoven en gefixeerd door de 3 BNC chassisdelen, aan het front vast te maken. Hiervan zijn verderop in de bouwbeschrijving foto’s te zien. Voor inbouw in een andere behuizing zitten er 4 montagegaten in de print om deze met M3 afstandbussen te kunnen monteren. Op de print is behalve voor een 2 pins pinheader voor de “lock LED” ook nog ruimte voor een tweede 2 pins header, hierop staat de 5V voeding en deze kan gebruikt worden als 5 Volt meetpunt of voor een zelf te verzinnen uitbreiding zoals bijvoorbeeld een Arduino met LCD display voor uitlezing van de GPS positie of weergeven van de UTC tijd. Voor de voeding en antenne-aansluiting van de GPS en de LED moet de bouwer zelf nog iets te regelen. Veel kant en klare kabeltjes of onderdelen hiervoor zijn bijvoorbeeld bij AliExpress of TinyTronics te koop. Monteer de print niet alleen met de BNC chassisdelen hangend aan het frontpaneel als je een behuizing gebruikt zonder sleuven voor de print. Gebruik in dat geval ook minimaal de 2 achterste montagegaten om de print ook aan de bodem van de behuizing vast te zetten. Draai, in verband met de kwetsbaarheid van de plastic schroefdraad, de moeren van de BNC chassisdelen niet te hard aan.

10 MHz GPSDO

Afmetingen van de print:



Het solderen van de print:

Omdat dit geen beginnersproject is gaat het gaat te ver om hier de hele bouw stap voor stap te beschrijven, enige bouwervaring is noodzakelijk. Zelf vind ik het altijd het makkelijkste om een print van laag naar hoog op te bouwen, ik start dan met de laagste onderdelen zoals bijvoorbeeld de liggend gemonteerde weerstanden, spoelen en diodes, daarna de IC voetjes gevolgd door de keramische condensatoren en zo telkens verder. Na het solderen van de hele print test ik eerst de voedingsspanningen om daarna pas de IC's in de voetjes te doen. In dit geval zou je het als volgt kunnen doe; zet de print in elkaar maar plaats de OCXO, de GPS-ontvanger en de IC's nog niet. Dit zijn de duurste onderdelen en daar zijn we voorzichtig mee. Sluit na een visuele controle de voedingspanning aan en als er geen rookeffecten te zien zijn kunnen we op alle IC-voetjes meten of daar de 5 Volt voedingsspanning aanwezig is. Dat is op pin 14 voor U2, U5 en U6 en pin 16 voor U3 en U4. Meet meteen of de OCXO en de GPS-ontvanger ook 5 Volt krijgen. Monteer daarna de OCXO, GPS ontvanger en IC’s. Uiteraard wordt dit gedaan zonder spanning op de print! Plaats daarna, indien toegepast, ook de CR2023 batterij. Vergeet niet om de GPS-ontvanger te programmeren met de juiste instellingen, de instructies hiervoor zijn verderop beschreven.

10 MHz GPSDO

Tips bij de bouw:

- Zoals eerder gezegd, vergeet de koelpasta niet bij het monteren van de stabilisator U1.
- De female header voor de GPS ontvanger is het makkelijkst te solderen door de afstandsbus te monteren en de GPS ontvanger met daarop de female header (tijdelijk) op de print te klikken. Dan kan de GPS print dusdanig uitgelijnd worden dat deze netjes recht op de print zit. Soldeer dan pas de female header vast. De juiste manier van het monteren van de afstandsbus is op de foto te zien, de afstandsbus wordt op de GPSDO print geschroefd, op deze manier zit de GPS ontvanger goed vast met de minste speling.

- De plastic schroefdraad van de BNC chassisdelen is kwetsbaar, draai de moer er daarom voorzichtig en recht op. Desnoods eerst even een stukje linksom draaien tot je voelt dat de schroefdraad "pakt" en dan rechtsom vastdraaien. **Draai de moer niet te hard aan, het plastic van de schroefdraad op het chassisdeel is fragiel!**
- Een fijne tool om de IC pootjes netjes te buigen zodat ze makkelijk in de voetjes gestoken kunnen worden is o.a. bij Conrad verkrijgbaar (artikel 2623584 - 62).

- Kabeltjes en connectoren voor de pinheaders zijn onder andere verkrijgbaar bij AliExpress of TinyTronics. De zoekterm hiervoor is "Dupont".
- Heb je een USB TTL converter op een printje zonder bescherming? Isoleer deze dan met bijvoorbeeld krimpkous, ik heb er al een gesloopt die kortsluiting maakte op de werktafel tijdens het meten ☹
- Door de seriële poort naar buiten te brengen kunnen we met de PC kijken welke satellieten we ontvangen of de ontvanger programmeren. We kunnen hiervoor bijvoorbeeld de USB TTL converter in de kast bouwen. Hiervoor zijn diverse oplossingen verkrijgbaar. Zoek bijvoorbeeld op "USB panel adapter". Een alternatieve methode met gebruik van een USB-C aansluiting is verderop bij het voorbeeld van de inbouw in een eurokaart behuizing te zien.

- Verzamel je zelf de onderdelen voor deze print, kijk dan goed of je de juiste GPS ontvanger bestelt! Er past maar één soort print, gelukkig is deze goed verkrijgbaar.
- Kwaliteitscontrole kennen ze denk ik niet in China, controleer bij tegenvallende ontvangst of de SMA connector wel aan beide zijden is gesoldeerd. Ik heb er al bij diverse ontvangers de kern en massa van de SMA connector mogen solderen.
- Maak gebruik van een antistatische mat en polsbandje bij het modificeren van de GPS ontvanger!
- Gebruik **GEEN**, nee echt **GEEN** vertinde draden in de printkroonsteen! Waarom niet wordt ook weer verderop in dit document uitgelegd.

10 MHz GPSDO

Ombouw van de GPS ontvanger:

Test de GPS ontvanger voor modificatie:

Test voor de modificatie van een GPS ontvanger of deze goed werkt, dat kan door hem in de GPSDO print te zetten, van een antenne te voorzien en uit te lezen met de U-Blox software. Bij een defect is het namelijk lastig om aan te tonen dat een geleverde GPS ontvanger niet werkt, bij AliExpress is geen inhoudelijke kennis aanwezig en men geeft al snel aan dat het geleverde bewijs onvoldoende is.
Tip: Koop een "Choice" item want je kunt deze indien nodig retourneren door aan te geven dat je een item niet meer nodig hebt. Deze kan dan gratis teruggestuurd worden en uiteindelijk zou je je geld terug moeten krijgen, dat laatste kan wel even duren.

Vervanging pinheader:

Voor het gebruik van een GPS ontvanger van het aangegeven type op de GPSDO print dient altijd de 5 polige haakse pinheader vervangen te worden door een recht exemplaar.

Hoe kunnen we de instellingen van de GPS ontvanger bewaren:

Zoals hieronder te lezen zijn er 3 mogelijkheden om de instellingen van de ontvanger te bewaren.

Ontvanger met (niet vluchtig) geheugen:

Je kunt geluk hebben, je hebt een GPS ontvanger met een werkend niet vluchtig geheugen en de instellingen worden opgeslagen. Diode D2 en batterijhouder B1 hoeven niet op de GPSDO print gemonteerd te worden want de backup batterij is niet nodig. De ontvanger hoeft, op vervanging van de header na, niet gemodificeerd te worden.

Gebruik van een SuperCap:

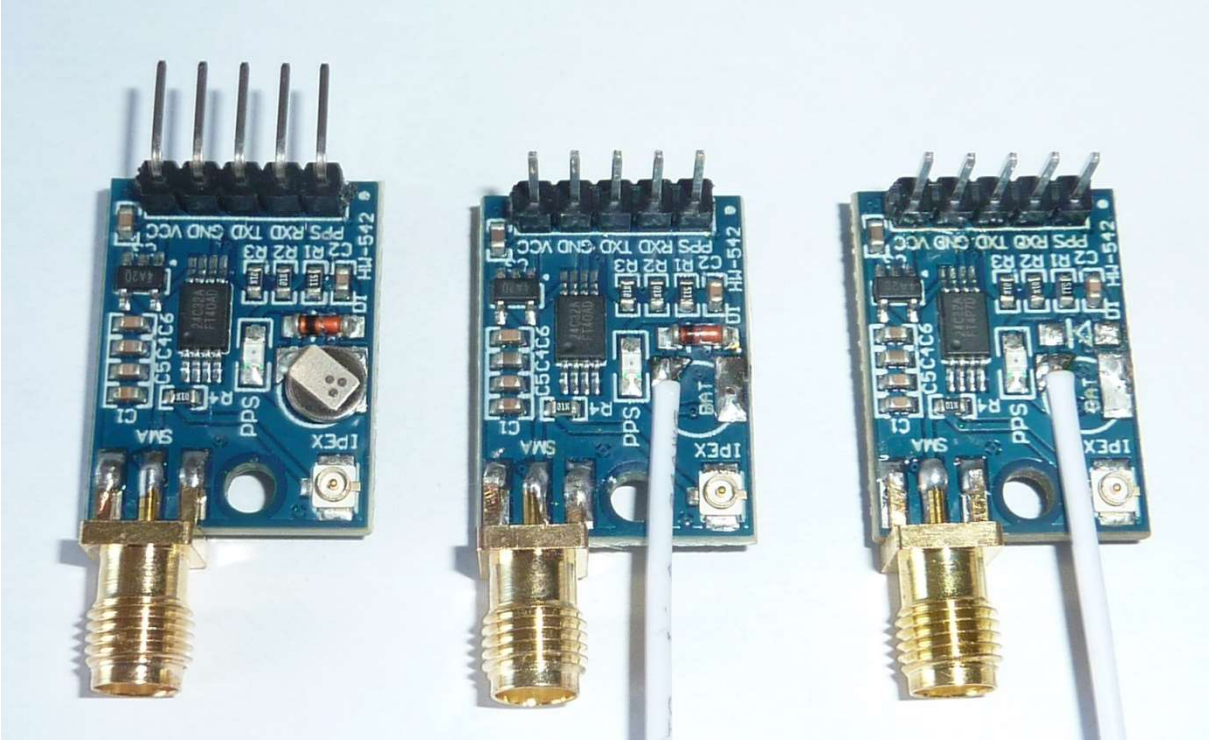
Als we gebruik willen maken van een SuperCap wordt op de plek van D2 op de GPSDO print een 1 kΩ weerstand gemonteerd en de SuperCap komt op de plek van B1. Er moet een draadje worden gelegd van de GPS ontvanger naar aansluiting V_bckp op de GPSDO print. Ik heb een test gedaan met een 1 F 3,6 Volt SuperCap en deze hield de instellingen net een dag vast.

Gebruik van een backup batterij:

Bij gebruik van een backup batterij moeten diode D2 en batterijhouder B1 gemonteerd worden. Er moet ook weer een draadje worden gelegd van de GPS ontvanger naar aansluiting V_bckp op de GPSDO print. Een CR2032 zou het tot zo'n 1,5 jaar vol moeten houden.

Overigens kan in plaats van batterijhouder B1 ook een batterijhouder voor bijvoorbeeld 2 Penlights (AA batterij) worden aangesloten. Deze gaan helemaal lekker lang mee en zullen wellicht eerder gaan lekken dan dat ze leeg raken. De batterijhouder wordt dan op de print aangesloten op de plek van B1 en zal een mooi plekje ergens in de behuizing moeten krijgen. Of je kiest voor een batterijhouder die je in de buitenkant van de behuizing kunt monteren. Er zijn dus legio mogelijkheden.

10 MHz GPSDO



Originele ontvanger **SuperCap modificatie** **Batterij modificatie**

De modificaties op de foto:

Op de bovenstaande foto zien we aan de linkerkant een originele ontvanger met hierop nog de haakse pinheader. In alle gevallen kan de originele kleine SuperCap verwijderd worden maar dit is in bij een GPS ontvanger met werkend niet vluchtig geheugen niet noodzakelijk. Als je deze laat zitten heb je een snellere GPS lock als de ontvanger niet al te lang is uit geweest. Voor gebruik met een externe SuperCap of backup batterij moet deze, i.v.m. de hoge zelfontlading, wel verwijderd worden. De middelste GPS ontvanger op de foto is een gemodificeerde ontvanger voor SuperCap backup. De kleine SuperCap op de GPS print is verwijderd, de diode laten we zitten. De rechter ontvanger is gemodificeerd voor gebruik met een backup batterij. Behalve de kleine SuperCap wordt nu ook de diode verwijderd. Ook is te zien waar het draadje voor de backup op aangesloten moet worden.

Backup aansluiting op de GPSDO print:

Zowel bij toepassing van een SuperCap als van een batterij voor backup moet er nog een draadje worden gelegd van de + aansluiting van de positie van de kleine SuperCap op de GPS print naar de V_bckp aansluiting op de GPSDO print. De volgende foto laat dit duidelijk zien.

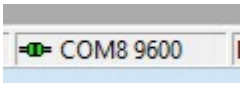
10 MHz GPSDO

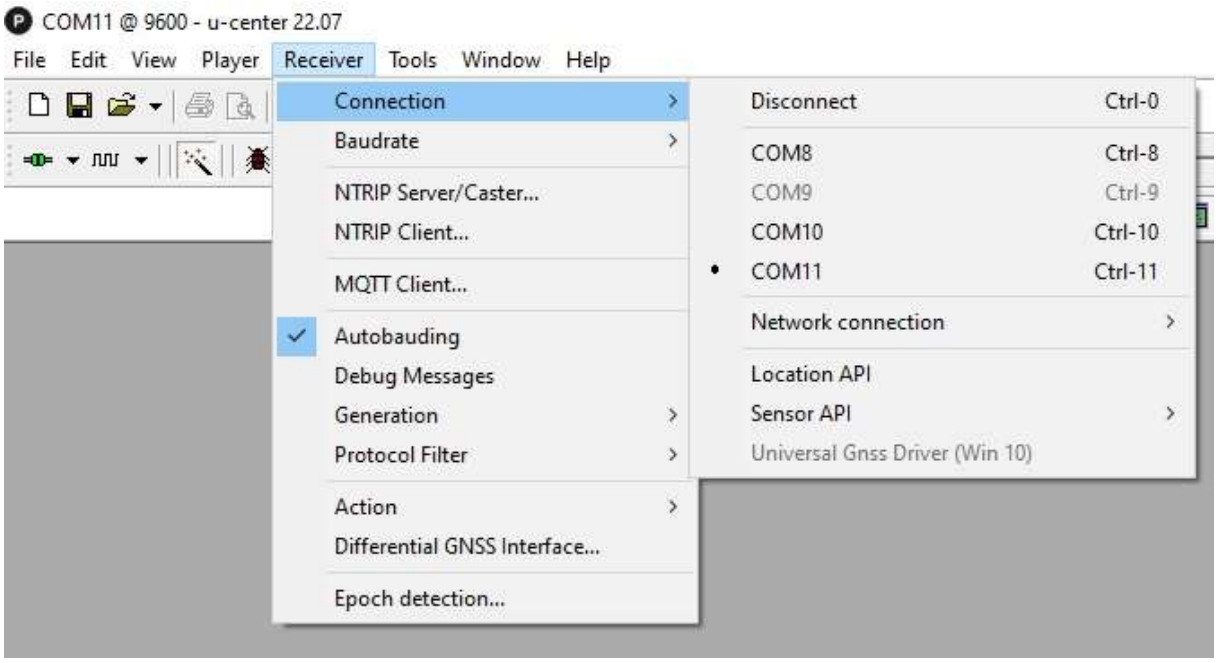
Programmeren van de GPS ontvanger:

Een aantal fabrieksinstellingen zullen we moeten aanpassen. Omdat we een “snelle” regeling van de uitgangsfrequentie willen gebruiken we de GPS ontvanger niet met de standaard 1 seconde puls maar met een 10 kHz uitgangssignaal. Verder zou het fijn zijn als de module alleen gebruik maakt van GPS signalen, niet van bijvoorbeeld GLONASS of Beidou. Ook de SBAS functie wordt uitgezet. De redenen om voor deze instellingen te kiezen worden later beschreven.

Installatie van de software en verbinden met de GPS ontvanger:

- Download u-center (**niet versie 2!**) van de U-blox website (zie internetlinks) en installeer deze.
- Sluit de GPSDO print via een TTL-serieel (USB-A, USB-C of RS232) converter aan op de PC. Deze converters zijn bij AliExpress of TinyTronics in alle soorten en maten verkrijgbaar. Er moeten 3 draden worden aangebracht tussen converter en de GPSDO. GND komt aan GND, de RX van de converter moet naar de TX van de GPSDO print en andersom. Kijk in apparaatbeheer van de computer of de drivers voor de TTL-serieel converter zijn geïnstalleerd en welke com-poort hieraan is toegekend. De GPS ontvanger werkt op 3,3 Volt, de converter moet dit niveau van de pulsen aankunnen.
- Voorzie de GPSDO print van voedingsspanning.
- Start u-center op.
- Maak verbinding met de GPS ontvanger, ga hiervoor naar het tabblad “Receiver”, kies “Connection” en selecteer vervolgens de juiste poort. Onder in het u-center scherm is te zien of er communicatie is, de baudrate wordt normaal gesproken automatisch bepaald, zie vinkje.

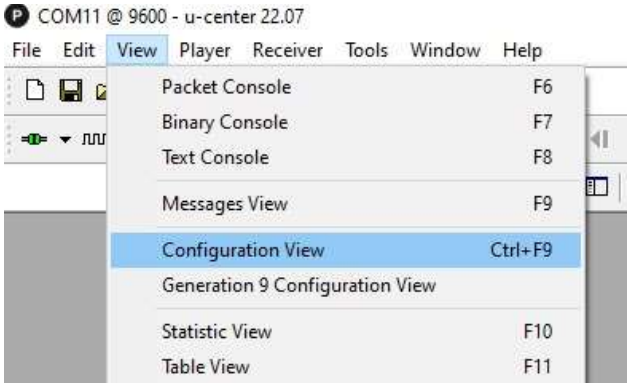




10 MHz GPSDO

Instellingen opvragen van de GPS ontvanger:

- Vraag de instellingen op door naar het tabblad “View” te gaan en te kiezen voor “Configuration view”, met <Ctrl> + <F9> kunnen de instellingen ook direct worden opgeroepen.

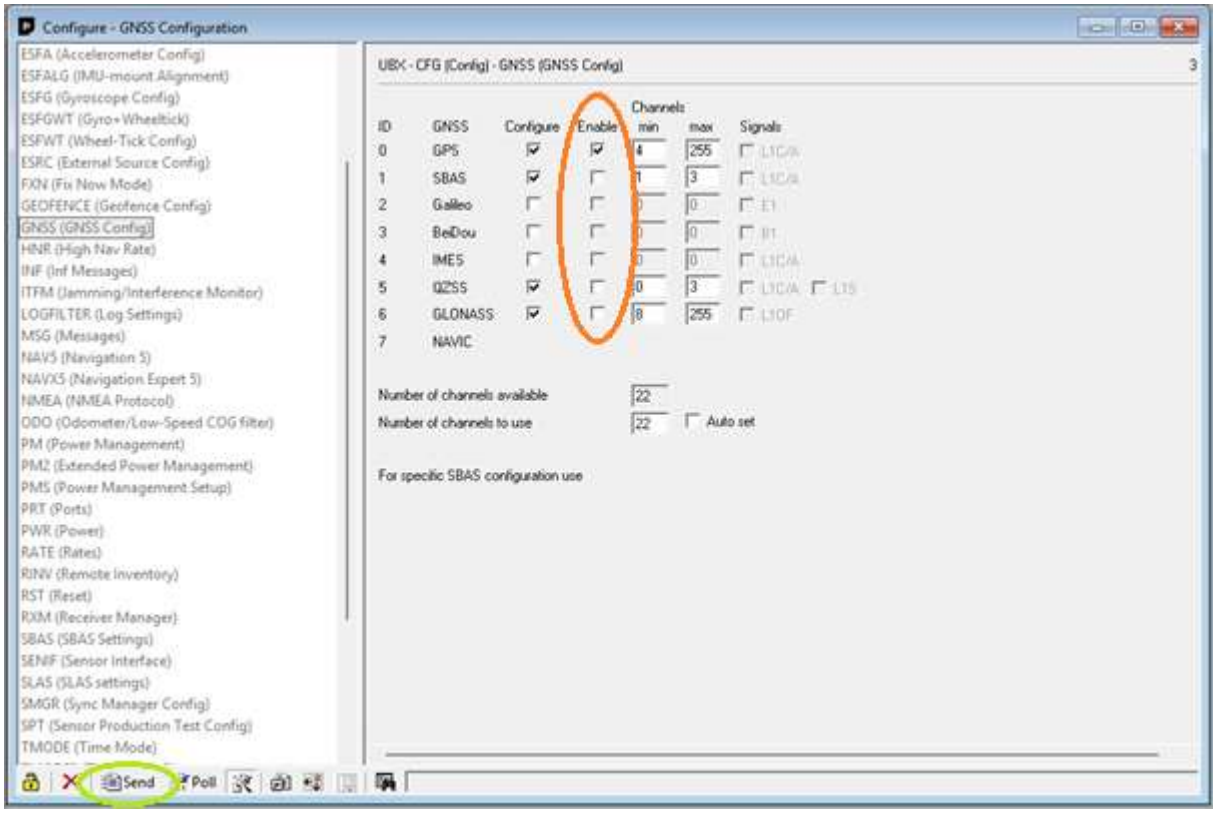


Aanpassen van de instellingen:

Pas de instellingen aan zodat ze hetzelfde zijn als in de volgende plaatjes. Druk na aanpassingen in een scherm op de “Send” knop linksonder in het venster om de instellingen naar de GPS ontvanger te sturen. De “Poll” knop kan gebruikt worden om de instellingen van de GPS opnieuw in te lezen.

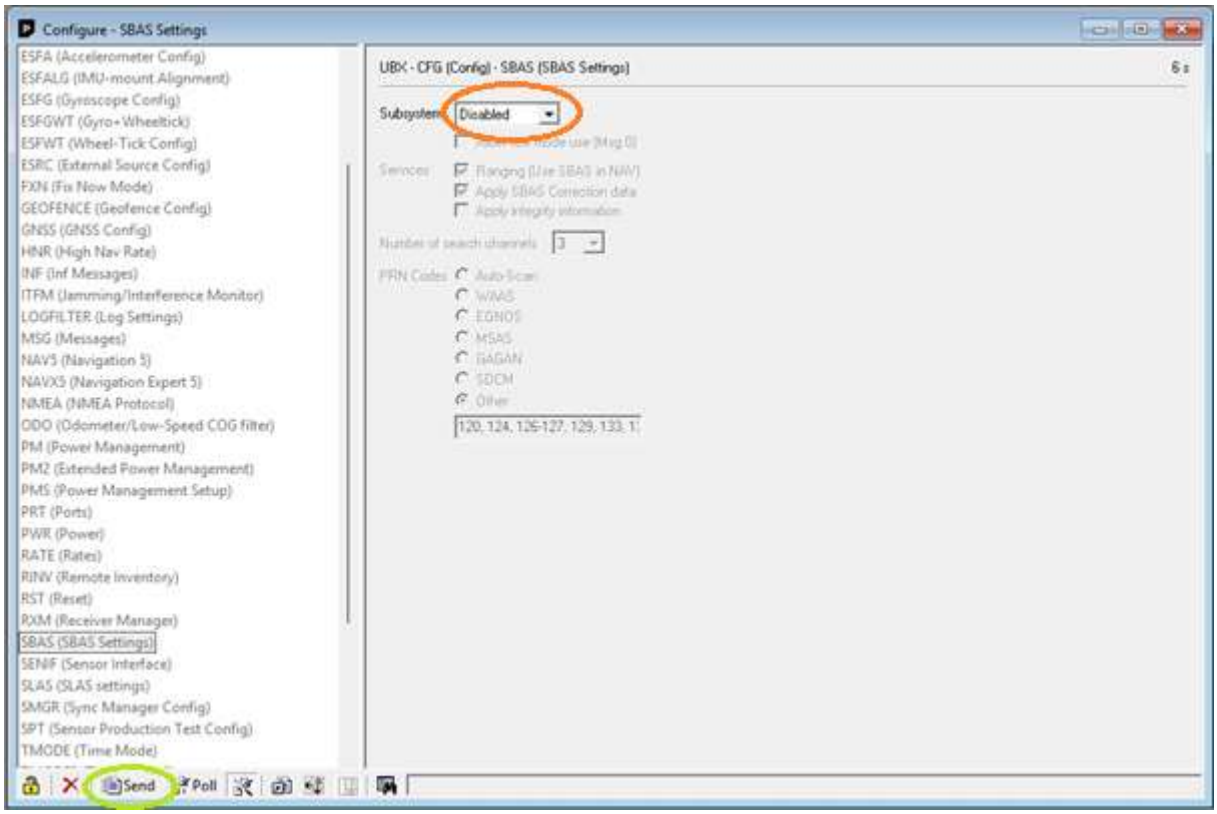
- Enable in het “GNSS config” alleen GPS en disable alle andere systemen, druk hierna op “Send” (groen omkaderd).

➢ **Alleen de settings in het met oranje omrande gedeelte hoeven aangepast te worden. De overige settings en getallen doen er niet toe en kunnen anders zijn! In sommige gevallen kan het nodig zijn om bij “GPS” ook eerst een vinkje bij “Configure” te zetten.**



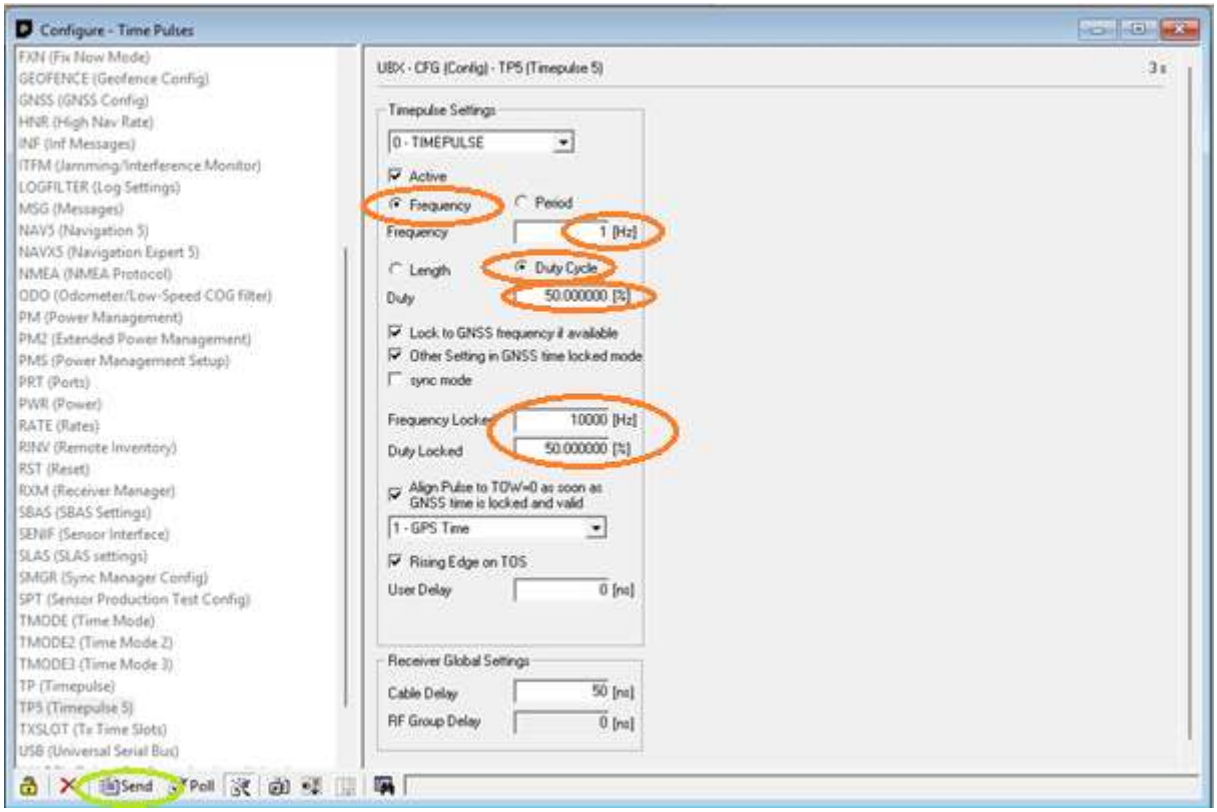
10 MHz GPSDO

- Disable in het “SBAS settings” scherm het “Subsystem”, druk hierna op “Send”.

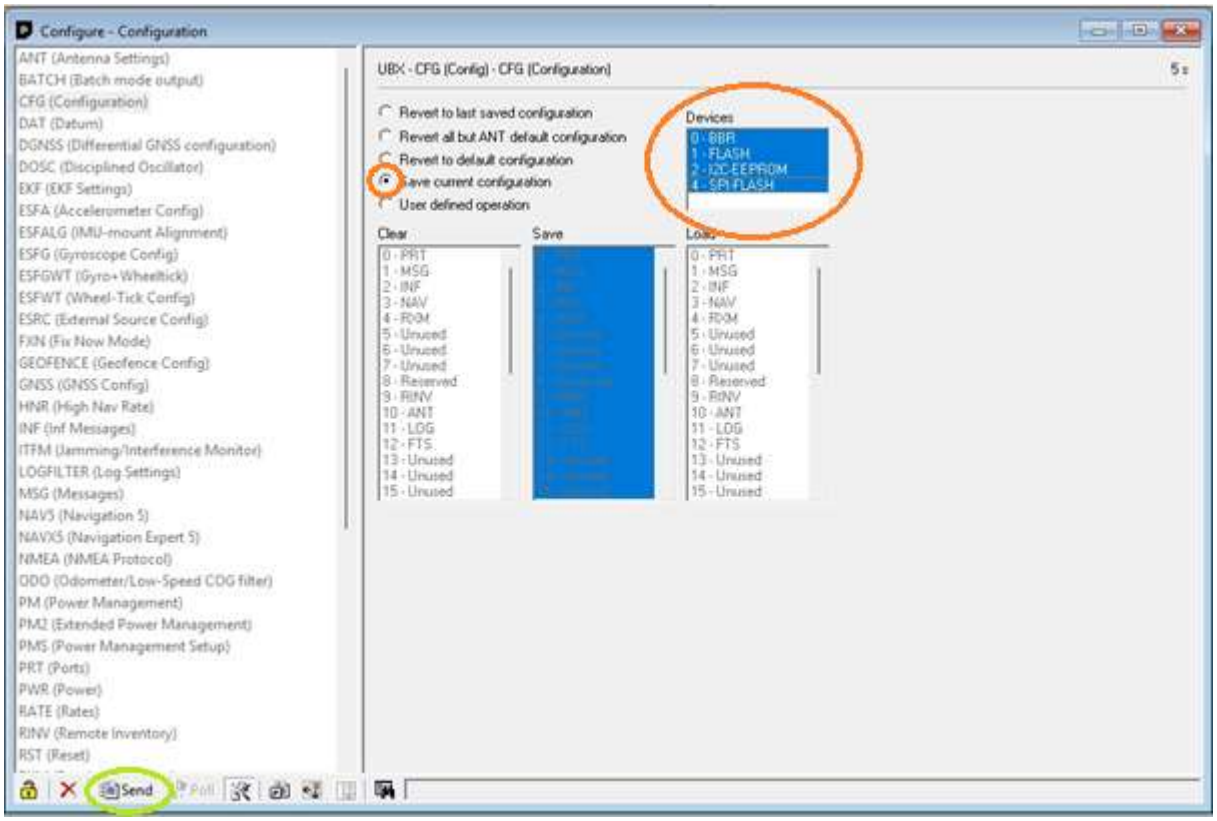


10 MHz GPSDO

- Configureer de TP5 (Timepulse 5) instellingen als volgt, van boven naar beneden:
  - Kies voor “Frequency” in plaats van “Period”.
  - Stel “Frequency” in op 1 Hz.
  - Kies voor “Duty Cycle” in plaats van “Length”.
  - Stel “Duty Cycle”in 50%.
  - Stel “Frequency locked” in op 10000 Hz.
  - Stel “Duty Locked” in op 50%.
  - Druk op “Send”.
  - ➢ **De rest van de settings doen er niet toe en kunnen afwijken van wat hier is getoond.**



- Ga naar boven naar het CFG (Configuration) scherm, kier hier voor “Save current configuration”, selecteer dan alle “Devices” en druk vervolgens op “Send”.



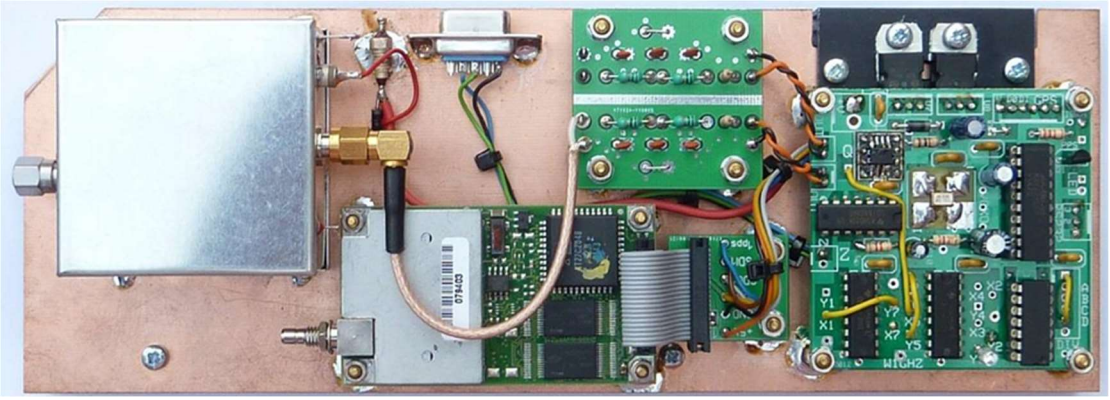
- Als er een backup batterij is geïnstalleerd of je hebt een ontvanger die met flash geheugen of EEPROM werkt dan zullen al deze instellingen worden bewaard. Zo niet dan gaat de GPS ontvanger na spanningsuitval terug naar de fabrieksinstellingen.
- **Het blijkt dat bij sommige GPS ontvangers de GNSS en/of SBAS settings niet op te slaan zijn, deze worden geprogrammeerd maar gaan weer terug naar een default na uit en aanzetten. Zolang de TP5 instellingen bewaard blijven (de LED knippert meteen bij aanzetten) is dit geen probleem.**

Modificaties, tips, trucks en wetenswaardigheden:

TCXO of OCXO:

Een TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator) is een kristaloscillator die speciaal is ontworpen om de effecten van temperatuurveranderingen te verminderen door gebruik te maken van een thermistor of andere temperatuurgevoelige onderdelen. Een OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator) is een kristaloscillator waarbij het kristal actief verwarmd en op een constante temperatuur gehouden wordt. Hierdoor wordt een OCXO vrijwel niet beïnvloed door temperatuurveranderingen en is daardoor veel stabieler dan een TCXO. Zoals eerder genoemd, maakten we bij de W1GHZ GPSDO's gebruik van TCXO's, het kleine zilveren rechthoekige onderdeel in het midden van de print op de foto op de volgende pagina. De GPSDO op de foto zit in de buitenunit van de 3cm WebSDR en staat daar in weer en wind, wat natuurlijk niet ideaal is.

10 MHz GPSDO



Aangezien OCXO's tegenwoordig goed betaalbaar en makkelijk te krijgen zijn, bijvoorbeeld als "ex equipment" via AliExpress, ligt het voor de hand om een OCXO te kiezen in een nieuw ontwerp. Nu lijkt de TCXO er misschien niet zo goed af te komen in dit verhaal, maar dat is niet helemaal eerlijk. Vergeleken met een "normale" kristaloscillator zijn de specificaties van een TCXO echt veel beter. Een groot voordeel van een TCXO is dat hij weinig stroom verbruikt en klein is. Dat laatste zorgt er ook wel weer voor dat de TCXO een kleinere (thermische) massa heeft en daardoor gevoeliger is voor omgevingsinvloeden. De OCXO wordt actief op temperatuur gehouden, is goed geïsoleerd en is dus nauwkeuriger. Een OCXO heeft ook wel wat nadelen, het grotere formaat en het hogere stroomverbruik zijn daar voorbeelden van. Bij het type dat we hier gebruiken is dat maximaal 250 mA na het opwarmen. Dit kan betekenen dat een OCXO niet geschikt is voor bepaalde toepassingen, zoals bijvoorbeeld apparatuur die op batterijen werkt. Maar als die OCXO's al zo stabiel zijn, waarom gebruiken we dan ook nog een GPS ontvanger? De uitgangsfrequentie van een OCXO kan iets afwijken, deze kan er tot wel een aantal Hertz naast staan maar is dan wel heel stabiel. Door nu met de GPS te vergelijken zorgen we dat de gewenste uitgangsfrequentie ook zo goed mogelijk klopt.

TCXO en OCXO = VCTCXO en VCOCXO:

Meestal worden de afkortingen TCXO en OCXO gebruikt terwijl de juiste afkortingen voor deze GPSDO toepassingen VCTCXO en VCOCXO zijn. Hierbij staat de VC voor "Voltage Controlled", de uitgangsfrequentie is dan door het aansluiten van een externe gelijkspanning iets bij te regelen. Nagenoeg alle OCXO's zijn zo instelbaar, TCXO's komen we ook vaak tegen in een uitvoering waarvan de frequentie niet regelbaar is. Op de beschreven GPSDO print kunnen de CTI OSC5AB02 VCOCXO en de Vectron C4550A1-0213 VCOCXO toegepast worden.

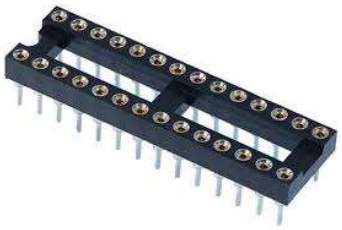
Thermische isolatie van de OCXO:

Op de print is een ruimte van ± 7,5 mm rondom de OCXO gehouden, zoals eerder genoemd wordt de OCXO warm en op deze manier zitten er bijvoorbeeld geen elco's in de buurt die door een hogere bedrijfstemperatuur sneller uitdrogen. Deze ruimte kan ook gebruikt worden voor extra thermische isolatie van de OCXO. We zien dat hiervoor vaak Tempex (piepschuim) of een ander isolerend materiaal zoals zachtschuim voor wordt toegepast. Hierdoor loop je wel een risico op een te goede warmte-isolatie en zal de OCXO flink opwarmen en zijn warmte vasthouden. Het is de vraag of dit niet een constant te hoge werktemperatuur oplevert wat de regeling negatief kan beïnvloeden maar ook de levensduur verkort. Ideaal is een isolatie die er voor zorgt dat tocht geen invloed heeft maar ook dat de temperatuurregeling goed blijft werken en de OCXO een teveel aan warmte kwijt kan.

De toegevoegde waarde van isolatie vind ik zelf discutabel, ik heb geen grote verschillen kunnen meten tussen wel en niet geïsoleerde OCXO's. Bij OCXO is namelijk door de fabrikant nagedacht over de beste constructie en is deze gespecificeerd voor niet geïsoleerd gebruik. Bij sterk en snel veranderende omgevingsomstandigheden kan het wellicht wel een verschil maken en kan het de moeite waard zijn hier mee te experimenteren. Meten aan een "kale" print op de werktafel in de shack of in een voldoende grote isolerende Tempex doos maakte wel wat verschil, inbouw in een ruime behuizing met passieve koeling zonder luchtflow heeft dus zeker voordelen.

Loopfilter experimenten:

Het loopfilter in de standaard uitvoering bestaat uit R1 en C9, in sommige GPSDO ontwerpen zijn ook R2 en C10 aan het loopfilter toegevoegd. Uit mijn experimenten is gebleken dat de waarden van R1 en C9 zoals vermeld in de onderdelenlijst bij mij het beste resultaat gaven. Ik heb ook nog geëxperimenteerd met diverse waarden voor R2 en C10. Dit gaf geen verdere verbetering te zien zodat deze niet standaard worden aangebracht. Voor de experimenteerders onder ons is hiervoor wel plek op de print gereserveerd. Omdat het meerdere malen in en uit solderen van componenten tijdens metingen niet bevorderlijk is voor conditie van de printplaat heb ik tijdens de experimenten op de plekken van de genoemde componenten busjes uit IC voetjes gemonteerd, wel afkomstig uit de goede "gedraaide" voetjes. Componenten kunnen nu simpel geplaats en weer verwijderd worden om een configuratie te testen zonder dat de print beschadigd.



OCXO met voorspanning:

Standaard is het regelbereik van de gebruikte OCXO zo'n 25 Hz, dat is best fors vergeleken met de uiteindelijke 10 MHz uitgang die nauwkeurig is binnen ± 6 mHz. Door het OCXO van een voorspanning te voorzien is een nauwkeurigheid te halen van ± 1 mHz. We regelen daarvoor de OCXO eerst zonder de GPS correctie, vrijlopend dus, zo nauwkeurig mogelijk af 10 MHz. Voor het afregelen hiervan heb je wel een nauwkeurige frequentieteller nodig. Door de voorspanning op de OCXO gaat de uiteindelijke frequentienauwkeurigheid omhoog, het regelbereik omlaag en de regeling wordt er ook een stuk trager door. Zeer geschikt voor in de shack maar niet voor portabel gebruik. Het corrigeren van de uitgangsfrequentie wordt dan voor dat doel onbruikbaar langzaam. Als we deze modificatie willen uitvoeren moet de GPSDO zeker in een behuizing ingebouwd worden zodat het geheel zo temperatuurstabiel mogelijk wordt. De gebruikte OCXO's zijn "ex equipment" en hebben waarschijnlijk al lang niet onder spanning gestaan. Voor we de uitgangsfrequentie gaan afregelen moet de OCXO lang aan staan. In een ander door mij nagebouwd ontwerp zag ik na enkele weken nog steeds (een hele kleine) verschuiving in de correctie die nodig was om de uitgang precies op 10 MHz te krijgen. De waarden die ik heb gebruikt tijdens mijn experimenten zijn R1 = 2M2, R3 = 180 kΩ, RV1 = 10 kΩ, C9 = 470 µF. Breng eerst R3 en RV1 aan, regel dan de OCXO (na zeer langdurige opwarming) zo nauwkeurig mogelijk af op 10 MHz (liefst binnen enkele millihertzen). Breng daarna pas de andere componenten aan. Dit is door mij op maar één exemplaar getest dus enig experimenteren met componentwaarden kan nodig zijn. Voor de meeste van onze toepassingen is deze modificatie eigenlijk overbodig.

10 MHz GPSDO

Waarom welke GPS instellingen?

Vanuit de fabriek zijn de meest instellingen al correct voor ons gebruik, toch moeten we er nog wat aanpassen.

Outputfrequentie:

Eerder is al aangegeven dat we 10 kHz gebruiken als vergelijkingsfrequentie, dit kunnen we in de GPS ontvanger instellen. Deze frequentie is aan te passen bij TP5 (Timepluse 5). Er zijn twee verschillende frequenties te programmeren, één als de GPS ontvanger nog geen lock heeft, de andere als de ontvanger wel gelocked is aan de GPS satellieten en een geldige 3D positiebepaling heeft. Voor dat laatste zijn, afhankelijk van het type ontvanger, 4 tot 5 satellieten nodig. De eerste frequentie stellen we in op1 Hz, de tweede op 10 kHz. Om een nette symmetrische puls te hebben stellen we de duty cycle voor beiden in op 50%.

Lock indicatie:

Op de GPS ontvanger zelf zit een LED aan TP5 uitgang die via een serieweerstand met de plus van de voeding verbonden is. Deze knippert op de frequentie van de ingestelde puls, standaard knippert deze met een frequentie van 1 Hz als er een positie lock is. We hebben deze nu zo geprogrammeerd dat deze knippert met 1 Hz zodra de ontvanger aan staat en met 10 kHz zodra er een lock is. De 10 kHz zien wij als een LED die continu aan is. Op de GPSDO print zit bij de GPS ontvanger een aansluiting voor een LED te herkennen aan het symbooltje op de print. Door deze LED een plaatsje op het front te geven kunnen we de status van de ontvanger en de backup batterij zien:

Na aanzetten, LED:		**Na 3D lock, LED:**	
1 Hz knipper	OK	Aan (10 kHz)	OK
Uit	Batterij moet vervangen en instellingen opnieuw geprogrammeerd	1 Hz knipper	Batterij moet vervangen en instellingen opnieuw geprogrammeerd

Let op: Gebruik voor de LED een type met een zo klein mogelijk stroomverbruik, de serieweerstand is met 1 KΩ redelijk groot omdat we de PPS uitgang niet te veel willen belasten. De NEO modules werken op een voedingsspanning van 3,3 Volt, gebruik daarom een rode of een groene LED. Rode en groene LED's hebben de kleinste spanningsval. Een blauwe of een witte LED bijvoorbeeld hebben een spanningsval van zo'n 3,6 Volt en zullen dus nooit gaan branden op 3,3 Volt.

Een zijstapje naar SBAS:

We zagen al eerder dat we de SBAS functie uit hebben gezet, dit wordt overigens ook door U-Blox aanbevolen als je gebruik wilt maken van de beste "tijdpuls performance". SBAS (Satellite-Based Augmentation System) is een systeem dat de nauwkeurigheid van de ontvangen GPS-signalen verhoogt. Dit systeem bestaat uit extra satellieten en grondstations die de GPS-gegevens corrigeren en verbeteren, zodat de locatie preciezer wordt berekend. Een geweldig optie voor plaatsbepaling maar zonder verder op de werking in te gaan kleven er voor ons gebruik wat nadelen aan:

- SBAS werkt door aanvullende signalen van grondstations en extra satellieten wat betekent dat het systeem complexer is dan standaard GPS. Als er een probleem is met een van de grondstations of satellieten kan de nauwkeurigheid verslechteren.

- De correcties die SBAS biedt zijn niet altijd real-time, daardoor kan er enige vertraging optreden in het updaten van de GPS-informatie. Dit kan bijvoorbeeld optreden bij veranderingen in de atmosfeer.
- SBAS is minder betrouwbaar in stedelijke gebieden of in gebieden met veel obstakels, denk hierbij bijvoorbeeld aan hoge gebouwen, bomen of bergen. Dit wordt veroorzaakt doordat de signalen van de satellieten mogelijk niet goed of (ook) via reflecties worden ontvangen.

GNSS, alleen GPS enabled:

De NEO's zijn zogenoemde GNSS ontvangers waarbij GNSS staat voor "Global Navigation Satelite System". GNSS is een verzamelnaam voor alle plaatsbepalingssystemen, GPS valt onder GNSS samen met bijvoorbeeld Galileo, Beidou en GLONASS. De laatste wordt samen met GPS het meeste gebruikt. We disabelen in de instellingen alle GNSS systemen behalve GPS. We hebben hier in Nederland een goede GPS en GLONASS dekking maar vergeleken met GLONASS biedt GPS een hogere nauwkeurigheid voor timingsignalen en daar willen we natuurlijk van profiteren. Interessante zaken over GPS en specifiek de NEO-M8N ontvanger zijn te lezen in de "Receiver Description", ook het SBAS systeem komt daarin uitgebreid aan bod (document UBX-13003221, zie internetlinks).

De GPS antenne:

Voor een correcte werking van de GPSDO is goede GPS ontvangst vereist! Voor een stabiele uitgangsfrequentie dient het GPS signaal zo goed mogelijk te zijn. Minimaal is een 3D fix van de ontvanger nodig, dan is de ontvanger, afhankelijk van de chipset, gelockt aan 4 tot 5 satellieten. De ontvangen signalen moeten zoveel mogelijk vrij zijn van reflecties, een buitenantenne is daarom aan te raden. Het is beter om de 10 MHz uitgang van een lange kabel te voorzien en de GPSDO bijvoorbeeld ergens anders te plaatsen dan concessies te doen aan kabbellengte of positie van de antenne. Omdat het zo belangrijk is nogmaals: **Zorg voor een goede GPS ontvangst!**

Bij experimenten binnenshuis worden vaak de platte GPS-antennes met een magneet of tape gebruikt, te zien op de foto rechts. Deze zijn vooral gevoelig naar boven toe en minder naar de zijkanten. Helaas is dat "boven" vaak ook de plek waar een dak en/of verdiepingsvloer in de weg zit. Beiden zorgen voor een flinke ongewenste demping. Ik heb goede resultaten bereikt door zo'n antenne schuin, bijvoorbeeld onder 45 graden, door het raam naar buiten te laten "kijken". Dat maakte soms het verschil tussen geen lock, zelfs niet na een hele tijd aan staan, of een stabiele lock binnen enkele tientallen seconden. Het toepassen van een stuk metaal onder de antenne als groundplane kan ook schelen. Het kan dus lonen om te experimenteren met wat het beste resultaat geeft. Ik heb zelf een GPS-TMG-26N antenne buiten staan, ook onze WebSDR's maken van dit type antenne gebruik. De GPS-TMG-26N is een zeer goede antenne en met wat geduld is deze ook voor een nette prijs op bijvoorbeeld Ebay te krijgen. Een goede ontvangst is echt noodzakelijk voor een goede werking van de GPSDO! Bij een slechte ontvangst kan een goede, betrouwbare en continue lock lang duren of zelfs niet mogelijk zijn. Voor de status van de ontvangen satellieten en het bereiken de 3D lock kun je de puls LED in de gaten houden (indien toegepast) of de ontvangst bekijken via de seriële uitgang. Dat kan met de U-Blox software of met een gratis programma zoals bijvoorbeeld VisualGPS. Op het internet zijn veel projecten met een Arduino en een LCD display te vinden voor de uitlezing en weergave van bijvoorbeeld positie, tijd en ontvangen satellieten.

10 MHz GPSDO

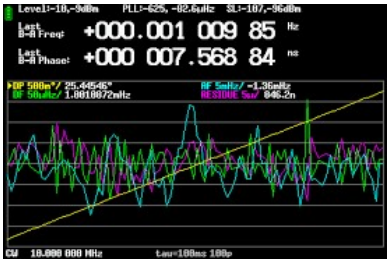
De printkroonsteen gebruiken of draad solderen:

De printkroonsteen kan worden gebruikt om de voeding aan te sluiten, je kunt deze ook weg laten om de voedingsdraden direct op de print te solderen. Gebruik in **GEEN** geval een combinatie van deze twee methoden! Monteer **NOOIT** vertinde draden in de printkroonsteen! Soldeertin heeft namelijk de neiging te gaan vervormen oftewel “kruipen” onder mechanische druk. Na verloop van tijd zit een vertinde draad los in de koonsteen. De beste (en meest fraaie) oplossing is om bij gebruik van flexibele draad draadhulzen (adereindhulzen) toe te passen, een tang met bijbehorende draadhulzen heb je al voor minder dan € 20 bij AliExpress.

KiCad voor het schema en printlayout:

Het schema en de printlayout zijn getekend in KiCad. KiCad is een gratis schema en layout tekenpakket met daarbij ook een koppeling tussen beide functionaliteiten, het risico op fouten wordt daarmee een heel stuk kleiner. Ik was al langer van plan om de overstap te maken van Sprint-Layout naar KiCad en dat gaat het makkelijkste als je er een project voor hebt. Je loopt dan tegen de praktische problemen aan en kunt deze dan aanpakken in plaats van klakkeloos een tutorial te volgen. Ik heb bij dit traject goede hulp gehad van een boek van Peter Dalmaris, “KiCad Like A Pro” (Fundamentals and Projects, 4e editie). Hierdoor is de overstap relatief makkelijk gegaan en is KiCad zeker een blijvertje.

Uitgevoerde metingen:



Alle metingen zijn gedaan met de TinyPFA, een ontwerp van Erik PD0EK en verkrijgbaar bij de Eleshop. Ook kun je een nanoVNA-H4 zelf voorzien van de TinyPFA firmware. Je hebt dan een leuke en compacte analyser die zeer nauwkeurig frequentie en faseverschillen kan meten tussen de signalen op beide ingangen. Metingen moeten natuurlijk uitgevoerd worden met als vergelijking een nauwkeurigere referentiefrequentie. Dat was in mijn geval een ingebouwde Samsung GPSDO print met een DOXCO, een OCXO met een dubbele oven. Aangezien de verschillen die we willen zien zeer klein zijn is het van belang om de meetopstelling zo stabiel mogelijk te maken zodat elke invloed op de meting geminimaliseerd wordt. Ik heb hiervoor de TinyPFA in een koffer met isolerend schuim gebouwd met de USB aansluiting en beide ingangen aan de buitenzijde. De te meten GPSDO werd in een Tempex doos geplaats voor maximale isolatie en het creëren van zo stabiel mogelijke omstandigheden. Na een opwarmtijd van minimaal 1 uur werden er 3 metingen gedaan waarvan de beste en de slechtste niet werden gebruikt. De gebruikte coaxiale kabels in de meetopstelling waren zoveel mogelijk dubbel geïsoleerd, bijvoorbeeld RG223 coax. Ik heb ook RG58 coaxkabels gebruikt maar deze zo neergelegd dat ze niet konden bewegen. De metingen zijn gedaan in de shack met de deur dicht terwijl ik daar zelf niet aanwezig was. Een nauwkeuriger referentie had ik niet tot mijn beschikking, alle in dit document genoemde resultaten zijn dus altijd ten opzichte van de eerder genoemde, en als print rechts zichtbare, DOCXO.

10 MHz GPSDO

Is dit de beste GPSDO? Nee, zeker niet: 😉

Ik hoor regelmatig dat er “betere” GPSDO’s zijn of dat een bepaald ontwerp de beste GPSDO is. Vaak blijkt dan tijdens het gesprek dat het “beter” zijn gekoppeld is aan één specifiek gebruiksdoel. Een bekend ontwerp is bijvoorbeeld dat van Yannick dat te vinden is op internet. Een uitstekend, leuk en zeer stabiel ontwerp wat ik ook met veel plezier heb nagebouwd. Deze is echter door de zeer lange opwarmtijd niet geschikt voor gebruik in het veld maar wel zeer goed voor in een shack waar de GPSDO continu aan staat. De opzet van de 50 Ω uitgang met maar 2 poorten parallel bevalt me dan weer wat minder. Er zijn ook GPSDO ontwerpen met goede specificaties die lastig na te bouwen zijn door de gebruikte specifieke componenten of door toepassing van SMD’s. Goed of slecht bestaat in deze dus eigenlijk niet zonder daarbij het gebruiksdoel en de randvoorwaarden te definiëren. Het hier gepresenteerde ontwerp is een makkelijk nabouwbare en universeel inzetbare GPSDO maar daardoor ook een beetje een compromis. De bereikte stabiliteit is voor ons als amateurs echter meer dan voldoende. In de shack kunnen we de GPSDO gebruiken voor een (relatief) snelle meting zonder de GPSDO een dag van tevoren aan te hoeven zetten. Ook als frequentiereferentie voor bijvoorbeeld transverters, in de shack of in het veld, is deze GPSDO perfect geschikt.

Als het niet meteen werkt?

Ik ga er van uit dat je de print al goed visueel gecontroleerd hebt op slechte solderingen en sluitingen. Controleer voor de zekerheid of je meetkabels en meetprobes in orde zijn. Twijfel bij problemen niet meteen aan jezelf maar probeer de fout te lokaliseren door de schakeling stap voor stap na te lopen. Is de voedingsspanning overal aanwezig? Geeft de OCXO een 10 MHz signaal? Dit kunnen we meten op pin 1 van U6. Daarna een controle van de 1000 deler, op pin 12 van U4 komt de 10 MHz binnen, op pin 13 en pin 4 meten we 1 MHz, op pin 3 van U4 en pin 12 van U3 100 kHz en uiteindelijk op pin 13 van U3 en pin 2 van U2 10 moeten we 10 kHz zien. Op pin 1 van U2 moeten we de 10 kHz kunnen meten van de GPS ontvanger, dit signaal heeft een 3,3 Volt niveau. Is dit signaal niet aanwezig dan kan het zijn dat de GPS ontvanger geen of niet voldoende satellieten ontvangt of niet goed geprogrammeerd is. Op het knooppunt van R1 en C9 is een gelijkspanning te meten, dit is de regelspanning voor de OCXO. Als dat allemaal werkt blijft alleen controle van de output nog over. Meet eerst op de ingangen en dan de uitgangen van U5 en U6. Daarna kun je in het geval van een 50 Ω output na het filter meten.

Sluit niets bij voorbaat uit! Ik heb bij het ontwikkelen van de schakeling en de print 74HC390’s van een gerenommeerde leverancier ontvangen welke allemaal niet bleken te werken, daar kun je dus lang naar zoeken! Waarschijnlijk was dit een verkeerd gestempelde of defecte batch.

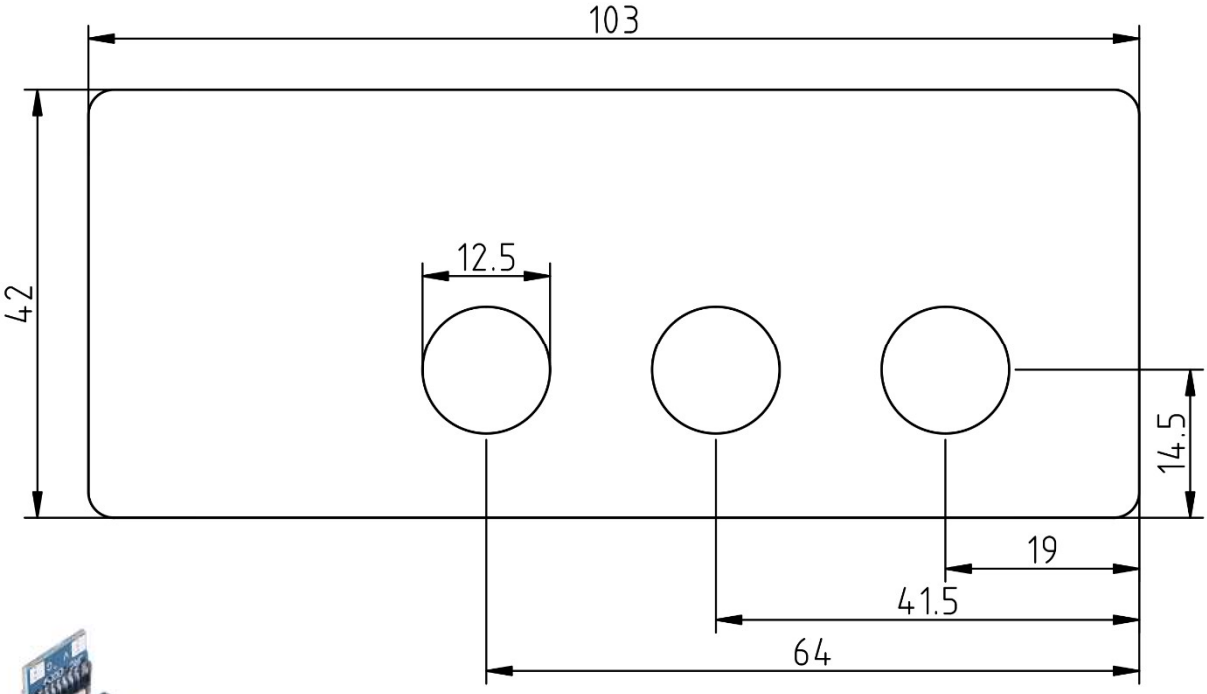
Zijn er bouwpakketjes van?

Voor de VERON afdeling Eindhoven (A13) is er éénmalig een batch bouwpakketjes samengesteld als afdelingsproject. Aangezien de samenstelling van deze pakketjes zeer tijdsintensief is kan (lees wil) ik dat niet combineren met een gezin en een drukke baan. En dan heb ik het nog niet eens over het voorfinancieren van alle componenten. Mocht je dit ontwerp willen nabouwen neem dan even contact met me op om te kijken wat er bijvoorbeeld nog aan printen beschikbaar is. Buiten de “specials” van AliExpress zijn alle gebruikte componenten redelijk courant en te vinden bij bijvoorbeeld Reichelt.

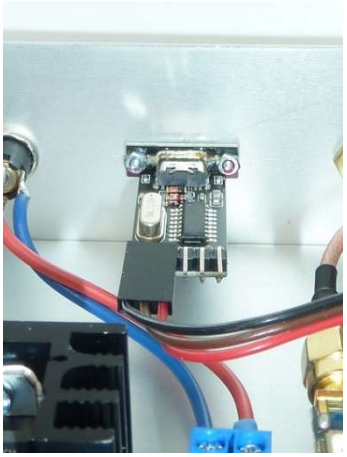
10 MHz GPSDO

Voorbeeld van een ingebouwde GPSDO print:

Zelf heb ik de GPSDO ingebouwd in de eerdergenoemde eurokaart behuizing van Reichelt. Type nummer is GEH EG 1, afmetingen zijn 168 x 103 x 42 mm, zie internetlinks. Het frontje is het lastigste, ik heb de maten volgens onderstaande tekening gebruikt maar controleer deze zelf ook nog een keer! Het kan voorkomen dat er een kleine maatafwijking in de kastjes zit, daarbij kan ook ik een foutje maken 😉 De BNC's zitten "net aan" vastgeschroefd op het front vanwege de kwetsbaarheid van de plastic schroefdraad.



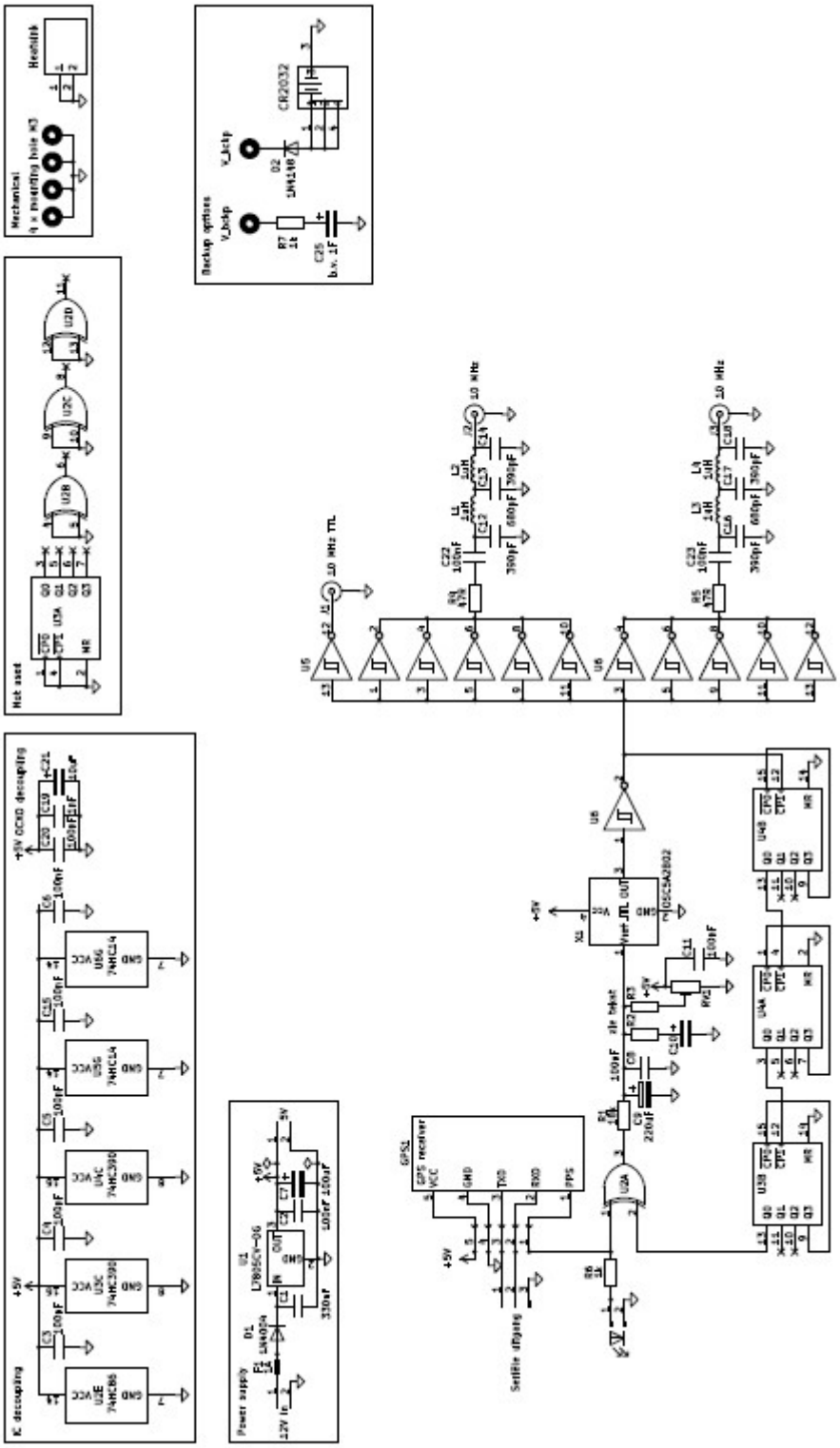
Op de achterzijde zitten de aansluitingen voor de voedingsspanning, de PC en de GPS antenne. Voor de PC aansluiting heb ik een USB-C naar TTL converter ingebouwd. Bij AliExpress zijn USB-C aansluitingen verkrijgbaar voor frontmontage. Als we hier de USB-C connector van los solderen kunnen we hier een USB-C naar TTL converter voor in de plaats solderen. Het printje van de converter is breder dus moeten we het vanaf de achterkant monteren met M2 boutjes, zie foto. Als we een nette uitsparing maken in de achterkant ziet het er prima uit. De meeste USB-C kabels hebben geen problemen met de extra dikte van de achterwand.



10 MHz GPSDO

10 MHz GPSDO

Volledige schema:



10 MHz GPSDO

Specificaties:

	Waarde	Opmerkingen
Voedingsspanning	± 9 - 12 Volt	Liefst zo laag mogelijk i.v.m. warmteontwikkeling
Stroomopname opwarmen	± 550 mA	Met beide 50 Ω uitgangen belast
Stroomopname bedrijf	± 300 mA	Met beide 50 Ω uitgangen belast
Output TTL	5V	TTL niveau
Output 50 Ω uitgangen	± 12 dBm	Per uitgang
Opwarmtijd	± 10 minuten	Bij goede GPS ontvangst
Let op het maximale ingangsniveau van de aangesloten apparatuur! Gebruik indien nodig een verzwakker.		

Internetlinks:

http://www.jrmiller.online/projects/ministd/frqstd.htm
http://www.w1ghz.org/PCBproj/PCB_projects.htm#GPSlock
https://www.instructables.com/GPSDO-YT-10-Mhz-Lcd-2x16-With-LED/
https://www.u-blox.com/en/product/u-center
https://www.u-blox.com/docs/UBX-13003221
https://www.visualGPS.net/
https://www.kicad.org/
https://www.tinydevices.org/wiki/pmwiki.php?n=TinyPFA.Homepage
https://www.tinytronics.nl/
https://www.eleshop.nl/
https://www.reichelt.com/nl/nl/
https://www.reichelt.com/nl/nl/shop/product/euro-behuizing_i-50423

Bouw en gebruik zijn op eigen verantwoordelijkheid:

De risico's die gepaard gaan met het bouwen van en eventuele modificaties aan de schakeling evenals het gebruik ervan zijn volledig voor rekening van de bouwer. De ontwerper stelt de schakeling en in sommige gevallen ook print en onderdelen ter beschikking maar is op geen enkele manier verantwoordelijk voor de toepassing hiervan of eventuele schade die hierdoor ontstaat.

Deze schakeling is bedoeld als een project voor radioamateurs en elektronica hobbyisten met enige aantoonbare ervaring in het bouwen van schakelingen en heeft tot doel zelfbouw te bevorderen. Om deze reden mag dit PDF-document vrij gedeeld worden met anderen maar uitsluitend op voorwaarde dat het niet gepubliceerd wordt op internet in welke vorm dan ook. Publicatie omvat onder meer het plaatsen van het document op websites of andere online platforms. Het delen of publiceren op andere manieren is uitsluitend toegestaan na voorafgaand overleg met de ontwerper.

Alle mogelijke fouten, typfouten en vergissingen zijn, ondanks de uiterste zorg die aan de inhoud is besteed, voorbehouden. Mocht je toch onjuistheden of fouten tegenkomen, dan stel ik het op prijs als deze aan mij gemeld worden.