



UNIVERZÁLNY VIACFÁZOVÝ WATTMETER

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. Osadzte súčiastky.
5. Zariadenie oživte.

Úvod

V praktickej časti ZENIT v elektronike budete stavať „Univerzálny viacfázový wattmeter“. Prístroj je pozostáva z troch modulov merania napätia (rozsah 60 V, 600 V), troch modulov merania prúdu (rozsah 0,1 A, 1 A, 10 A), zbernice a modulu riadiaceho počítača. Meracie moduly sú plne izolované a plávajúce. Obvody sú schopné merať od DC po cca 10 kHz. Synchronne vzorkovanie všetkých fáz, 18-bitové AD prevodníky a plne digitálne spracovanie signálu zaručujú presné merania jednosmerných výkonov, striedavých výkonov (P,Q,S), fázových posunov, účinníka, alebo obsahu harmonických frekvencií prúdu a napätia. Meracie rozsahy sa nastavujú individuálne pre každý modul, prístroj umožňuje súčasne merať AC aj DC napríklad pri charakterizácii AC/DC meničov a zdrojov. Zariadenie komunikuje SCPI príkazmi cez sériovú linku, dá sa preto využiť aj v automatizovaných meraciach aparátúrach.

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.

Použitie akejkoľvek nepovolenej pomoci je na súťaži zakázané. Porušenie nariadenia bude penalizované diskvalifikáciou.

Hodnotenie

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

- Návrh plošného spoja maximálne 20 bodov
- Kvalita spájkovania a osadenia maximálne 15 bodov
- Čistota vyhotovenia maximálne 5 bodov
- Funkcia zhotoveného zapojenia maximálne 40 bodov, z toho:
 - **Kategória A**
 - Prúdová doska 25 bodov (menič+zdroj 5b, komunikácia+ADC 10b, meranie 10b)
 - Napäťová doska 15 bodov (menič+zdroj 5b, komunikácia+ADC 5b, meranie 5b)
 - **Kategória B**
 - Prúdová doska 40 bodov (menič+zdroj 10b, komunikácia+ADC 15b, meranie 15b)
 - Napäťová doska bonus 15 bodov (menič+zdroj 5b, komunikácia+ADC 5b, meranie 5b)
- Bonus: plne funkčný návrh na doske veľkosti 100x80 mm +5 bodov

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

Upozornenie

Obvody prístroja nemajú žiadne krytie a neposkytujú žiadnu ochranu pred dotykom živých častí. Práca na elektrickom zariadení pod napätím je životu nebezpečná. Ako osoby poučené podľa §20 vyhlášky č. 508/2009 Z. z. môžete samostatne pracovať na elektrickom zariadení do 1000 V výhradne bez napätia. Bezpečné napätie v normálnom prostredí je 50 V~/100 V= (25 V~/60 V= v nebezpečnom a 12 V~/25 V= obzvlášť nebezpečnom). Ak plánujete prístroj používať s napätím iným ako bezpečným, robte tak výhradne pod dozorom osoby s patričnou odbornou kvalifikáciou.

Pre zníženie rizika dotyku živých častí zabudujte prístroj do profesionálnej prístrojovej krabice.



Návrh plošného spoja

Nasledujúce inštrukcie si prečítajte starostlivo a s porozumením. Správny návrh má priamy vplyv na funkčnosť, Vašu úspešnosť a celkové hodnotenie.

Použitie autoroutra je zakázané. Porušenie nariadenia bude penalizované diskvalifikáciou.

Návrh plošného spoja v pravidelných intervaloch ukladajte.

Kategória A navrhuje a vyrába obidve dosky – modul merania prúdu aj modul merania napätia.

Kategória B navrhuje a vyrába len modul merania prúdu, dosku modulu merania napätia dostanete hotovú. Ak si trúfate a máte čas, môžete navrhnúť a vyrobiť aj dosku merania napätia (bonus +15 bodov).

Zapojenie napäťovej aj prúdovej dosky je z veľkej časti totožné. Toto môžete využiť pri návrhu plošného spoja, začnete so spoločnou časťou a rovnaký motív potom môžete replikovať na druhú dosku.

K dispozícii máte 2 ks obojstrannej dosky plošných spojov potiahnuté fotocitlivou vrstvou o veľkosti 160x100 mm. Presná veľkosť návrhu plošného spoja nie je daná, z materiálu použijete toľko, koľko potrebujete. Dosku ostrihajte na potrebnú veľkosť ešte pred osvitom, kým je stále zalepená ochrannou fóliou.

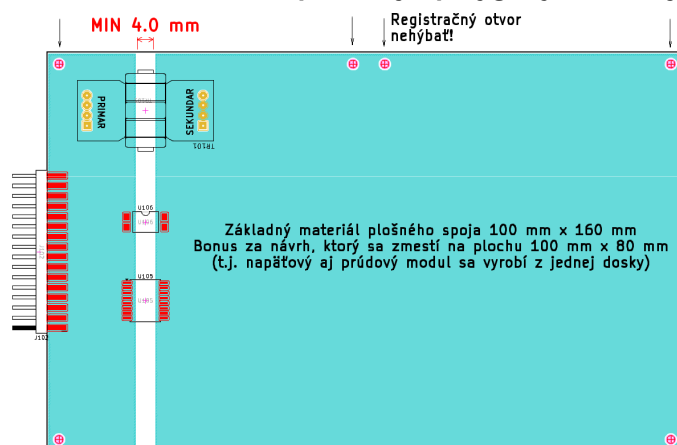
V doske sú vyvŕtané registračné otvory, ktoré slúžia na zarovnanie fólie s motívom na obidvoch stranách. Tieto nestrihajte.

Všetky súčiastky a všetky drôtové prepojky musia byť osadené na vrchnej strane dosky (top).

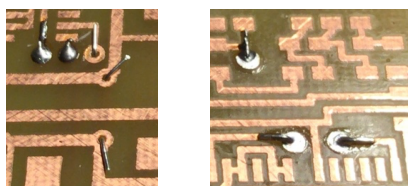
Spodnú stranu dosky môžete použiť len pre zemný polygón a klasické drôtové prepojky nainštalujete na stranu súčiastok, takáto doska bude jednoduchšia na výrobu. Alternatívne môžete navrhnúť a vyrobiť plnohodnotnú obojstrannú dosku. Výroba je ale prácnejšia a vyžaduje presnosť pri osvite a vŕtaní.

Doporučený spôsob prechodu medzi vrstvami obojstrannej dosky je „prekovená“ diera (via), priemer vrtáku 0,6-0,8 mm, priemer plôšky 2,5 mm. Do diery sa z oboch strán vloží, zafixuje a zaspájkuje krátky drôt, viď. obrázok 2.

Na strane súčiastok nepoužívajte polygóny ak nemajú elektrickú funkciu (napr. pre vysoké prúdy).



Obr. 1: Základný materiál DPS 100x160 mm²



Obr. 2: Realizácia prechodov medzi vrstvami

Aby ste vedeli správne priložiť film na materiál sú na doske vyznačené registračné otvory. Značky neposúvajte. Na obidvoch stranách návrhu musí byť umiestnený čitateľný text, ktorý jednoznačne identifikuje modul a stranu (napr. „TOP PRŮD“). Tento text musí ostať čitateľný aj po priložení fólie na materiál.

Doporučená šírka spoja a medzery pre bežné signály je minimálne 0,6 mm. Veľmi krátke spoje sa dajú realizovať aj 0,4 mm. Čím širšie vodiče, tým jednoduchšia bude výroba dosky. Cez niektoré spoje preteká prúd 10 A, prispôbte tomu šírku vodičov.

Bočníky R106-R109-R112 pre meranie prúdu majú veľmi nízku hodnotu (11 mΩ). Šírku spojov a dosku navrhňte tak, aby úbytok napätia vznikol na meracích rezistoroch a nie na spojoch na DPS. Starostlivo zvážte ako má k nim byť pripojený operačný zosilňovač, aby meral úbytok len na bočníkoch.

Napäťový delič R201-R206 je zaťažovaný plným vstupným napätím 600 V. Rezistory na doske rozložte tak, aby mali okolo dostatočnú izolačnú medzeru, inak dôjde ku prerazu.

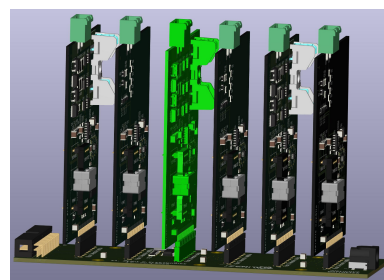
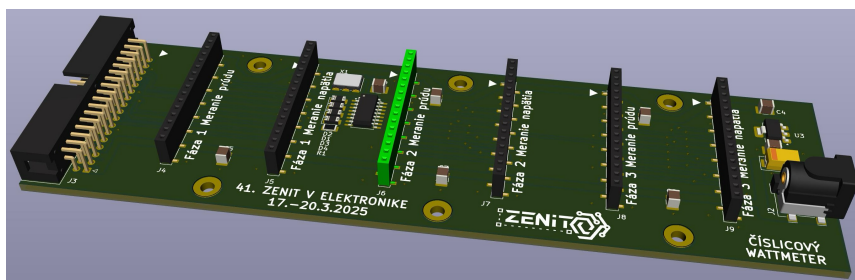
Meracie moduly sú galvanicky spojené s meraným obvodom na vysokom napätí. Z hľadiska bezpečnosti obsluhy je dôležité zabezpečiť dostatočnú izoláciu medzi meraným obvodom a riadiacim mikrokontrolérom, ktorého sa dotýka obsluha.

Na doske musí byť vytvorená izolačná medzera široká minimálne 4 mm ako je naznačené na obr. 1.

Úplne prvý test po odovzdaní výrobku bude meranie izolačného stavu vysokým napätím. Ak dôjde k prerazu, výrobok sa ďalej nehodnotí.



Úplný prístroj obsahuje 3 moduly merania napätia a 3 moduly merania prúdu, ktoré sa zapájajú do konektorov na zadnom paneli (backplane), ako je vidieť na obr. 3. Moduly preto navrhnete tak, aby mali 16-pinový konektor (pinovú lištu) na jednej strane a výkonový prívod na opačnej strane dosky.



Obr. 3: Osadená doska backplane a nainštalované meracie moduly

Výroba plošného spoja

Hotový projekt pomenujte Vaším súťažným číslom, zazipujte obsah celého projektového adresára (napr. A01.zip) a nahrajte ho na úložisko.

Výroba dosiek začína v miestnosti D10, kde sa zo spoločného počítača vytlačia fólie pre osvit. Následne sa vyvolajú a vyleptajú. Pracujete s chemikáliami, preto používajte ochranné pracovné pomôcky (okuliare a rukavice).

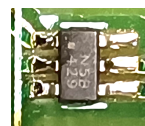
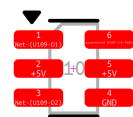
Po vyleptaní dosky v tej istej miestnosti vyvrtáte a dokončíte. Diery pre prepajky z vrchnej na spodnú stranu dosky vrtajte priemerom 0,7-1,0 mm.

Osadzovanie

Všetky súčiastky a drôtové prepajky musia byť osadené na vrchnej strane dosky. Konektor pre pripojenie do backplane (J102, J202) a konektor pre pripojenie silového obvodu (J101, J201) sú osadené na plochu na hrane dosky. Uistite sa, že západka na konektoroch J101, J201 je na strane spojov, viď 3D model.

Ak nie ste schopní osadiť veľmi malé púzdro U109 a U207, neváhajte požiadať dozor o pomoc. Neváhajte použiť mikroskop, alebo funkciu makro-foto na mobilnom telefóne pre kontrolu správnosti spájkovania.

U109



Obr. 4: Pin 1 na U109, U207

Oživenie a odovzdanie konštrukcie

Súťažiaci majú k dispozícii oživovacie pracovisko, kde môžu svoj výrobok pred odovzdaním otestovať. Problémy, ktoré súťažiaci zistia a opravujú pred oficiálnym odovzdaním výrobku sa do hodnotenia nezapočítavajú. Problémy, ktoré sa zistia pri oficiálnom odovzdaní hodnotiacej komisii sa do finálneho hodnotenia započítavajú. Pracoviská majú konečnú kapacitu, preto má oficiálne odovzdávanie prioritu pred oživovaním.

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

Wattmeter je zložený z troch modulov – modul merania prúdu (súčiastky s indexom 100), modul merania napätia (index 200) a backplane (index 1-10).

Moduly sú navrhnuté tak, aby dokázali merať jednosmerné aj striedavé veličiny so šírkou pásma niekoľko kHz.

Meracie obvody sú elektricky priamo spojené s meraným objektom, preto musia byť galvanicky oddelené od ovládacej časti, ktorej sa dotýka obsluha. Oddelenie napájania je zabezpečené DC-DC meničmi NXF6505 a planárnym transformátorom. Oddelenie dátových liniek zabezpečuje rýchly digitálny izolátor ISO7761 a optočleny VO617. Znova upozorňujeme, že je doslova životne dôležité vytvoriť izolačnú medzeru minimálne 4 mm medzi ovládacou časťou a meracou časťou.

Modul merania prúdu

Prúd sa meria pomocou bočníkov v troch meraciach rozsahoch – 0,1 A_{RMS}, 1 A_{RMS} a 10 A_{RMS} efektívna hodnota, čo zodpovedá plnému rozsahu $\pm 0,15$ A, $\pm 1,5$ A a ± 15 A. Meracie bočníky sa prepínajú tranzistormi Q101/4 (rozsah 0,1 A), Q102/5 (rozsah 1 A) a Q103/6 (rozsah 10 A). Diódy D101-D104 chránia bočníky v prípade voľby nesprávneho rozsahu. Vstupný rozsah AD prevodníka je $\pm 2,5$ V diferenciálne, posunutý o jednosmernú hodnotu +1,25 V. Meraný obvod je preto pripojený na potenciál $U_{REF}/2 = +1,25$ V z U101C. Úbytok napätia na bočníku (max. $\pm 0,178$ V) sa



zosilní a prevedie na diferenciálny signál operačnými zosilňovačmi U101A, U101B. Nasleduje diferenciálny dolnopriepustný filter druhého rádu (R122-5, C104-5), ktorý prispôsobuje výstup OZ vzorkovacím obvodom ADC čo pomáha udržať meraný šum na veľmi nízkej úrovni $<5 \text{ LSB}_{\text{RMS}}$.

AD prevodník vzorkuje rýchlosťou 100k vzoriek za sekundu a prevodníky na všetkých šiestich meracích doskách sú synchronizované signálom CONVST čo umožní presné meranie fázových posunov medzi napätím a prúdom a medzi jednotlivými fázami.

Modul merania napätia

Napätie sa meria pomocou odporových deličov v dvoch meracích rozsahoch – $43 \text{ V}_{\text{RMS}}$, $430 \text{ V}_{\text{RMS}}$ efektívna hodnota, čo zodpovedá plnému rozsahu $\pm 60 \text{ V}$, $\pm 600 \text{ V}$. Deliaci pomer sa prepína tranzistormi Q201/2. Tranzistory Q203-Q206 slúžia ako limiter v prípade voľby nesprávneho rozsahu. Ďalšie spracovanie signálu je totožné s prúdovou doskou.

Backplane

Plošný spoj pre backplane dostanete už hotový. Backplane má mechanickú a elektrickú funkciu.

Mechanicky slúži ako základňa, do ktorej sa konektormi pripoja všetky meracie moduly a ovládací počítač, ako je vidieť na obrázku č. 3.

Presná synchronizácia všetkých AD prevodníkov je dôležitá pre správne meranie fázového posunu medzi napätím a prúdom. Vzorkovací signál musí mať zároveň veľmi nízky fázový šum aby sme nezničili vlastnosti použitých 18-bitových AD prevodníkov. Ak vzorkujeme napr. signál s frekvenciou 50 Hz je nutné pre zachovanie šumového pozadia zodpovedajúcemu 18 bitom dodržať maximálny jitter vzorkovacieho hodinového signálu pod 12 ns. Merania ukázali, že najlepší jitter vzorkovacích hodín, ktoré dokáže generovať mikrokontrolér STM32 je cca. 170 ns. Pri použití nekvalitných hodín z mikrokontroléra by sme prevodníky znehodnotili na cca. 13,5-bitové. Preto vzorkovacie impulzy generuje kryštálový oscilátor X1 (1 MHz) a dekadický čítač 74HC4017, ktorého jitter je na úrovni zlomu nanosekundy.

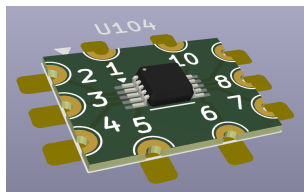
Zariadenie sa napája napätím 5 V zo štandardného 2,1 mm DC konektora. Modul merania prúdu má odber do 50 mA, modul merania napätia do 40 mA. Odber plne zostaveného prístroja je cca. 0,5 A.

Podrobnosti ku programu mikrokontroléra a osadzovací plán jednotky displeja sú v druhej časti dokumentácie.

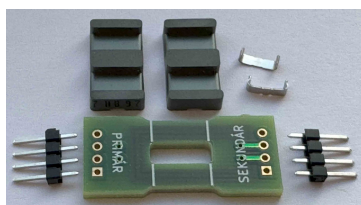
Príprava AD prevodníka a transformátora

AD prevodníky vhodné pre náš prístroj sa bohužiaľ nevyrábajú v púzdre, pre ktoré sme schopní vyrobiť plošný spoj na súťaži. Preto ste dostali malý plošný spoj – adaptér kam prispájujete AD prevodník a tento adaptér následne prispájujete na Váš plošný spoj, ako je znázornené na obrázku 5.

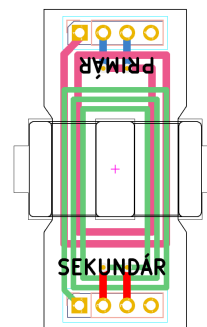
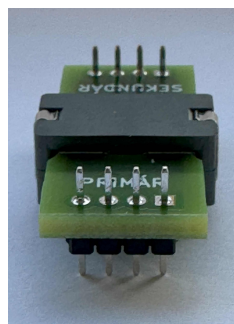
Planárny transformátor je veľmi užitočný koncept pre modernú elektroniku. Vinutia transformátora sa vytvoria priamo na doske plošného spoja a pricvakne sa jadro. Spôsob montáže výrazne znižuje potrebu manuálnej práce pri výrobe transformátora. V konštrukcii sme ho použili trochu netradične. Vinutia sú síce vytvorené na plošnom spoji, ale aby ste nemuseli do dosky vyrezávať obdĺžnikové otvory, transformátor ako celok je prispájkovaný ku doske pomocou pinových konektorov. Postup montáže transformátora je na obrázku 6. Pri skladaní dávajte zvýšený pozor pri montáži bočných klipov. Ferit sa pri nevhodnej manipulácii môže ľahko odlomiť, alebo pružinový klip môže vystreliť a stratíte ho.



Obr. 5: Montáž AD prevodníka



Obr. 6: Montáž planárneho transformátora



Obr. 7: Konštrukcia planárneho transformátora. 6-vrstvová doska s dostatočnou izoláciou medzi primárom a sekundárom



Zoznam súčiastok: Modul merania prúdu

Počet	Súčiastka	Hodnota	Poznámka
4	C101,C106,C107,C110	22uF/16V	Veľkosť 1210
4	C102,C103,C108,C109	1uF	Modrá páska
2	C104,C105	1nF	
4	D101,D102,D103,D104	FERD2045SB-TR	Schottky dióda, min. 10A v DPAK púzdre. Vyšší úbytok napätia výhodou
4	D105,D106,D107,D108	SD1206S040S0R5	Schottky dióda, min. 30V/0,1A
1	F101	8020.5022+0031.8241	
1	J101	OQ0201500000G +TJ0201500000G alebo ekvivalent	Prispájkovať na hranu dosky. Západka na konektore má byť na strane spojov, viď 3D model.
1	J102	Pin. lišta 1x16	Prispájkovať na hranu dosky
6	Q101,Q102,Q103,Q104, Q105,Q106	PSMN3R5-40YSB	Vysoký prúd, dôkladne prispájkovať!
3	R101,R102,R103	27k 0.1%	
3	R104,R107,R110	3.3 0.5%	
6	R105,R106,R108,R109, R111,R112	33mΩ veľkosť 2512	
9	R113,R114,R115,R116, R117,R118,R119,R120, R121	2k2 0.1%	
4	R122,R123,R124,R125	1k2	
3	R126,R127,R128	430	
1	TR101	EELP18 transformátor, materiál N97, alebo iný vhodný pre 440 kHz	2x B66283G0000X197 (jadro) 2x B65804P2204X000 (klip) Primár 2x2 závit, sekundár 2x3 závit
1	U101	OPA4196	4-itý precízny operačný zosilňovač (nízky offset). Zero drift model nie je vhodný.
1	U102	REF5025AD	Referencia napätia 2,5V
1	U103	AP7361C-33E	3,3V stabilizátor v SOT-223-3 púzdre
1	U104	ADS8885IDGSR	Prispájkovať na adaptér
1	U105	ISO7761DW	
3	U106,U107,U108	VO617A-3X007T	Optočlen, min. trvalé izolačné napätie 700V
1	U109	NXF6505BDA-Q100	

Zoznam súčiastok: Modul merania napätia

Počet	Súčiastka	Hodnota	Poznámka
4	C201,C206,C207,C210	22uF/16V	Veľkosť 1210
4	C202,C203,C208,C209	1uF	Modrá páska
2	C204,C205	1nF	
4	D201,D202,D203,D204	SD1206S040S0R5	Schottky dióda, min. 30V/0,1A
1	J201	OQ0201500000G +TJ0201500000G alebo ekvivalent	Prispájkovať na hranu dosky. Západka na konektore má byť na strane spojov, viď 3D model.
1	J202	Pinová lišta 1x16	Prispájkovať na hranu dosky



6	Q201,Q202,Q203,Q204, Q205,Q206	PMV450ENEAR	
6	R201,R202,R203,R204, R205,R206	2.2M 1%	
2	R207,R210	27k 0.1%	
2	R208,R209	510k 0.1%	
4	R211,R212,R213,R214	2k2 0.1%	
4	R215,R216,R217,R218	1k2	
1	R219	430	
1	TR201	EELP18 transformátor, materiál N97, alebo iný vhodný pre 440 kHz	2x B66283G0000X197 (jadro) 2x B65804P2204X000 (klip) Primár 2x2 závit, sekundár 2x3 závit
1	U201	OPA4196	4-ité precízny operačný zosilňovač (nizky offset). Zero drift model nie je vhodný.
1	U202	REF5025AD	Referencia napätia 2,5V
1	U203	AP7361C-33E	3,3V stabilizátor v SOT-223-3 púzde
1	U204	ADS8885IDGSR	Prispájať na adaptér
1	U205	ISO7761DW	
1	U206	VO617A-3X007T	Optočlen, min. trvalé izolačné napätie 700V
1	U207	NXF6505BDA-Q100	

Zoznam súčiastok: Backplane

Počet	Súčiastka	Hodnota	Poznámka
1	C2	220uF/10V	
8	C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9, C10	22uF/16V	
4	D1,D2,D3,D4	SD1206S040S0R5	Schottky dióda, min. 30V/0,1A
1	J2	2.1 mm DC jack	
1	J3	34 pinový konektor	+ nie dlhý kábel DS1052- 342B2MA203001. Ideálne priame pripojenie bez káblu.
6	J4,J5,J6,J7,J8,J9	16 pinový konektor	
1	R1	2k2 5%	Nezameniť s 2k2 0,1% z meracej časti
1	U2	74HC4017	
1	U3	AP7361C-33E	
1	X1	XLH736001.000000I	Kryštálový oscilátor 1MHz

Autori: Ing. Peter Adamec, Adam Lassak, Ing. Jaromír Sukuba, Ing. Juraj Tvarožek, doc. Ing. Daniel Valúch, PhD.,
OFRLAL¹: Ing. Ján Wacławek, PhD.

Kontakt: daniel.valuch@cern.ch (všeobecný), juraj.tvarozek@feit.uniza.sk (software)

¹ Odborná Funkcia: ceRtiFikovaL A schváliL