



GPS DISCIPLINOVANÝ OSCILÁTOR (ETALÓN FREKVENCIE) 10,000 000 00x MHz

Úloha

1. Podľa predloženej schémy zapojenia navrhnete motív plošného spoja.
2. Navrhnutý motív plošného spoja preneste na dosku plošného spoja.
3. Plošný spoj vyrobte.
4. Osadíte súčiastky.
5. Zariadenie oživte.

Úvod

V praktickej časti budete stavať extrémne presný a stabilný oscilátor s frekvenciou 10 MHz. Pre domáce, alebo školské laboratórium získate etalón frekvencie s presnosťou atómových hodín.

K dispozícii máte obojstranné dosky plošných spojov potiahnuté fotocitlivou vrstvou o veľkosti 100x160 mm. Presná veľkosť Vášho návrhu plošného spoja nie je daná, z materiálu použijete toľko, koľko potrebujete.

Súbory so schémou pre návrhový systém Eagle si stiahnete z <http://www.cern.ch/zenit>

Hotový projekt pomenujte Vaším súťažným číslom (napr. A01.brd, A01.sch) a nahrajte ho do úložiska (kliknutím na linku v pdf zadania).

Použitie autoroutra, ako aj akejkoľvek externej pomoci je na súťaži zakázané. Porušenie nariadenia bude penalizované diskvalifikáciou.

Konštrukcie zo ZENIT-u sú u študentov veľmi populárne napríklad ako praktické maturity. Radi by sme Vás upozornili, že ide o chránené autorské dielo a na prebratie akejkoľvek jeho časti do Vašej maturitnej, alebo inej práce je nutné mať súhlas autorov (kontakt na konci dokumentu) a dielo sa musí správne citovať s uvedením plnej referencie zdroja.

Hodnotenie

Za praktickú časť možno získať maximálne 80 bodov. Hodnotenie praktickej časti je nasledovné:

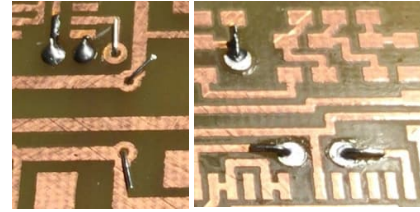
- Návrh plošného spoja maximálne 20 bodov
- Kvalita spájkovania maximálne 15 bodov
- Čistota vyhotovenia maximálne 5 bodov
- Funkcia zhotoveného zapojenia maximálne 40 bodov, z toho (kategória B/kategória A):
 - Blok oscilátora 10/15 bodov
 - Termostat 10/10 bodov
 - Fázový detektor a fázový záves 10/10 bodov
 - Mikrokontrolér, indikátory, pripojenie ku GPS modulu 10/5 bodov

Celková kvalita návrhu dosky (rozmiestenie súčiastok, elektrická kvalita dosky, návrh motívu, počet a rozmiestnenie prepojok, celková veľkosť dosky...) sa hodnotí v rámci parametra „Návrh plošného spoja“.

Poznámky k návrhu plošného spoja

Navrhujete plošný spoj pre vysokofrekvenčný obvod. Kvalita návrhu je kritická pre funkčnosť obvodu. Používajte krátke a priame spoje. Súčiastky umiestnite blízko seba.

Celá spodná strana dosky je zemná rovina, nakreslite si polygón do vrstvy Bottom a pomenujte ho GND. Pripojenie na zem sa realizuje prepokami. Ak má mať vodič signálu GND dĺžku väčšiu ako 10-15 mm, použite priechodku na zemnú rovina. Doporučený spôsob prechodu medzi vrstvami obojstrannej dosky je „prekovená“ diera (v Eagle Via), priemer vrtáku 0,6-0,8 mm, priemer plôšky min. 2,2 mm. Do diery sa z oboch strán vloží, zafixuje a zaspájkuje krátky drôt, viď. fotografie.



Pozorne si prečítajte nasledovné inštrukcie, majú priamy vplyv na Vašu úspešnosť a bodové hodnotenie:

- **Použitie autoroutra je zakázané. Porušenie nariadenia bude penalizované diskvalifikáciou.**
- **Návrh plošného spoja v pravidelných intervaloch ukladajte.**
- **Na strane súčiastok nepoužívajte polygóny**
- **Všetky súčiastky aj drôtové prepokky musia byť osadené na strane súčiastok plošného spoja.**
- Použite raster 0,635 mm
- Celú spodnú stranu obojstrannej dosky využite ako zem (GND)
- Aby ste vedeli správne priložiť film na dosku, vždy umiestnite do návrhu dostatočne dlhý čitateľný text. Doporučujeme „STRANA SÚČIASTOK“ do vrstvy TOP. Tento text musí byť čitateľný aj na priloženej fólii.
- Súčiastky a spoje musia byť umiestnené v rovnakej vrstve, inak nebudú prepojené, alebo budú zrkadlovo otočené (...v Eagle musia mať rovnakú farbu)
- Doporučená šírka spoja a medzery je min. 0,6 mm. Veľmi krátke spoje sa dajú realizovať aj 0,4 mm

Oživenie a odovzdanie konštrukcie

Súťažiaci majú k dispozícii oživovacie pracovisko, kde môžu svoj výrobok pred odovzdaním otestovať. Problémy, ktoré súťažiaci zistia a opravia pred oficiálnym odovzdaním výrobku sa do hodnotenia nezapočítavajú. Problémy, ktoré sa zistia pri oficiálnom odovzdaní hodnotiacej komisii sa do finálneho hodnotenia započítavajú.

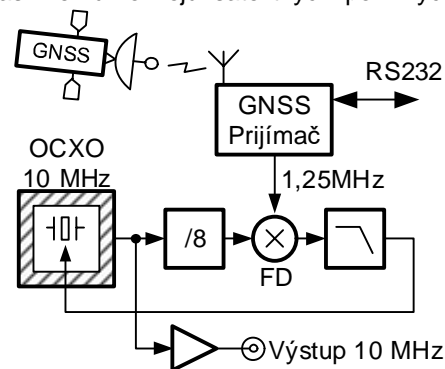
Zapojenie je navrhnuté modulárne a jednotlivé bloky sa dajú oživiť aj samostatne. V prípade časovej tiesne nemusíte navrhovať alebo osadzovať kompletný plošný spoj. Výrobok bude možné oživiť aj po častiach. Súťažiacemu sa podľa stupňa rozpracovanosti stále udelia body za dokončenú a funkčnú prácu.

Popis zapojenia

Pre niektoré aplikácie je nutné mať k dispozícii signály s veľmi presne známou frekvenciou, alebo naopak, ak chceme merať frekvenciu neznámeho signálu, potrebujeme presnú referenciu s ktorou sa neznámy signál porovnáva. Frekvenciu bežných RC, alebo LC oscilátorov dokážeme udržiavať len na úrovni percent (10^{-2}), čo nie je pre meracie aplikácie veľmi užitočné. Lepšie parametre dosahujú kryštálové oscilátory (10^{-5} - 10^{-7}), najkvalitnejšie termostatované kryštálové oscilátory sú stabilné a presné na úrovni 10^{-10} . Ak naša aplikácia vyžaduje ešte vyššiu stabilitu, musíme prejsť na atómové hodiny. V súčasnosti najstabilnejšie atómové hodiny realizujú aktívny vodíkový maser (10^{-14}) a Céziová fontána (10^{-15}). Takto stabilných oscilátorov je na celej planéte ale len niekoľko kusov a sú extrémne drahé. Vďaka masívnemu rozvoju satelitných pozičných systémov (GNSS - global navigation satellite system, t.j. GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) však máme presnú frekvenciu a presný čas doslova na dosah ruky. Kompletné prijímače navigačných signálov nie sú väčšie ako integrovaný obvod, stoja jednotky až desiatky Eur a sú bežne dostupné.

Spôsob ako sa dá generovať kvalitný signál o presnej frekvencii bez vlastníctva atómových hodín, je spojiť vysoko kvalitný a vysoko stabilný kryštálový oscilátor s GNSS prijímačom. Kryštálový oscilátor bude generovať kvalitný signál so stabilnou frekvenciou, jej presnú absolútnu hodnotu ale nepoznáme. Prijímač satelitného signálu naopak generuje presne známou frekvenciu, ale kvalita signálu nie je vysoká.

Pomocou tzv. fázového závesu (PLL) dokážeme odfiltrovať nedokonalosti GNSS signálu a riadiť frekvenciu oscilátora, tak aby mala presnú hodnotu 10,000 000 00x MHz. Ak navrhne a použijeme extrémne kvalitný a stabilný kryštálový oscilátor (čo je náš prípad), bude dokonca stačiť ak budeme oscilátor len "disciplinovať",



t.j. veľmi voľne riadiť jeho frekvenciu, tak aby jej hodnota bola presná. Bloková schéma obvodu je na vloženom obrázku.

Základ konštrukcie tvorí napätím riadený, termostatovaný kryštálový oscilátor (OCXO) v topológii Colpitts. Vďaka sponzorovi môžeme použiť najkvalitnejší typ kryštálu aký v súčasnosti existuje, tzv. SC-rez. Kryštál prevádzkujeme na tretej harmonickkej. Oscilátor by ale kmital na všetkých frekvenciách, kde je splnená podmienka oscilácií. Preto pomocou rezonančného obvodu L2-C7 naladeného medzi prvú a tretiu harmonickú musíme potlačiť nežiaduce oscilácie na 3,333 MHz a vyberieme 10,000 MHz. Druhý rezonančný obvod L1-C6 potláča parazitný rezonančný mód kryštálu typu SC, ktorého frekvencia sa nachádza len 9% nad nominálnou. Obidva rezonančné obvody musia byť naladené presne, inak oscilátor nebude kmitať, alebo sa nebude dať doladiť na správnu frekvenciu z dôvodu príliš vysokého kapacitného zaťaženia kryštálu.

Rezonančnú frekvenciu oscilátora je možné doladiť v rozsahu cca. 2 ppm (20 Hz) pomocou varikapov D1/D2. Pinová lišta CON1 slúži na testovanie oscilátora. Ak sa zapojí potenciometer medzi piny 1-3-5 je možné frekvenciu ladiť ručne (napríklad zmerať rozsah oscilátora), ak sa zapojí jumper medzi piny 3-4 oscilátor bude pracovať v uzavretej slučke fázového závesu.

Kryštál typu SC má oblasť nulového teplotného koeficientu frekvencie výrazne širšiu ako lacné typy kryštálov (napr. AT-rez, BT-rez). Nevýhoda je, že táto teplota je približne 90°C. Preto je súčasťou konštrukcie termostat, ktorý kryštál vyhreje a udržiava ho na konštantnej teplote.

Ku kryštálu je pomocou teplovodivej hmoty pripevnený výkonový tranzistor T1, ktorý slúži ako vyhrievací element. Teplota kryštálu a tranzistora sa sníma termistorom R10. Všetky tri súčiastky sú spojené pomocou teplovodivej hmoty a zafixované niekoľkými vrstvami teplom-zmršťiteľnej bužírky. V návrhu plošného spoja musíte rešpektovať vzájomnú polohu aby sa zostava dala zaspájkovať. Uchopovacie body (stredy) XTAL1 a T1 musia byť vo vzdialenosti 5,08 mm presne. Spájkovacie plošky pre termistor R10 nesmú byť ďalej ako 15 mm od stredu zostavy, presná poloha ale nie je dôležitá. Rozloženie je zobrazené na obrázku vpravo.

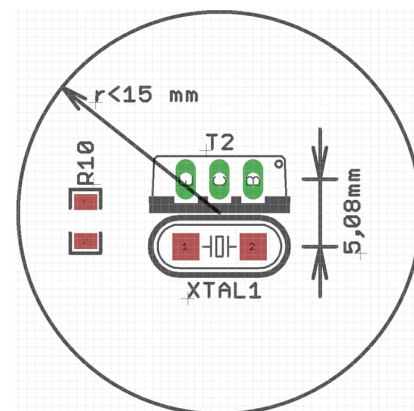
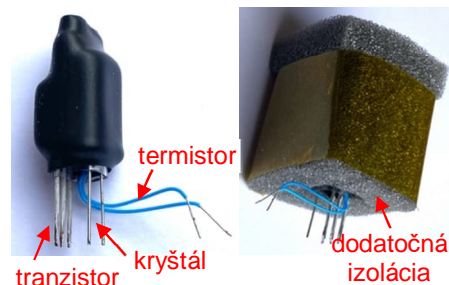
Pre dosiahnutie lepšej tepelnej izolácie je vhodné na tento sendvič ešte nasadiť dodatočnú izoláciu z peny.

Teplota sa reguluje proporcionálne-integrálnym (PI) regulátorom, ktorý tvorí termistor R10, referenčný rezistor R23+R24 (musí mať rovnakú hodnotu ako termistor vyhriaty na teplotu 90°C), chybový zosilňovač IC6A, ktorý zároveň tvorí proporcionálnu časť regulátora. Integrálnu časť regulátora tvorí IC6B, v zapojení neinvertujúci integrátor. Po zapnutí je vyhrievací prúd obmedzený rezistorom R11 na približne 550 mA (5 W). Ohrev na nominálnu teplotu trvá približne 2 minúty. Po dosiahnutí pracovnej teploty hodnota napätia P-vetvy postupne klesne na nulu a hodnota napätia I-vetvy na ustálenú hodnotu potrebnú pre dosiahnutie pracovnej teploty. Potrebný ustálený vyhrievací výkon je približne 2 W.

Pre dosiahnutie najlepšej stability majú oscilátor a regulátor teploty vlastný stabilizátor napätia 5 V (IC1). Pre dosiahnutie ešte lepšej stability je vhodné celý obvod zabudovať do uzavretej krabice, ktorá zabráni prúdeniu vzduchu okolo analógových obvodov oscilátora a fázového závesu.

Ako referencia frekvencie sa používa presne známa frekvencia z GNSS (GPS) prijímača, ktorý je umiestnený na zvlášťnej doske vonku, s priamym výhľadom na oblohu. Prijímač uBlox SAM-8Q-0-10 je schopný generovať ľubovoľnú frekvenciu v rozsahu 1 Hz až 10 MHz s rozlíšením 1 Hz naviazanú na atómové hodiny navigačných satelitov. Z hľadiska hodnoty je príliš nízka frekvencia problematická pre fázový záves (napríklad populárny 1 pulz za sekundu) a zároveň vysoká frekvencia s prijímača nie je optimálna z pohľadu fázového šumu (kvality signálu). Po testoch so špičkovými prístrojmi sme ako porovnávaciu referenčnú frekvenciu pre fázový záves vybrali 1,25 MHz. GNSS modul ju vie generovať s najvyššou kvalitou a zároveň ju vieme ľahko vytvoriť binárnym delením frekvencie oscilátora ôsmimi (integrovanej obvod IC3A).

Dve referenčné frekvencie 1,25 MHz sa porovnávajú vo fázovo-frekvenčnom detektore IC5A. Výstup detektora sú impulzy, ktorých, veľmi zjednodušene povedané, stredná hodnota zodpovedá rozdielu frekvencie medzi porovnávanými zdrojmi, t.j. presne známou frekvenciou z GPS a našim oscilátorom. Tento chybový signál sa upraví dolno-priepustným filtrom IC4a a doladuje frekvenciu kryštálového oscilátora tak, aby bola presne



rovnaká ako referenčná frekvencia z GPS. Pre pokročilejších študentov - fázový záves je druhého typu a druhého rádu, takže dokáže plne vykompenzovať chybu fázy aj konštantnú chybu frekvencie. Frekvenčnú odozvu filtra je možné pre dosiahnutie najlepšej kvality výstupného signálu zúžiť až na 1 Hz zvýšením hodnoty C4 a C5 na 100 μ F. Úprava ale vyžaduje sofistikovanejší program, ktorý zabezpečí prvotnú synchronizáciu s GPS.

Výstupný signál 10 MHz je "zosilnený" hradlami IC2 a privedený na BNC konektor. Rezistormi R3 a R14 sa nastavuje jednosmerné predpätie pre hradlo IC2A. Každý oscilátor je individuálny, pre optimálne parametre je vhodné nastaviť predpätie tak, aby mal výstupný signál z IC2A striedu 50%. Výstup oscilátora je možné zaťažiť impedanciou 50 Ohmov. V prípade, že sa vyžaduje sínusový signál je nutné použiť dolno-priepustný, alebo pásmovo-priepustný filter.

GNSS prijímač je umiestnený na zvláštej malej doske. Prijímač a oscilátor sú prepojené tienovým ethernetovým káblom.

Obvod je napájaný z jednosmerného zdroja 9 V, 1 A. Po zapnutí prístroja trvá približne dve minúty, kým kryštál dosiahne prevádzkovú teplotu 90°C. GNSS prijímač potrebuje približne 2 až 5 minút na zachytenie úvodnej synchronizácie. Po zasynchronizovaní na GPS slučka fázového závesu skoriguje frekvenciu kryštálového oscilátora a na výstupe je frekvencia 10,000 000 00x MHz. Program v mikrokontroléri posielá po sériovej linke stav prístroja, presný čas a dátum (v tvare 29-12-2021 12: 50: 17 GPS valid, Temp ok, PLL locked). Ak nebudete používať prístroj ako zdroj veľmi presnej frekvencie, stále ho môžete použiť ako veľmi presné hodiny. Rozšírite si program podľa vlastných nápadov.

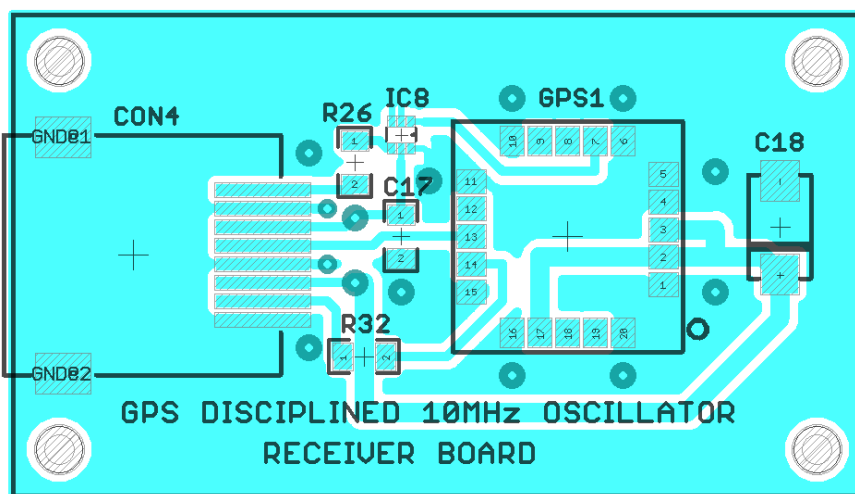
Modul GNSS prijímača

GNSS prijímač uBlox SAM-M8Q umožňuje príjem signálu troch satelitných systémov európskeho Galileo, amerického GPS a ruského GLONASS. Programom je nastavený tak, aby sa synchronizoval na ktorýkoľvek zo systémov.

Prijímač sa vyrába v púzdre, ktoré sa veľmi ťažko osádza ručne. Preto sme sa rozhodli, že pre modul GNSS prijímača dostanete už hotový, profesionálne vyrobený plošný spoj. V rámci odborného seminára sa naučíte osadzovať plošné spoje šablónou. Získané poznatky si hneď precvičíte - pomocou šablóny naniesiete cínovú pastu na plošný spoj, osadíte súčiastky a plošný spoj v peci pretavíte.

Prijímač by mal mať priamy výhľad na oblohu. Prijímač môže byť umiestnený aj za oknom, uistite sa ale, že Vaše okná nie sú pokovené (z dôvodu tienenia infračerveného žiarenia). Takéto okná majú vysoký útlm pre rádiové vlny, prijímač sa nezasynchronizuje vôbec, alebo bude mať časté výpadky. Doporučujeme inštaláciu do vodotesnej plastovej inštaláčnej krabice.

Osadzovací plán dosky prijímača:





Bonus: displej pre hodiny

Ako suveníry sme pre Vás pripravili príslušenstvo ku oscilátoru – displej na ktorom môžete zobraziť dátum a čas, prípadne iné informácie z GNSS prijímača. Ak použijete oscilátor, displej pripojte dátovými vodičmi ku Vašej doske. Ak chcete použiť len hodiny, osadte si malú dosku s mikrokontrolérom a pripojte ju pomocou pinovceji lišty priamo na dosku displeja.

Program v mikrokontroléri už obsahuje časť obsluhujúcu tento displej, stačí pripojiť. Ak máte chuť upraviť ho podľa seba a pošlite nám fotografiu čo ste vytvorili.

Dosky plošného spoja sme bohužiaľ nemali možnosť pred odoslaním do výroby otestovať. Sú na nich dve drobné chyby, ktoré ľahko opravíte. V schéme sú vyznačené červenou.

Budič displeja má výstup typu open drain, aby boli MOSFET tranzistory budiace spoločné anódy uzavreté je nutné pridať rezistor medzi G a +5V. Sériová linka z GNSS modulu je privedená do riadneho UART vstupu Rx, nie vstupu pre softwarový sériový port.



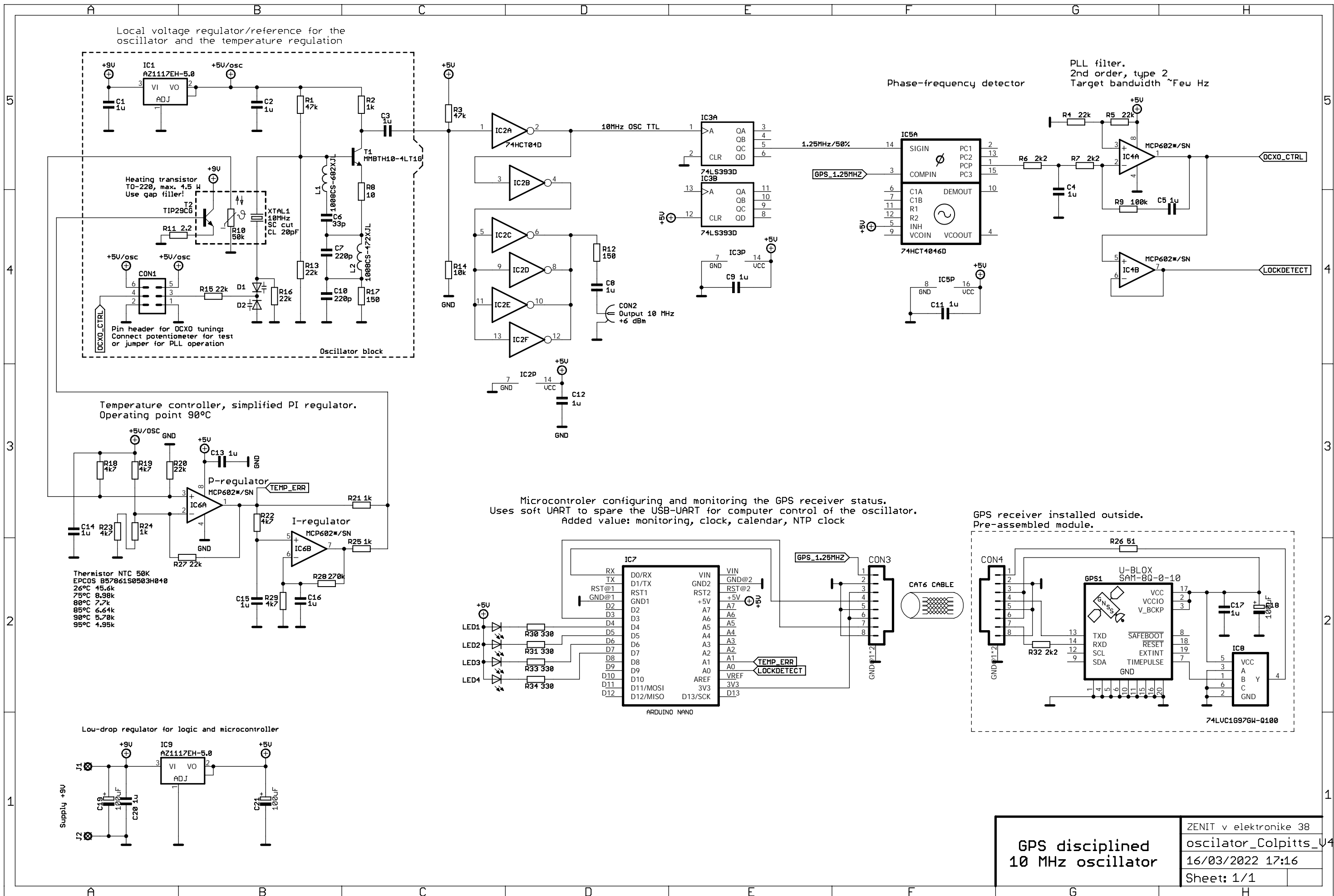
Zoznam súčiastok

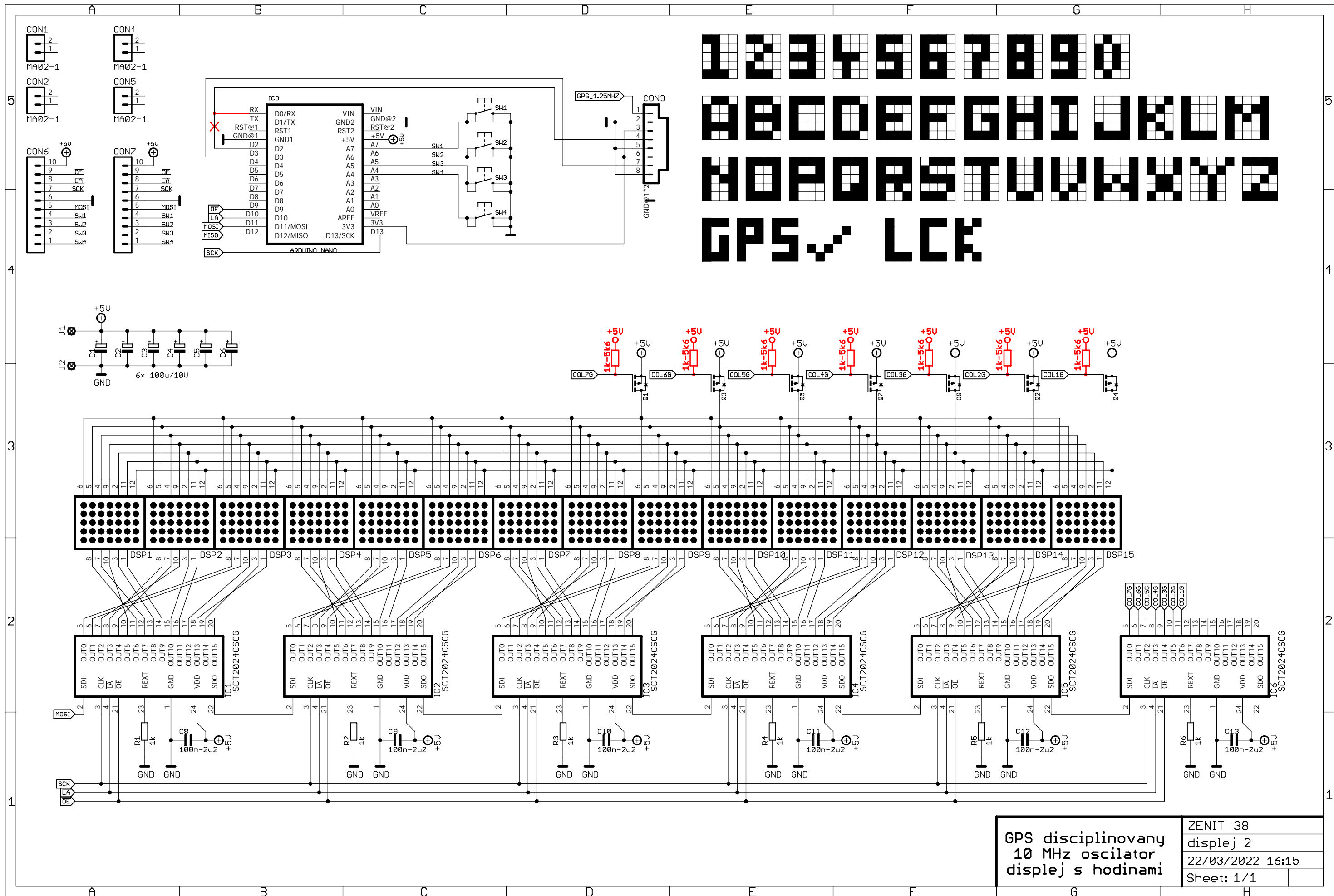
Súčiastka	Hodnota	Poznámka
C1, C2, C3, C4, C5, C8, C9, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C20	1u	kondenzátor 1206
C18, C19, C21	100uF	Tantal, veľkosť E
C6	33p ±5pF	kondenzátor 1206, nutnosť presného doladenia
C7	220p	kondenzátor 1206
C10	100p	kondenzátor 1206 (zmena 31.3.2022)
CON1	Pin. Lišta 3x2	
CON2	BNC konektor	Nevrtať, prispájovať na Top stranu dosky
CON3, CON4	RJ45 konektor	
D1, D2	BB640	Varikap 69pF@1V, 33pF@5V
GPS1	SAM-8Q-0-10	GNSS prijímač, u-Blox M8 s integrovanou anténou
IC1, IC9	AZ1117EH-5.0	Stabilizátor s nízkym úbytkom napätia
IC2	74HCT04D	
IC3	74HCT393D	Dual 4-bit decade and binary COUNTER
IC4, IC6	MCP602*/SN	
IC5	74HCT4046D	Fázový záves s VCO
IC7	Arduino Nano	Nevrtať, prispájovať na Top stranu dosky
IC8	74LVC1G97GW-Q100	Multifunkčné hradlo
L1	1008LS-682XJL	Indukčnosť 6,8uH, Coilcraft
L2	1008LS-472XJL	Indukčnosť 4,7uH, Coilcraft
LED1, LED2, LED3, LED4	LL-S150VC-V1-1B	LED červená, 1206
R1, R3	47k	rezistor 1206
R2, R21, R24, R25	1k	rezistor 1206
R4, R5, R13, R15, R16, R20, R27	22k	rezistor 1206
R6, R7, R32	2k2	rezistor 1206
R8	10	rezistor 1206
R9	100k	rezistor 1206
R10	B57861S0503H040	Termistor 50k EPCOS, umiestniť vedľa kryštálu
R11	2.2	rezistor 1206
R12, R17	150	rezistor 1206
R14	10k	rezistor 1206
R18, R19, R22, R23, R29	4k7	rezistor 1206
R26	51	rezistor 1206
R28	270k	rezistor 1206
R30, R31, R33, R34	330	rezistor 1206
T1	MMBTH10-4LT1G	VHF/UHF NPN Transistor
T2	TIP29CG	Umiestniť vedľa kryštálu
XTAL1	10MHz	Kryštál 10 MHz, SC-cut, 3rd overtone, CI 20 pF

Autori:

Ing. Peter Adamec, Adam Lassak, Ing. Jaromír Sukuba, Juraj Tvarožek, doc. Ing. Daniel Valúch, PhD.

Kontakt: daniel.valuch@cern.ch





1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
 A B C D E F G H I J K L M
 N O P Q R S T U V W X Y Z
 GPS LCK

GPS disciplinovaný 10 MHz oscilator displej s hodinami	ZENIT 38
	displej 2
	22/03/2022 16:15
	Sheet: 1/1

TEXT NA DISPLEJI NA TEJTO STRANE

