



## 5-miestny stolový multimeter so sieťovou komunikáciou

### Úloha

1. Podľa predloženej schémy zapojenia navrhnete motív plošného spoja.
2. Navrhnutý motív plošného spoja preneste na dosku plošného spoja.
3. Plošný spoj vyleptajte.
4. Osadíte súčiastky.
5. Zariadenie oživíte.
6. V prípade dostatku času zariadenie okalibrujete.

### Úvod

V praktickej časti budete stavať 5-miestny stolový multimeter s USB/Wifi komunikáciou. Multimeter meria jednosmerné napätie do 400 V, jednosmerný prúd do 5 A, odpor v rozsahu  $1 \Omega - 10 M\Omega$ , polovodičové prechody a teplotu s použitím rezistívnych senzorov. Merací prístroj komunikuje s vonkajším svetom cez štandardné rozhranie SCPI, takže dokážete čítať namerané údaje a prístroj aj aktívne riadiť v prípade automatizovaných meraní. Podľa kvality kalibrácie sa neistota merania pohybuje na úrovni 0,01 – 0,1 %. Postavíte si veľmi užitočný a hodnotný prístroj do domáceho laboratória.

K dispozícii máte jednostranné dosky plošných spojov potiahnuté fotocitlivou vrstvou o veľkosti 150x200 mm. Presná veľkosť Vášho návrhu plošného spoja nie je daná, z materiálu použijete toľko, koľko potrebujete. Ak ste si priniesli vlastný materiál, môžete ho použiť.

**Na USB kľúči máte pripravené súbory so schémou pre návrhový systém Eagle. Pozorne si preštudujte celé zadanie, navrhujete vysoko presný obvod, ktorý je navyše osadený len SMD súčiastkami. *Upozornenie: Zapojenie obsahuje súčiastky citlivé na elektrostatický výboj!!!***

V prípade, že Vám po odovzdaní oživeného výrobku ostane čas, môžete multimeter okalibrovať. Získate bonusové body a približne 100x znížite chybu merania.

### Hodnotenie

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:
  - Blok merania napätia 10 bodov
  - Blok merania prúdu 10 bodov
  - Blok merania odporu 10 bodov
  - Referencia a AD prevodník 10 bodov
- Bonus za kalibráciu 10 bodov.

Za praktickú časť možno získať maximálne 80 bodov. Bonusové body sa podľa pravidiel súťaže do hodnotenia priamo nezapočítavajú a zohľadnia sa v prípade ak viacerí súťažiaci získajú zhodný počet bodov.

## Koncepcia multimetra

Multimeter je postavený okolo 24-bitového analógovo číslicového prevodníka LTC2410 (IC5) s presnou a stabilnou napäťovou referenciou REF195E (IC4). V zapojení sa dajú ľahko identifikovať tri bloky, ktoré prevádzajú meranú veličinu v danom (napätie, prúd, odpor) na jednosmerné napätie v rozsahu  $\pm 2.5$  V pre AD prevodník.

Zapojenie bolo navrhnuté s použitím minimálneho množstva súčiastok rôznej hodnoty, dôraz bol kladený na to, aby mali rezistory rovnaké vlastnosti a boli teplotne stabilné. Ich absolútna hodnota potom nie je kritická, lebo väčšina nežiadúcich javov sa automaticky vykompenzuje a absolútna presnosť merania sa dosiahne jednorázovou kalibráciou pri oživovaní.

Riadiaca doska obsahuje mikrokontrolér ATmega328 vo forme modulu Arduino Nano, 16-znakový LCD, 8 ovládacích tlačidiel a Wifi modul. Riadiacu dosku dostanete už hotovú, stačí na ňu prispájkovať Arduino modul. Súťažiaci kategórie A budú do mikrokontroléra písať riadiaci program v rámci disciplíny programovanie mikrokontrolérov.

## Popis zapojenia multimetra

**Multimeter má tri napäťové rozsahy**  $\pm 4$  V (M1),  $\pm 40$  V (M2) a  $\pm 400$  V (M3). Vstupný odpor multimetra je približne  $2.5$  M $\Omega$ . Napätie zo vstupnej meracej svorky J6 sa upravuje rezistorovým deličom s pevnou hodnotou vstupného odporu ( $10 \times 249$  k $\Omega$ ) a nastaviteľnou hodnotou "spodného" rezistora na približne  $\pm 1$  V pre všetky rozsahy. Vstupný resistor je realizovaný desiatimi rezistormi veľkosti 1206, hodnoty 249 k $\Omega$  0.1%, zapojenými do série. Týmto sa dosiahne nízky úbytok napätia na každom malom SMD rezistore, čím sa minimalizuje riziko prerazu a minimalizuje samoohrev stratovým výkonom pre udržanie presnosti.

Rezistory jednotlivých rozsahov sa pripájajú ku deliču polovodičovými spínačmi s veľmi nízkou hodnotou  $R_{ds}$ . Maximálna hodnota napätia v uzle UMEAS je obmedzená Zenerovými diódami na hodnotu približne  $\pm 5$  V, tieto diódy zároveň slúžia ako prepäťová ochrana vstupu. Umiestnite ich čo najbližšie rezistorovému deliču.

**Multimeter má tri prúdové rozsahy**  $\pm 40$  mA (M1),  $\pm 400$  mA (M2) a  $\pm 5$  A (M3). Prúd sa meria pomocou úbytku napätia na rezistívnych bočníkoch. Rozsahy 40 a 400 mA používajú bočník s hodnotou 1.175  $\Omega$ , pripojený ku svorke J3. Úbytok napätia je približne  $\pm 0.5$  V na 400mA rozsahu a 50 mV na 40 mA rozsahu.

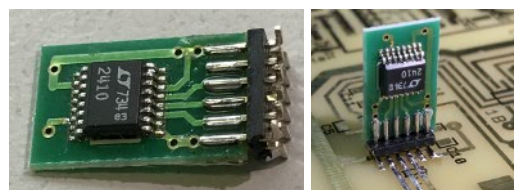
Rozsah 5 A má vlastnú svorku J4 a bočník veľmi nízkej hodnoty (len 10 m $\Omega$ ), poskytujúci veľmi nízky úbytok napätia len 50 mV, čo výrazne obmedzuje samoohrev a tým zachováva presnosť merania. Bočník doporučujeme pripojiť štvorvodičovým zapojením, ako sa používa pri meraní odporov veľmi nízkych hodnôt.

Obidve prúdové svorky sú chránené tavnými poistkami. Zenerové diódy chránia obidva vstupy pred prepätím až do prepálenia poistky.

**Multimeter meria odpor porovnávacou metódou.** Meraný rezistor sa svorkami J1 a J2 zapojí do odporového deliča. AD prevodníkom sa v prvom kroku odmeria hodnota úbytku napätia na referenčnom rezistore R11+12+13 a v druhom kroku na paralelnej kombinácii  $R_x || R1+2+3$ . Výsledná hodnota odporu meraného rezistoru sa vypočíta z pomeru týchto napätí. Presnosť merania odporu je daná viacmenej len presnosťou s akou poznáme hodnoty referenčných rezistorov. *Ak chcete mať okalibrované meranie odporu, je nutné zmerať hodnoty rezistorov R1+2+3 a R11+12+13 veľmi presným multimetrom ešte pred osadením R38+39 a R23+24+25.*

Meraná veličina a merací rozsah sa prepína analógovými multiplexermi IC1 a IC3. Operačný zosilňovač IC2a poskytuje oddelenie vstupných obvodov s vysokým výstupným odporom od AD prevodníka, ktorý pre zachovanie presnosti merania vyžaduje zdroj signálu s výstupným odporom maximálne desiatky kilo-Ohmov. Niektoré rozsahy vyžadujú zaradenie zosilnenia 50x do signálovej cesty, funkciu zabezpečuje rovnaký OZ a analógový spínač Q5+Q6. Obvod ADA4522-2 obsahuje dva rovnaké operačné zosilňovače. Ak bude z hľadiska návrhu dosky výhodnejšie použiť IC2b, môžete ich medzi sebou zameniť (v Eagle funkcia Gateswap. Pred výmenou si návrh uložte a uistite sa, že viete čo robíte).

AD prevodník je v púzde SSOP-16, ktoré má príliš husté vývody, aby ste vedeli na súťaži vyrobiť plošný spoj fotocestou a následne integrovaný obvod úspešne zaspájkovať. Preto ste k IO dostali profesionálne vyrobený adaptér (malý dvojstranný plošný spoj), na ktorý sa dá LTC2410 ľahko osadiť a celý adaptér sa pomocou pinovej lišty zaspájkuje na Váš plošný spoj. Na obrázku v pravo vidíte ako má byť adaptér správne použitý,



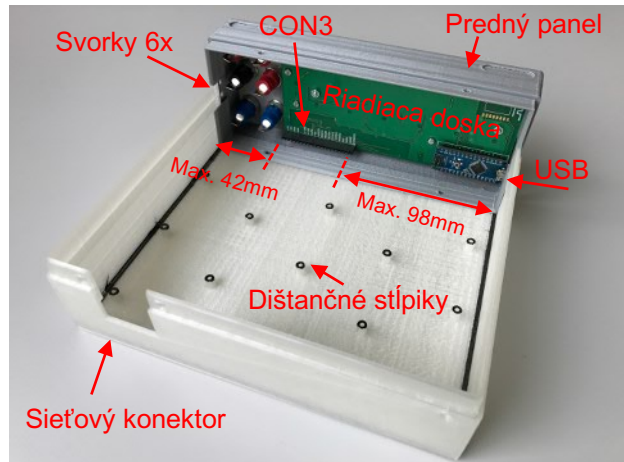
vrátane orientácie integrovaného obvodu.

Pre dosiahnutie maximálnej presnosti a stability musí byť zdroj referenčného napätia pripojený k AD prevodníku čo najkratšími a najpriamejšími vodičmi.

V tomto ročníku ZENITu prvý krát navrhujete a staviate obvod osadený výhradne SMD súčiastkami, dosky sa nevrátajú. Drôtové prepojky nainštalujte zo strany súčiastok. K dispozícii máte aj kotúč 0R rezistorov, ktoré môžete použiť ako prepojky/premostenie namiesto dlhých vodičov. Pri vkladaní 0R do schémy dávajte pozor aby ste nerozpojili signály, zapojenie potom nebude funkčné. Doporučený postup je vložiť 0R na vodič, ktorý potrebujete premostiť

Meracia doska je pripojená ku riadiacej doske jednoradovou pinovou lištou CON3. Lišta musí byť prispájkovaná na hrane meracej dosky (tú, ktorú navrhujete), po zasunutí konektora budú obidve dosky na seba kolmé.

Ku konštrukcii multimetra sme pripravili aj krabičku, ktorá sa dá vyrobiť na 3D tlačiarňi, čím získate plnohodnotný stolový merací prístroj. Vo vrstve 48-Document brd súboru sú naznačené maximálne rozmery dosky (188x160 mm) a poloha konektora CON3, tak aby bol v správnej polohe voči riadiacej doske. Meracia doska sa ku krabičke primontuje skrutkami do vybraných dištančných stĺpikov



## Poznámky k návrhu plošného spoja

Navrhujete precízny analógový obvod, preto by ste mali venovať zvýšenú pozornosť návrhu plošného spoja:

- Snažte sa vyvarovať zbytočným slučkám a „roztáhanému“ návrhu, obzvlášť v rozvoде signálov 0V a GND
- 0V a GND sú dva rozdielne signály, ktoré sa nesmú spojiť
- Blokované kondenzátory rovnomerne rozložte po celej doske, hlavne na konce dlhých napájacích zberníc, alebo pri citlivých obvodoch (ADC, referencia)
- Rezistory vstupného deliča musia mať dostatočnú izolačnú vzdialenosť od ostatných obvodov multimetra (vstupné napätie 400 V!)
- Podľa možnosti sa vyvarujte umiestneniu vodičov pod poistky, pri prepálení poistky sa tam môže vytvoriť vysoké napätie a následný prieraz do obvodov multimetra
- Bočník pre prúdový rozsah 5 A má veľmi nízku hodnotu odporu, navrhňte dosku tak, aby bol ku obvodu pripojený podľa zásad merania odporov nízkej hodnoty (štvorvodičovo)
- **Na doske nepoužívajte polygóny, pokiaľ vyslovene nemajú konkrétnu elektrickú funkciu**
- Všetky súčiastky aj drôtové prepojky musia byť osadené na jednej strane plošného spoja, dosky sa nevrátajú

## 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.

## Kalibrácia

Merací prístroj bol navrhnutý s použitím dostupných presných a stabilných súčiastok. Bez kalibrácie, len s použitím hodnôt a tolerancií súčiastok zo schémy sa neistota merania multimetra pohybuje na úrovni 1%. Multimeter, ale vie komunikovať s nadriadeným počítačom, takže je veľmi jednoduché urobiť kalibráciu s použitím iného, presnejšieho multimetra (napr. 6.5 miestneho). Nové, presnejšie kalibračné konštanty sa zapíšu do pamäti mikrokontroléra a neistota merania sa zníži až na úroveň 0.02-0.05%.

## Zoznam súčiastok

Počet	Súčiastka	Hodnota	Púzdro	Poznámka
7	C1, C2, C3, C4, C6, C10, C11	10uF	1206	
1	C5	100pF	1206	
1	CON2	ZL264-14DG		Pinová zásuvka 7x2
1	CON3	ZL209-20P		Pinová lišta 20x1. Umiestniť na hranu dosky
8	D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8	BZT52C5V1-7-F	SOD123	Zenerova dióda, pozor na polaritu!
2	F1, F2			Držiak poistky. Odstrihnúť vývody a naspájať priamo na DPS
2	IC1, IC3	4052D	SO16	<b>Citlivý na ESD!</b>
1	IC2	ADA4522-2	SO8	
1	IC4	REF195ES	SO8	
1	IC5	LTC2410	MSOP16	AD prevodník (IO+doska+konektor). <b>Citlivý na ESD!</b>
6	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6	BSS314PE	SOT23	MOSFET P-kanál. <b>Citlivý na ESD!</b>
15	R1, R2, R3, R11, R12, R13, R23, R24, R25, R32, R33, R34, R38, R39, R42	5.6k, 0.1%	1206	
4	R21, R22, R26, R27	4.7R, 0.1%	1206	
4	R4, R5, R6, R7	40mR	2512	<b>Veľmi citlivý na prehriatie pri spájkovaní!</b>
2	R40, R41	750	1206	
19	R8, R9, R10, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R28, R29, R30, R31, R35, R36, R37, R43, R44	249k, 0.1%	1206	

Autori:

Ing. Daniel Valúch, PhD., [daniel.valuch@cern.ch](mailto:daniel.valuch@cern.ch),

Martin Eršek,

Filip Kollár

Ing. Tomáš Pavlíček