

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor SOČ: 12. Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

**Využití rozhraní NI myDAQ ve výuce elektrotechnických
měření**

**Utilization NI myDAQ Interface in Teaching of Electrotechnical
Measurement**

Autor: Daniel Čermák

Škola: VOŠ, SŠ, COP, Budějovická 421 Sezimovo Ústí

Kraj: Jihočeský kraj

Sezimovo Ústí 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně pod vedením p. učitele Bc et Bc . M. V. Hospodářského a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v seznamu vloženém v práci SOČ.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Sezimově Ústí dne:

.....

podpis autora

Poděkování:

Tato práce SOČ byla zpracována jako závěrečný projekt v rámci řádného ukončení 4. ročníku maturitního studia oboru Elektrotechnika – Počítače a robotika. Vedoucím práce byl p. učitel Bc. et Bc M. V. Hospodářský, kterému tímto děkuji za odborné konzultace a cenné rady týkající se struktury i obsahu práce.

Zároveň děkuji vedení Vyšší odborné školy, Střední školy, Centra odborné přípravy a pedagogům této školy za zapůjčení přenosného zařízení myDAQ od firmy National Instruments a umožnění využít ke zpracování projektu vybavení odborných laboratoří.

Děkuji zejména panu Mgr. Blechovi za přínosné maturitní semináře. Dále pak děkuji M. Mikulkovi za cenné rady a připomínky k obsahu práce.

ANOTACE

Práce se obecně zabývá problematikou měřicích přístrojů a jejich propojení s počítačem.

Cílem práce je popsat měřicí rozhraní myDAQ od firmy National Instruments a jeho využití při výuce v elektrotechnice.

Rozhraní myDAQ spolupracuje se simulačním programem Multisim, kdy s jejich kombinací lze porovnávat očekávané (simulované) a reálné hodnoty.

Dále do práce autor uvedl výrobu desek plošných spojů – měřicích přípravků připojitelných k rozhraní NI myDAQ. Ke každému měřicímu přípravku je navrženo zadání úlohy pro on-line měření s využitím rozhraní myDAQ. Pro každý měřicí přípravek je vytvořena technická dokumentace zahrnující: technický popis, schéma, motiv plošného spoje, osazovací plán a seznam součástek.

Na závěr je ukázána fotodokumentace jednotlivých DPS a ověřena správná činnost těchto obvodů doložená grafy.

Klíčová slova: myDAQ, Multisim, On-line měření, National Instruments

ANNOTATION

The work generally deals with measuring instruments and their connection to a computer.

The aim of this work is to describe the measurement interface myDAQ from the firm National Instruments and its use in teaching in Electrical engineering.

MyDAQ interface cooperates with the simulation program Multisim when with their combination we can compare the expected (simulated) and real values.

Furthermore in the work, the author mentioned the manufacture of printed circuit boards - measurement products connectable to myDAQ interface. Every measurement product has its own assignment for on-line measurement with using NI myDAQ. For every measurement product is created a technical documentation including a technical description, a schematic, a PCB design, an assembly description and a partlist.

Finally, there is shown a photo documentation of individual PCBs followed by checking their correct function demonstrated by graphs.

Keywords: myDAQ, Multisim, On-line measurement, National Instruments

Obsah

1	Úvod	- 1 -
2	Měřicí rozhraní National Instruments myDAQ	- 3 -
2.1	Technický popis rozhraní myDAQ	- 4 -
2.1.1	MyDAQ a příslušenství	- 5 -
2.1.2	Analogové vstupy [AI 0+, 0- / AI 1+, 1-]	- 6 -
2.1.3	Analogové výstupy [AO 0, 1 / Audio out]	- 7 -
2.1.4	Digitální vstupy/výstupy [DIO 0 – 7]	- 7 -
2.1.5	Napájecí zdroje	- 7 -
2.1.6	Digitální multimetr	- 8 -
2.2	Využití rozhraní myDAQ se simulačním programem Multisim	- 9 -
2.2.1	Měřicí přístroje, které máme k dispozici:	- 12 -
3	Využití rozhraní myDAQ ve výuce	- 13 -
4	Laboratorní úlohy s využitím rozhraní myDAQ	- 15 -
4.1	Úloha č. 1: Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ	- 15 -
4.1.1	Práce s číslicovým multimetrem	- 15 -
4.1.2	Práce s funkčním generátorem a osciloskopem	- 15 -
4.1.3	Práce s funkčním generátorem a Bodeho analyzátozem	- 15 -
4.2	Úloha č. 2: Polovodičová dioda jako usměrňovač	- 16 -
4.2.1	Měření volt-ampérové charakteristiky usměrňovací diody	- 16 -
4.2.2	Měření jednocestného usměrňovače	- 17 -
4.2.3	Měření dvoucestného usměrňovače v Grätzově zapojení	- 17 -
4.3	Úloha č. 3: Měření pasivních RC frekvenčních filtrů	- 18 -
4.3.1	RC frekvenční filtr typu dolní propust	- 18 -
4.3.2	RC frekvenční filtr typu horní propust	- 18 -
4.3.3	RC frekvenční filtr typu pásmová propust	- 19 -

4.3.4	RC frekvenční filtr typu pásmová zádrž.....	19 -
4.4	Úloha č. 4: Měření základních zapojení s operačními zesilovači.....	20 -
4.4.1	Invertující zapojení s operačním zesilovačem (dále jen „OZ“).....	20 -
4.4.2	Neinvertující zapojení s operačním zesilovačem	20 -
4.4.3	Napětíový sledovač s OZ	21 -
5	Konstrukce měřicích přípravků	23 -
5.1	Elektrická zapojení	23 -
5.1.1	Úloha č. 1: Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ.....	23 -
5.1.2	Úloha č. 2: Polovodičová dioda jako usměrňovač	24 -
5.1.3	Úloha č. 3: Měření pasivních RC frekvenčních filtrů	25 -
5.1.4	Úloha č. 4: Měření základních zapojení s operačními zesilovači.....	26 -
5.2	Technická dokumentace přípravků	27 -
5.2.1	Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ.....	27 -
5.2.2	Měření základních zapojení usměrňovačů	27 -
5.2.3	Měření pasivních RC frekvenčních filtrů	27 -
5.2.4	Základní zapojení s operačním zesilovačem	27 -
5.3	Laboratorní ověření a fotodokumentace	27 -
5.3.1	Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ.....	30 -
5.3.2	Polovodičová dioda jako usměrňovač	33 -
5.3.3	Měření pasivních RC frekvenčních filtrů	36 -
5.3.4	Měření základních zapojení s operačními zesilovači	40 -
6	Závěr.....	43 -
7	Seznam použitých zdrojů a literatury	45 -
8	Seznam použitého software	47 -
9	Seznam příloh.....	49 -
10	Přílohy	51 -

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Rozhraní National Instruments myDAQ.....	3 -
Obr. 2.2 Blokové schéma rozhraní myDAQ [1].....	4 -
Obr. 2.3 Rozmístění signálů na svorkovnici rozhraní myDAQ	4 -
Obr. 2.4 Příslušenství k rozhraní myDAQ	5 -
Obr. 2.5 Způsoby připojování periférií k rozhraní myDAQ [2].....	6 -
Obr. 2.6 MyDAQ jako multimetr	8 -
Obr. 2.7 Zdíčky pro připojení měřicích sond multimetru	8 -
Obr. 2.8 Založení pracovní plochy pro návrh obvodu s myDAQem 1. krok	10 -
Obr. 2.9 Založení pracovní plochy pro návrh obvodu s myDAQem 2. krok	10 -
Obr. 2.10 Pracovní plocha pro vytvoření obvodu s myDAQem	10 -
Obr. 2.11 Panel představující postranní konektor na myDAQu.....	11 -
Obr. 2.12 Panel se zdíčkami multimetru.....	11 -
Obr. 13 Nastavení gravírovacího laseru v programu GravoStyle	27 -
Obr. 14 Rozmístění předloh desek plošných spojů v programu GravoStyle.....	28 -
Obr. 15 Odpařování syntetické barvy.....	28 -
Obr. 16 Displej gravírovacího laseru.....	29 -
Obr. 17 Vypalování 2. průchodu	29 -
Obr. 18 Hotová deska po gravírování.....	29 -
Obr. 19 Hotové měřicí přípravky	30 -
Obr. 20 Měření napětí na LED - fyzické zapojení obvodu	30 -
Obr. 21 Měření napětí na LED zapojení v simulačním programu	31 -
Obr. 22 Měření proudu LED - fyzické zapojení obvodu.....	31 -
Obr. 23 Měření proudu LED - zapojení v simulačním programu	32 -
Obr. 24 Zapojení s Bodeho analyzátozem – fyzické zapojení.....	32 -
Obr. 25 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru	33 -
Obr. 26 Měření V-A char. diody - propustný směr	34 -
Obr. 27 Fyzické zapojení obvodu jednocestného usměrňovače.....	34 -
Obr. 28 Průběhy napětí na jednocestném usměrňovači (simulace/skutečnost).....	35 -
Obr. 29 Fyzické zapojení obvodu dvoucestného usměrňovače.....	35 -

Obr. 30 Průběhy napětí na dvoucestném usměrňovači (simulace/skutečnost).....	- 36 -
Obr. 31 Fyzické zapojení obvodu s dolní propustí.....	- 36 -
Obr. 32 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru	- 37 -
Obr. 33 Fyzické zapojení obvodu s horní propustí.....	- 37 -
Obr. 34 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru	- 38 -
Obr. 35 Fyzické zapojení obvodu s pásmovou propustí.....	- 38 -
Obr. 36 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru	- 39 -
Obr. 37 Fyzické zapojení obvodu s pásmovou zádrží.....	- 39 -
Obr. 38 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru	- 40 -
Obr. 39 Fyzické zapojení invertujícího zapojení s OZ.....	- 40 -
Obr. 40 Fyzické zapojení neinvertujícího zapojení s OZ	- 41 -
Obr. 41 Výstupní oscilogram z osciloskopu.....	- 42 -
Obr. 42 Fyzické zapojení napěťového sledovače s OZ	- 42 -

Seznam tabulek

Tab. 1 Definice vstupních napěťových úrovní	- 7 -
Tab. 2 Výstupní proudy pro příslušné zdroje	- 8 -
Tab. 3 Parametry multimetru [1]	- 9 -
Tab. 4 Změřené hodnoty V-A char. diody	- 34 -
Tab. 5 Výstupní parametry invertujícího zapojení (vypočet/simulace/skutečnost) ...	- 41 -

1 Úvod

Tato práce se zabývá jednou z možných metod měření a diagnostiky elektronických obvodů a jejím zavedením do výuky elektrotechnických měření. Je zde popsáno přenosné rozhraní myDAQ od firmy National Instruments, které lze k metodě on-line měření využít.

Návrh na zpracování této práce mne zaujal, jelikož pojetí předmětu měření a diagnostika mi přišlo příliš stereotypní. Zařízení myDAQ nahradí mnoho různých měřicích přístrojů od digitálního multimetru až po osciloskop. Výhodou využití daného zařízení je jeho spolupráce se simulačním programem Multisim, kdy s jejich kombinací lze porovnávat data získaná ze simulovaného obvodu v prostředí Multisim s daty získanými z reálného obvodu pomocí rozhraní myDAQ.

Předmětem této práce je především výroba desek plošných spojů s obvody, na kterých se lze snadno seznámit s rozhraním myDAQ a zmíněnou metodou on-line měření. Každý měřicí přípravek nelze vyrobit bez příslušné technické dokumentace, tudíž se práce dále zabývá návrhem jednotlivých obvodů a jeho zpracováním do podoby technické dokumentace.

Aby bylo zařízení myDAQ aktivně využíváno při výuce, bylo zapotřebí ke zmiňovaným měřicím přípravkům navrhnout úlohy, na nichž se žáci se zařízením myDAQ a metodou on-line měření seznámí, a protokoly do nichž budou zapisovat své výsledky.

Nejzásadnějším důvodem výběru tématu bylo požádání vedoucího úseku elektrotechnických předmětů Ing. A. Juránka zpracovat práci zabývající se zavedením metody on-line měření s využitím rozhraní myDAQ do výuky. Dané zařízení a jeho možnosti mě zaujaly a chtěl jsem o něm a obecně o on-line měření obvodových veličin získat více informací.

Hlavním cílem práce je tedy popsat měřicí rozhraní myDAQ od firmy National Instruments, jeho spolupráci se simulačním prostředím Multisim a vytvořit návrh zadání úloh vhodných pro on-line měření. Dále vytvořit protokoly o laboratorním cvičení a příslušné měřicí desky upravené k přímému propojení s obvodem rozhraní myDAQ. Na závěr poté provést ověření správné funkce jednotlivých měřicích doplňků.

Ve výsledku tedy vznikne práce obsahující informace o rozhraní myDAQ a on-line měření, která do budoucna může sloužit jako zdroj inspirace k návrhu dalších úloh ke zpestření výuky.

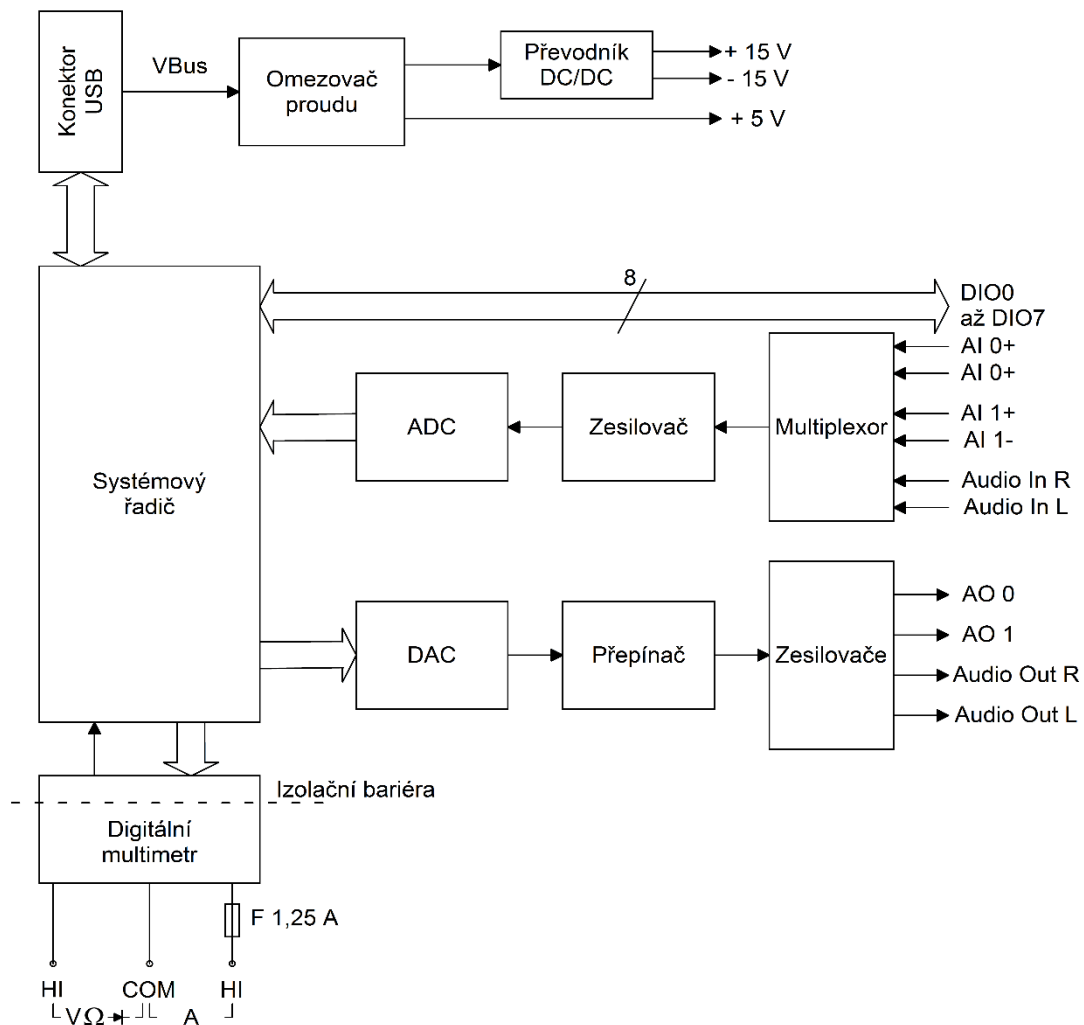
2 Měřicí rozhraní National Instruments myDAQ



Obr. 2.1 Rozhraní National Instruments myDAQ

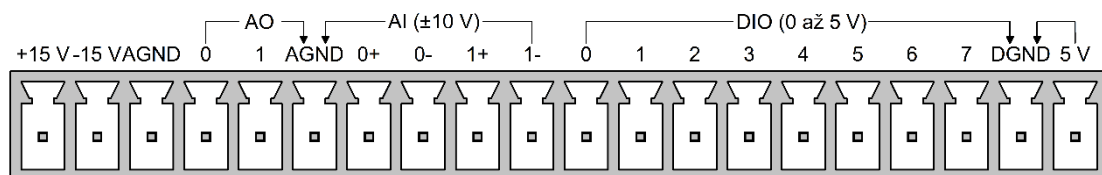
National Instruments (dále jen „NI“) myDAQ [čti majdak] je přenosné zařízení na sběr dat (angl. Data acquisition - DAQ), které kombinací s prvky NI LabVIEW obsažených v simulačním programu Multisim umožňuje analyzovat a zpracovávat získané signály a ovládat jednoduché obvody.

2.1 Technický popis rozhraní myDAQ



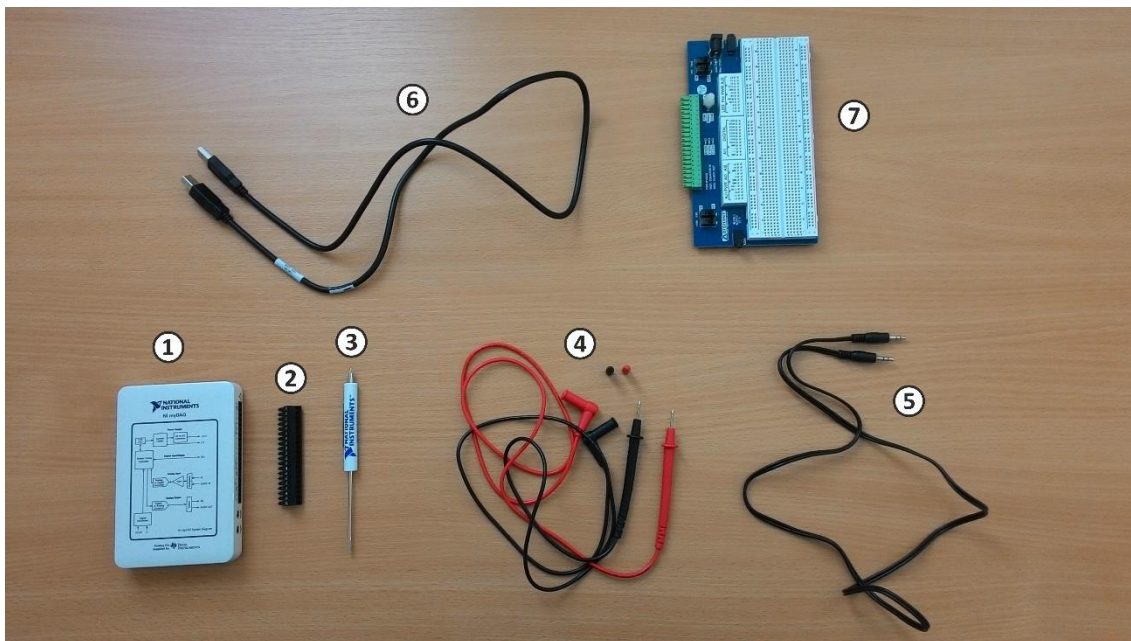
Obr. 2.2 Blokové schéma rozhraní myDAQ [1]

Zařízení NI myDAQ je k počítači připojeno přes rozhraní Universal Serial Bus (dále jen „USB“), přes které je zajišťována komunikace a napájení zařízení NI myDAQ, které zároveň slouží i jako napájecí zdroj pro měřené obvody, avšak lze použít i externí napájení a myDAQ využívat čistě jako sběrač dat [1].



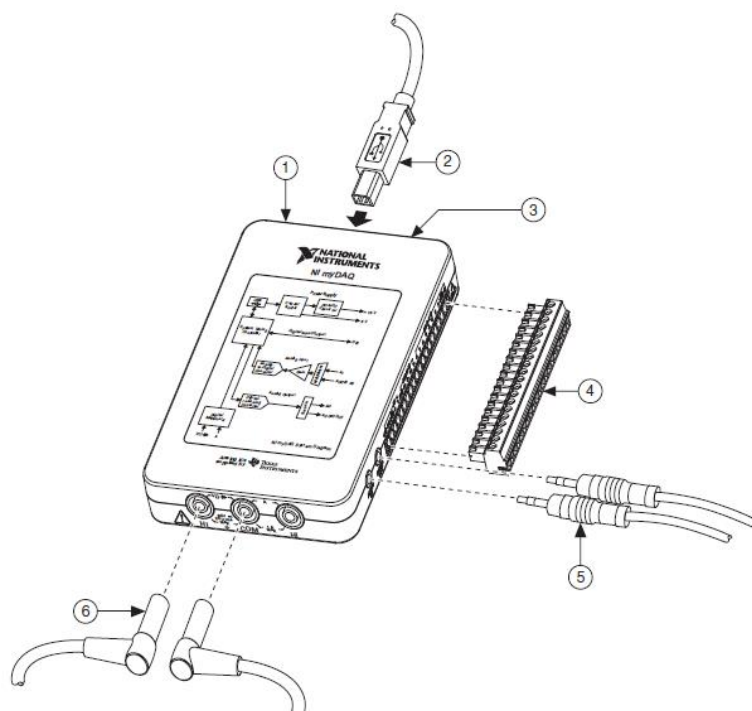
Obr. 2.3 Rozmístění signálů na svorkovnici rozhraní myDAQ

2.1.1 MyDAQ a příslušenství



Obr. 2.4 Příslušenství k rozhraní myDAQ

- 1) Rozhraní myDAQ
- 2) Konektor připojitelný k myDAQu
- 3) Šroubovák
- 4) Měřicí sondy multimetru
- 5) Audio kabel (jack 3,5 mm)
- 6) Propojovací USB kabel
- 7) Nepájivé pole připojitelné k myDAQu
- 8) Digital Video Disk (dále jen „DVD“) s potřebným software „NI myDAQ Software Suite 2014“



Obr. 2.5 Způsoby připojování periférií k rozhraní myDAQ [2]

- 1) Rozhraní myDAQ
- 2) Kabel USB
- 3) Indikační svítivá dioda (dále jen „LED“)
- 4) Konektor připojitelný k myDAQu
- 5) Audio kabel (jack 3,5 mm)
- 6) Měřicí sondy multimetru

2.1.2 Analogové vstupy [AI 0+, 0- / AI 1+, 1-]

MyDAQ nabízí dva analogové vstupní kanály popsané jako Analog Input (dále jen „AI“). Tyto kanály mohou být nakonfigurovány buď jako vysokoimpedanční diferenciální napěťové vstupy pro zpracování napěťových signálů v rozsahu ± 10 V nebo jako stereofonní audio vstupy. Měření nebo analýzu signálu přivedeného na vstup lze provádět až do rychlosti 200 000 vzorků za sekundu s frekvenčním rozsahem do 400 kHz. Tuto vlastnost lze využít ve funkci osciloskopu, analyzátoru dynamických signálů a Bodeho analyzátoru. Zemnicím bodem pro analogové vstupy je Analog Ground (dále jen „AGND“) [2] [3].

2.1.3 Analogové výstupy [AO 0, 1 / Audio out]

Dále se na myDAQu nachází dva analogové výstupní kanály nazvané jako Analog Output (dále jen „AO“). Ty lze nakonfigurovat buď jako napěťový výstup nebo audio výstup. Je možné generovat signály různých tvarů (sinus, trojúhelník, obdélník) do hodnoty ± 10 V, avšak jsme omezeni maximálním výstupním proudem o hodnotě 2 mA. Výstupní signály lze generovat do rychlosti 200 000 vzorků za sekundu na jeden kanál. Zemnicím bodem pro analogové výstupy je též AGND [2] [3].

2.1.4 Digitální vstupy/výstupy [DIO 0 – 7]

K dispozici máme 8 digitální linek. Každou lze individuálně nastavit jako vstup nebo výstup. Linky Digital Input/Output (dále jen „DIO“) 0 – 3 mohou být nakonfigurovány ve funkci čítače nebo časovače. Průběhy pulzně šířkové modulace (dále jen „PWM“) lze generovat skrz linku DIO 3. Linky pracují s napětím 3,3 V [Low Voltage Transistor-Transistor Logic (dále jen „LVTTL“)]G a lze na ně přivádět signál s napětím do 5 V. Maximální výstupní proud jsou 4 mA na jednu linku. Digitální výstupy již nejsou kompatibilní s logickými úrovněmi 5 V CMOS hradel. Zemnicím bodem pro digitální linky je Digital Ground (dále jen „DGND“) [2] [3].

Tab. 1 Definice vstupních napěťových úrovní

Logická hodnota	Definovaná úroveň
0	Do 0,8 V
1	Od 2 V

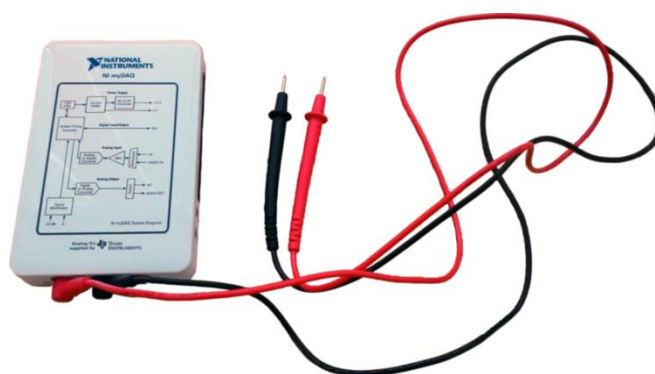
2.1.5 Napájecí zdroje

Pro práci s analogovými signály a operačními zesilovači je myDAQ vybaven obvodem, který ze vstupního napětí 5 V (z konektoru USB) vytváří symetrické napětí ± 15 V. Pro napájení digitální součástí jako například logická hradla, myDAQ poskytuje zdroj stejnosměrného napětí +5 V [2] [3].

Tab. 2 Výstupní proudy pro příslušné zdroje

Napájecí zdroj	Maximální výstupní proud
+15 V	32 mA
-15 V	32 mA
+5 V	100 mA

2.1.6 Digitální multimetr



Obr. 2.6 MyDAQ jako multimetr

Nezákladnější funkce zařízení je digitální multimetr Obr. 2.6. Lze měřit stejnosměrné i střídavé napětí a proud, odpor a napětí na přechodu p-n. K zařízení jsou dodány dvě měřicí sondy, které lze připojit na příslušné zdířky na straně karty Obr. 2.7 [1].



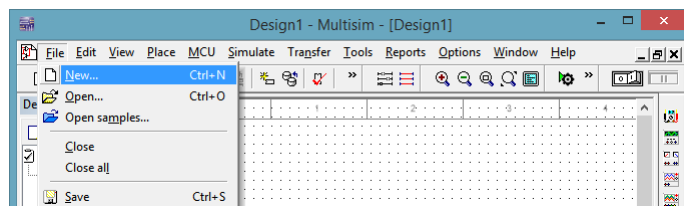
Obr. 2.7 Zdířky pro připojení měřicích sond multimetru

Tab. 3 Parametry multimetru [1]

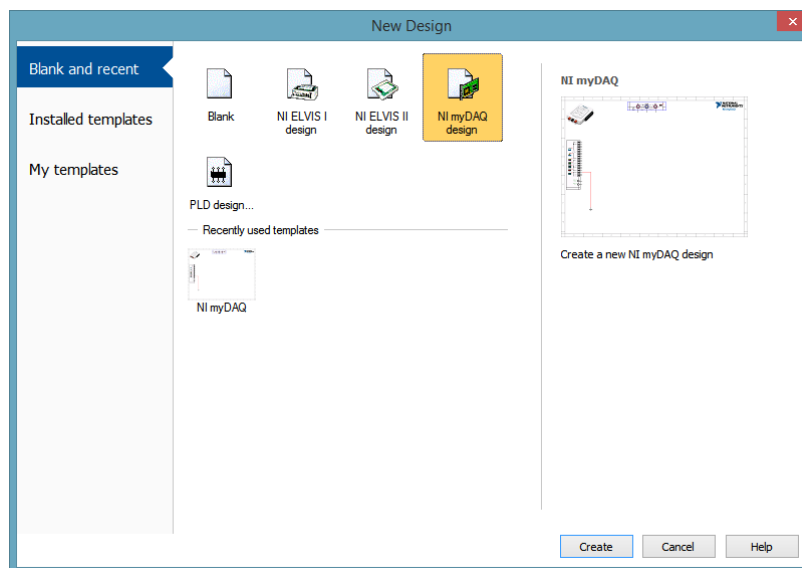
Funkce	Rozsah	Rozlišení	Přesnost ($\pm\%$ čtení + offset)	
Stejnoseměrné napětí	200 mV	0,1 mV	0,5 % + 0,2 mV	
	2 V	0,001 V	0,5 % + 2 mV	
	20 V	0,01 V	0,5 % + 20 mV	
	60 V	0,1 V	0,5 % + 200 mV	
Střídavé napětí			40 – 400 Hz	400 – 2 000 Hz
	200 mV	0,1 mV	1 % + 0,15 %	–
	2 V	0,001 V	1 % + 0,15 %	5 % + 3 mV
	20 V	0,01 V	1 % + 0,15 %	5 % + 30 mV
Stejnoseměrný proud	20 mA	0,01 mA	1 % + 0,02 mA	
	200 mA	0,1 mA	0,5 % + 0,2 mA	
	1 A	0,001 A	0,5 % + 2 mA	
Střídavý proud			40 – 400 Hz	400 – 2 000 Hz
	20 mA	0,01 mA	1,5 % + 0,03 mA	5,5 % + 0,03 mA
	200 mA	0,1 mA	1 % + 0,3 mA	5 % + 0,3 mA
	1 A	0,001 A	1 % + 3 mA	5 % + 3 mA
Odpor	200 Ω	0,1 Ω	0,8 % + 0,3 Ω (bez přívodních vodičů)	
	2 k Ω	0,001 k Ω	0,8 % + 3 Ω	
	20 k Ω	0,01 k Ω	0,8 % + 30 Ω	
	200 k Ω	0,1 k Ω	0,8 % + 300 Ω	
	2 M Ω	0,001 M Ω	0,8 % + 3 k Ω	
	20 M Ω	0,01 M Ω	1,5 % + 50 k Ω	
Napětí na přechodu p-n	2 V			

2.2 Využití rozhraní myDAQ se simulačním programem Multisim

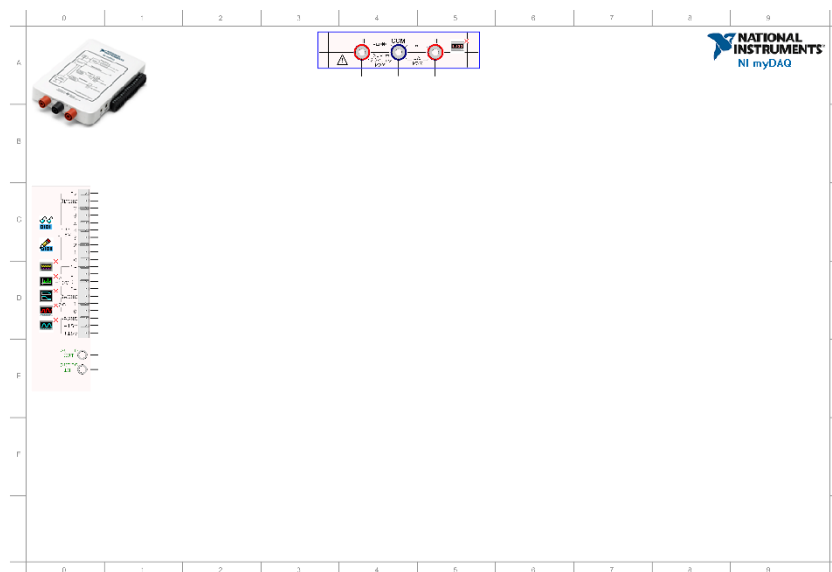
V prvé řadě by bylo dobré zmínit, co to Multisim je. Jedná se o simulačním program, ve kterém můžeme navrhovat schémata elektronických obvodů a pomocí virtuálních měřicích přístrojů simulovat a zkoumat jejich funkce. Při doinstalování potřebného software přiloženého na DVD v balení s rozhraním myDAQ, získáme v Multisimu možnost navrhovat obvody s využitím myDAQu. K tomu se dostaneme přes záložku **File >> New >> NI myDAQ Design >> Create** [4].



Obr. 2.8 Založení pracovní plochy pro návrh obvodu s myDAQem 1. krok

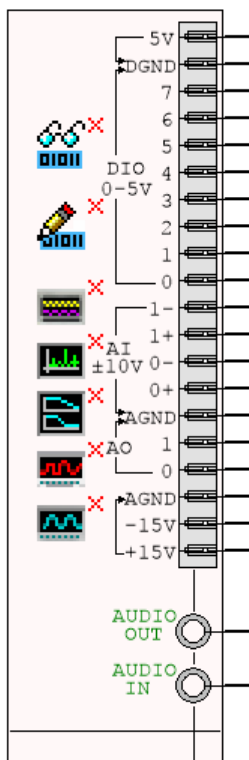


Obr. 2.9 Založení pracovní plochy pro návrh obvodu s myDAQem 2. krok



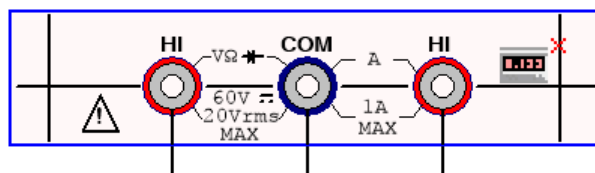
Obr. 2.10 Pracovní plocha pro vytvoření obvodu s myDAQem

Na pracovní ploše *Obr. 2.10* můžeme vytvářet schéma obvodu stejným způsobem jako při běžném návrhu v Multisimu. Po levé straně se nachází panel *Obr. 2.11*, představující postranní konektor na fyzickém myDAQu.



Obr. 2.11 Panel představující postranní konektor na myDAQu

Na panelu se nachází schématické značky jednotlivých měřicích přístrojů, kterými myDAQ disponuje. V horní části uprostřed máme další panel *Obr. 2.12* představující zdířky pro sondy multimetru se schématickou značkou multimetru.



Obr. 2.12 Panel se zdířkami multimetru

Při poklepání na schématickou značku se nám otevře menu příslušného měřicího přístroje, kde můžeme nastavovat jeho parametry, sledovat průběhy získaných signálů a dále s nimi pracovat.

2.2.1 Měřicí přístroje, které máme k dispozici:

- Digitální multimetr (NI ELVISmx Digital Multimeter)
- Osmikanálová logická sonda (NI ELVISmx Digital Reader)
- Datový generátor (NI ELVISmx Digital Writer)
- Osciloskop (NI ELVISmx Oscilloscope)
- Spektrální analyzátor (NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer)
- Bodeho analyzátor (NI ELVISmx Bode Analyzer)
- Generátor libovolného tvaru signálu (NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator)
- Generátor funkcí (NI ELVISmx Function Generator)

U každého měřicího přístroje máme možnost si zvolit, jestli chceme myDAQ simulovat a získávat data z obvodu vytvořeného v Multisimu, anebo provádět reálné měření, kdy budeme sbírat data z fyzického obvodu připojeného přes konektor k myDAQu. Především však můžeme získaná data mezi sebou porovnat a sledovat rozdíly mezi teorií, simulací a praxí.

3 Využití rozhraní myDAQ ve výuce

Při výuce elektrotechnických měření na škole, kterou autor studuje, probíhala měření obvykle standardním způsobem. Ten spočíval v tom, že žáci dostali měřicí přípravky a k nim postupně připojovali různé zdroje napětí, funkční generátory, multimetry, osciloskopy apod.

Tento uvedený způsob měření parametrů součástek a obvodových veličin sledávám méně efektivním z důvodu toho, že škola musí vlastnit velké množství měřicí techniky, která není nejlevnější. Pro příklad cena takového běžného digitálního osciloskopu se pohybuje v rozmezí 10 000 – 20 000 Kč [7].

Proto jsem se rozhodl zpracovat práci o měřicím rozhraní myDAQ, které stojí cca 3800 Kč bez daně z přidané hodnoty (dále jen „DPH“). Toto drobné zařízení o rozměrech 136 × 88 × 24 v sobě zahrnuje multimetr, analyzátor dynamických signálů, osciloskop, Bodeho analyzátor, funkční generátor, aj.

Zároveň je tato metoda on-line měření obvodových veličin pro žáky mnohem atraktivnější, jelikož výsledky měření jsou ihned zobrazovány na připojeném počítači. Výsledky lze okamžitě v reálném čase porovnávat se simulací a příp. výpočty. Naměřená data pak mohou žáci ukládat pomocí příslušného tlačítka v menu měřicího přístroje. Učitel takto může pomocí počítače s připojeným datovým projektorem předvést správné řešení zadané úlohy či vykládat novou látku a zároveň demonstrovat probíranou funkci obvodu.

4 Laboratorní úlohy s využitím rozhraní myDAQ

4.1 Úloha č. 1: Seznámení s měřícím rozhraním myDAQ

4.1.1 Práce s číslicovým multimetrem

- V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiložených schémat obvodu s LED.
- V režimu simulace změřte s využitím číslicového multimetru hodnotu stejnosměrného proudu protékajícího zelenou svítivou diodou a úbytek napětí na červené svítivé diodě.
- V režimu myDAQ (on-line měření) ověřte hodnoty proudu a napětí z předešlého bodu pomocí myDAQ multimetru.
- Porovnejte hodnoty napětí a proudu zjištěné pomocí on-line měření (bod c) s hodnotami zjištěnými pomocí počítačové simulace (bod b). Případné rozdíly se pokuste vysvětlit.

4.1.2 Práce s funkčním generátorem a osciloskopem

- V prostředí simulačního programu Multisim propojte výstup AO 0 funkčního generátoru (NI ELVISmx Function Generator) se vstupem AI 0+. Vstup AI 0- propojte se svorkou AGND.
- V menu funkčního generátoru nastavte libovolný průběh výstupního napětí (sinus, trojúhelník, obdélník). Frekvenci si zvolte libovolně v rozsahu od 10 Hz do 20 kHz. Amplitudu průběhu si také zvolte libovolně v rozsahu od 1 V do 10 V.
- Na osciloskopu zobrazte časový průběh výstupního signálu generátoru. Zobrazte si kurzory a změřte délku periody, velikost amplitudy a efektivní hodnotu napětí. Zobrazený oscilogram uložte do souboru.

4.1.3 Práce s funkčním generátorem a Bodeho analyzátozem

- V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod jednoduchého RC článku.

- b) V Multisimu zkontrolujte, zda máte všechny využívané přístroje (funkční generátor a Bodeho analyzátor) přepnuté do režimu simulace. Dále zajistěte, aby byl funkční generátor povolen v simulaci (pravým kliknutím na ikonku přístroje a zaškrtnutím *NI myDAQ instrument enabled in simulation*).
- c) S využitím Bodeho analyzátoru (NI ELVISmx Bode Analyzer) zobrazte amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku. Dolní frekvenci analýzy (Start Frequency) volte 100 Hz, horní frekvenci analýzy (Stop Frequency) 10 kHz, počet měřicích bodů na dekádu (Steps) volte 15.
- d) Pomocí kurzorů nalezněte frekvenci, při které dojde k poklesu napěťového přenosu (Gain) simulovaného obvodu o hodnotu -3 dB oproti přenosu na kmitočtu 100 Hz.
- e) Zjistěte hodnotu frekvence, kdy fázový posun simulovaného obvodu nabyde hodnoty -60° .
- f) Zjistěte hodnotu napěťového přenosu obvodu pro frekvenci 4 kHz.
- g) Připojte k rozhraní myDAQ měřicí přípravek. Bodeho analyzátor přepněte do režimu myDAQ (on-line měření).
- h) V režimu on-line měření proved'te znovu měření podle bodů c) až f). Hodnoty frekvencí zjištěné v režimu simulace a on-line měření porovnejte a pokuste se vysvětlit případné rozdíly.

4.2 Úloha č. 2: Polovodičová dioda jako usměrňovač

4.2.1 Měření volt-ampérové charakteristiky usměrňovací diody

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření volt-ampérové (dále jen „V-A“) charakteristiky polovodičové diody 1N4007 v propustném a závěrném směru.
- b) Přepněte obvod na propustný (přímý) směr. Regulací odporového trimru v simulačním prostředí Multisim postupně nastavujte podle tabulky proud procházející diodou a zaznamenejte příslušné úbytky napětí vznikající na diodě.
- c) Měření podle bodu b proved'te on-line pomocí rozhraní NI myDAQ s připojeným měřicím přípravkem.

- d) Přepněte obvod na závěrný (zpětný) směr. Regulací odporového trimru v simulačním prostředí Multisim postupně nastavujte podle tabulky napětí a odečtěte odpovídající anodový proud.
- e) Měření podle bodu e proveďte on-line pomocí rozhraní NI myDAQ s připojeným měřicím přípravkem.
- f) Všechny změřené hodnoty vynesete do společného grafu. Porovnejte průběhy simulované a reálné V-A charakteristiky diody, rozdíly vysvětlete.

4.2.2 Měření jednocestného usměrňovače

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod jednocestného sériového usměrňovače s polovodičovou diodou 1N4007.
- b) Zkontrolujte v Multisimu zda máte všechny přístroje přepnuté v režimu simulace. Funkční generátor nastavte na sinusový výstup s frekvencí 50 Hz a amplitudou 10 V. Výstupní průběh generátoru zobrazte na osciloskopu a uložte jej do souboru.
- c) Připojte měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Zajistěte, že všechny přepínače jsou v poloze 0. Porovnáním simulace a on-line měření ověřte správnou činnost obvodu.
- d) Pomocí osciloskopu zobrazte simulovaný a reálný průběh výstupního napětí usměrňovače a proudu diodou pro čistě odporovou zátěž (všechny přepínače jsou v poloze 0) a tyto průběhy uložte do souboru. S využitím časových a napěťových kurzorů změřte na reálném průběhu dobu jedné periody, frekvenci a amplitudu výstupního průběhu napětí usměrňovače.
- e) Měření z bodu d) zopakujte pro jednotlivé nárazové kondenzátory.

4.2.3 Měření dvoucestného usměrňovače v Grätzově zapojení

- f) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod dvoucestného usměrňovače v Grätzově zapojení.
- g) Zkontrolujte v Multisimu zda máte všechny přístroje přepnuté v režimu simulace. Funkční generátor nastavte na sinusový výstup s frekvencí 50 Hz a amplitudou 10 V.

- h) Připojte měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Zajistěte, že všechny přepínače jsou v poloze 0. Porovnáním simulace a on-line měření ověřte správnou činnost obvodu.
- i) Pomocí osciloskopu zobrazte simulovaný a reálný průběh výstupního napětí usměrňovače a proudu diodami pro čistě odporovou zátěž (všechny přepínače jsou v poloze 0) a tyto průběhy uložte do souboru. S využitím časových a napěťových kurzorů změřte na reálném průběhu dobu jedné periody, frekvenci a amplitudu výstupního průběhu napětí usměrňovače.
- j) Měření z bodu d) zopakujte pro jednotlivé nárazové kondenzátory.

4.3 Úloha č. 3: Měření pasivních RC frekvenčních filtrů

4.3.1 RC frekvenční filtr typu dolní propust

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření RC frekvenčního filtru typu dolní propusti [5].
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočtete mezní frekvenci f_m filtru. S využitím Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku měřeného filtru v režimu simulace a on-line měření a uložte ji do souboru. Z grafů odečtete hodnoty mezních frekvencí, $f_{m,sim}$ (simulace) a $f_{m,skut}$ (skutečná) v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření). Všechny tři hodnoty mezních frekvencí $f_{m,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{m,sim}$, $f_{m,skut}$ navzájem porovnejte a vysvětlete případné rozdíly.
- c) Měření z bodu b) zopakujte pro všechny kapacity filtračních kondenzátorů.

4.3.2 RC frekvenční filtr typu horní propust

- d) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření RC frekvenčního filtru typu horní propusti [5].
- e) Z hodnot obvodových součástek vypočtete mezní frekvenci f_m filtru. S využitím Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku měřeného filtru v režimu simulace a on-line měření a uložte jej do souboru. Z grafů odečtete hodnoty mezních frekvencí f_m v obou

režimech činnosti. Všechny tři hodnoty mezních frekvencí f_m navzájem porovnejte a vysvětlete případné rozdíly.

- f) Měření z bodu b) zopakujte pro všechny kapacity filtračních kondenzátorů.

4.3.3 RC frekvenční filtr typu pásmová propust

- V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření RC pásmové propusti v zapojení dle Wiena.
- Z hodnot obvodových součástek vypočítejte kritickou frekvenci filtru $f_{0,vyp}$ a kritický přenos filtru $A_{0,vyp}$.
- Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku měřeného filtru v režimu simulace i on-line měření a uložte ji do souboru.
- Z grafů získaných v předchozím bodě odečtěte hodnoty kritických frekvencí a přenosů $f_{0,sim}$, $A_{0,sim}$ a $f_{0,skut}$, $A_{0,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- Hodnoty kritických frekvencí a přenosů $f_{0,vyp}$, $A_{0,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{0,sim}$, $A_{0,sim}$ (simulace), $f_{0,skut}$, $A_{0,skut}$ (on-line měření) navzájem porovnejte a vysvětlete případné rozdíly.

4.3.4 RC frekvenční filtr typu pásmová zádrž

- V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření RC pásmové zádrže v zapojení souměrného dvojitého T-článku.
- Z hodnot obvodových součástek vypočítejte kritickou frekvenci filtru $f_{0,vyp}$.
- Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku měřeného filtru v režimu simulace i on-line měření a uložte ji do souboru.
- Z grafů získaných v předchozím bodě odečtěte hodnoty kritických frekvencí $f_{0,sim}$ a $f_{0,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- Hodnoty kritických frekvencí $f_{0,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{0,sim}$ (simulace), $f_{0,skut}$ (on-line měření) navzájem porovnejte a vysvětlete případné rozdíly.

4.4 Úloha č. 4: Měření základních zapojení s operačními zesilovači

4.4.1 Invertující zapojení s operačním zesilovačem (dále jen „OZ“)

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření invertujícího zesilovače [6].
- b) Pro všechny zadané kombinace rezistorů vypočtěte výsledné napěťové zesílení A_U invertujícího zapojení s OZ.
- c) Zajistěte, aby použité přístroje byly nastaveny v režimu simulace. V menu funkčního generátoru nastavte sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou U_{\max} 100 mV.
- d) Pomocí osciloskopu zobrazte a změřte efektivní hodnotu vstupního a výstupního napětí pro všechny kombinace rezistorů a vyčtěte výsledné napěťové zesílení $A_{U,\text{změř.}}$.
- e) K rozhraní myDAQ připojte obvod invertujícího zesilovače z měřicího přípravu. Zajistěte, aby byly všechny přístroje nastaveny v režimu myDAQ (on-line měření).
- f) Zopakujte měření z bodu d) na reálném obvodu.
- g) Hodnoty získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnejte a případné rozdíly se pokuste vysvětlit.

4.4.2 Neinvertující zapojení s operačním zesilovačem

- h) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření neinvertujícího zesilovače [6].
- i) Pro všechny zadané kombinace rezistorů vypočtěte výsledné napěťové zesílení A_U neinvertujícího zapojení s OZ.
- j) Zajistěte, aby použité přístroje byly nastaveny v režimu simulace. V menu funkčního generátoru nastavte sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou U_{\max} 100 mV.
- k) Pomocí osciloskopu zobrazte a změřte efektivní hodnotu vstupního a výstupního napětí pro všechny kombinace rezistorů a vyčtěte výsledné napěťové zesílení $A_{U,\text{změř.}}$.

- l) K rozhraní myDAQ připojte obvod neinvertujícího zesilovače z měřicího přípravku. Zajistěte, aby byly všechny přístroje nastaveny v režimu myDAQ (on-line měření).
- m) Zopakujte měření z bodu d) na reálném obvodu.
- n) Hodnoty získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnejte a případné rozdíly se pokuste vysvětlit.

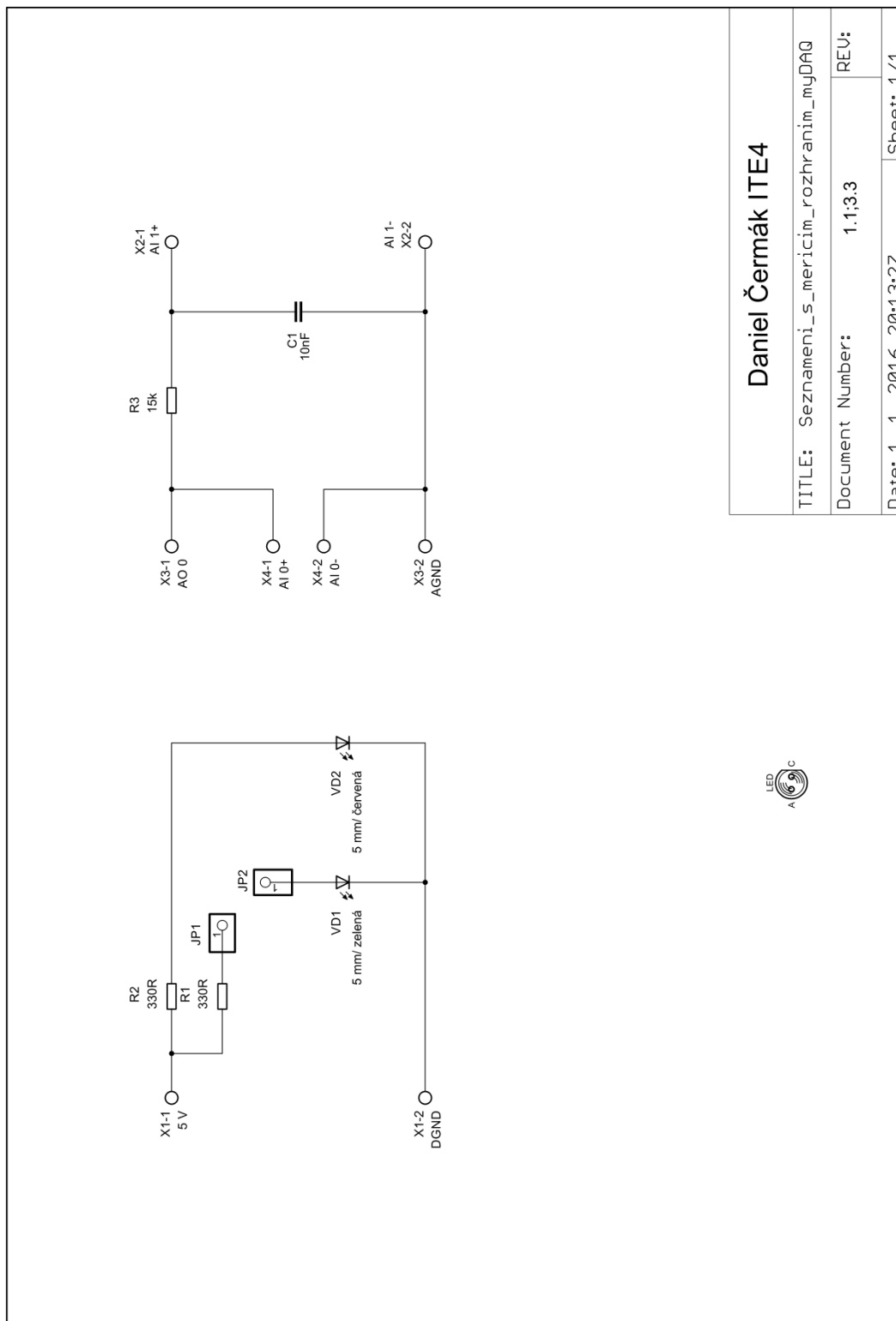
4.4.3 Napěťový sledovač s OZ

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod napěťového sledovače s OZ [6].
- b) Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou 1 V.
- c) Pomocí osciloskopu zobrazte a změřte efektivní hodnotu vstupního napětí U_1 a výstupního napětí U_2 . Dopočítejte výsledné napěťové zesílení $A_{u,sim}$.
- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod napěťového sledovače z měřicího přípravku.
- e) V on-line režimu zopakujte měření z bodu d. Dopočítejte výsledné napěťové zesílení $A_{u,skut}$.
- f) Hodnoty $A_{u,vyp}$, $A_{u,sim}$, $A_{u,skut}$ získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnejte a případné rozdíly se pokuste vysvětlit.

5 Konstrukce měřicích přípravků

5.1 Elektrická zapojení

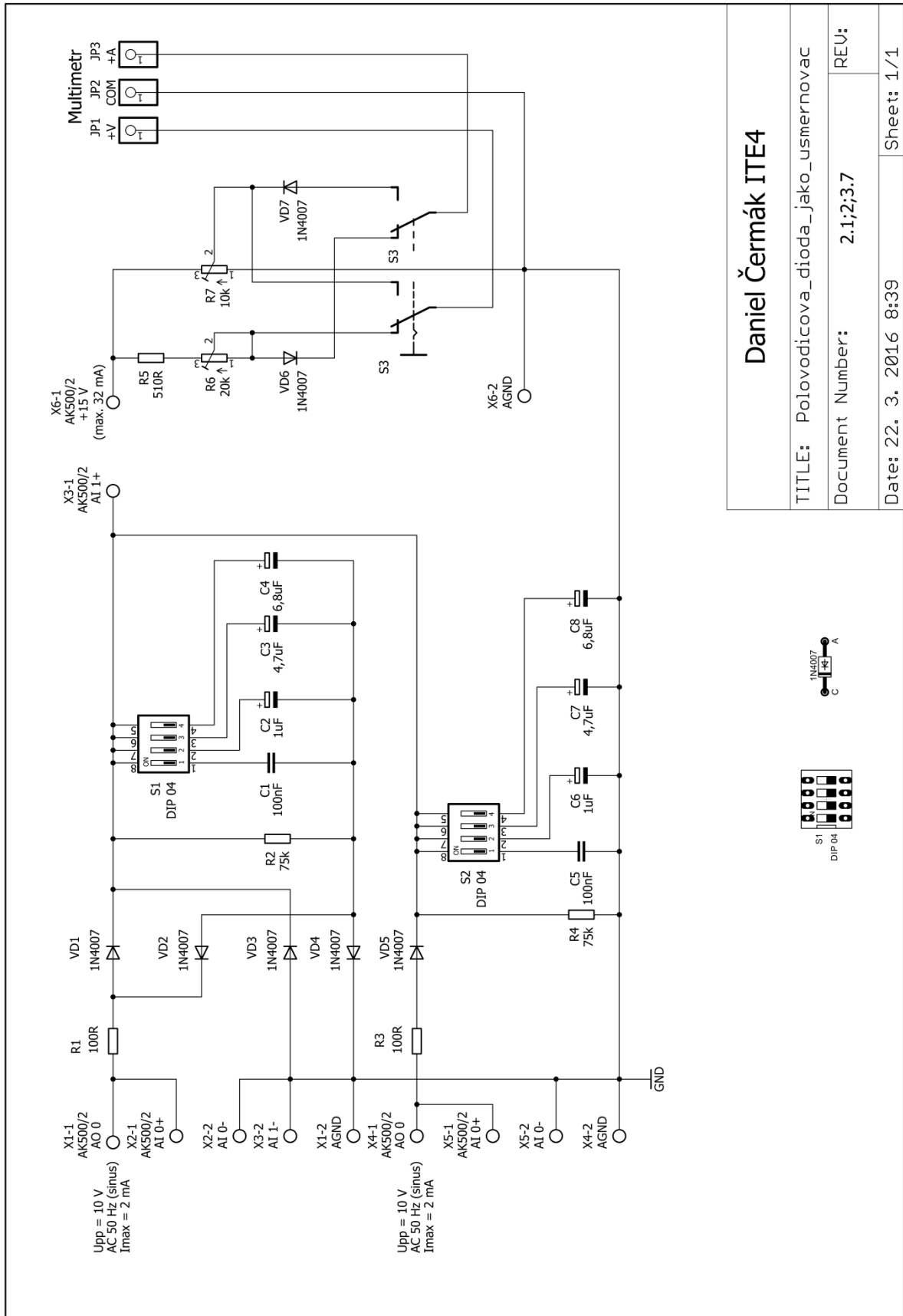
5.1.1 Úloha č. 1: Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ



Daniel Čermák ITE4	
TITLE: Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ	
Document Number:	1.1;3.3 REV:
Date: 1. 1. 2016 20:13:27	Sheet: 1/1



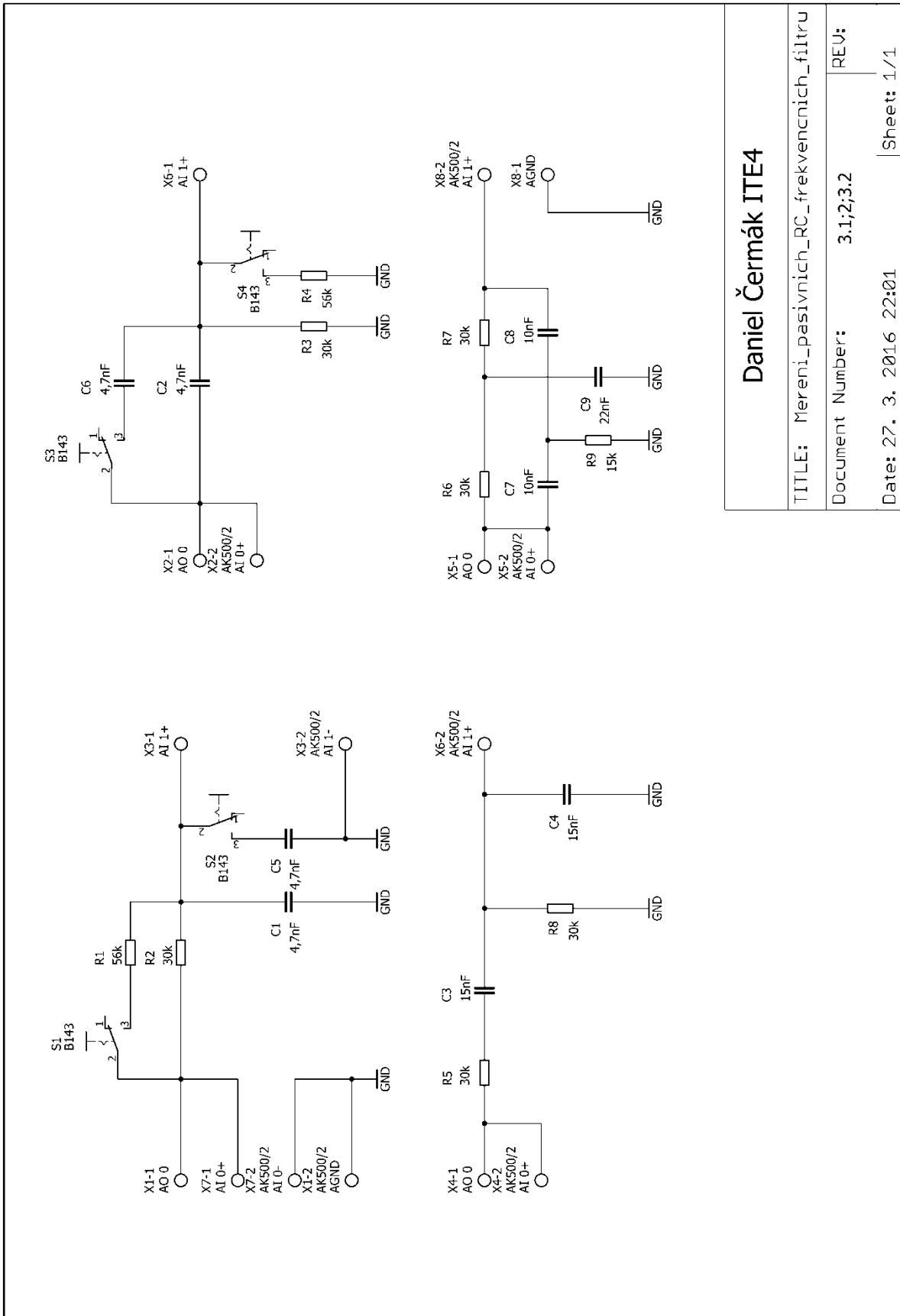
5.1.2 Úloha č. 2: Polovodičová dioda jako usměrňovač



Daniel Čermák ITE4	
TITLE: Polovodicova_dioda_jako_usmernovac	
Document Number:	2.1;2;3;7
REV:	
Date: 22. 3. 2016 8:39	Sheet: 1/1



5.1.3 Úloha č. 3: Měření pasivních RC frekvenčních filtrů



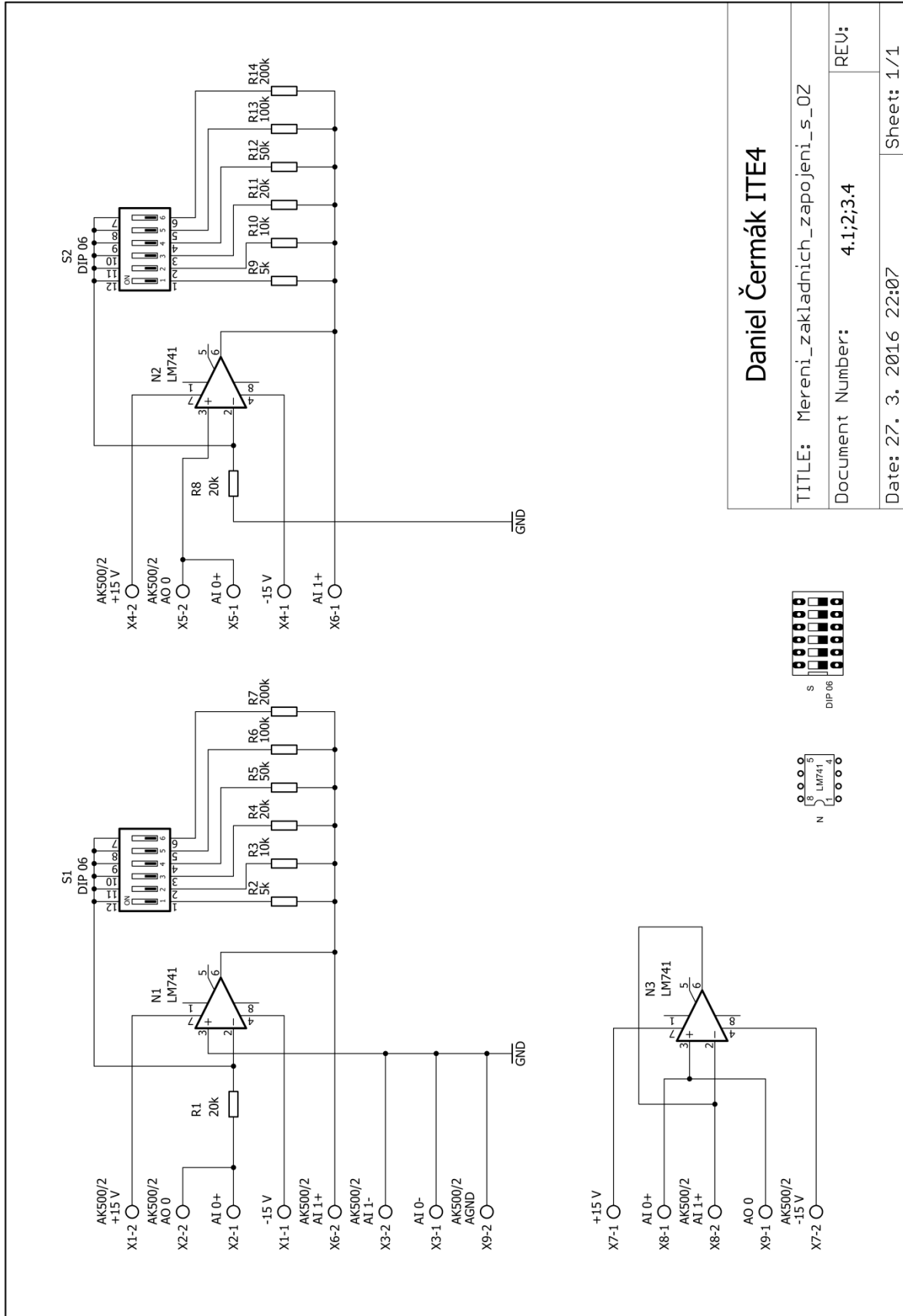
Daniel Čermák ITE4

TITLE: Mereni_pasivnich_RC_frekvencnich_filtru

Document Number: 3.1;2;3;2 REV:

Date: 27. 3. 2016 22:01 Sheet: 1/1

5.1.4 Úloha č. 4: Měření základních zapojení s operačními zesilovači

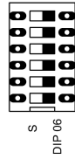


Daniel Čermák ITE4

TITLE: Mereni_zakladnich_zapojeni_s_02

Document Number: 4.1;2;3;4 REV:

Date: 27. 3. 2016 22:07 Sheet: 1/1



5.2 Technická dokumentace přípravků

5.2.1 Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ

Viz příloha A

5.2.2 Měření základních zapojení usměrňovačů

Viz příloha B

5.2.3 Měření pasivních RC frekvenčních filtrů

Viz příloha C

5.2.4 Základní zapojení s operačním zesilovačem

Viz příloha D

5.3 Laboratorní ověření a fotodokumentace

V této kapitole je uvedeno laboratorní ověření korektní funkce jednotlivých měřicích přípravků spolu s grafy.

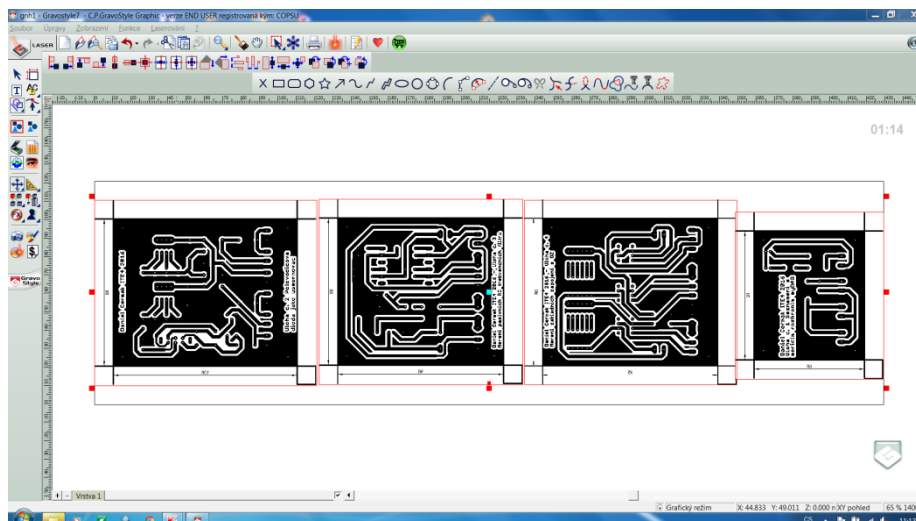
K výrobě těchto přípravků byla užita nově zavedená metoda výroby založená na principu odpaření vrstvy nastříkané syntetické barvy na plošném spoji pomocí gravírovacího laseru a následném odleptání barvou již nezakrytých míst plošného spoje v roztoku chloridu železitého.

Nastavení gravírovacího laseru viz *obr. 13* bylo:

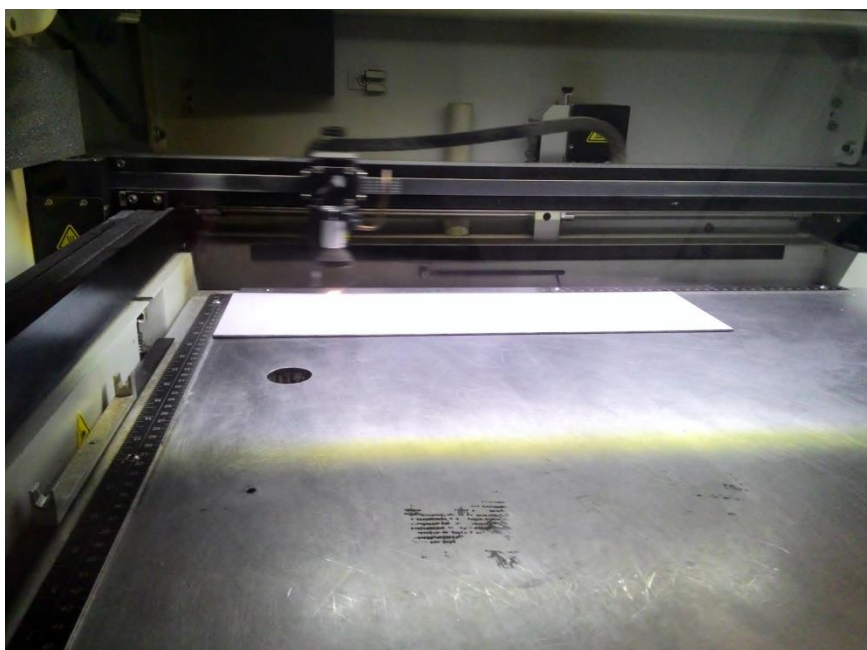
- Rozlišení 600×600 DPI
- Výkon: 100 %
- Rychlost: 30 %
- Počet průchodů: 3



Obr. 13 Nastavení gravírovacího laseru v programu GravoStyle



Obr. 14 Rozmístění předloh desek plošných spojů v programu GravoStyle



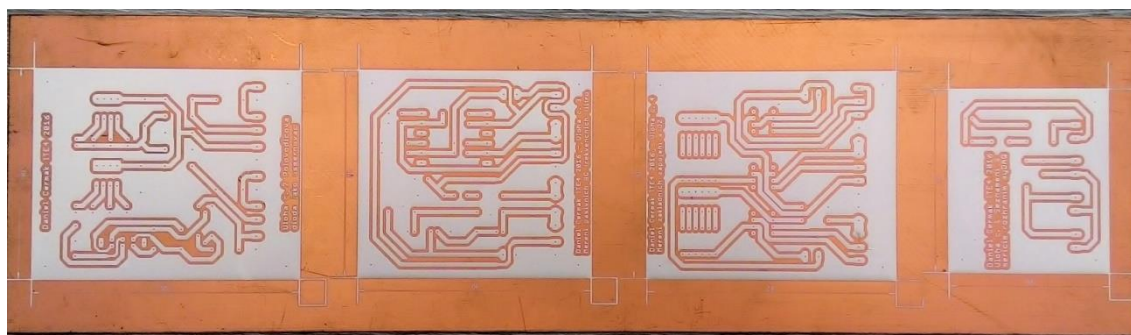
Obr. 15 Odpařování syntetické barvy



Obr. 16 Displej gravírovacího laseru



Obr. 17 Vypalování 2. průchodu



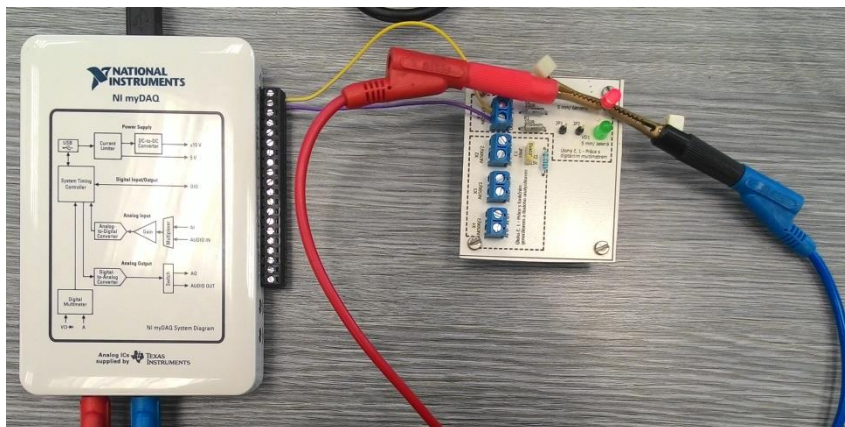
Obr. 18 Hotová deska po gravírování



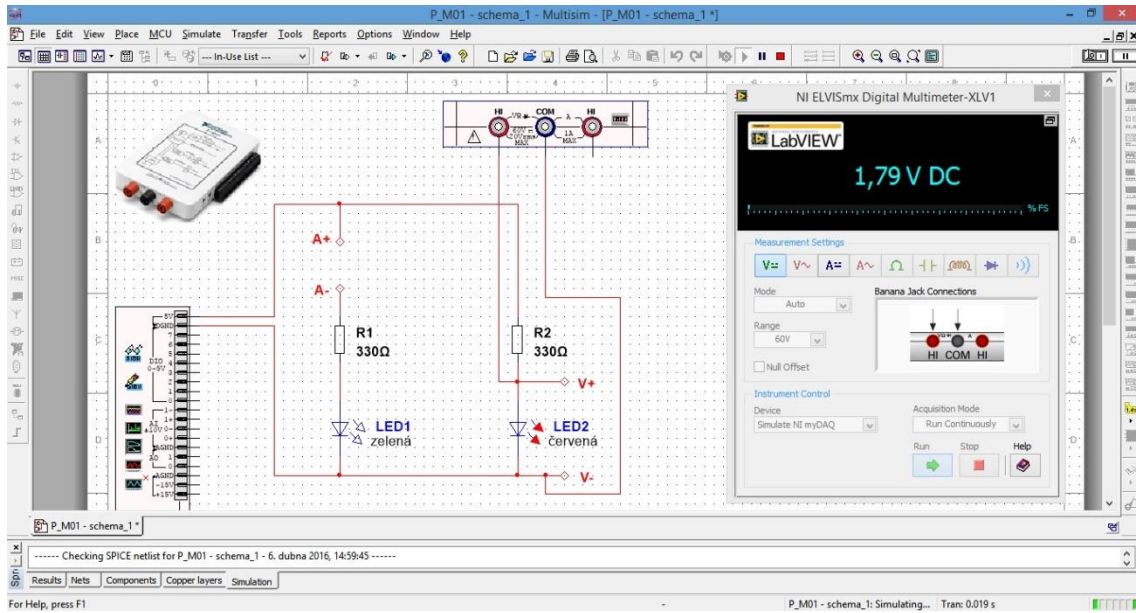
Obr. 19 Hotové měřicí přípravky

5.3.1 Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ

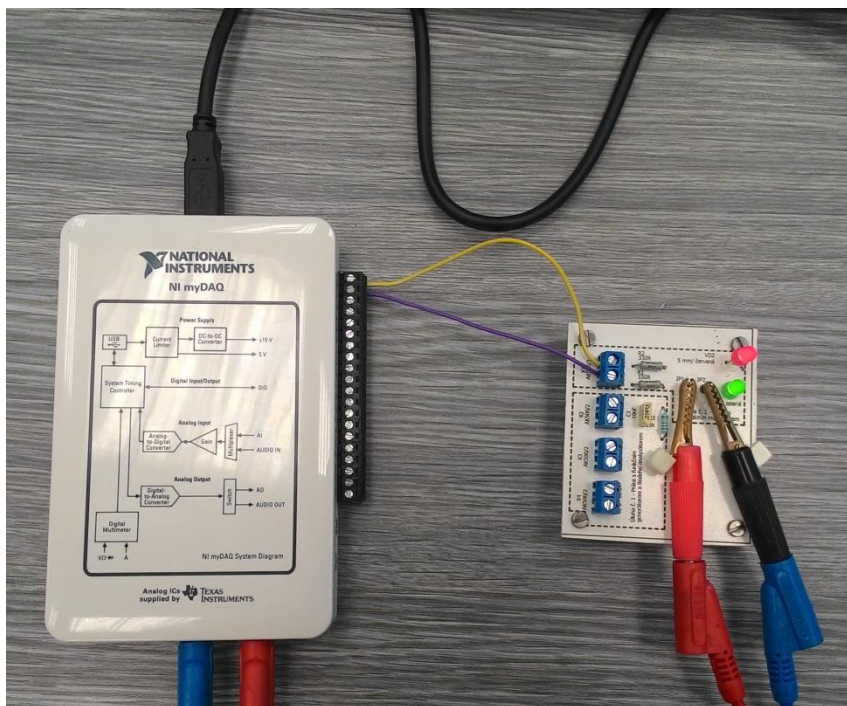
Cílem této úlohy je seznámení žáka s ovládáním rozhraní myDAQ, jeho nastavením (jednotlivých měř. přístrojů uvnitř obsažených) prostřednictvím Multisimu. Žák měří jednoduchý obvod se svítivými diodami, jak je ukázáno na níže uvedených obrázcích.



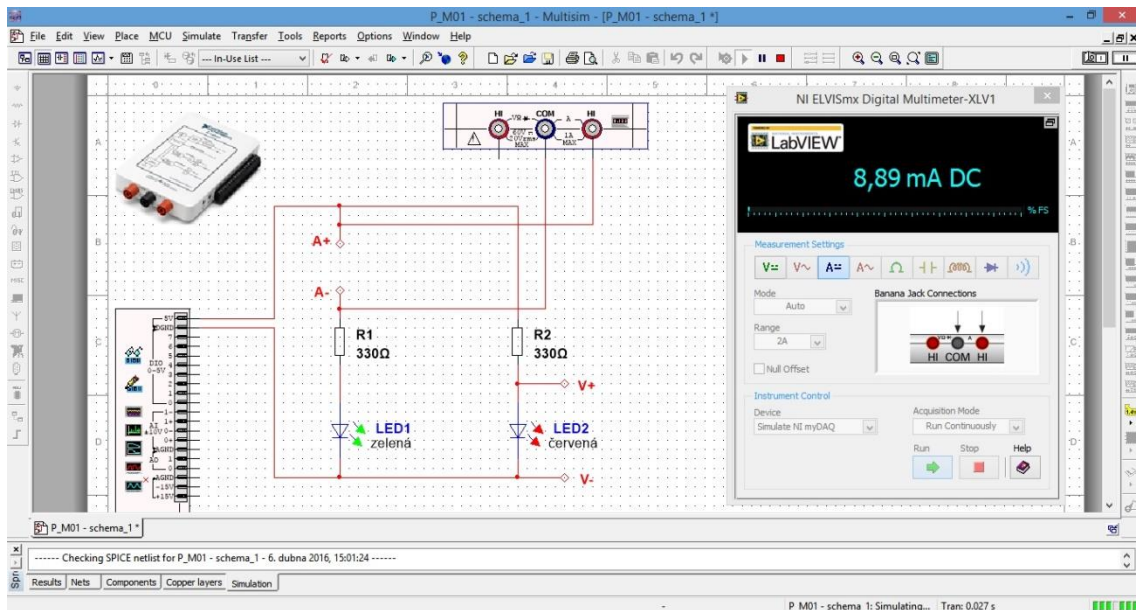
Obr. 20 Měření napětí na LED - fyzické zapojení obvodu



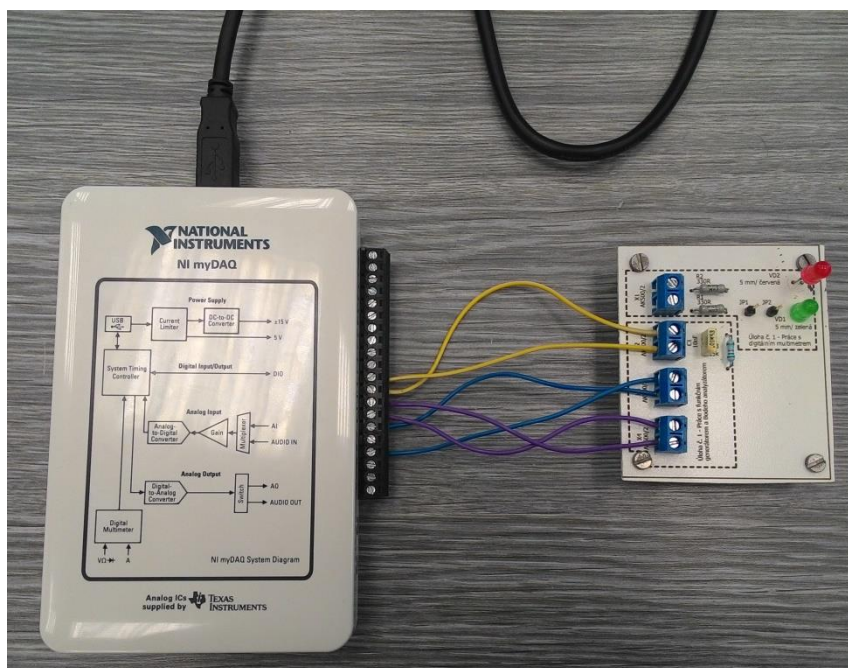
Obr. 21 Měření napětí na LED zapojení v simulačním programu



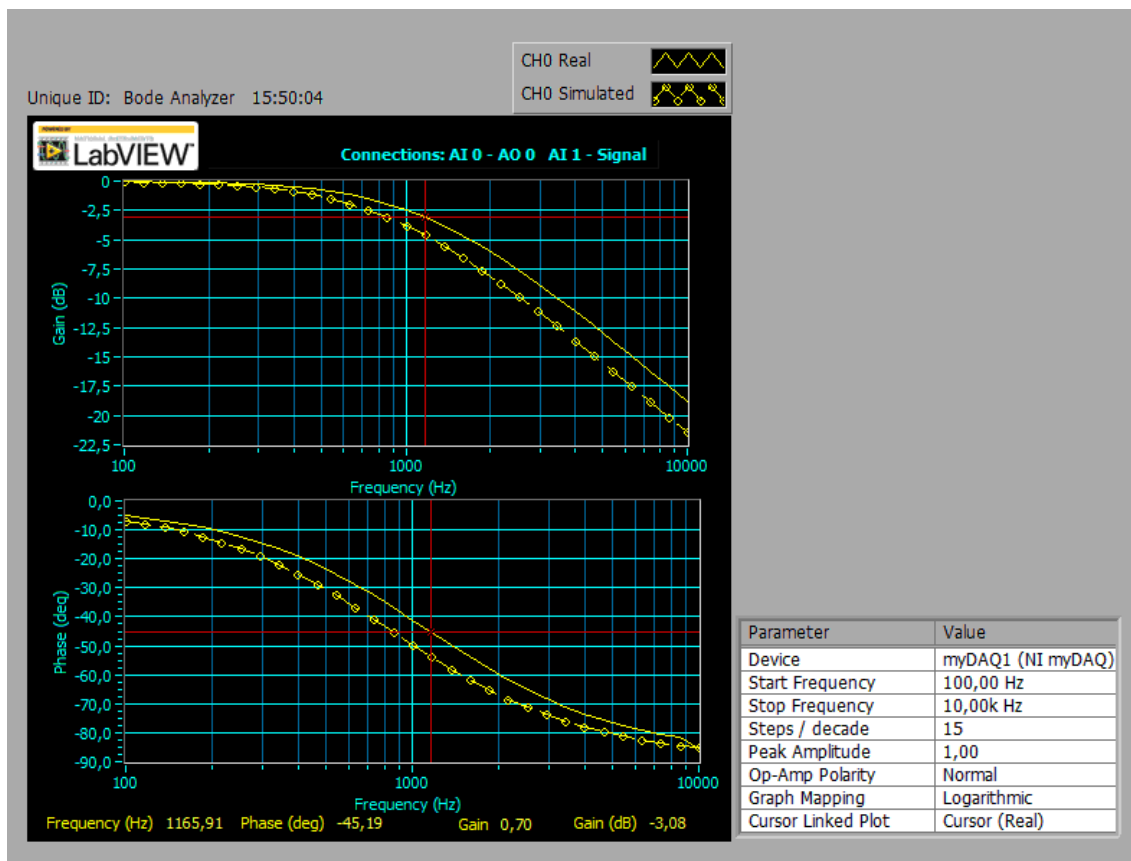
Obr. 22 Měření proudu LED - fyzické zapojení obvodu



Obr. 23 Měření proudu LED - zapojení v simulačním programu



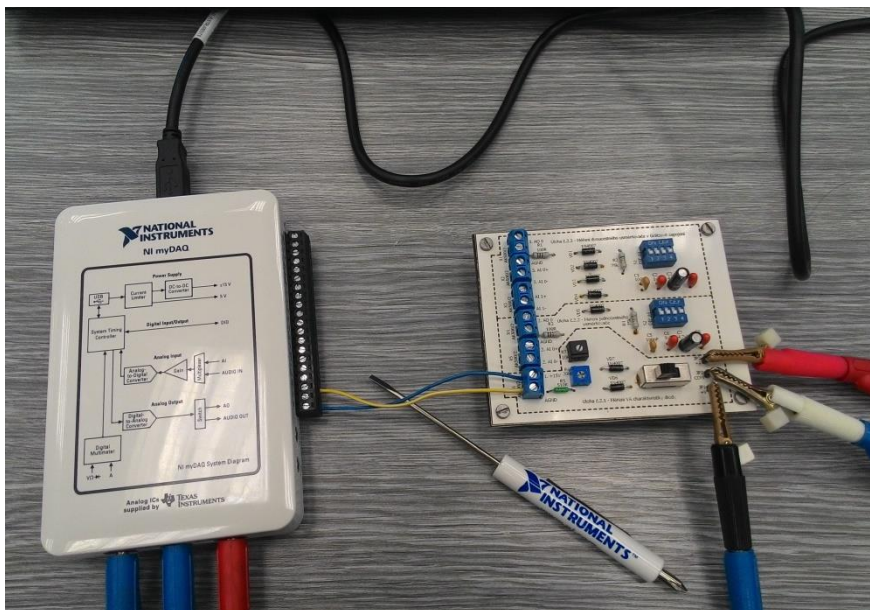
Obr. 24 Zapojení s Bodeho analyzátořem – fyzické zapojení



Obr. 25 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru

5.3.2 Polovodičová dioda jako usměřňovač

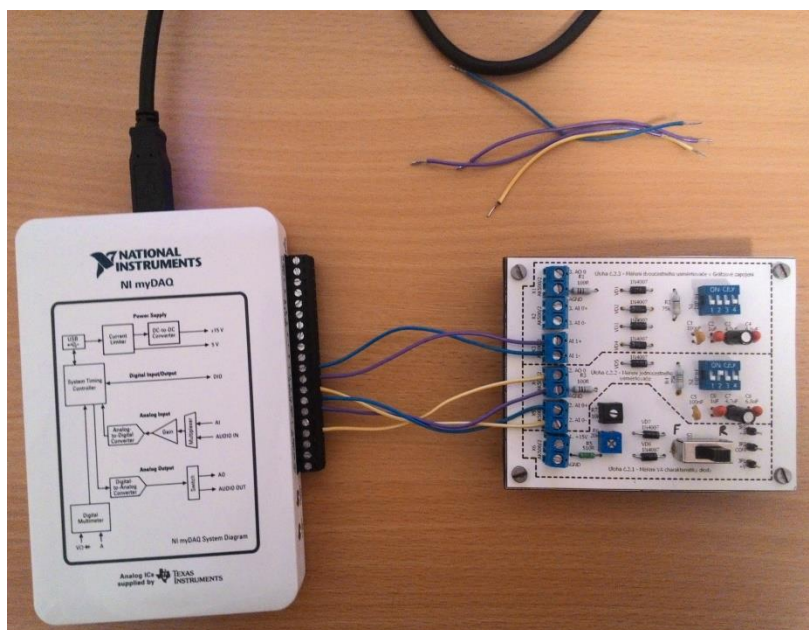
V této úloze se žák seznamuje se zapojením polovodičových diod ve funkci usměřňovače a zároveň si ověří její V-A charakteristiku. Na následujících obrázcích je ukázána správná činnost navrženého měřicího přípravku.



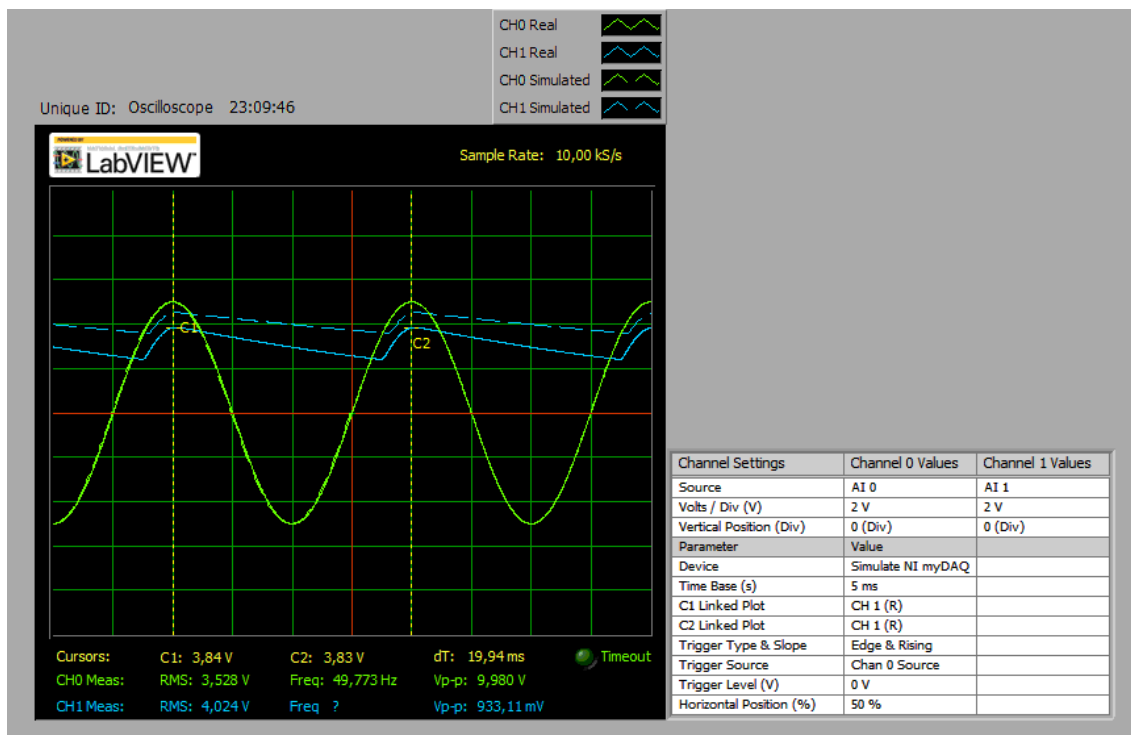
Obr. 26 Měření V-A char. diody - propustný směr

Tab. 4 Změřené hodnoty V-A char. diody

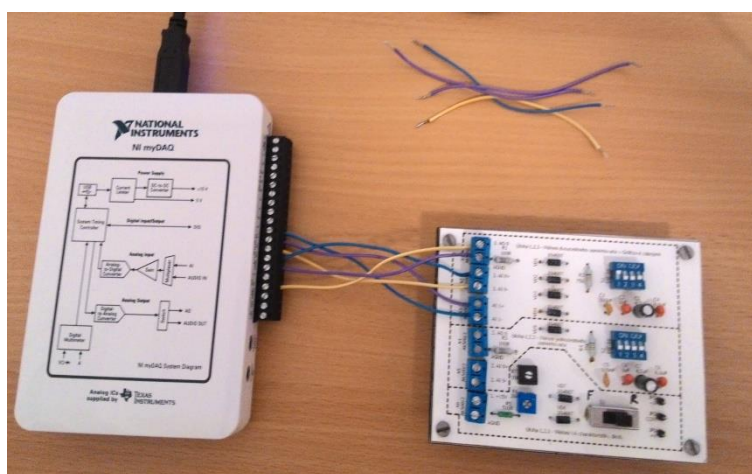
Režim myDAQ (on-line měření)												
I_F [mA]	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	20	25
U_F [mV]	0	580	617	651	671	685	693	703	712	714	725	737



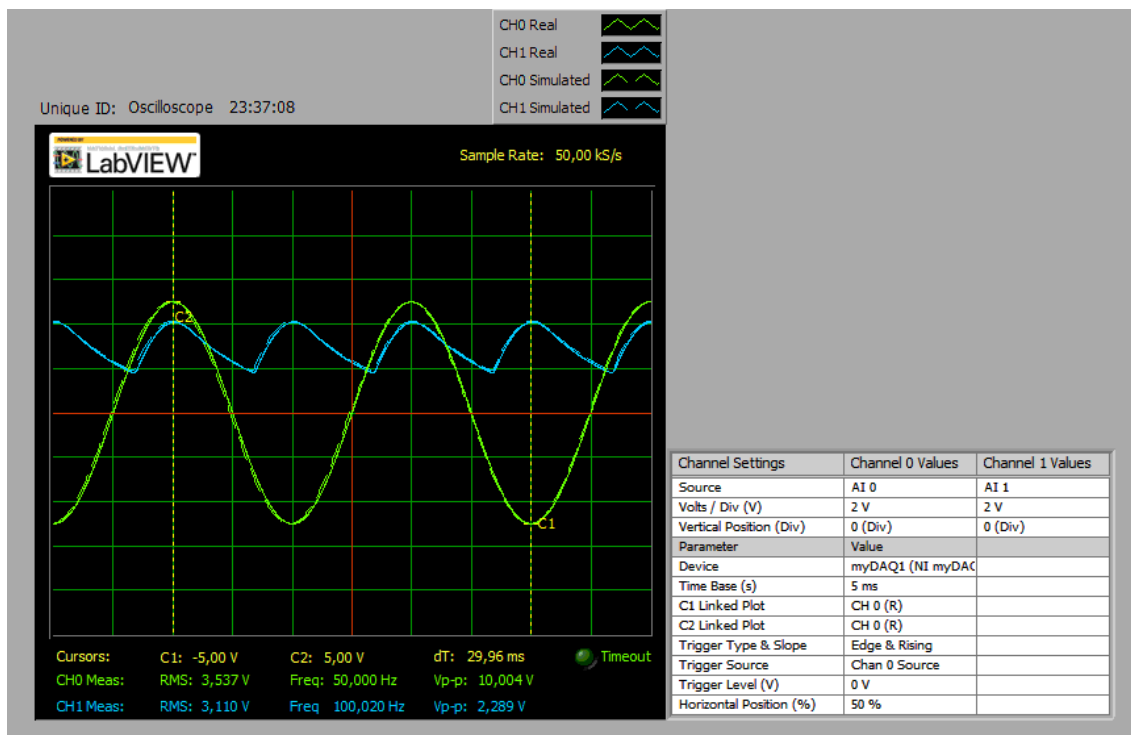
Obr. 27 Fyzické zapojení obvodu jednocestného usměřňovače



Obr. 28 Průběhy napětí na jednocestném usměrňovači (simulace/skutečnost)



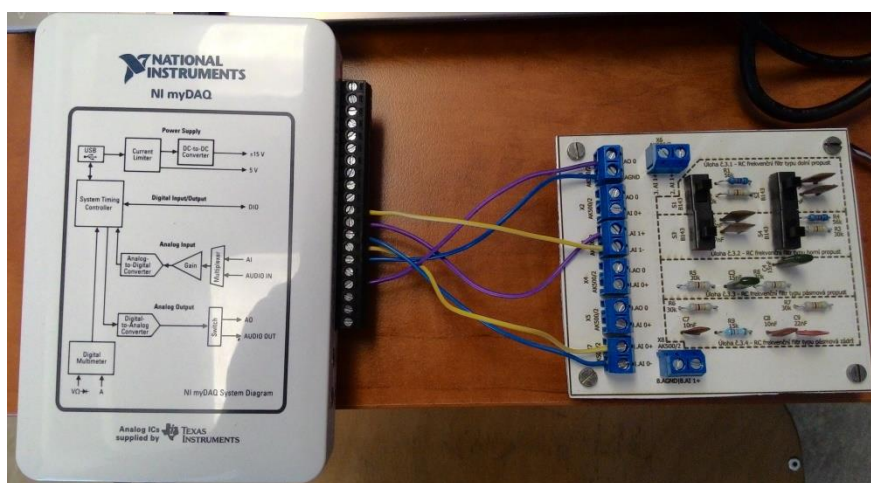
Obr. 29 Fyzické zapojení obvodu dvoucestného usměrňovače



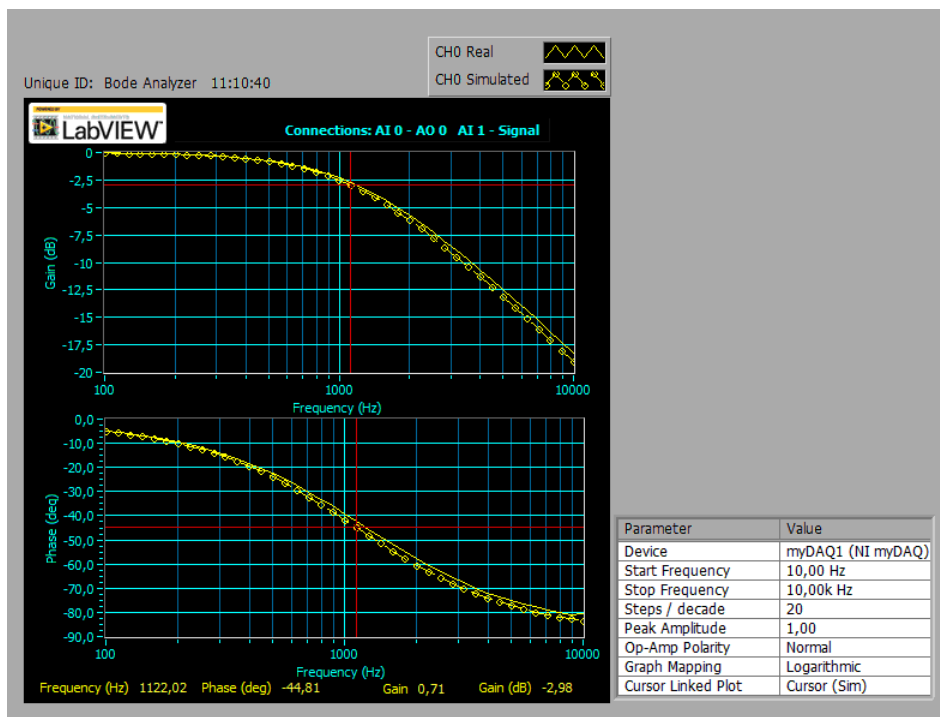
Obr. 30 Průběhy napětí na dvoucestném usměrňovači (simulace/skutečnost)

5.3.3 Měření pasivních RC frekvenčních filtrů

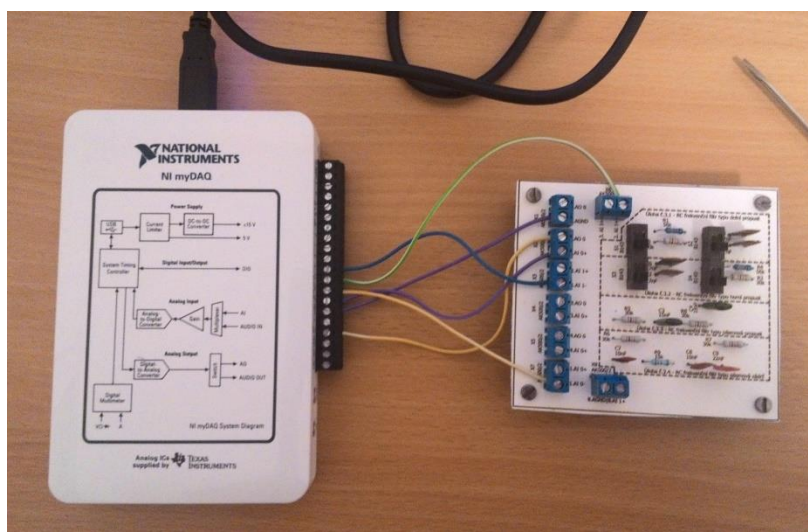
Úkolem žáka v této úloze je seznámit se s charakteristikami jednoduchých pasivních RC článků a procvičit si měření s Bodeho analyzátozem. K této úloze byl vytvořen měřicí přípravek, na němž jsou realizovány 4 typy filtrů, jimiž jsou horní a dolní propust, pásmová propust a zadrž. Jejich správná funkce je demonstrována na následujících obrázcích.



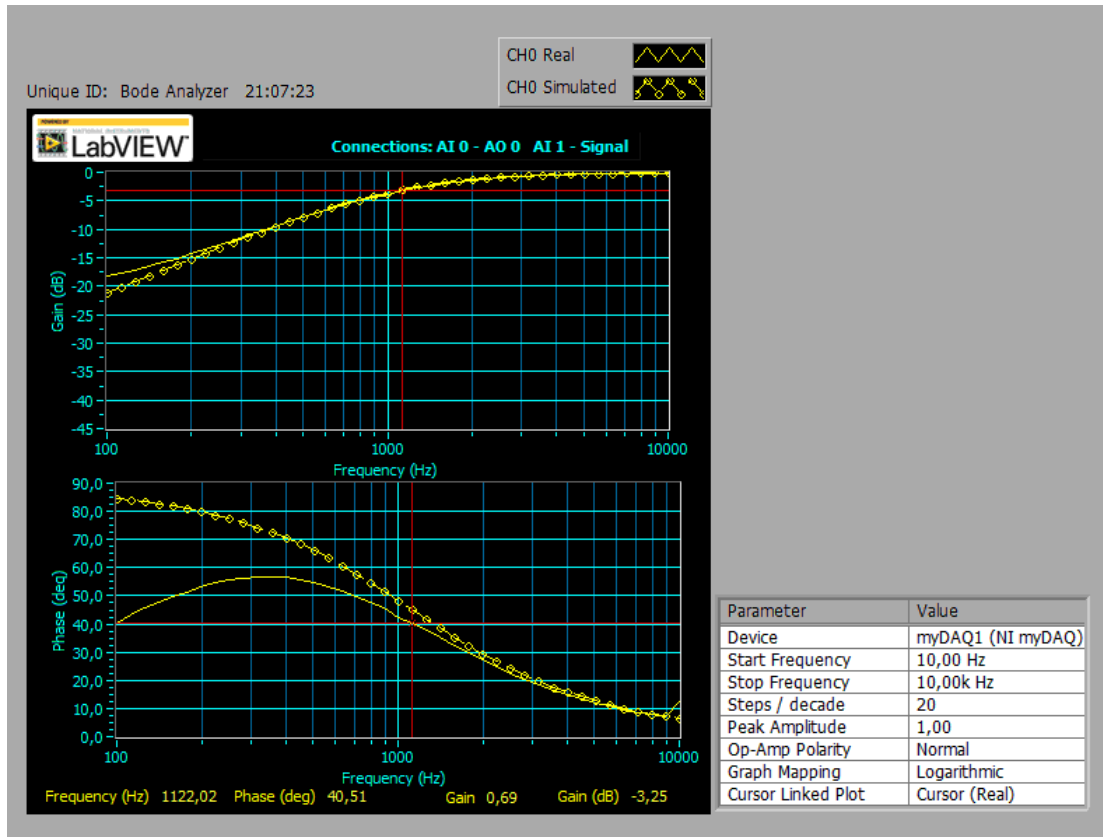
Obr. 31 Fyzické zapojení obvodu s dolní propustí



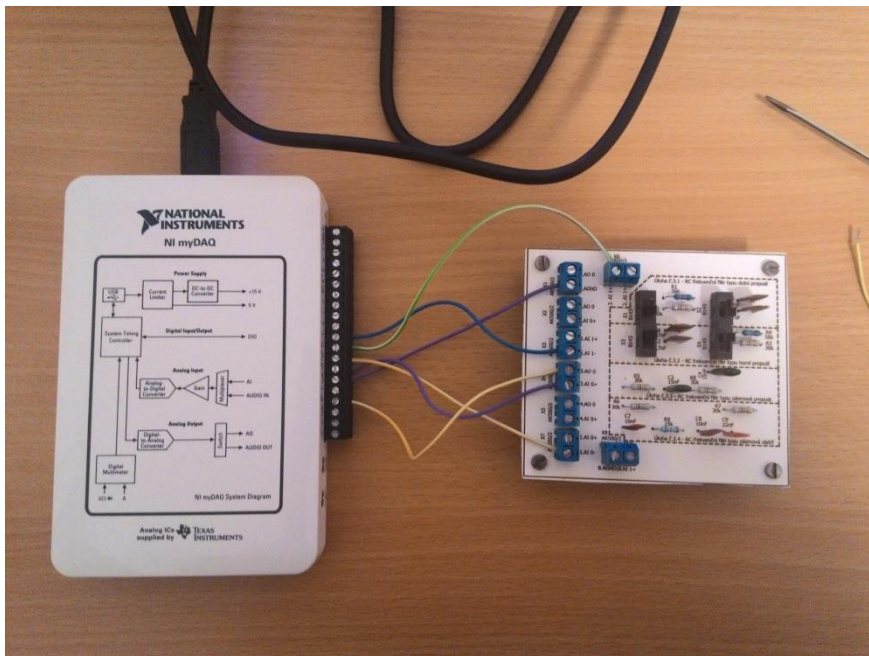
Obr. 32 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru



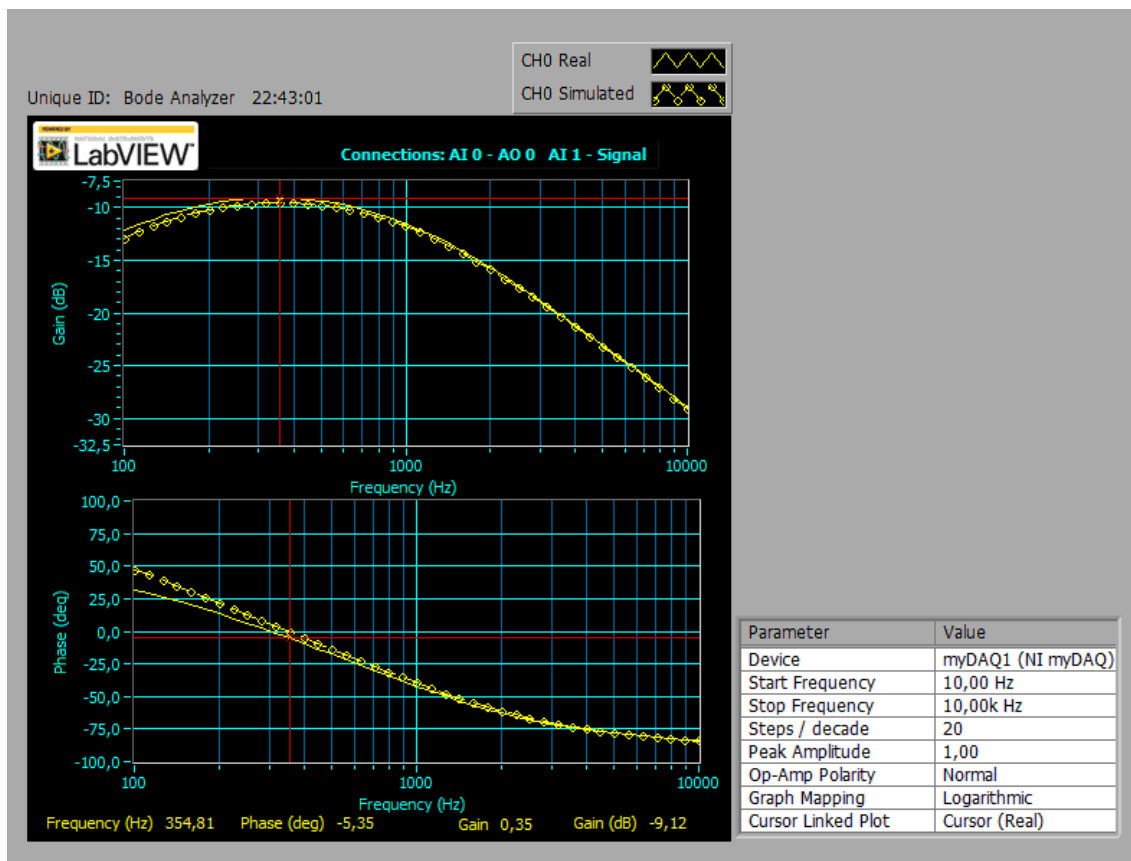
Obr. 33 Fyzické zapojení obvodu s horní propustí



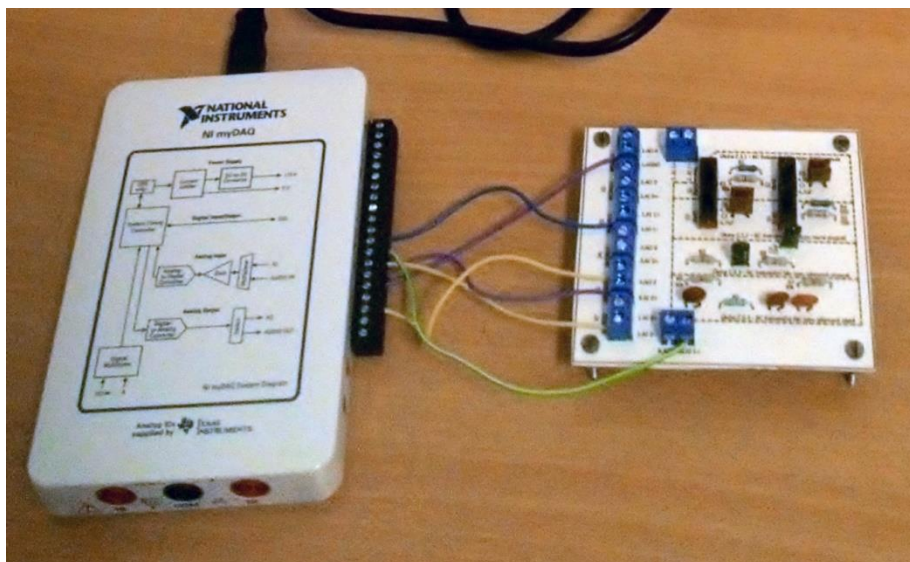
Obr. 34 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru



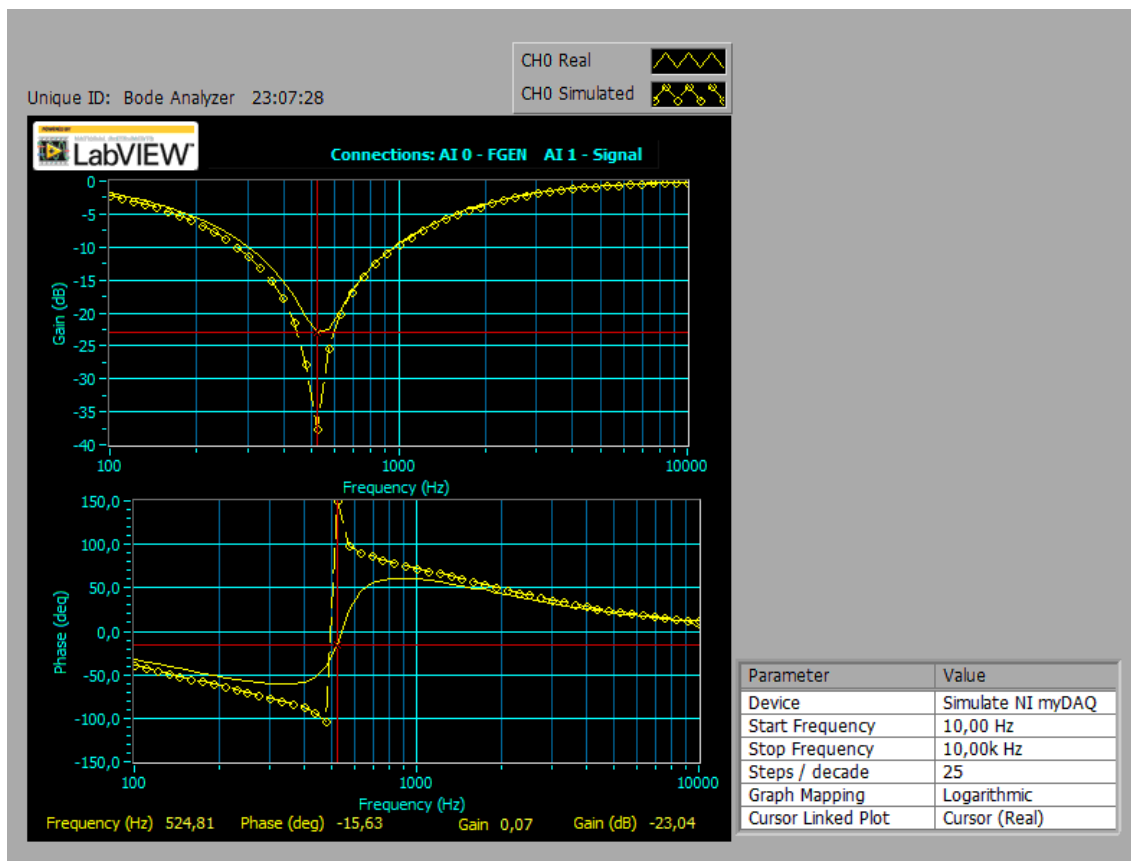
Obr. 35 Fyzické zapojení obvodu s pásmovou propustí



Obr. 36 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru



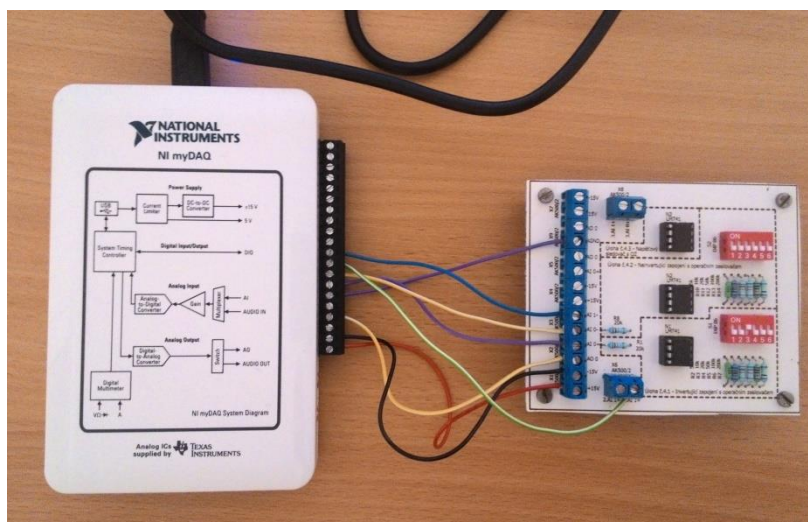
Obr. 37 Fyzické zapojení obvodu s pásmovou zádrží



Obr. 38 Výstupní charakterogram z Bodeho analyzátoru

5.3.4 Měření základních zapojení s operačními zesilovači

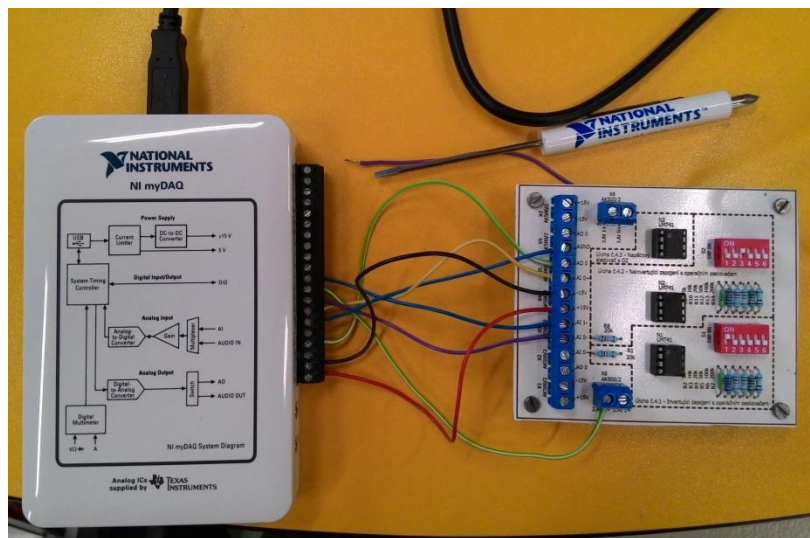
Tato úloha je navržena tak, aby se žák seznámil se základními zapojeními operačních zesilovačů a jejich vlastnostmi. Na následujících obrázcích je zobrazeno korektní fungování navrženého měř. přípravku.



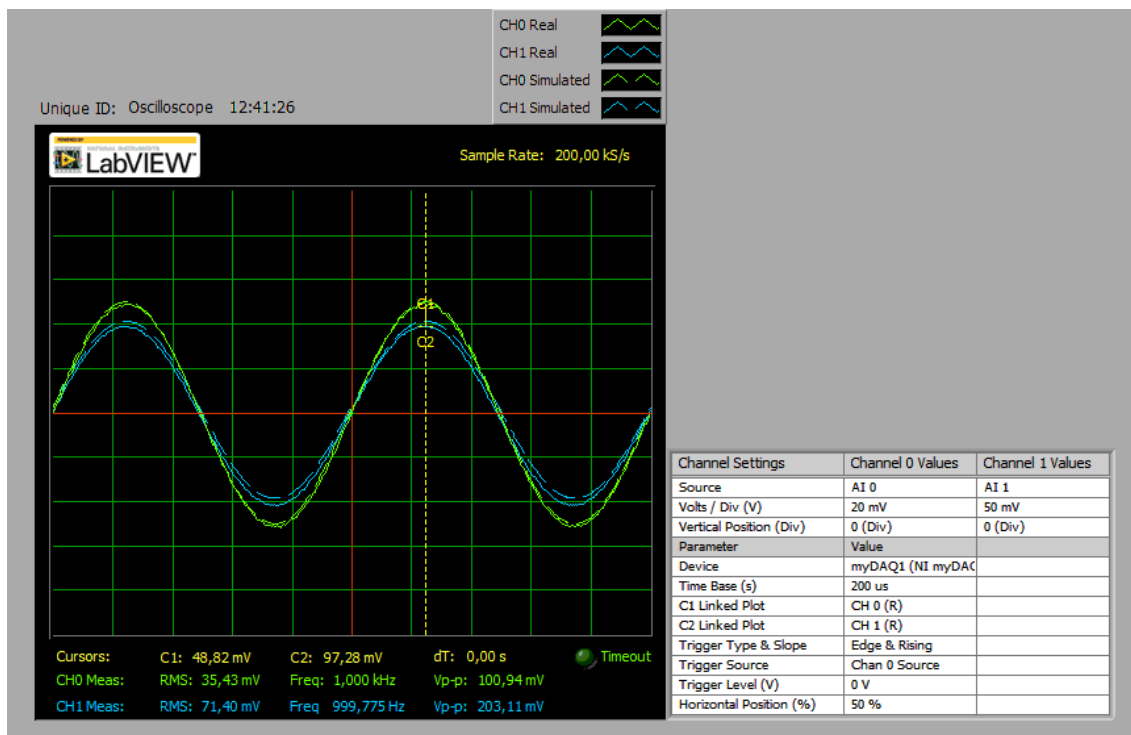
Obr. 39 Fyzické zapojení invertujícího zapojení s OZ

Tab. 5 Výstupní parametry invertujícího zapojení (vypočet/simulace/skutečnost)

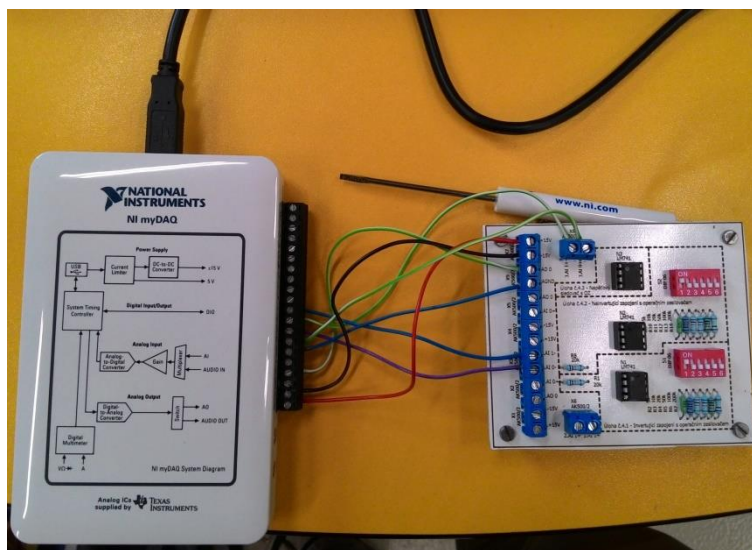
Výpočet	R_1 [k Ω]	20					
	R_2 [k Ω]	5	10	20	50	100	200
	$A_{u,vyp}$ [-]	-0,25	-0,5	-1	-2,5	-5	-10
Simulace	$U_{1,sim}$ [mV]	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8
	$U_{2,sim}$ [mV]	-24,95	-49,9	-99,8	249,51	-499	-997,98
	$A_{u,sim}$ [-]	-0,25	-0,5	-1	-2,5	-5	-9,99
On-line měření	$U_{1,skut}$ [V]	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2
	$U_{2,skut}$ [V]	-25,7	-50,9	-101,8	-254,9	-503,8	-1004
	$A_{u,skut}$ [-]	-0,254	-0,5	-1	-2,518	-4,978	-9,92



Obr. 40 Fyzické zapojení neinvertujícího zapojení s OZ



Obr. 41 Výstupní oscilogram z osciloskopu



Obr. 42 Fyzické zapojení napětového sledovače s OZ

Vypočtená hodnota napětového zesílení..... $A_{u,vyp} = 1$

Simulovaná hodnota napětového zesílení..... $A_{u,sim} = \frac{U_{2,sim}}{U_{1,sim}} = \frac{998,03}{998} \doteq 1$

Reálná hodnota napětového zesílení..... $A_{u,skut} = \frac{U_{2,skut}}{U_{1,skut}} = \frac{1001}{1001} = 1$

6 Závěr

Na začátku práce bylo stanoveno seznámit se s měřicím rozhraním myDAQ a jeho spoluprací se simulačním programem Multisim, získané poznatky sepsat za účelem pozdějšího využití.

Dalším úkolem bylo vymyslet návrh vhodných úloh pro laboratorní měření a k těmto úlohám vytvořit příslušné měřicí přípravky. Aby bylo možné zmíněné přípravky vyrobit, musela by sestavena příslušná technická dokumentace.

Jakmile byly přípravky vyrobeny bylo jako další krok stanoveno ověřit jejich správnou činnost a vše náležitě zdokumentovat.

Pro nedostatek času byly vytvořeny pouze 4 úlohy s jejich vzory protokolů o laboratorním měření. Takovýchto úloh by chtělo vymyslet mnohem více a mnohem zajímavější ideálně takové, které naplno využijí potenciál tohoto drobného zařízení, jenž nahrazuje celou vědeckou laboratoř.

7 Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] VLACH, Jaroslav. "Studentská" karta NI myDAQ a její využití v LabVIEW. *Automa*. 2012, roč. 18, č. 3, s. 73-75. ISSN 1210-9592.
- [2] NI myDAQ Specifications. *National Instruments*. [online]. 31. 7. 2014 [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/373061f.pdf>>.
- [3] NI myDAQ User Guide. *National Instruments*. [online]. 31. 7. 2014 [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/373060f.pdf>>.
- [4] Using myDAQ with NI Multisim Circuit Design Software. *National Instruments* [online]. Austin (Spojené státy americké); National Instruments, 2010 [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <<http://www.ni.com/tutorial/11423/en/>>.
- [5] BARTÁČEK, Jiří. *Stránky o elektronice a počítačích* [online]. 2009, [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <<http://bartacek.eu/index.php/elektronika/obvody/41-jednoduche-pasmove-propusti>>.
- [6] BEZDĚK, Miloslav. *Elektronika: [učebnice]*. 3. vyd. České Budějovice: Kopp, 2008. ISBN 978-80-7232-359-3.
- [7] GM Electronic. *Osciloskopy - digitální stolní* |GM electronic [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <<http://www.gme.cz/osciloskopy-digitalni-stolni/p981224:981224/active:981224,981224>>.

8 Seznam použitého software

- Microsoft Office 2010
- Eagle 7.5.0 Light Edition
- Diagram Designer 1.27.3 - 2014
- Adobe Photoshop CS6
- Microsoft Malování 6.3

9 Seznam příloh

- I. Příloha A – Technická dokumentace měřicího přípravku pro úlohu č. 1
- II. Příloha B – Technická dokumentace měřicího přípravku pro úlohu č. 2
- III. Příloha C – Technická dokumentace měřicího přípravku pro úlohu č. 3
- IV. Příloha D – Technická dokumentace měřicího přípravku pro úlohu č. 4
- V. Příloha E – Vzor protokolu pro úlohu č. 1
- VI. Příloha F – Vzor protokolu pro úlohu č. 2
- VII. Příloha G – Vzor protokolu pro úlohu č. 3
- VIII. Příloha H – Vzor protokolu pro úlohu č. 4

10 Přílohy

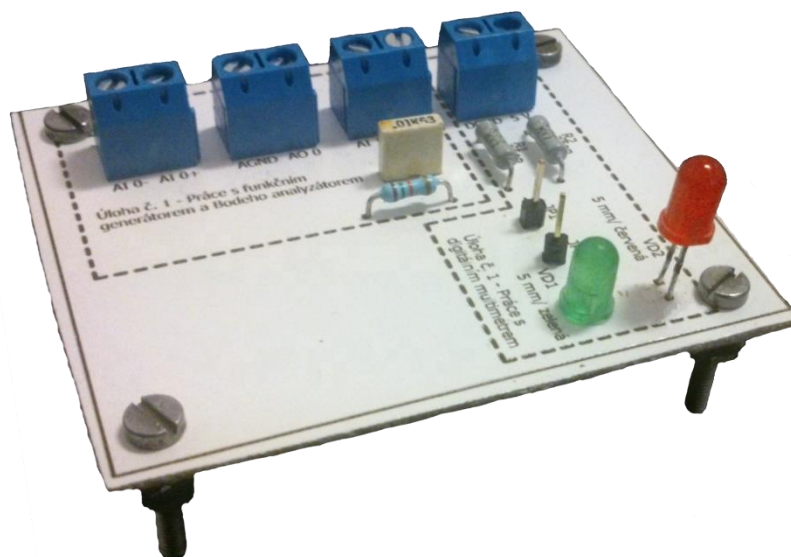
Na následujících stránkách se nachází technická dokumentace jednotlivých měřicích přípravků pro úlohy č. 1, 2, 3, 4 a poté vzory jednotlivých protokolů měření zmíněných úloh.



Technická dokumentace

**Měřicí přípravek pro úlohu č. 1:
Seznámení s měřicím rozhraním NI myDAQ**

Daniel Čermák



Obsah dokumentace:

1. Technický popis
2. Schéma zapojení
3. Seznam součástek
4. Ověření činnosti v simulačním programu Multisim
5. Motiv plošného spoje
6. Vrtací plán
7. Osazovací výkres
8. Předloha pro výrobu gravírovacím laserem
9. Potisk desky plošných spojů (dále jen „DPS“)
10. Fólie pro osvitovou jednotku

1. Technický popis

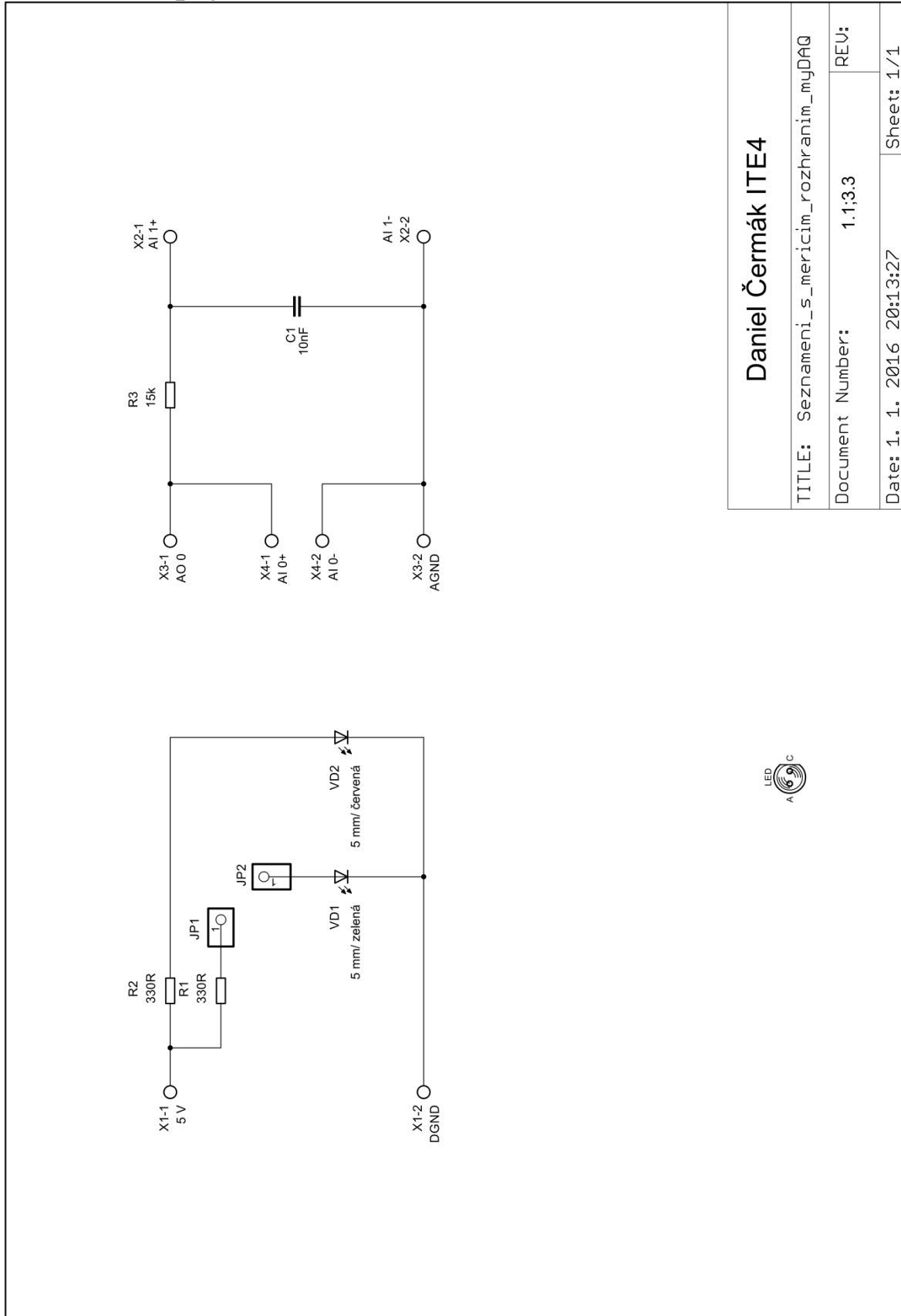
Měřicí přípravek pro úlohu č. 1 nazvanou „Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ“ slouží k seznámení žáka se základními funkcemi komunikačního rozhraní myDAQ, díky čemuž by měl lépe pochopit, jak se dané piny myDAQu připojují a k čemu slouží. Části úlohy nacházející se na desce by měly žáka naučit pracovat s Bodeho analyzátozem, funkčním generátorem a zabudovaným multimetrem. K tomuto účelu je na desce navržen jednoduchý RC člunek a obvod pro měření parametru svítivé diody tzv. LED.

Deska je vyrobena z jednostranného poměděného laminátu. K výrobě je užitá nově zavedená metoda výroby založená na principu odpaření vrstvy nastříkané syntetické barvy na plošném spoji pomocí gravírovacího laseru a následném odleptání barvou již nezakrytých míst plošného spoje v roztoku chloridu železitého.

Měřicí přípravek má rozměry 60×70 mm a je stavěn tak, aby jej žák musel připojit k rozhraní myDAQ pomocí propojovacích vodičů. Konektory na desce jsou, pro jednoduchost a dostatečnou životnost při opakovaném používání, šroubového typu. Měřicí přípravek propojený s myDAQem již nepotřebuje dodatečné externí napájení, jelikož je navržen tak, aby si plně vystačil s výstupními parametry měřicího rozhraní myDAQ.

Deska je opatřena nožičkami a podrobným popisem všech komponent pro jednoduchou obsluhu a zjednodušení případného hledání příčiny nefunkčnosti. Dále jsou na desce viditelně odděleny a pojmenovány jednotlivé části úlohy, aby měl žák přehled o tom, které součástky jsou momentálně využívány.

2. Schéma zapojení



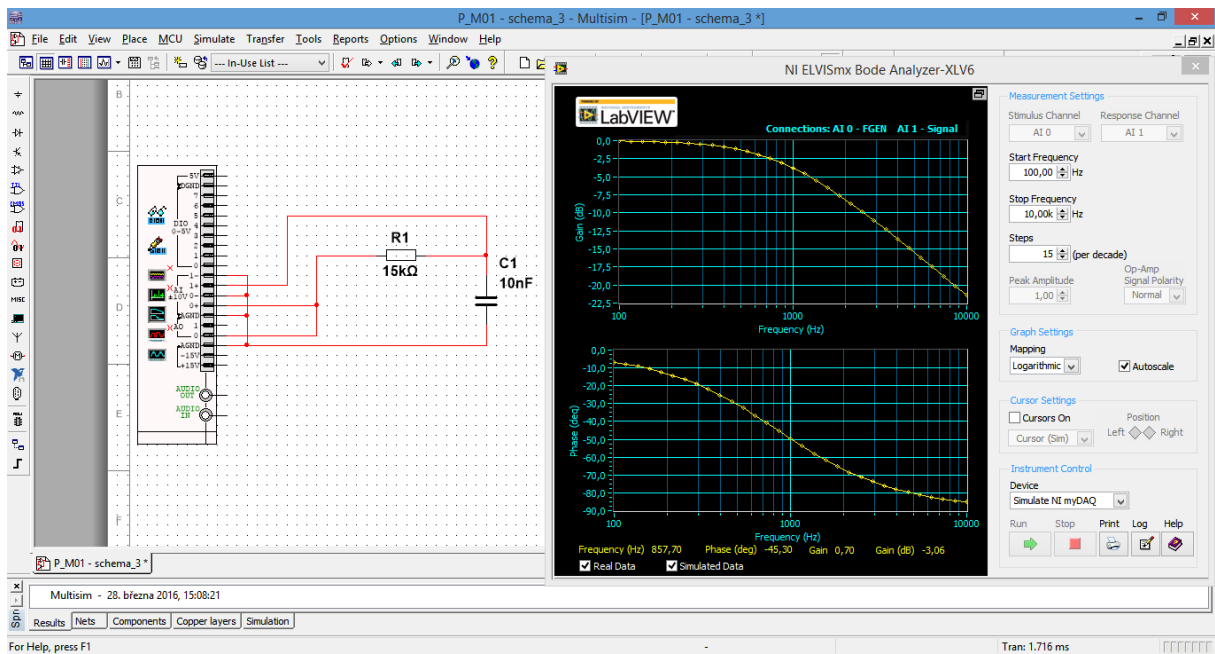
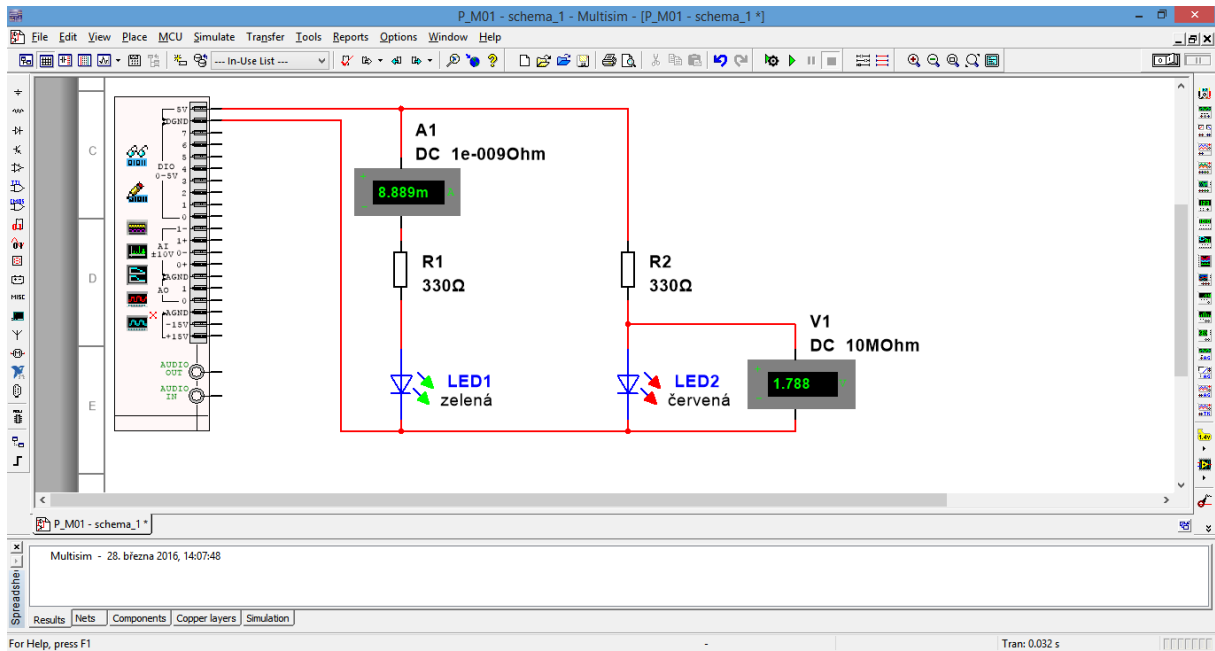
Daniel Čermák ITE4		
TITLE: Seznameni_s_mericim_rozhranim_myDAQ		
Document Number:	1.1;3.3	REV:
Date: 1. 1. 2016 20:13:27		Sheet: 1/1



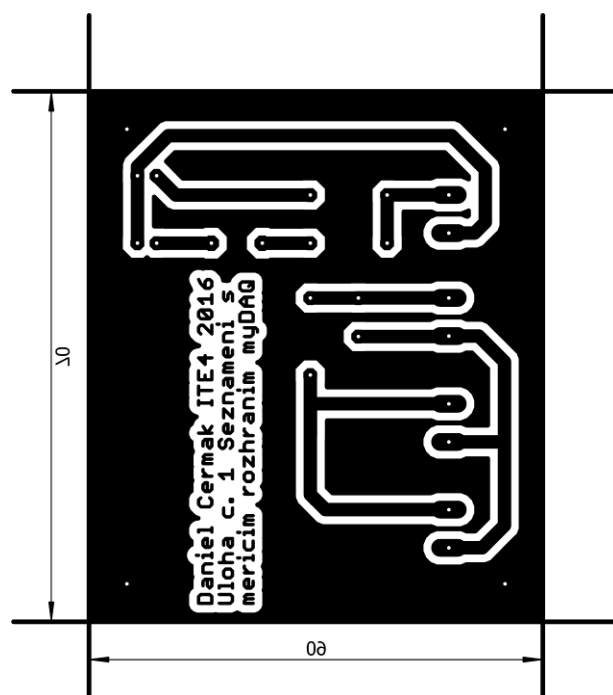
3. Seznam součástek

Seznam součástek - Úloha č. 1 Seznámení s měřicím rozhraním myDAQ						
P. č.	Označení	Popis/ typ	Hodnota/ pouzdro	Množství	M. J.	Poznámka
1	VD1	LED dioda / zelená	Uf = 2,2 V; If = 30 mA/ kulaté pouzdro; průměr 5 mm	1	ks	GME
2	VD2	LED dioda / červená	Uf = 2,2 V; If = 30 mA/ kulaté pouzdro; průměr 5 mm	1	ks	GME
3	C1	Fóliový kondenzátor	10nF/ 100 V/ RM 5 mm	1	ks	GME
4	R1, R2	Pevný uhlíkový rezistor	330R/ 0207	2	ks	GME
5	R3	Pevný metalizovaný rezistor	15k/ 0207	1	ks	GME
6	JP1, JP2	Oboustranný kolík	S1G01	2	ks	GME
7	X1, X2, X3, X4	Šroubovací svorkovnice do DPS, vertikální, 2 kontakty	AK500/2	4	ks	GME; Svorkovnice PTR AK500/ 2DS-5.0-V-GREY
8	-	Jednostranný plošný spoj 120x80 mm	Cuprexit 35 mm	1	ks	GME

4. Ověření činnosti v simulačním programu Multisim

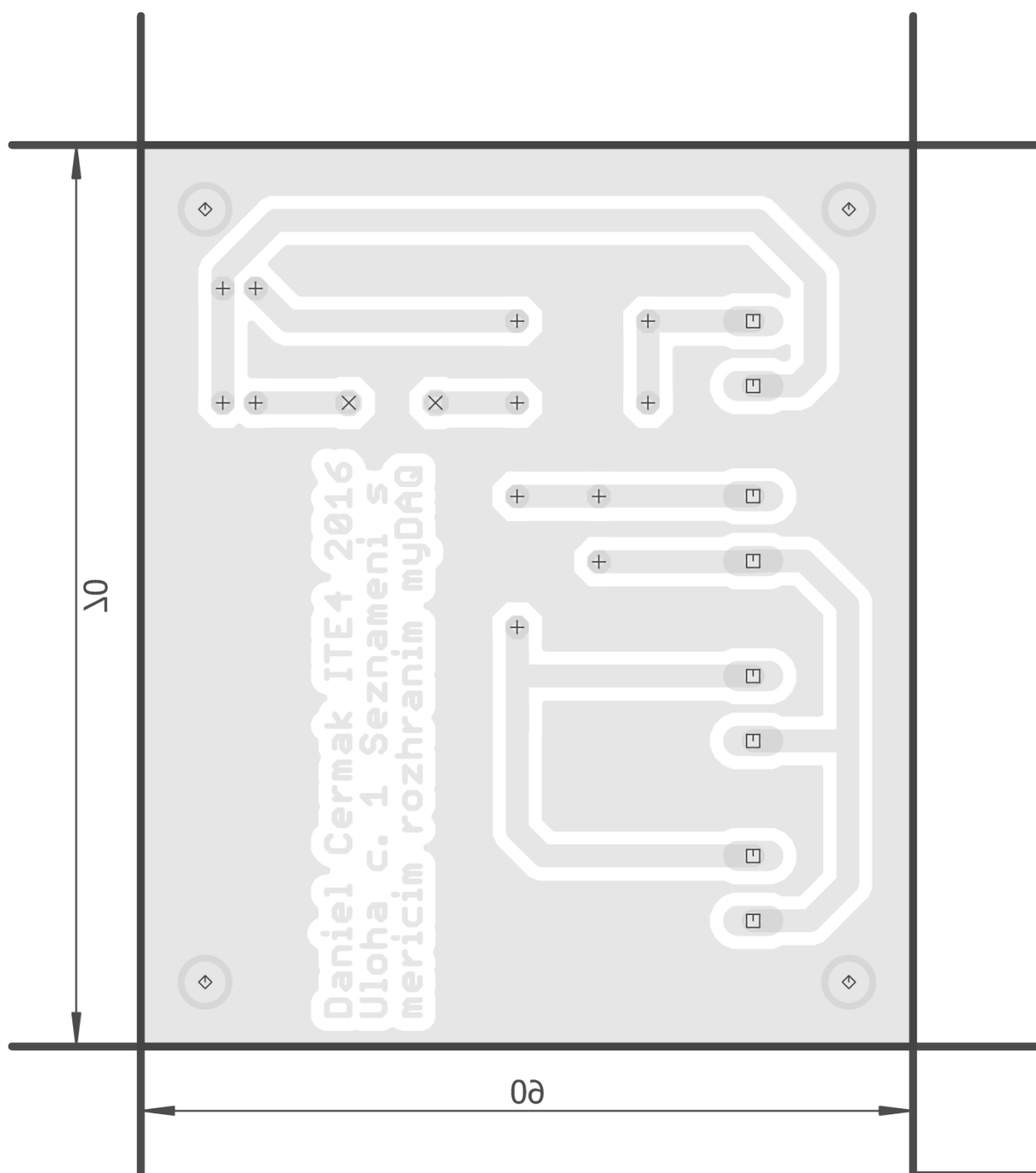


5. Motiv plošného spoje



6. Vrtací plán

- V měřítku 2:1



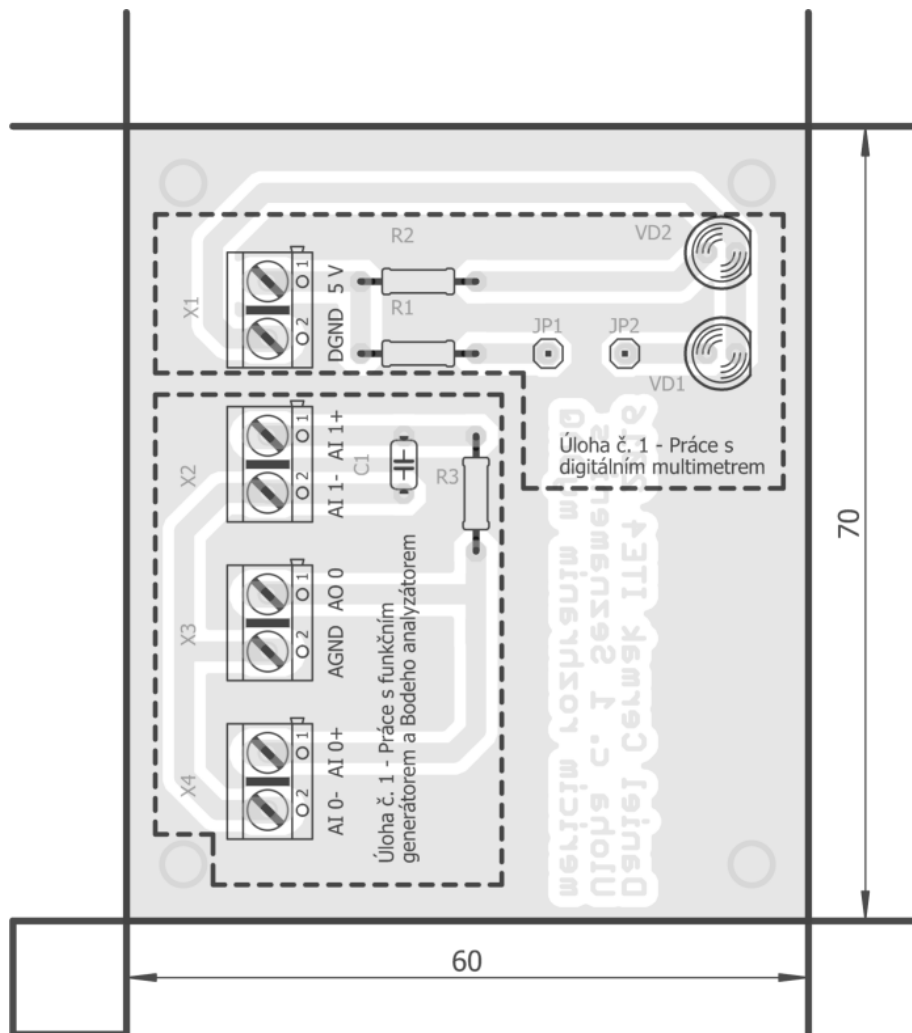
LEGENDA

Sym	N°	MM	Mils	Qty
+	1	0.81	32	12
×	2	1.02	40	2
□	3	1.32	52	8
◇	4	3.20	126	4

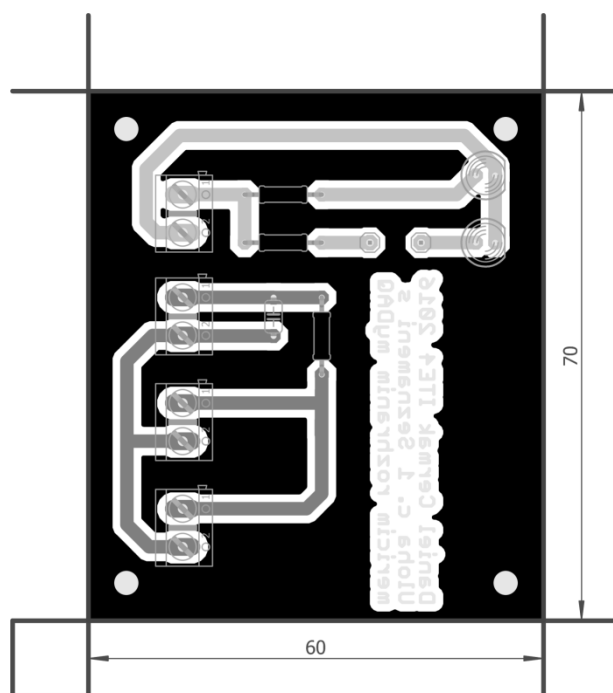
7. Osazovací výkres

Obr. 1

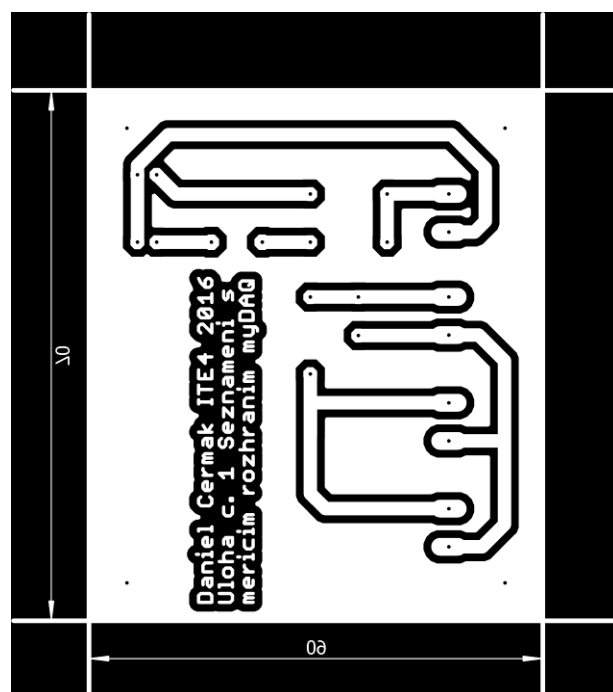
- V měřítku 15:10



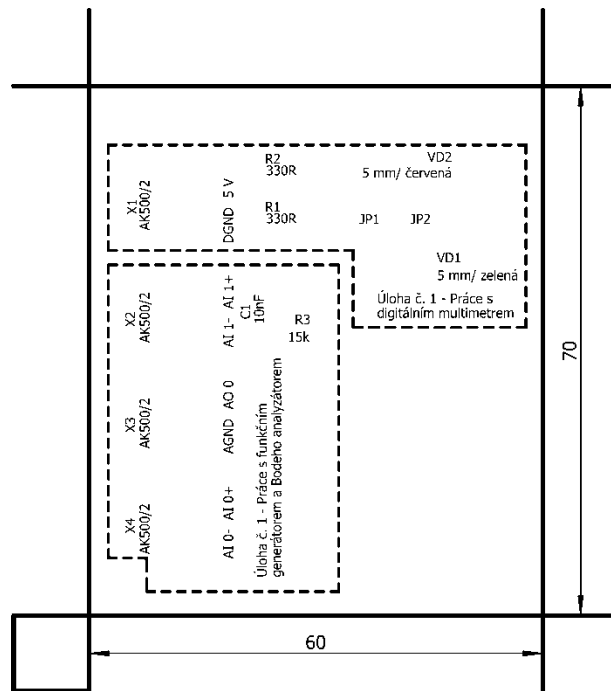
Obr. 2



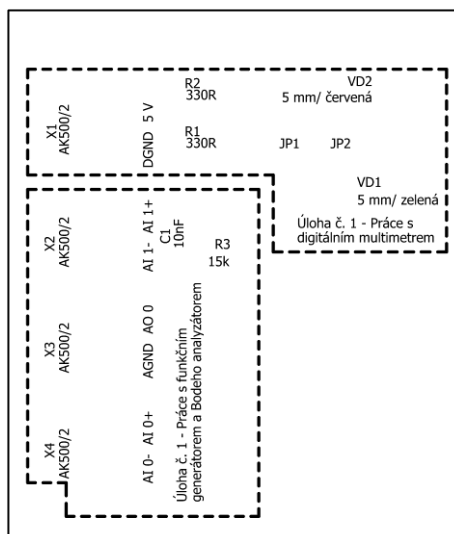
8. Předloha pro výrobu gravírovacím laserem



9. Potisk DPS



Obrázek použitý pro gravírovací laser



10. Fólie pro osvitovou jednotku

V případě výroby pomocí ultrafialové (dále jen „UV“) osvitové jednotky použít obrázek viz bod č. 5

V Sezimově Ústí

dne: 31. března 2015

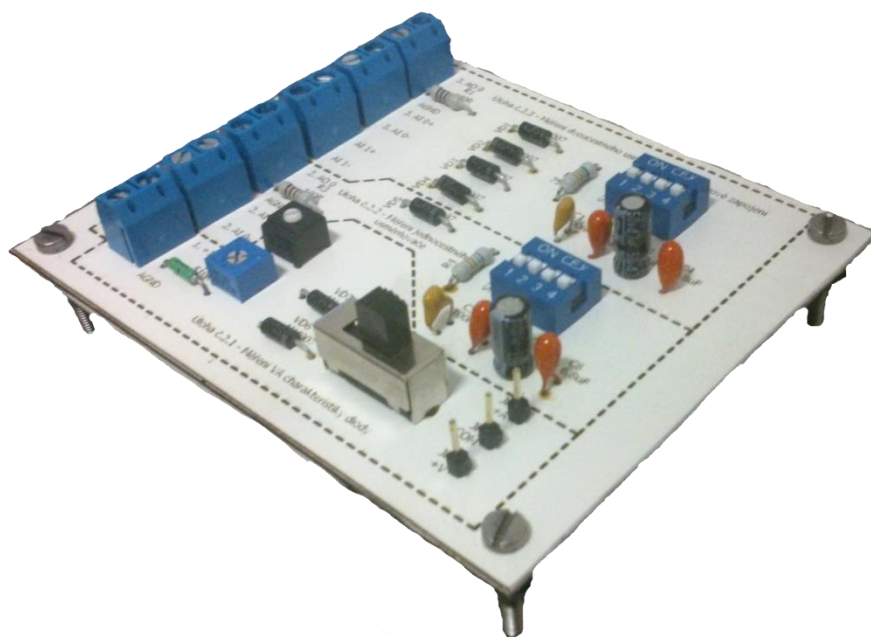
Vypracoval: Daniel Čermák



Technická dokumentace

Měřicí přípravek pro úlohu č. 2: Polovodičová dioda jako usměrňovač

Daniel Čermák



Obsah dokumentace:

1. Technický popis
2. Schéma zapojení
3. Seznam součástek
4. Ověření činnosti v simulačním programu Multisim
5. Motiv plošného spoje
6. Vrtací plán
7. Osazovací výkres
8. Předloha pro výrobu gravírovacím laserem
9. Potisk DPS
10. Fólie pro osvitovou jednotku

1. Technický popis

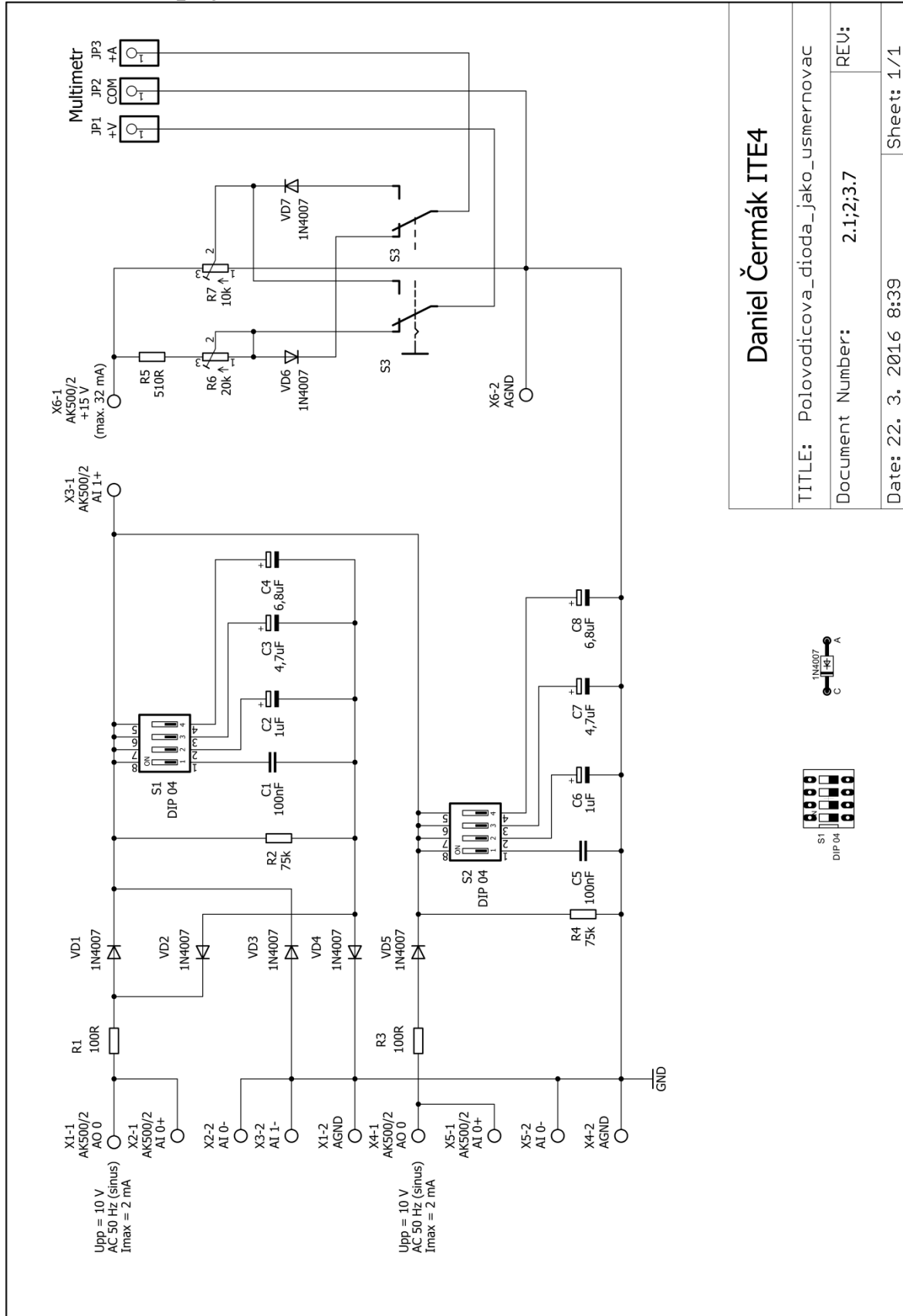
Měřicí přípravek pro úlohu č. 2 nazvanou „Polovodičová dioda jako usměrňovač“ slouží k seznámení žáka se základními druhy usměrnění. K tomuto účelu je na desce navržen jednoduchý jednocestný usměrňovač a Grätzův můstek. Na desce je dále umístěna dvojice diod, kde žák měří V-A charakteristiku diody jak v propustném tak i závěrném směru.

Deska je vyrobena z jednostranného poměděného laminátu. K výrobě je užitá nově zavedená metoda výroby založená na principu odpaření vrstvy nastříkané syntetické barvy na plošném spoji pomocí gravírovacího laseru a následném odleptání barvou již nezakrytých míst plošného spoje v roztoku chloridu železitého.

Měřicí přípravek má rozměry 100 × 80 mm a je stavěn tak, aby jej žák musel připojit k rozhraní myDAQ pomocí propojovacích vodičů. Konektory na desce jsou, pro jednoduchost a dostatečnou životnost při opakovaném používání, šroubového typu. Měřicí přípravek propojený s myDAQem již nepotřebuje dodatečné externí napájení, jelikož je navržen tak, aby si plně vystačil s výstupními parametry měřicího rozhraní myDAQ.

Deska je opatřena nožičkami a podrobným popisem všech komponent pro jednoduchou obsluhu a zjednodušení případného hledání příčiny nefunkčnosti. Dále jsou na desce viditelně odděleny a pojmenovány jednotlivé části úlohy, aby měl žák přehled o tom, které součástky jsou momentálně využívány.

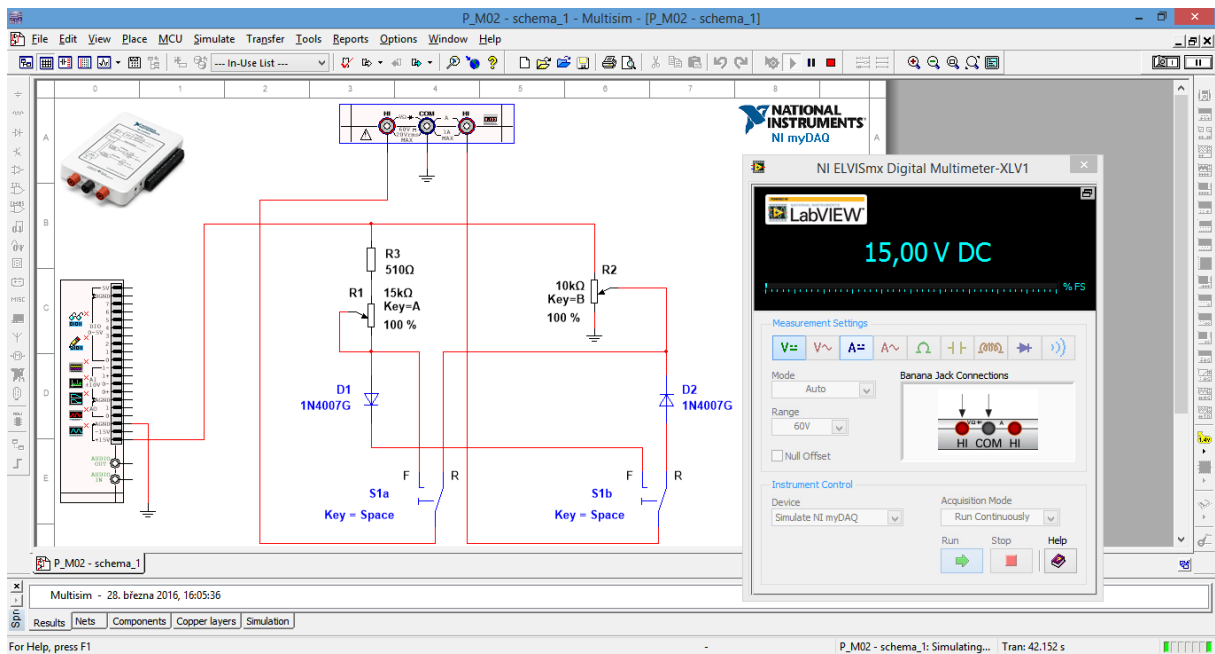
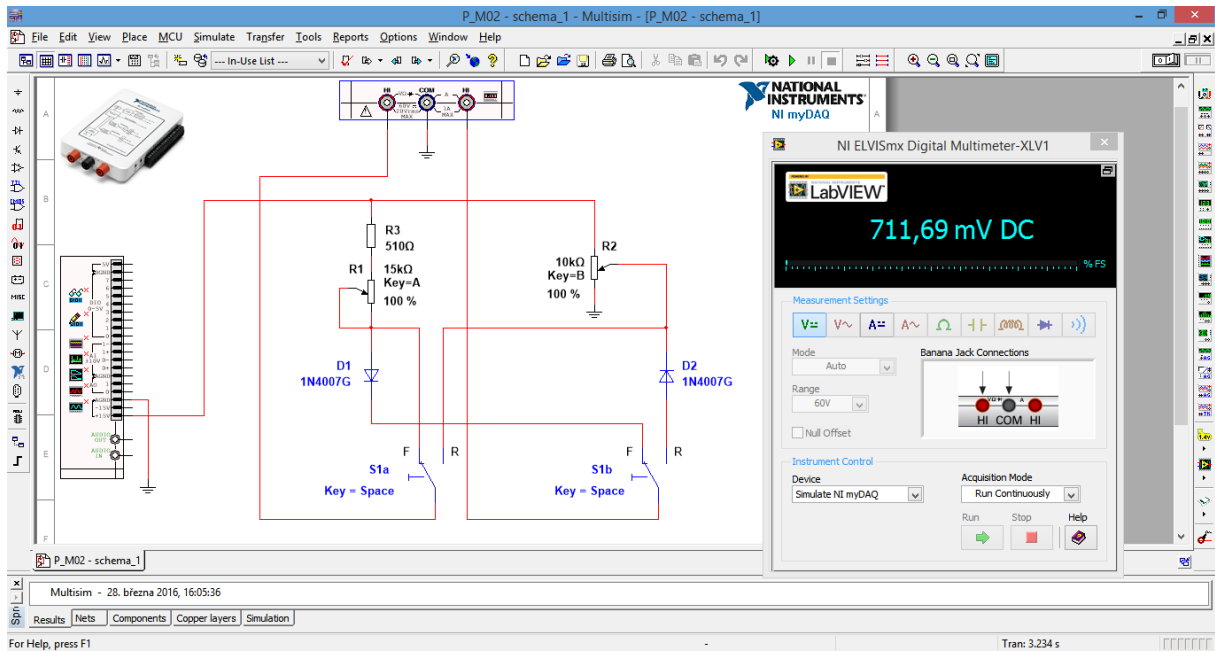
2. Schéma zapojení

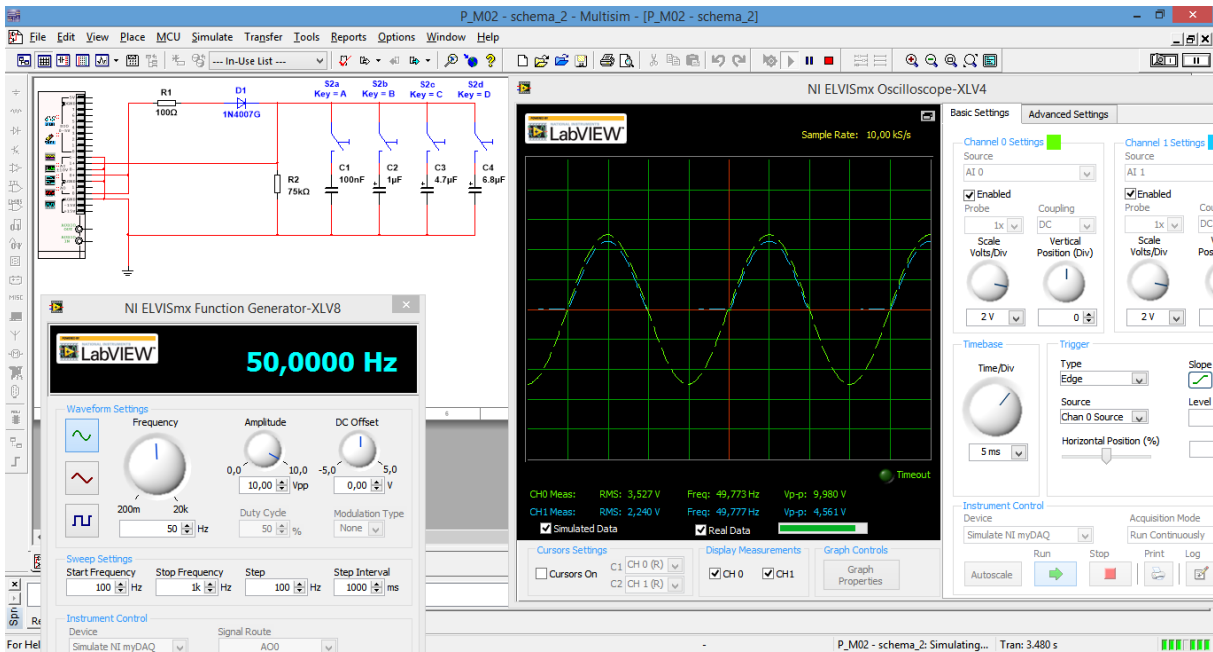
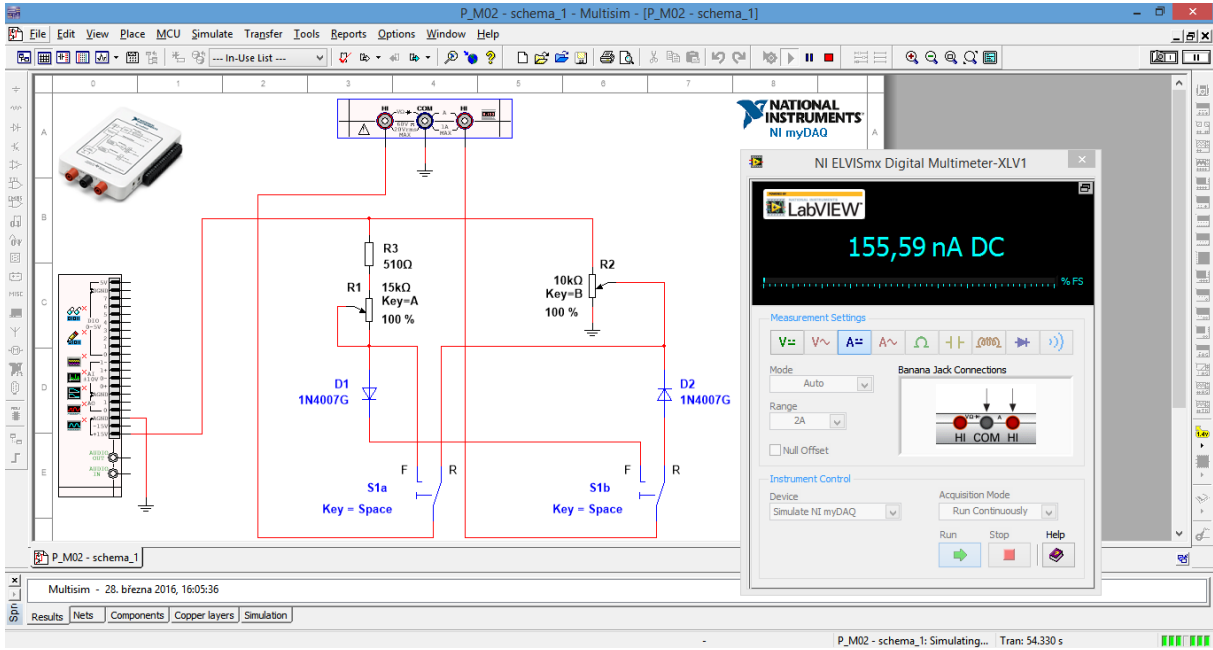


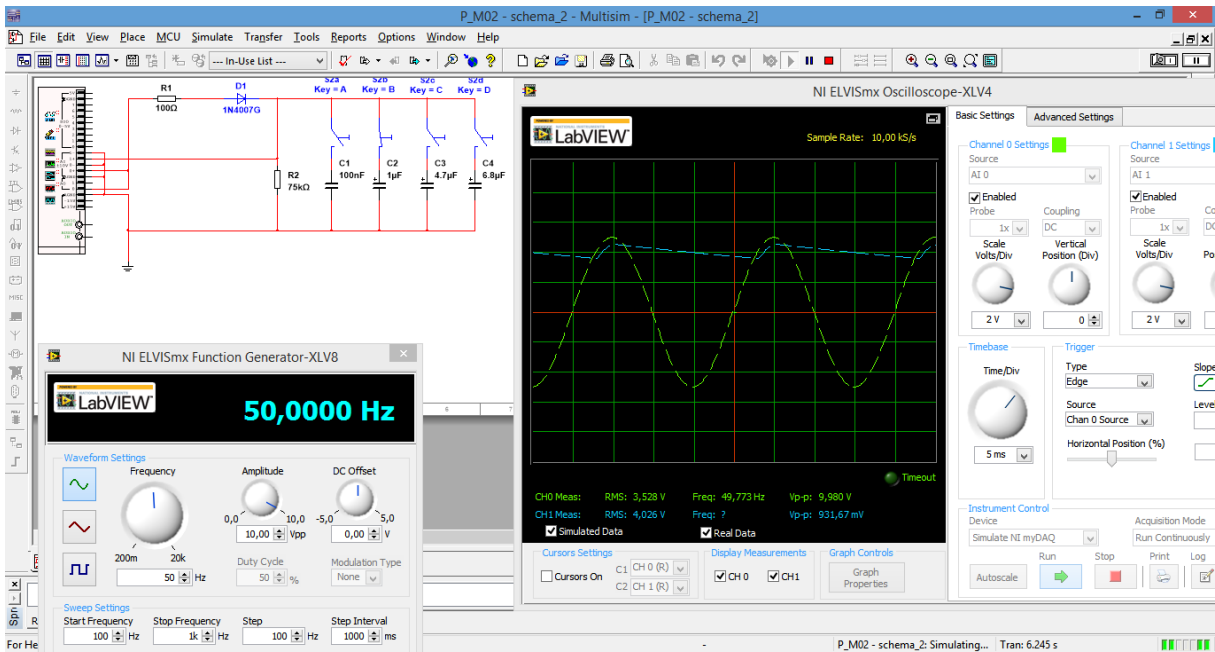
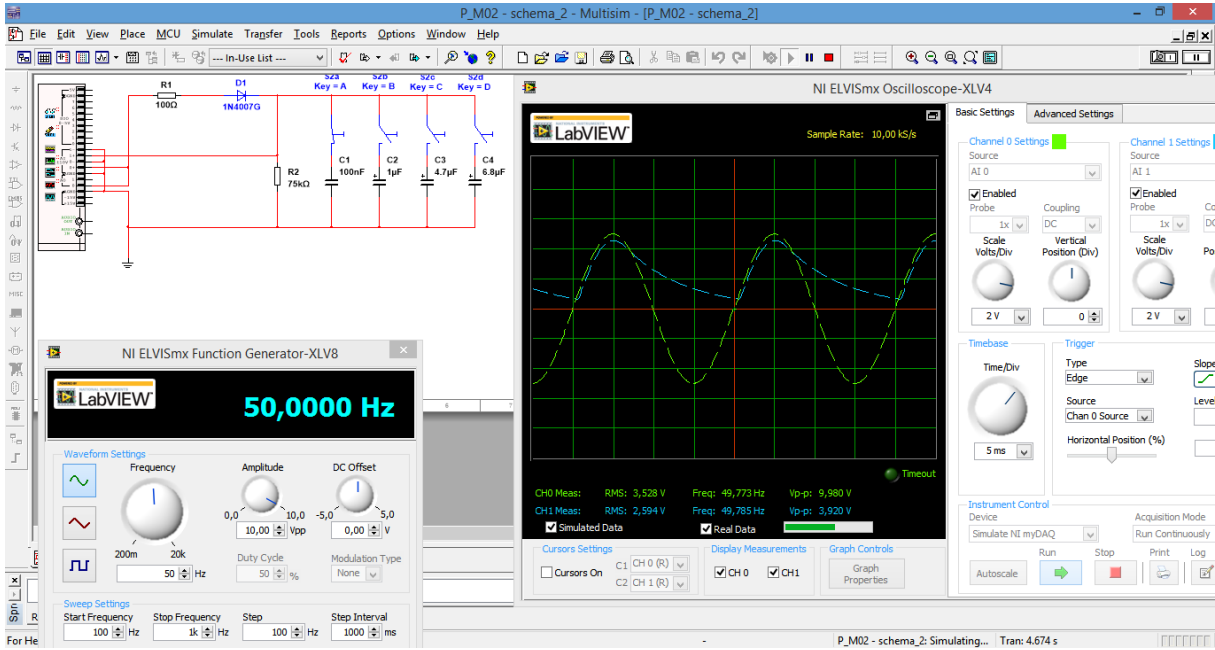
3. Seznam součástek

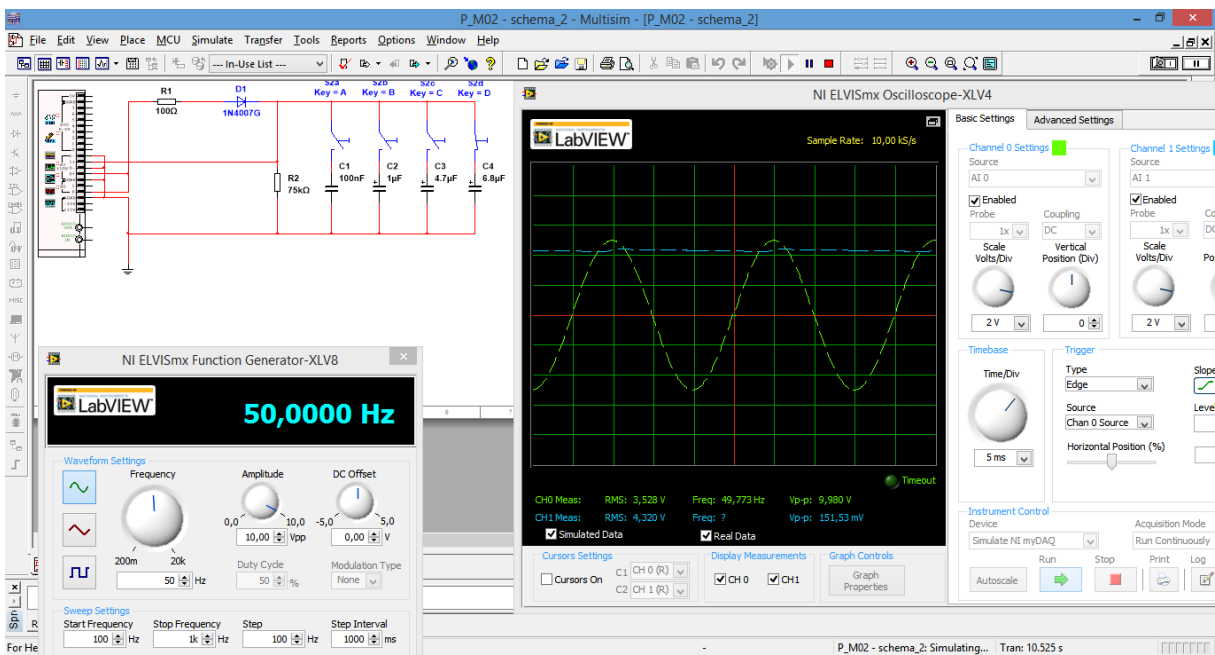
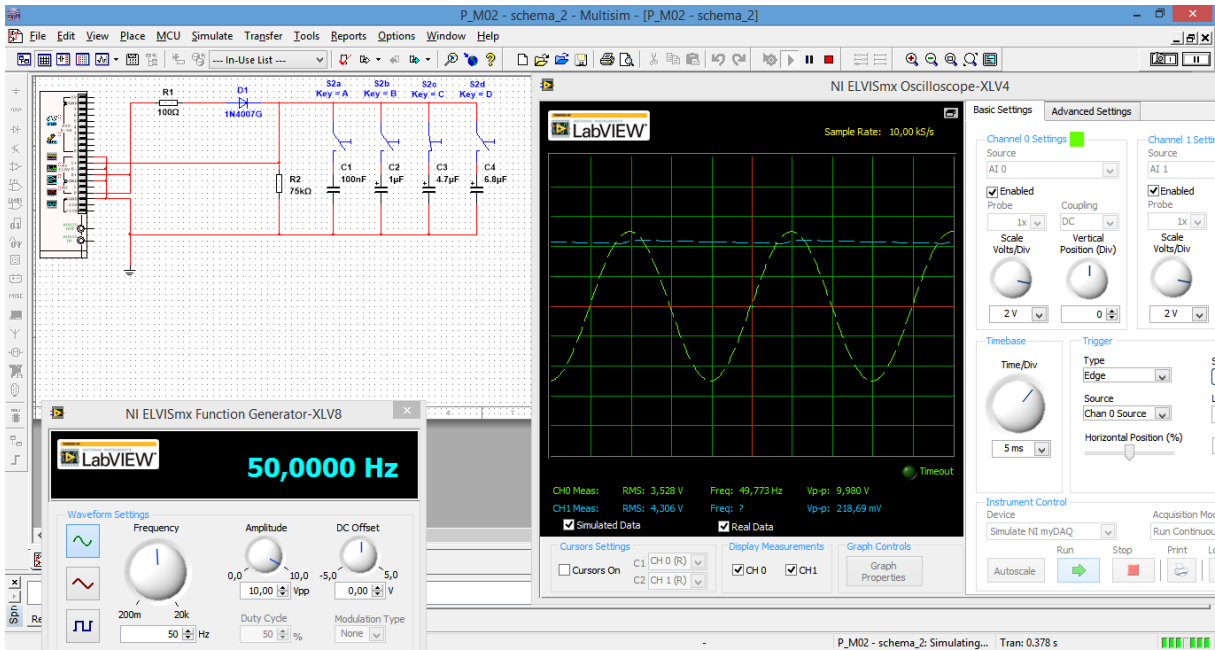
Seznam součástek - Úloha č. 2 - Polovodičová dioda jako usměrňovač						
P. č.	Označení	Popis/ typ	Hodnota/ pouzdro	Množství	M. j.	Poznámka
1	C1, C5	Keramický kondenzátor	100nF/ 50V/ RM 2,54 mm	2	ks	GME
2	C2, C6	Elektrolytický kondenzátor radiální	1uF/ 100V/ RM 2,5 mm	2	ks	GME
3	C3, C7	Elektrolytický kondenzátor radiální	4,7uF/ 100V/ RM 2,5 mm	2	ks	GME
4	C4, C8	Elektrolytický tantalový kondenzátor	6,8uF/ 6,3V/ RM 2,54 mm	2	ks	GME
5	JP1, JP2, JP3	+V, COM, '+A/ Oboustranný kolík	S1G01	3	ks	GME
6	R1, R3	Pevný uhlíkový rezistor	100R/ 0207	2	ks	GME
7	R2, R4	Pevný uhlíkový rezistor	75k/ 0207	2	ks	GME
8	R5	Pevný uhlíkový rezistor	510R / 0207	1	ks	GME
9	R6	Cermetový rezistorový trimr, ležatý/ PT73YE020	20k/ RM 5x2,5 mm/ T73YE	1	ks	GME
10	R7	Cermetový rezistorový trimr, ležatý/ PT73YE010	10k/ RM 5x2,5 mm/ T73YE	1	ks	GME
11	S1, S2	DIP spínač do DPS modrý / 4 pólový	U _{jm} = 24V; I _{jm} = 0,025 A/ DIP 04	2	ks	GME
12	S3	-	-	1	ks	GME
13	VD1 až VD7	Dioda / 1N4007	U _{rrm} = 1000 V; I _f = 1 A / DO41	7	ks	GME
14	X1 až X6	Šroubovací svorkovnice do DPS, vertikální, 2 kontakty	AK500/2	6	ks	GME; Svorkovnice PTR AK500/ 2DS-5.0-V- GREY
15	-	Jednostranný plošný spoj 120x80 mm	-	1	ks	GME

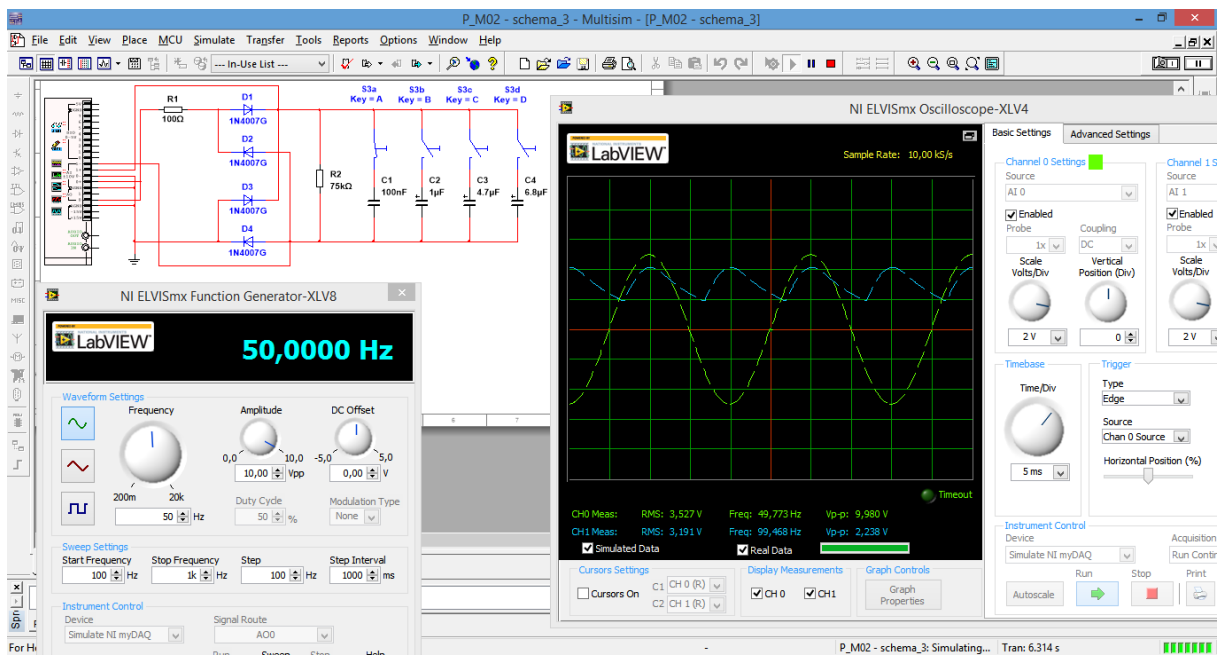
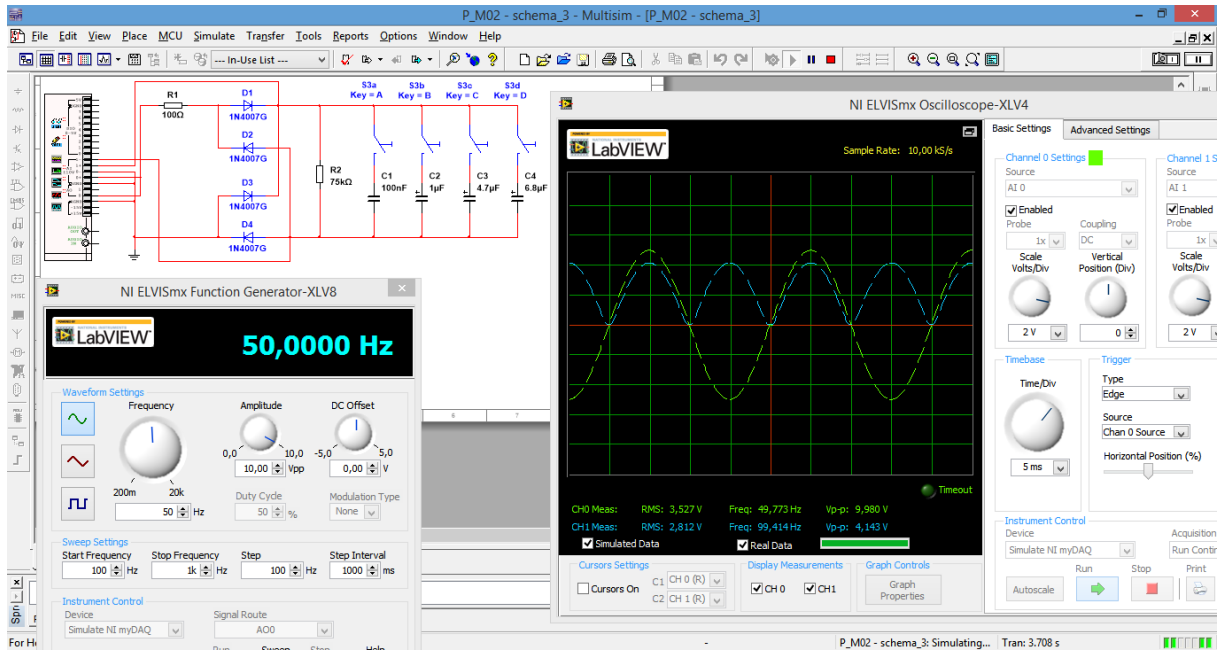
Ověření činnosti v simulačním programu Multisim

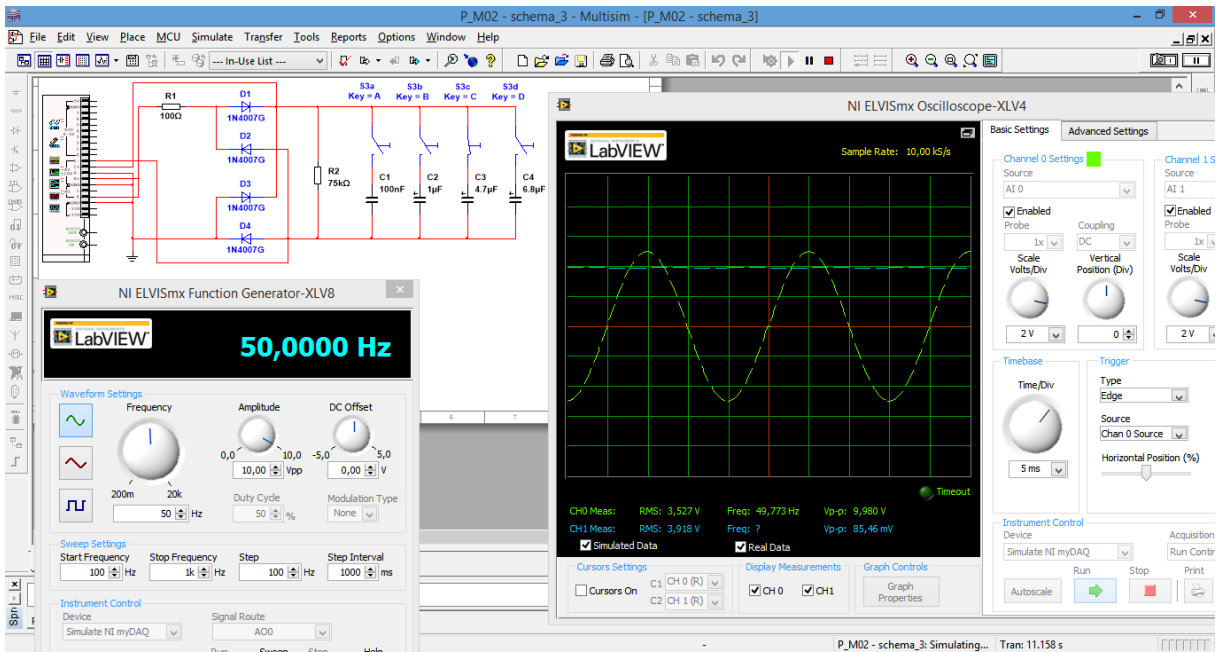
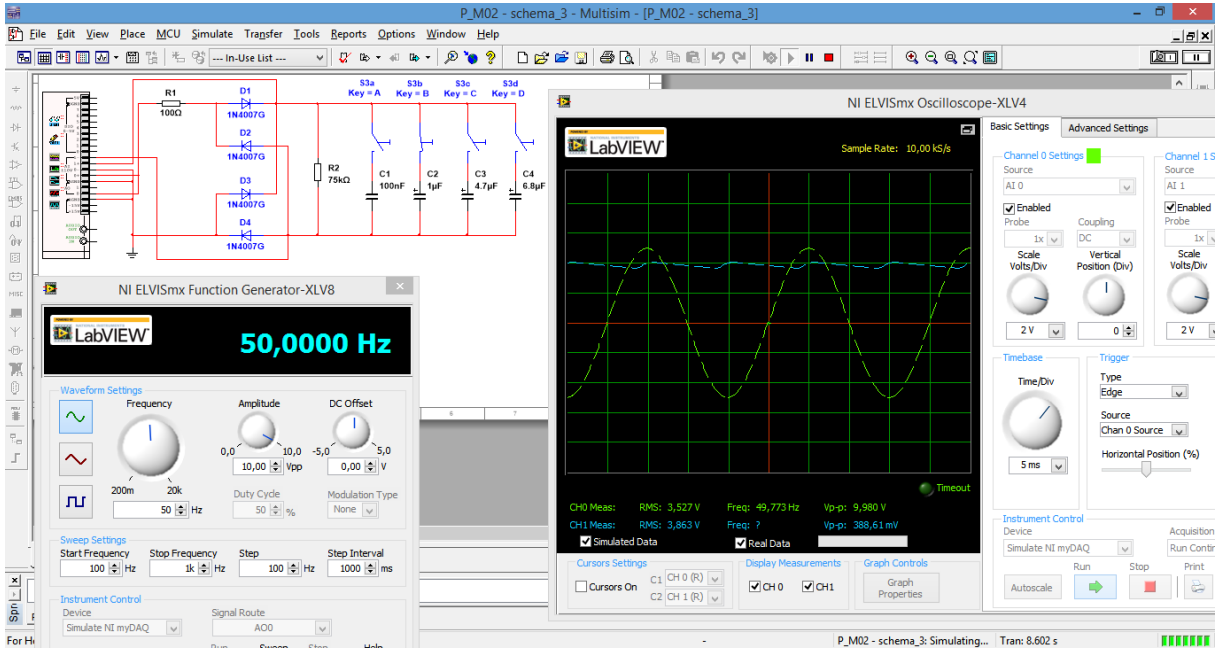


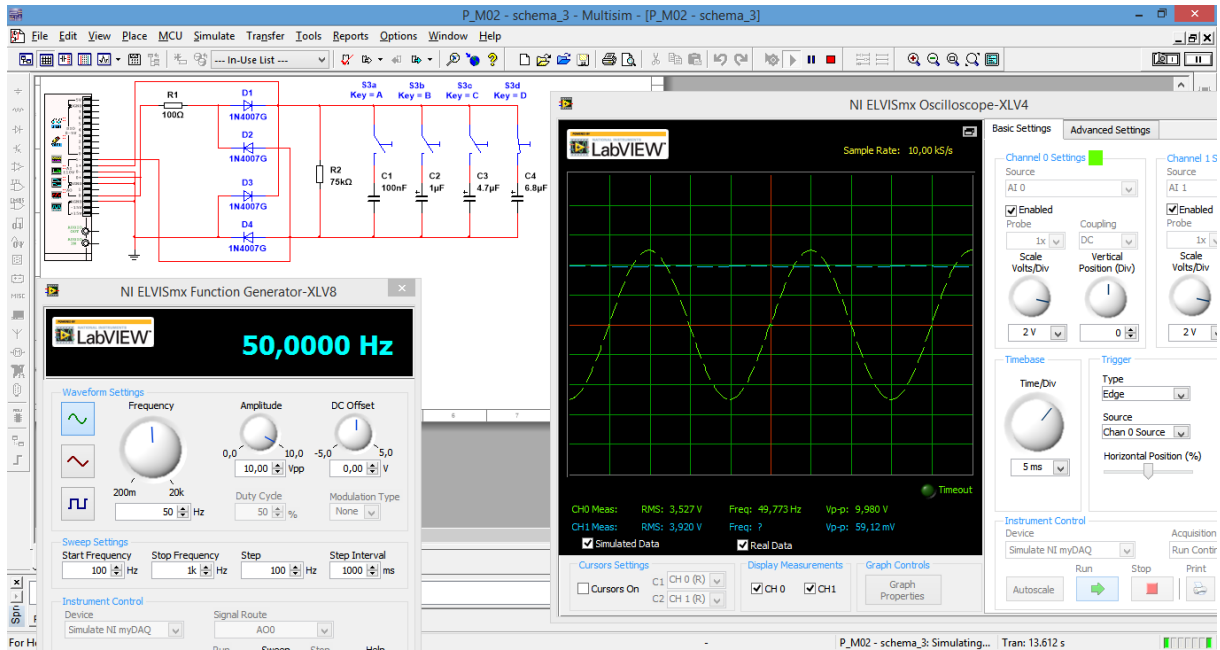




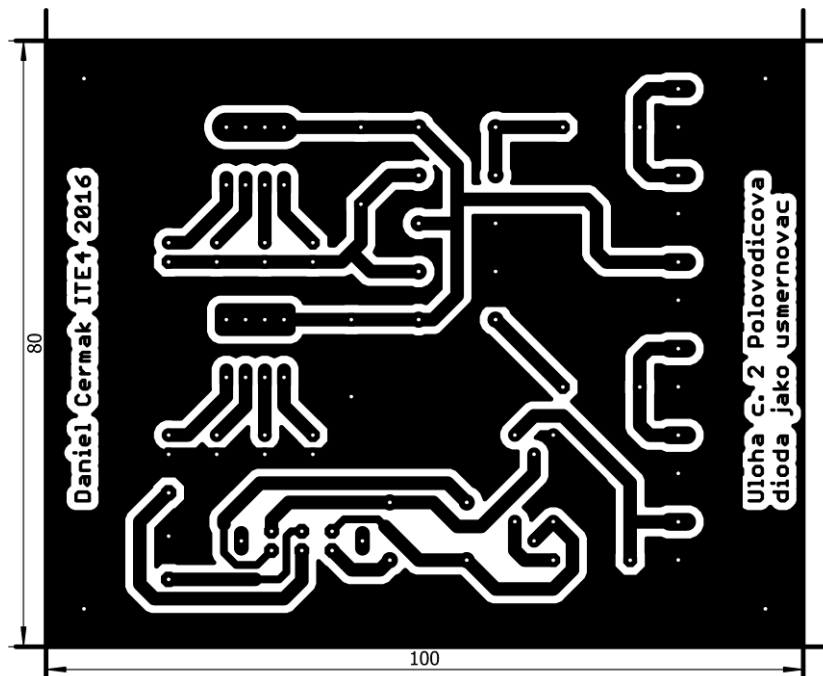






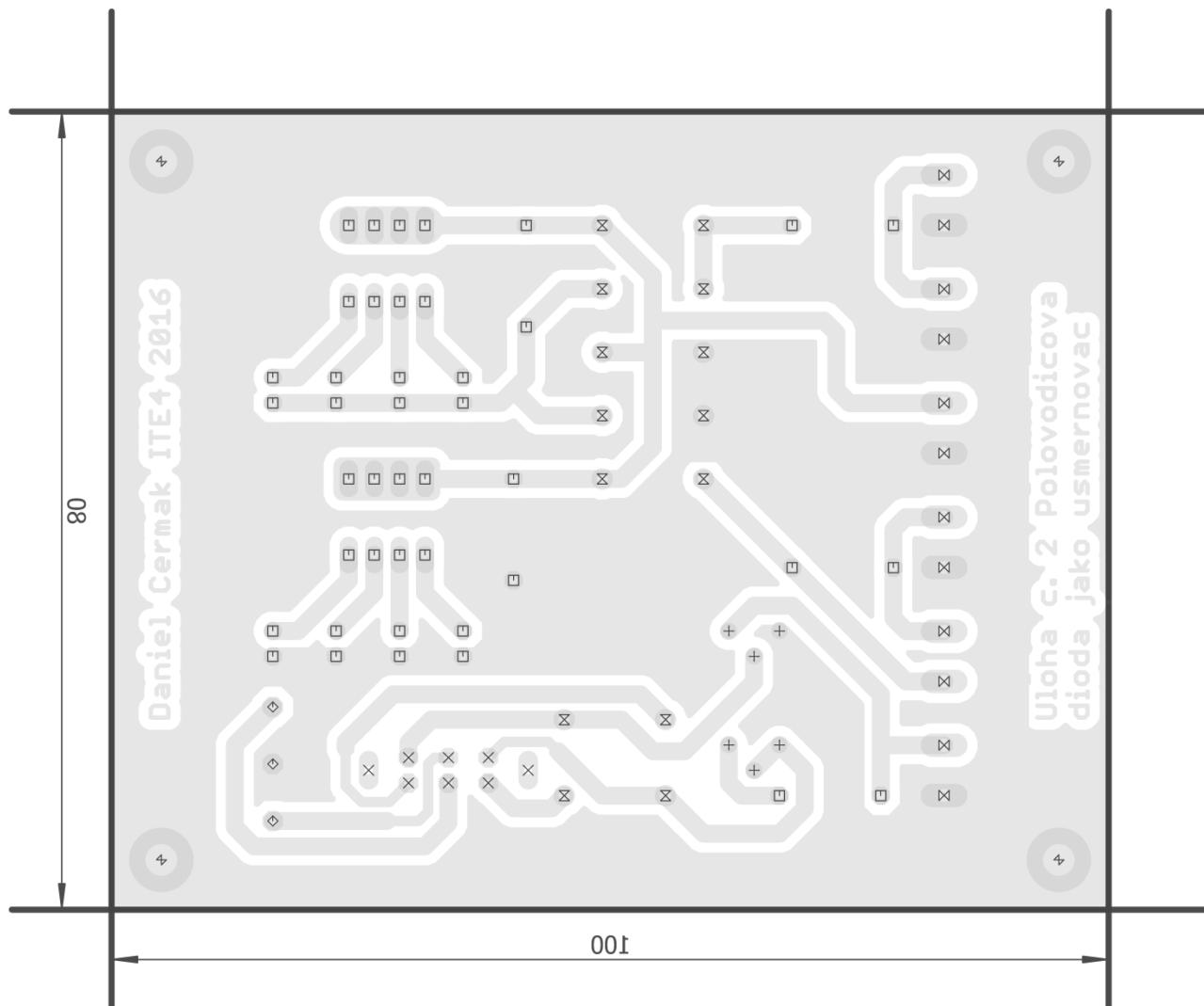


4. Motiv plošného spoje



5. Vrtací plán

- V měřítku 7:5



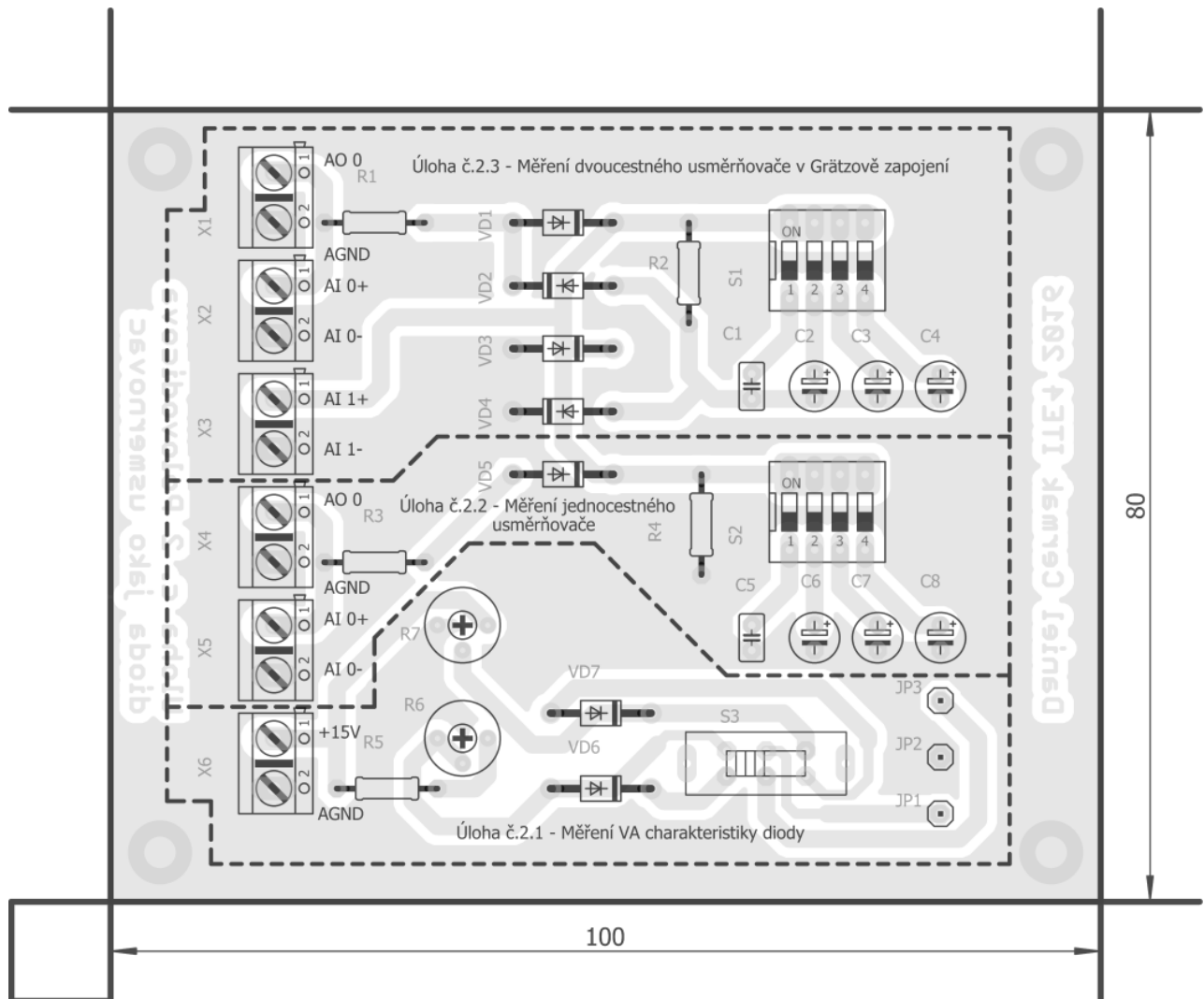
LEGENDA

Sym	N°	MM	Mils	Qty
+	1	0.61	24	6
×	2	0.80	31	8
□	3	0.81	32	42
◇	4	1.02	40	3
⊗	5	1.12	44	14
⊗	6	1.32	52	12
⊕	7	3.20	126	4

6. Osazovací výkres

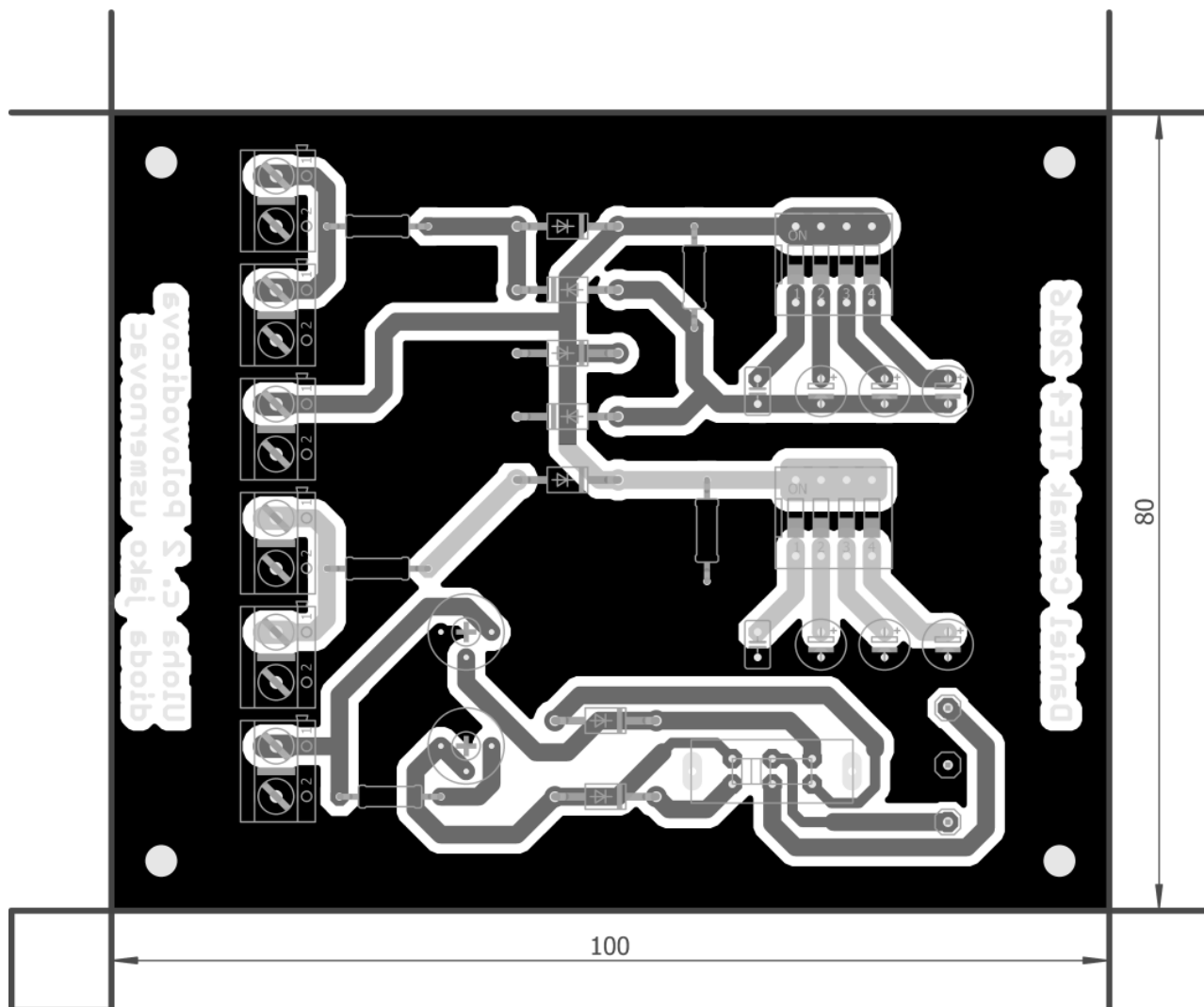
Obr. 1

- V měřítku 7:5

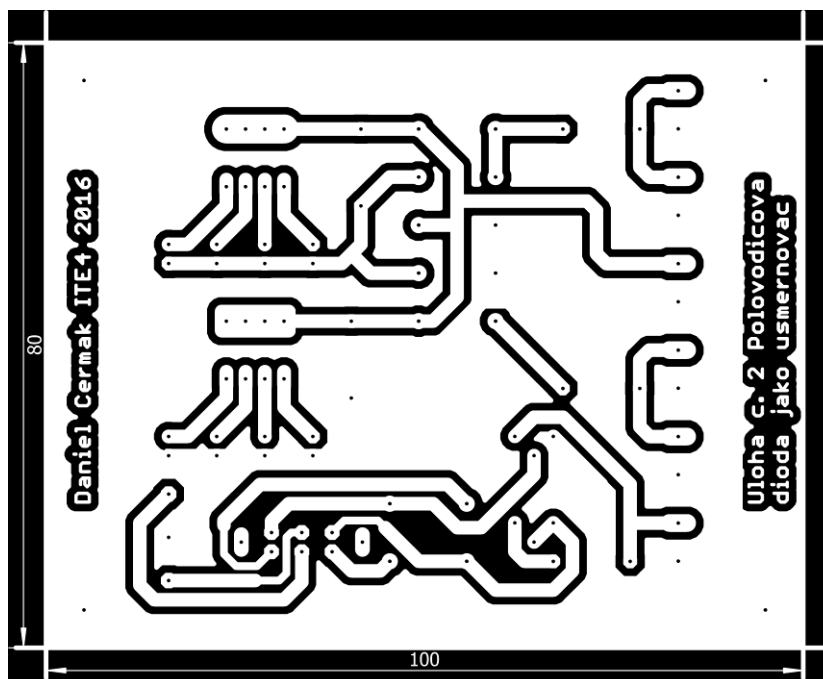


Obr. 2

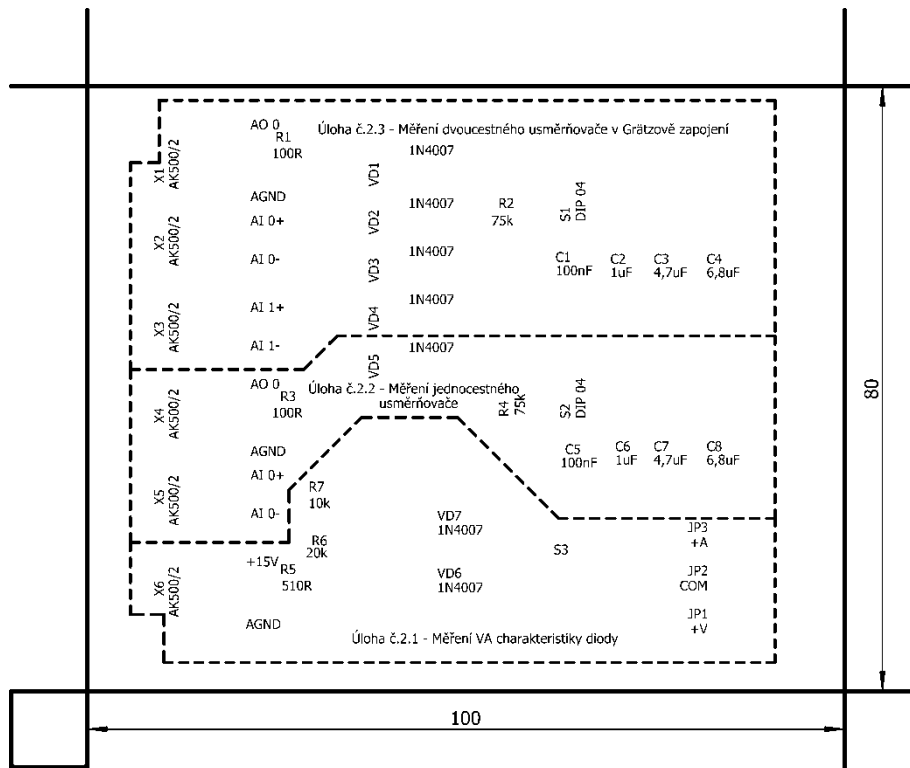
- V měřítku 7:5



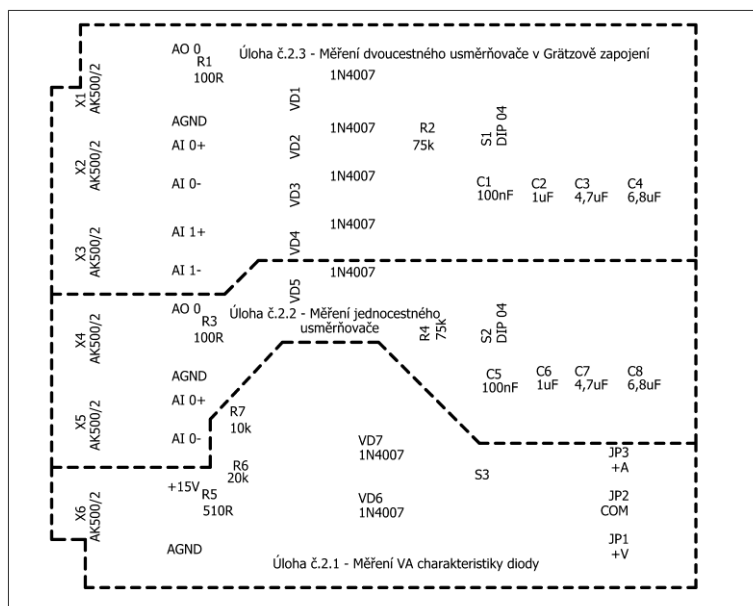
7. Předloha pro výrobu gravírovacím laserem



8. Potisk DPS



Obrázek použitý pro gravírovací laser



9. Fólie pro osvitovou jednotku

V případě výroby pomocí UV osvitové jednotky použít obrázek viz bod č. 5



V Sezimově Ústí

dne: 31. března 2015

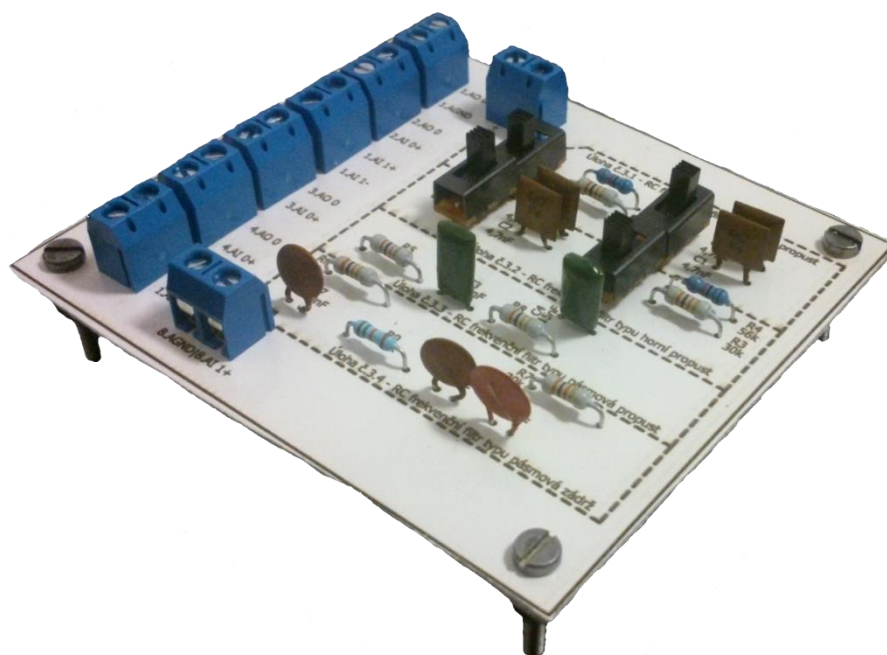
Vypracoval: Daniel Čermák



Technická dokumentace

Měřicí přípravek pro úlohu č. 3: Pasivní RC frekvenční filtry

Daniel Čermák



Obsah dokumentace:

1. Technický popis
2. Schéma zapojení
3. Seznam součástek
4. Ověření činnosti v simulačním programu Multisim
5. Motiv plošného spoje
6. Vrtací plán
7. Osazovací výkres
8. Předloha pro výrobu gravírovacím laserem
9. Potisk DPS
10. Fólie pro osvitovou jednotku

1. Technický popis

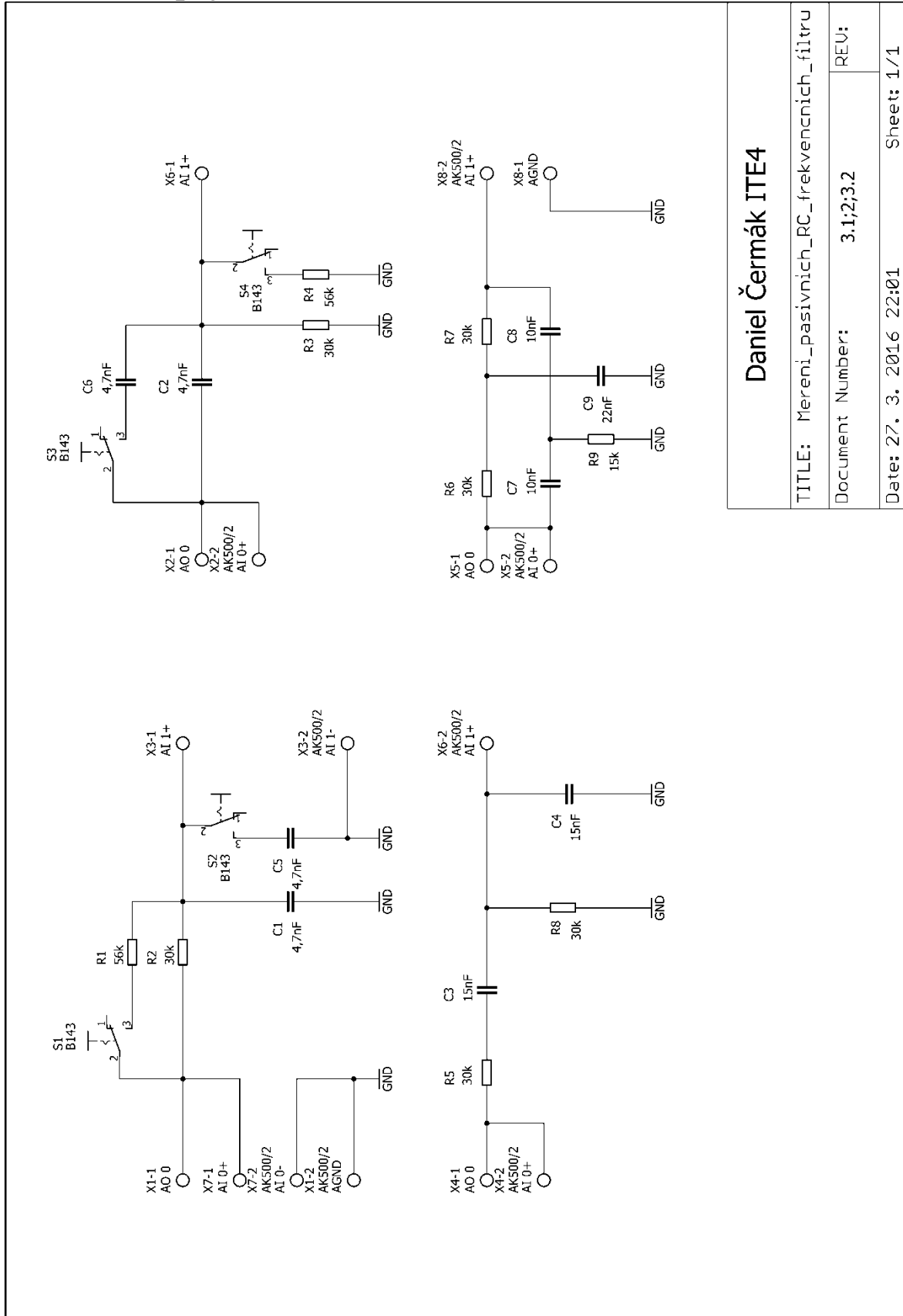
Měřicí přípravek pro úlohu č. 3 nazvanou „Pasivní RC frekvenční filtry“ slouží k seznámení žáka se základními možnostmi filtrace signálu. K tomuto účelu jsou na desce navrženy jednoduché filtry jako horní a dolní propust, pásmová propust a zádrž.

Deska je vyrobena z jednostranného poměděného laminátu. K výrobě je užitá nově zavedená metoda výroby založená na principu odpaření vrstvy nastříkané syntetické barvy na plošném spoji pomocí gravírovacího laseru a následném odleptání barvou již nezakrytých míst plošného spoje v roztoku chloridu železitého.

Měřicí přípravek má rozměry 80 × 90 mm a je stavěn tak, aby jej žák musel připojit k rozhraní myDAQ pomocí propojovacích vodičů. Konektory na desce jsou, pro jednoduchost a dostatečnou životnost při opakovaném používání, šroubového typu. Měřicí přípravek propojený s myDAQem již nepotřebuje dodatečné externí napájení, jelikož je navržen tak, aby si plně vystačil s výstupními parametry měřicího rozhraní myDAQ.

Deska je opatřena nožičkami a podrobným popisem všech komponent pro jednoduchou obsluhu a zjednodušení případného hledání příčiny nefunkčnosti. Dále jsou na desce viditelně odděleny a pojmenovány jednotlivé části úlohy, aby měl žák přehled o tom, které součástky jsou momentálně využívány.

2. Schéma zapojení

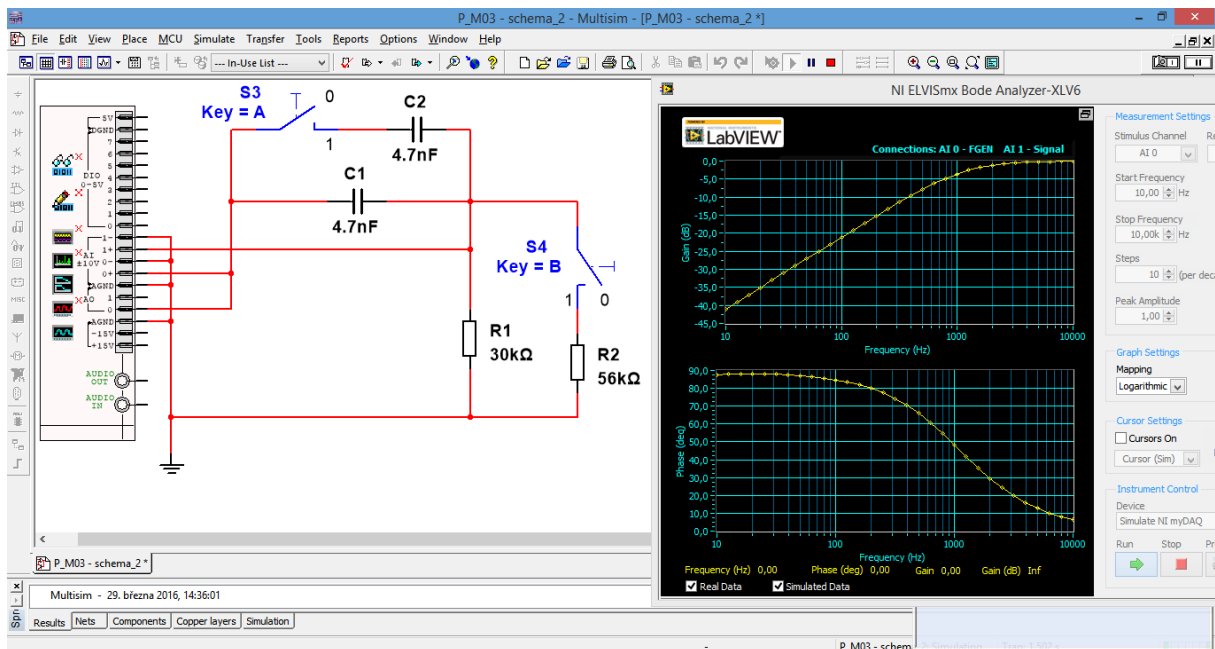
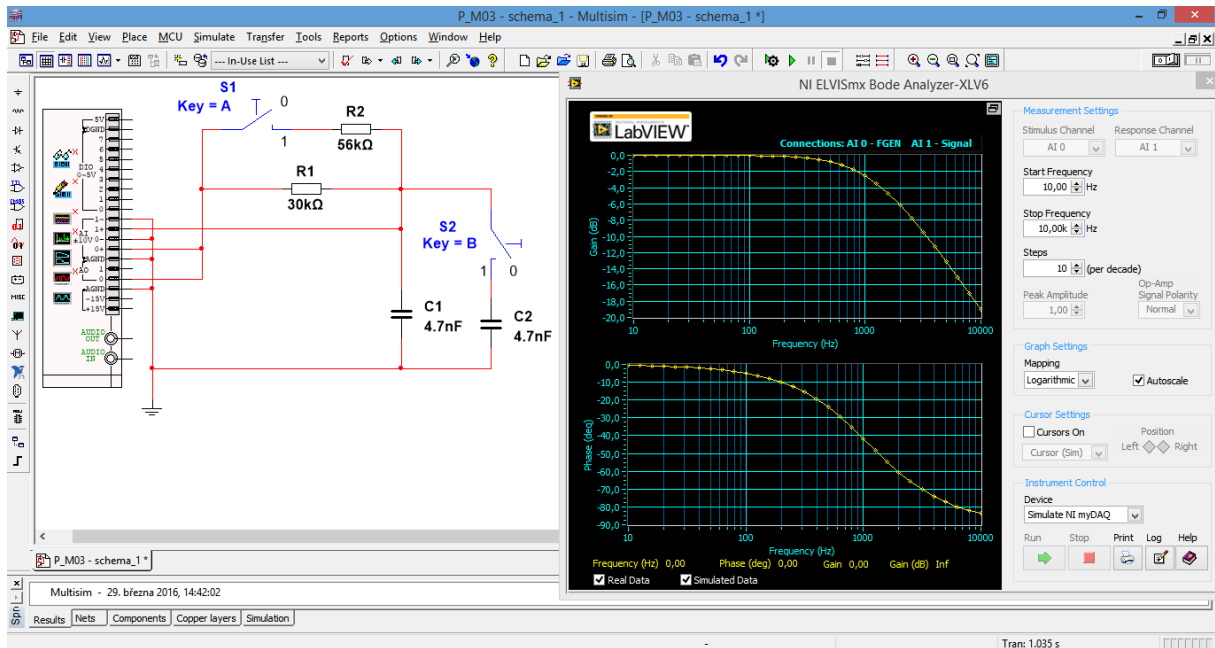


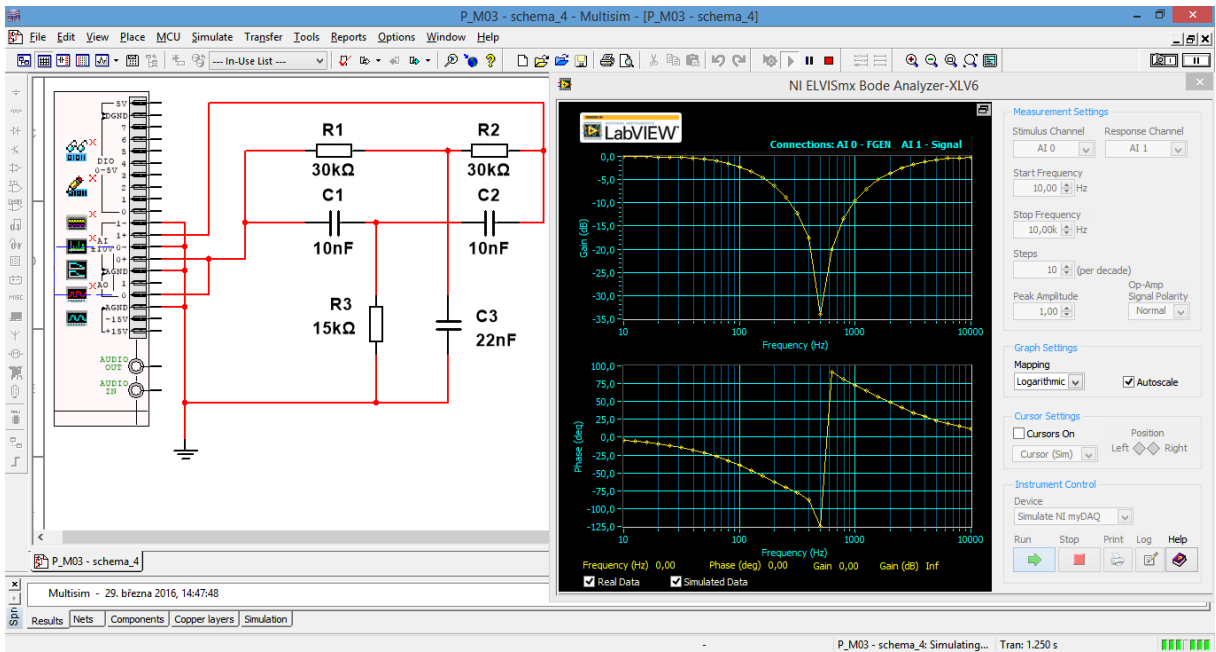
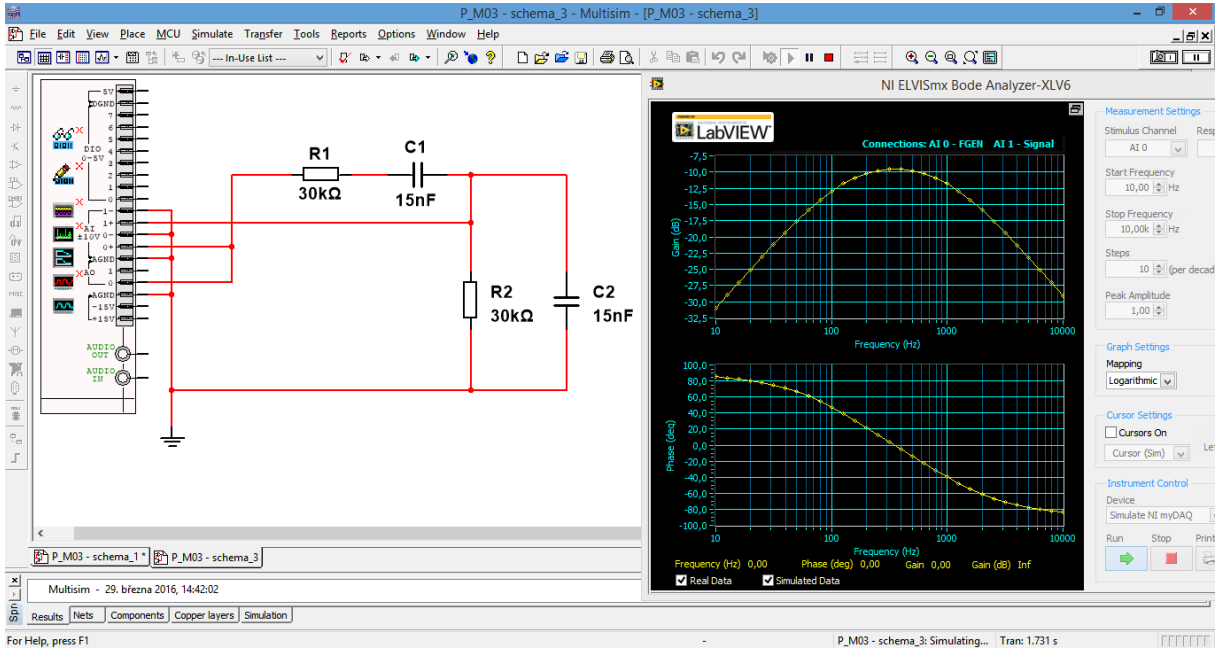
Daniel Čermák ITE4	
TITLE: Měření pasivních RC frekvenčních filtrů	REV: 3.1;2;3.2
Document Number: 3.1;2;3.2	Date: 27. 3. 2016 22:01
	Sheet: 1/1

3. Seznam součástek

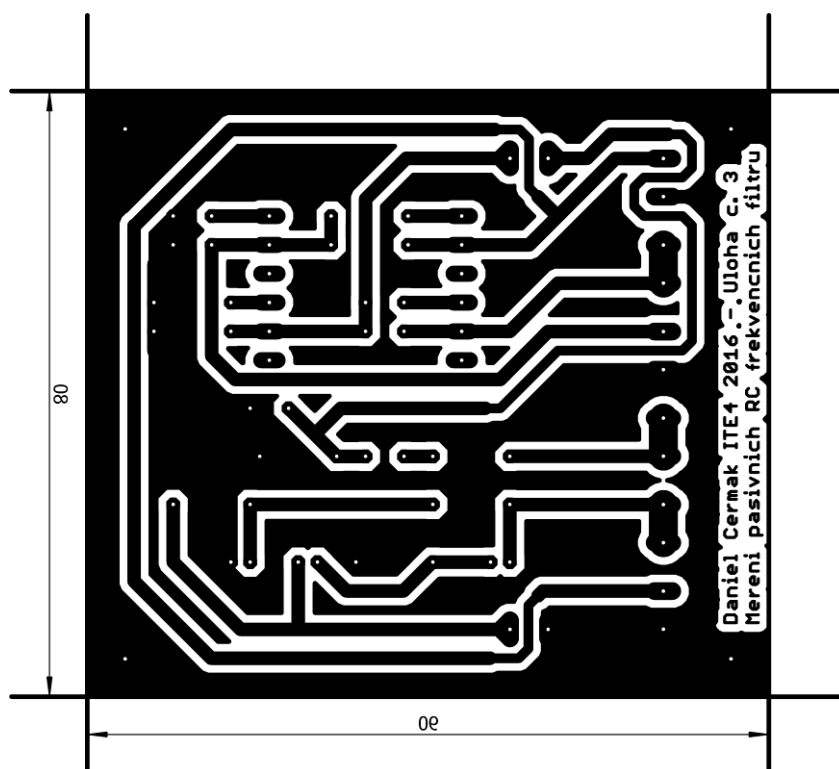
Seznam součástek - Úloha č. 3 – Pasivní RC frekvenční filtry						
P. č.	Označení	Popis/ typ	Hodnota/ pouzdro	Množství	M. j.	Poznámka
1	C1, C2, C5, C6	Keramický kondenzátor	4,7nF/ 50V/ RM 5,08 mm/ tol. 10%	4	ks	GME
2	C3, C4	Keramický kondenzátor	15nF/ 50V/ RM 5,08 mm/ tol. 10%	2	ks	GME
3	C7, C8	Keramický kondenzátor	10nF/ 100V/ RM 2,54 mm/ tol. 10%	2	ks	GME
4	C9	Keramický kondenzátor	22nF/ 40V/ RM 2,54 mm/ tol. 20%	1	ks	GME
5	R1, R4	Pevný uhlíkový rezistor	56k/ 0207	2	ks	GME
6	R2, R3, R5, R6, R7, R8	Pevný uhlíkový rezistor	30k/ 0207	6	ks	GME
7	R9	Pevný uhlíkový rezistor	15k/ 0207	1	ks	GME
8	S1 až S4	Posuvný spínač do DPS, jednopólový, ON-ON	U = 50 V; I = 0,5 A/ B143	4	ks	GME
9	X1 až X8	Šroubovací svorkovnice do DPS, vertikální, 2 kontakty	AK500/2	8	ks	GME; Svorkovnice PTR AK500/ 2DS-5.0-V- GREY
10	-	Jednostranný plošný spoj 120x80 mm	-	1	ks	GME

4. Ověření činnosti v simulačním programu Multisim



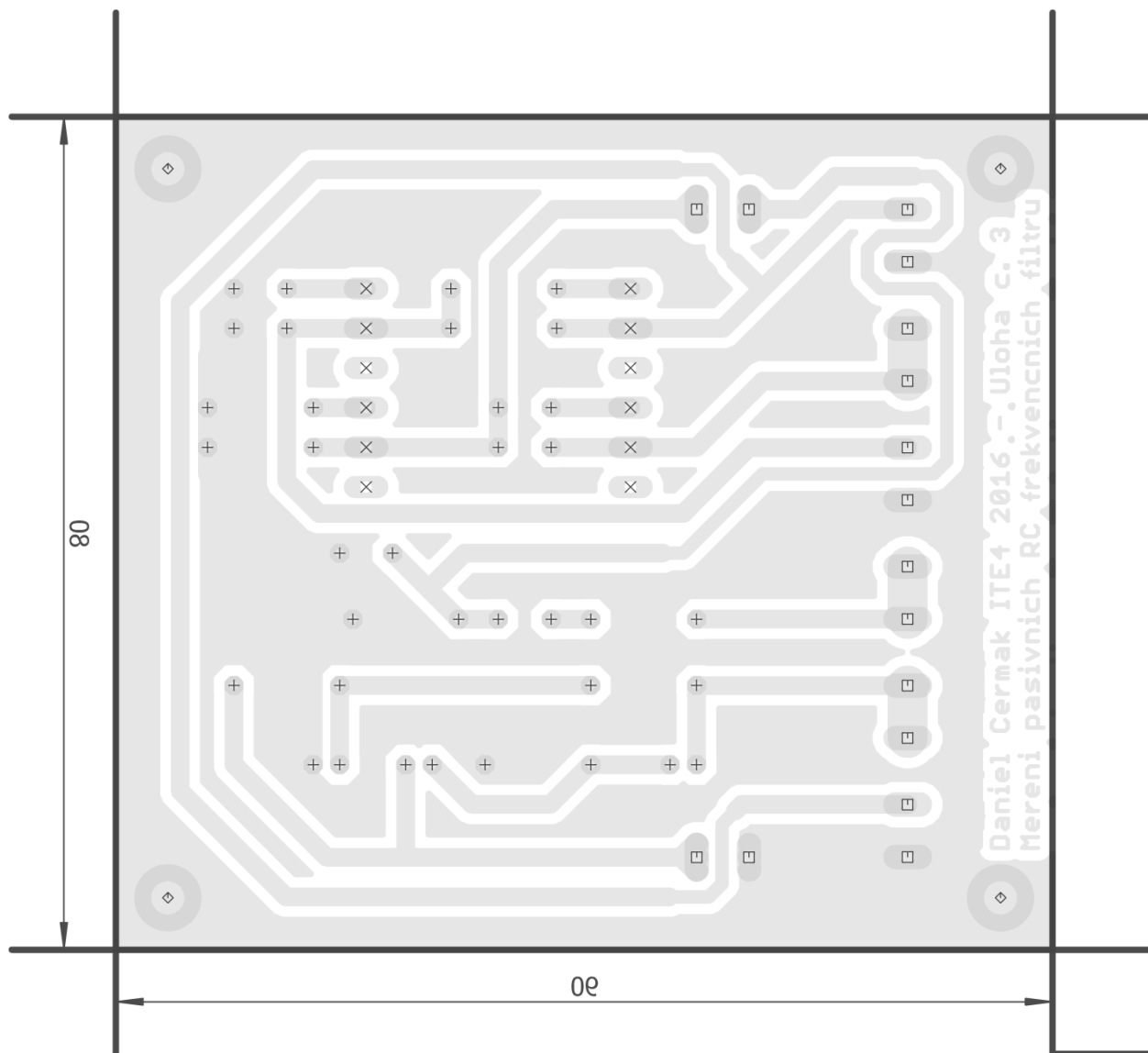


5. Motiv plošného spoje



6. Vrtací plán

- V měřítku 15:10



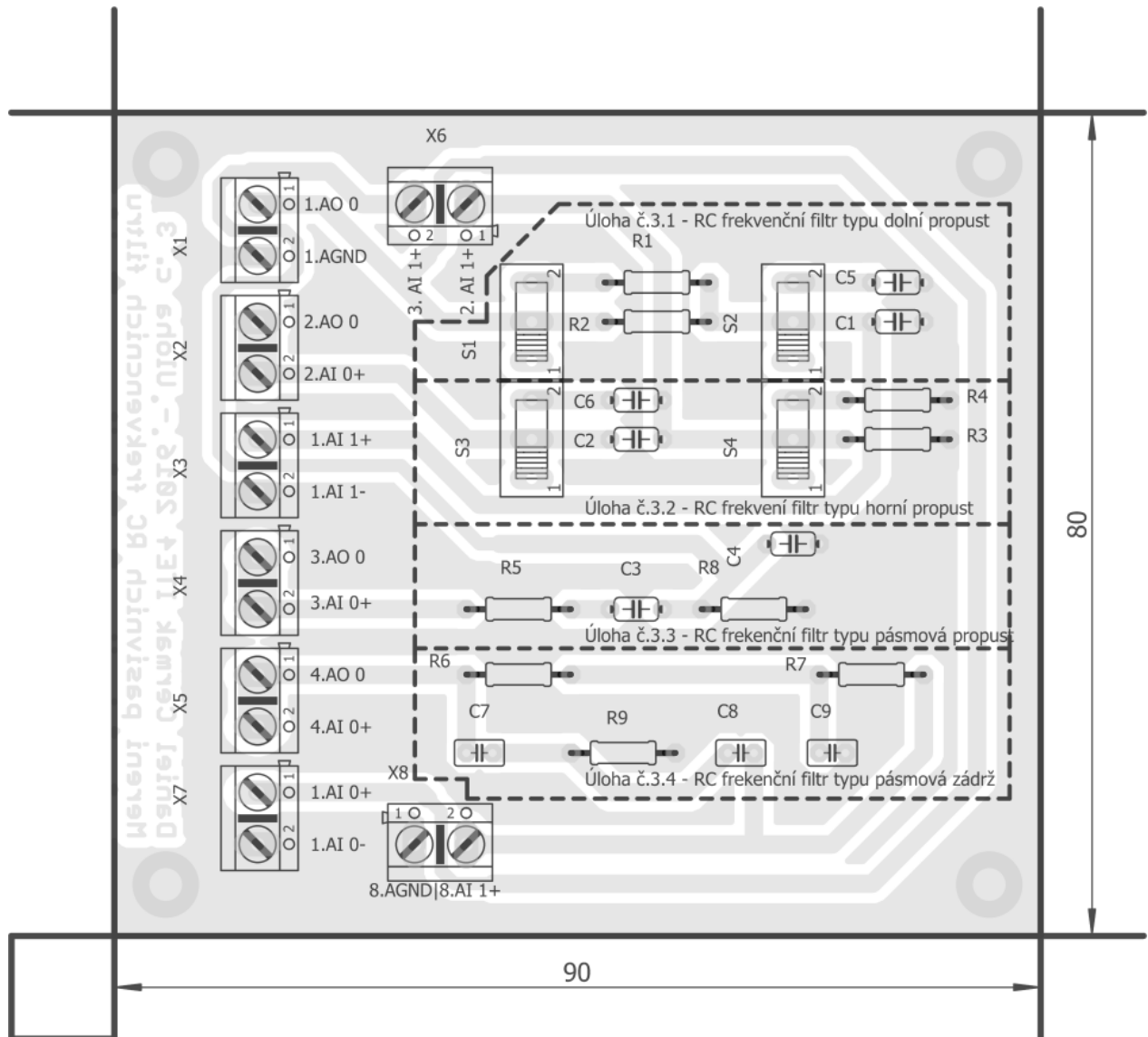
LEGENDA

Sym	N°	MM	Mils	Qty
+	1	0.81	32	36
×	2	1.12	44	12
□	3	1.32	52	16
◇	4	3.20	126	4

7. Osazovací výkres

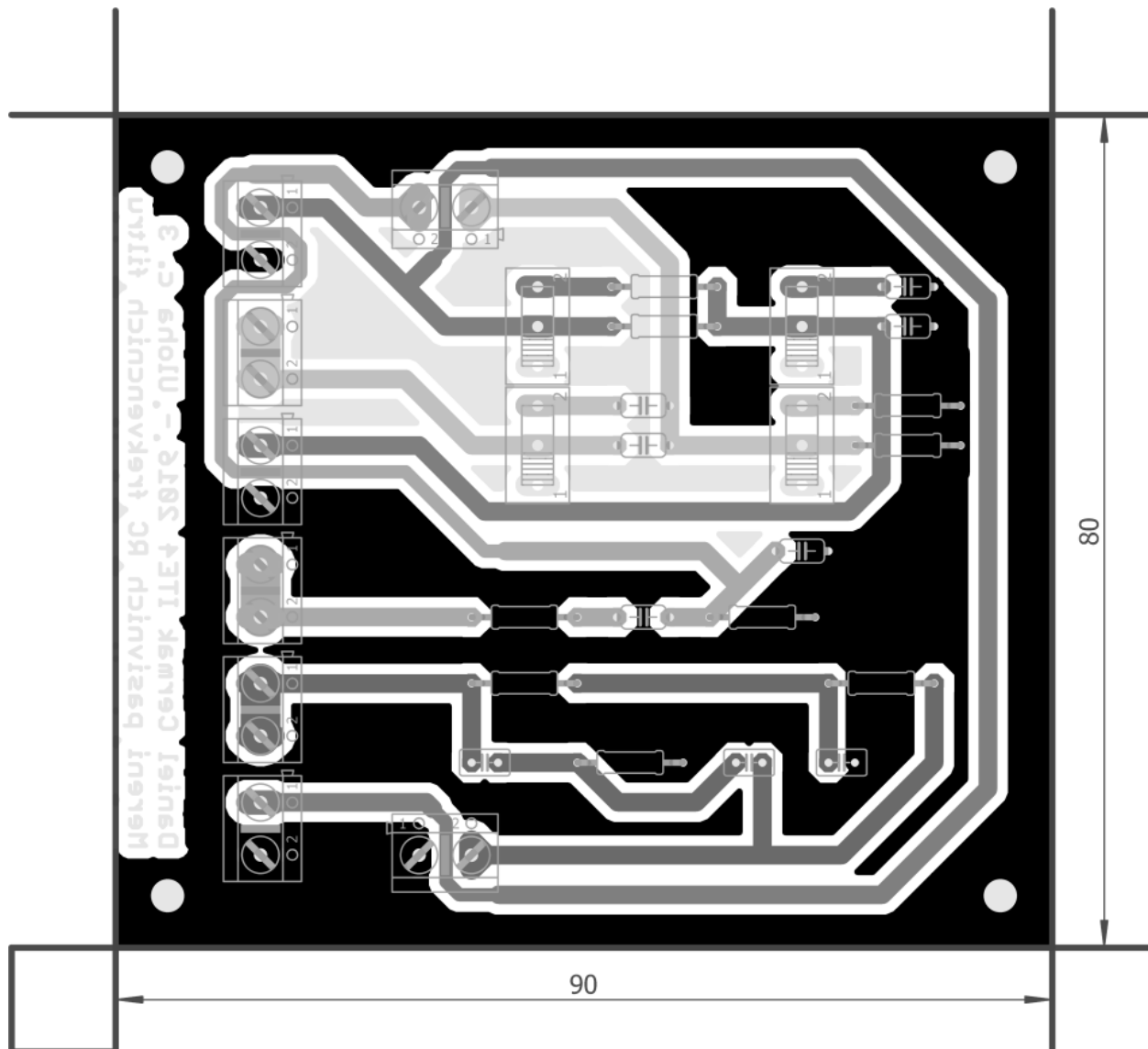
Obr. 1

- V měřítku 15:10

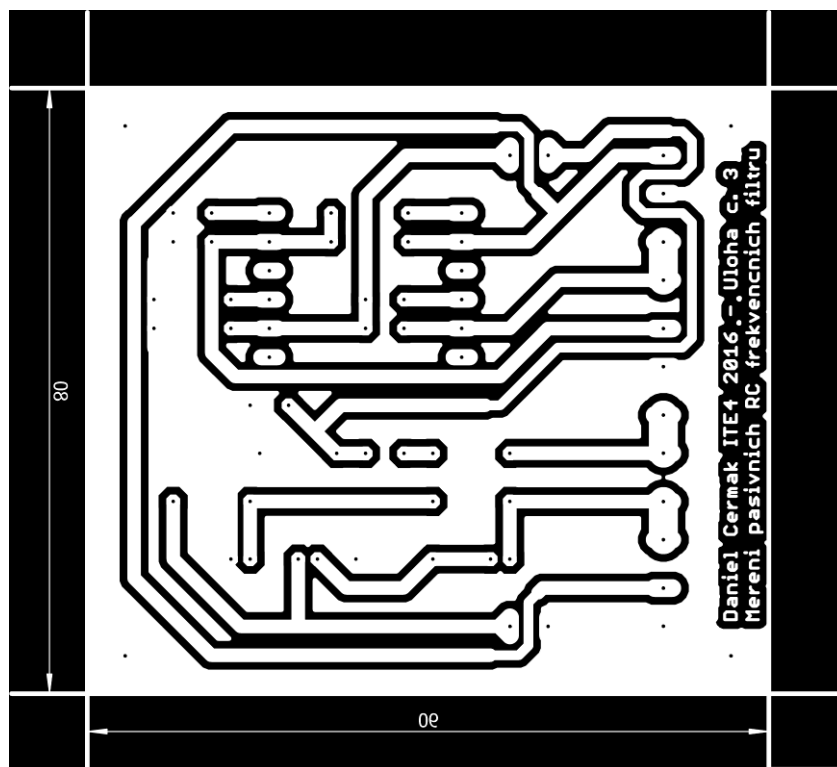


Obr. 2

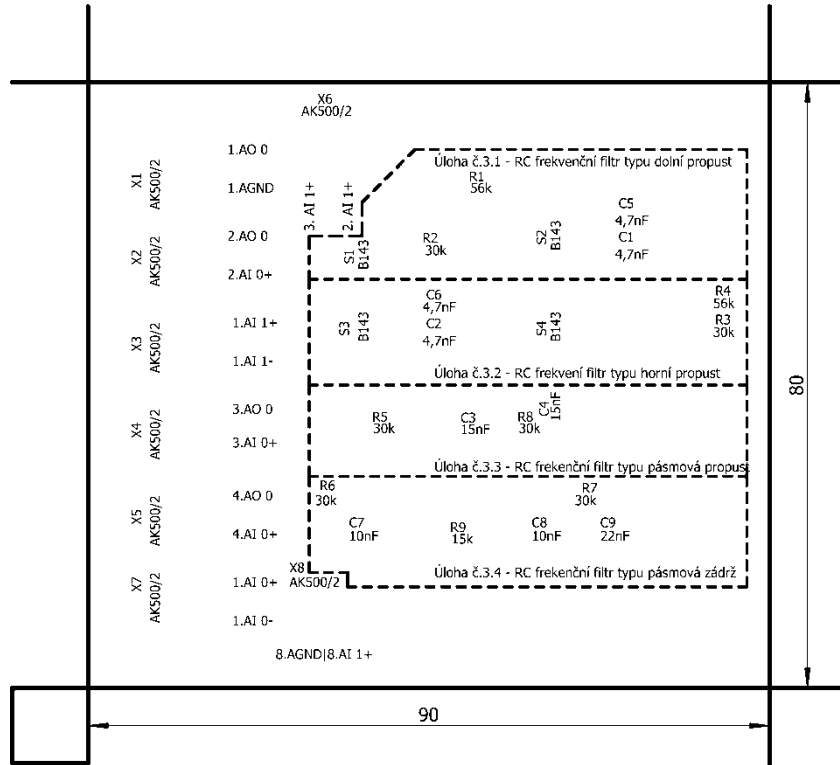
- V měřítku 15:10



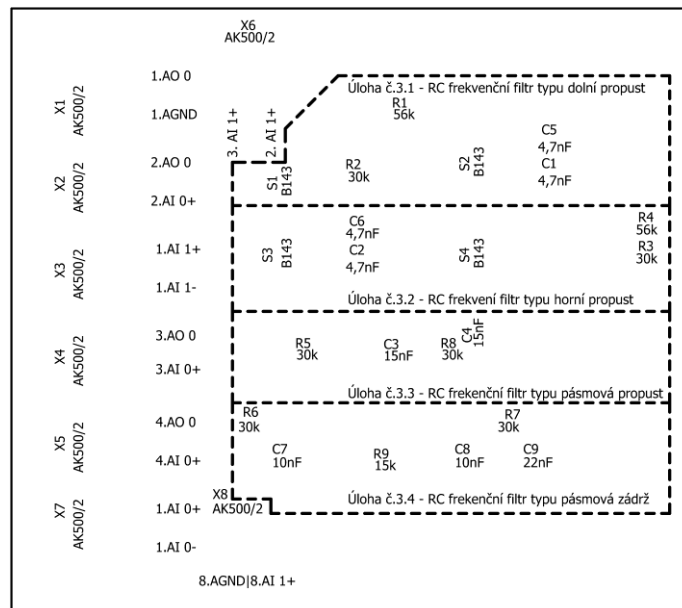
8. Předloha pro výrobu gravírovacím laserem



9. Potisk DPS



Obrázek použitý pro gravírovací laser



10. Fólie pro osvitovou jednotku

V případě výroby pomocí UV osvitové jednotky použít obrázek viz bod č. 5

V Sezimově Ústí

dne: 31. března 2015

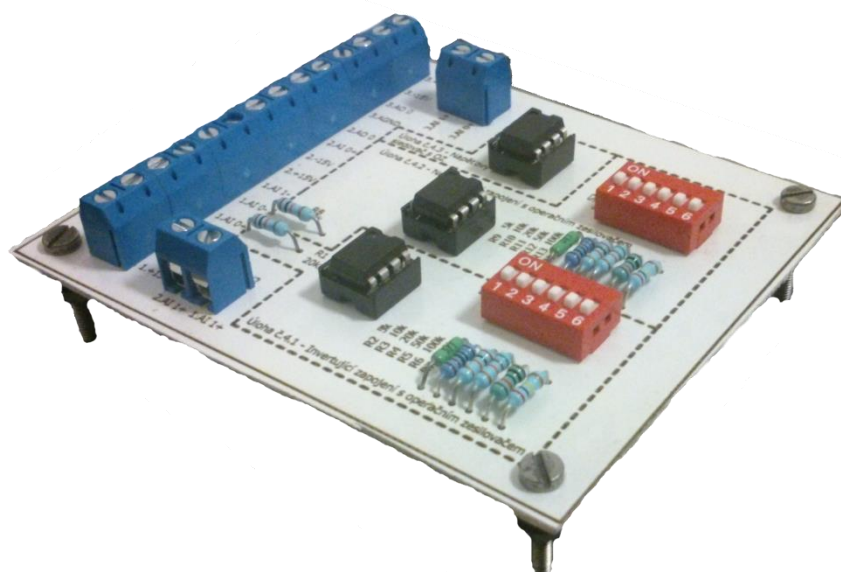
Vypracoval: Daniel Čermák



Technická dokumentace

Měřicí přípravek pro úlohu č. 4: Měření základních zapojení s operačními zesilovači

Daniel Čermák



Obsah dokumentace:

1. Technický popis
2. Schéma zapojení
3. Seznam součástek
4. Ověření činnosti v simulačním programu Multisim
5. Motiv plošného spoje
6. Vrtací plán
7. Osazovací výkres
8. Předloha pro výrobu gravírovacím laserem
9. Potisk DPS
10. Fólie pro osvitovou jednotku

1. Technický popis

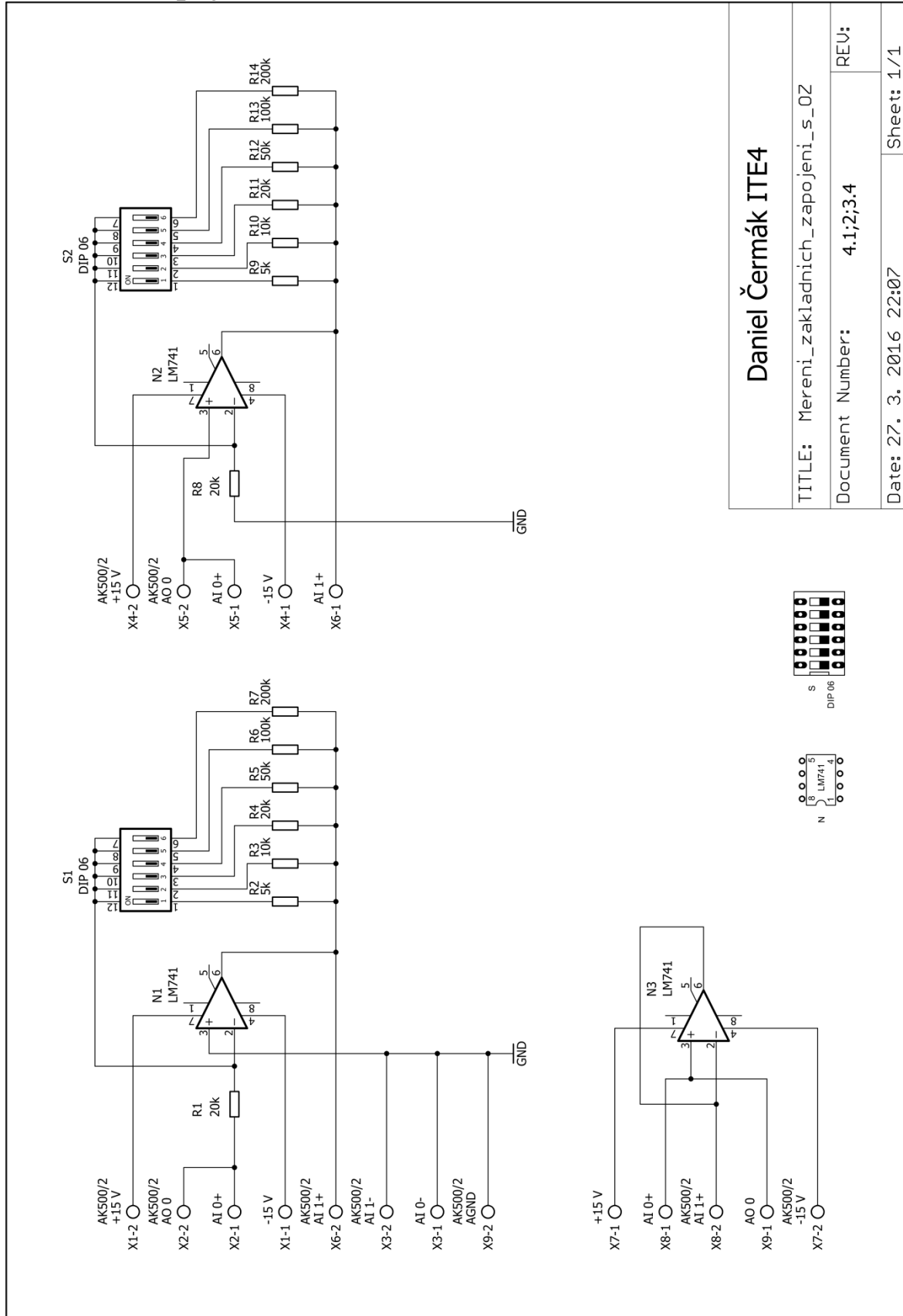
Měřicí přípravek pro úlohu č. 4 nazvanou „Práce s operačním zesilovačem“ slouží k seznámení žáka se základními zapojeními operačního zesilovače. K tomuto účelu je na desce navržen jednoduchý invertující zesilovač, neinvertující zesilovač a napěťový sledovač.

Deska je vyrobena z jednostranného poměděného laminátu. K výrobě je užitá nově zavedená metoda výroby založená na principu odpaření vrstvy nastříkané syntetické barvy na plošném spoji pomocí gravírovacího laseru a následném odleptání barvou již nezakrytých míst plošného spoje v roztoku chloridu železitého.

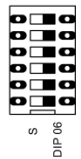
Měřicí přípravek má rozměry 80 × 95 mm a je stavěn tak, aby jej žák musel připojit k rozhraní myDAQ pomocí propojovacích vodičů. Konektory na desce jsou, pro jednoduchost a dostatečnou životnost při opakovaném používání, šroubového typu. Měřicí přípravek propojený s myDAQem již nepotřebuje dodatečné externí napájení, jelikož je navržen tak, aby si plně vystačil s výstupními parametry měřicího rozhraní myDAQ.

Deska je opatřena nožičkami a podrobným popisem všech komponent pro jednoduchou obsluhu a zjednodušení případného hledání příčiny nefunkčnosti. Dále jsou na desce viditelně odděleny a pojmenovány jednotlivé části úlohy, aby měl žák přehled o tom, které součástky jsou momentálně využívány.

2. Schéma zapojení



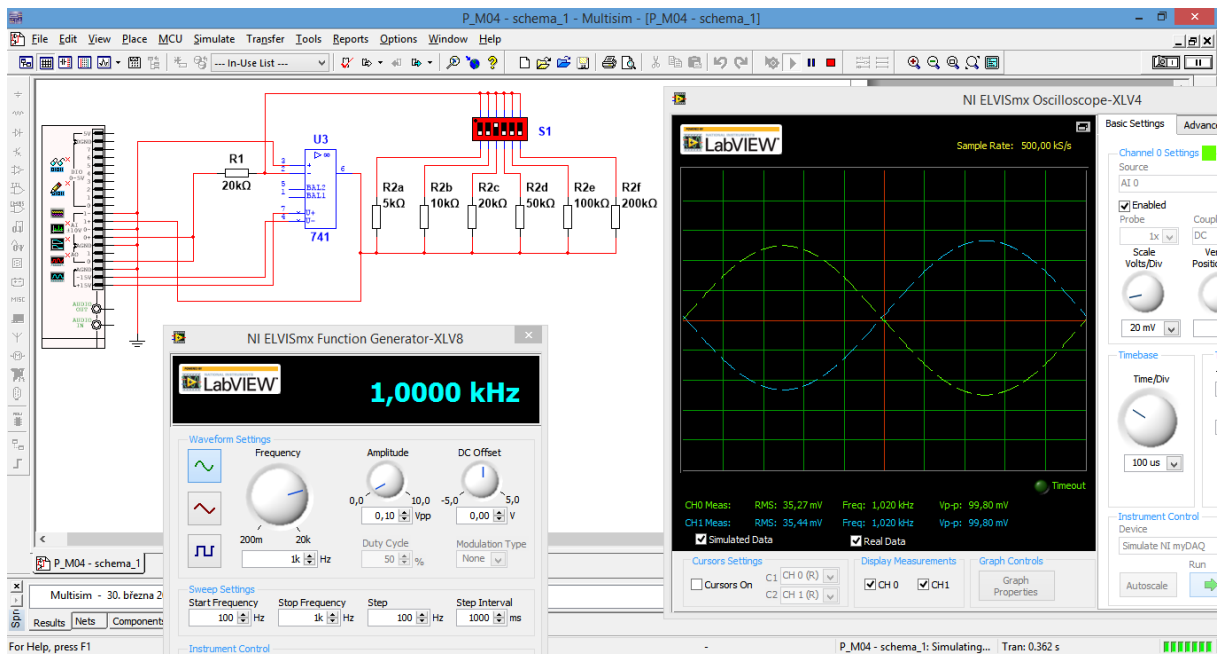
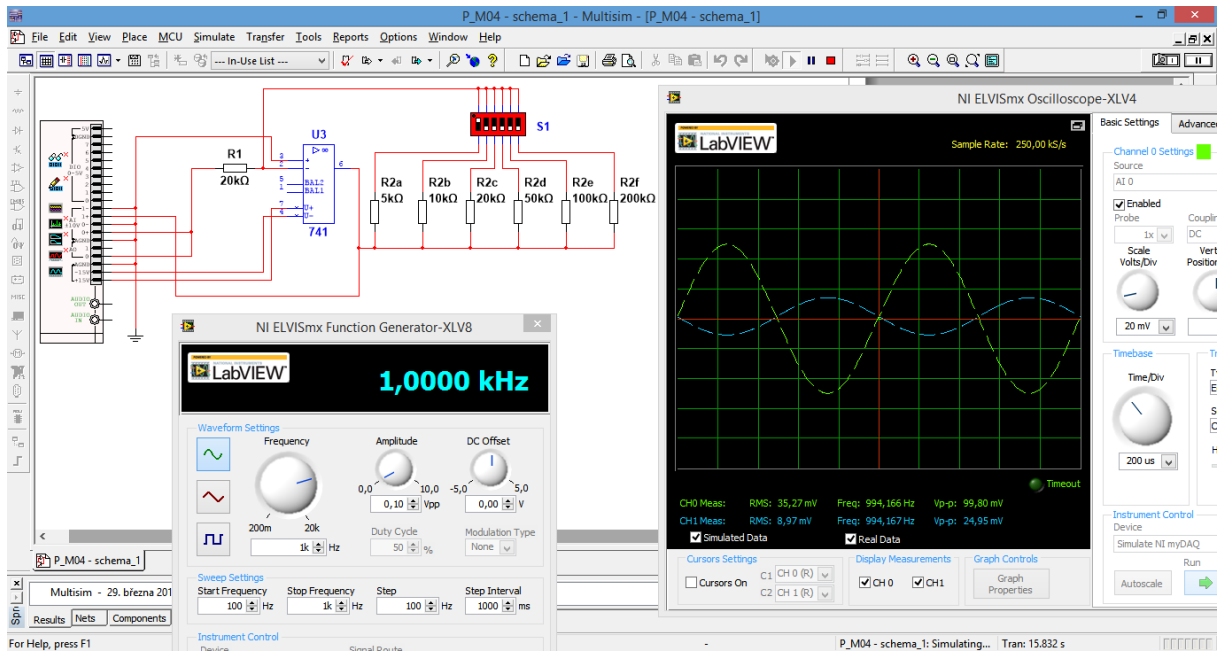
Daniel Čermák ITE4	
TITLE: Měření základních zapojení_s_02	REV: 1
Document Number: 4.1;2;3.4	REV: 1
Date: 27. 3. 2016 22:07	Sheet: 1/1

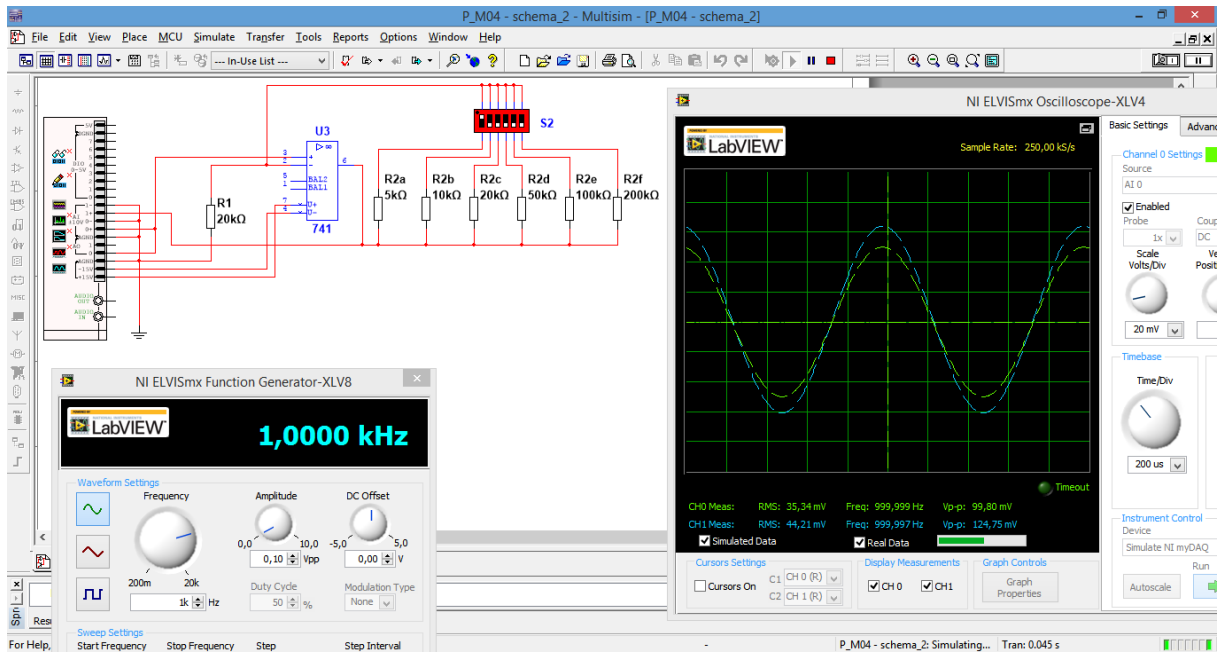
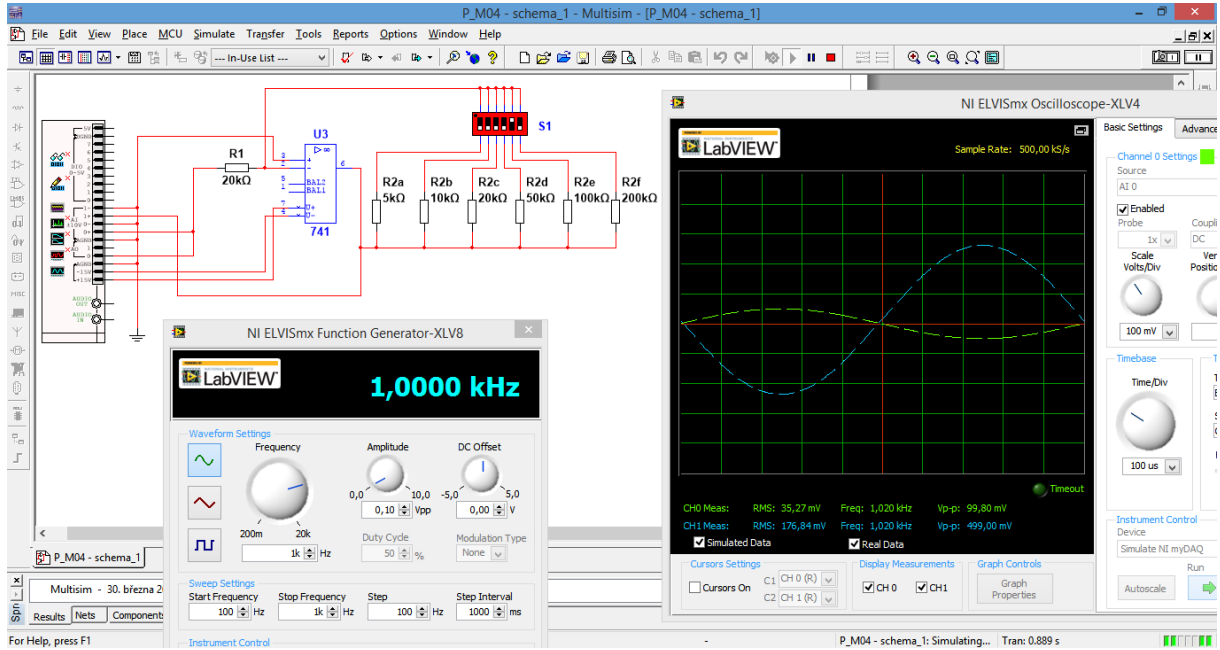


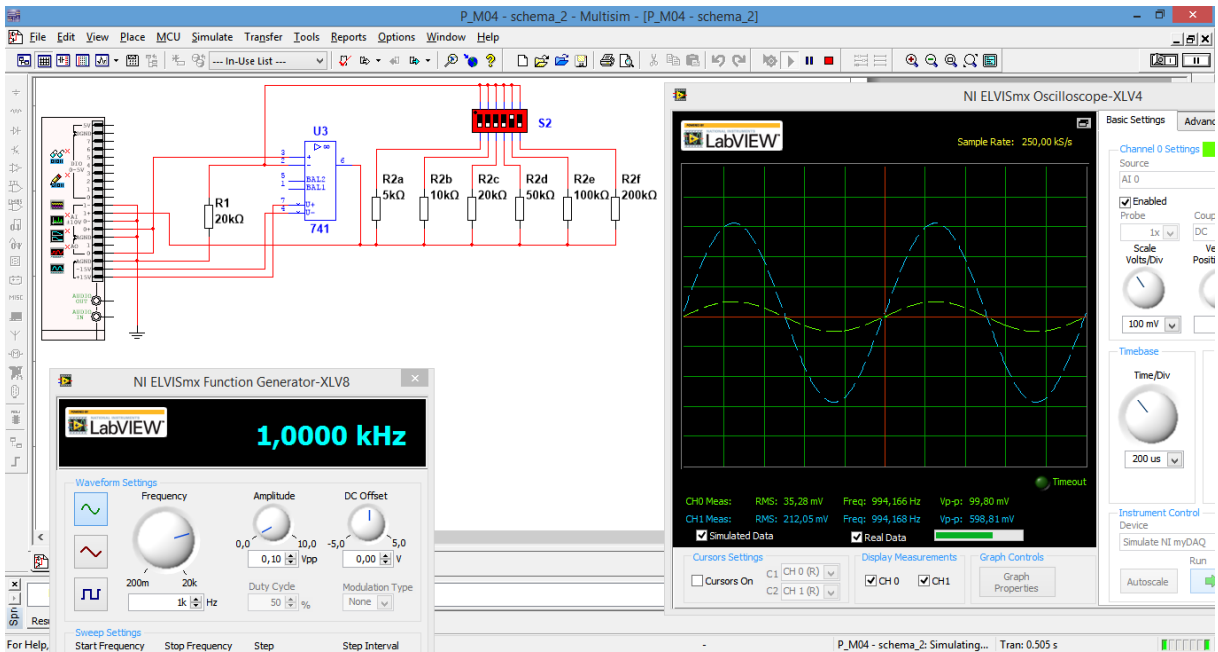
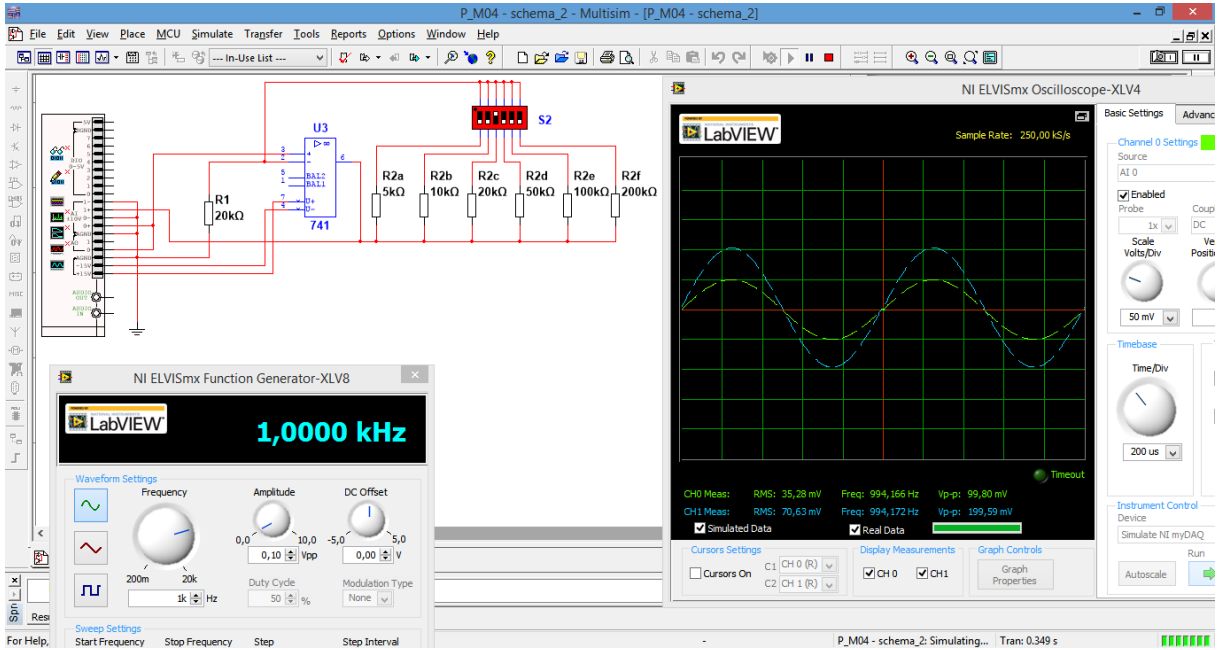
3. Seznam součástek

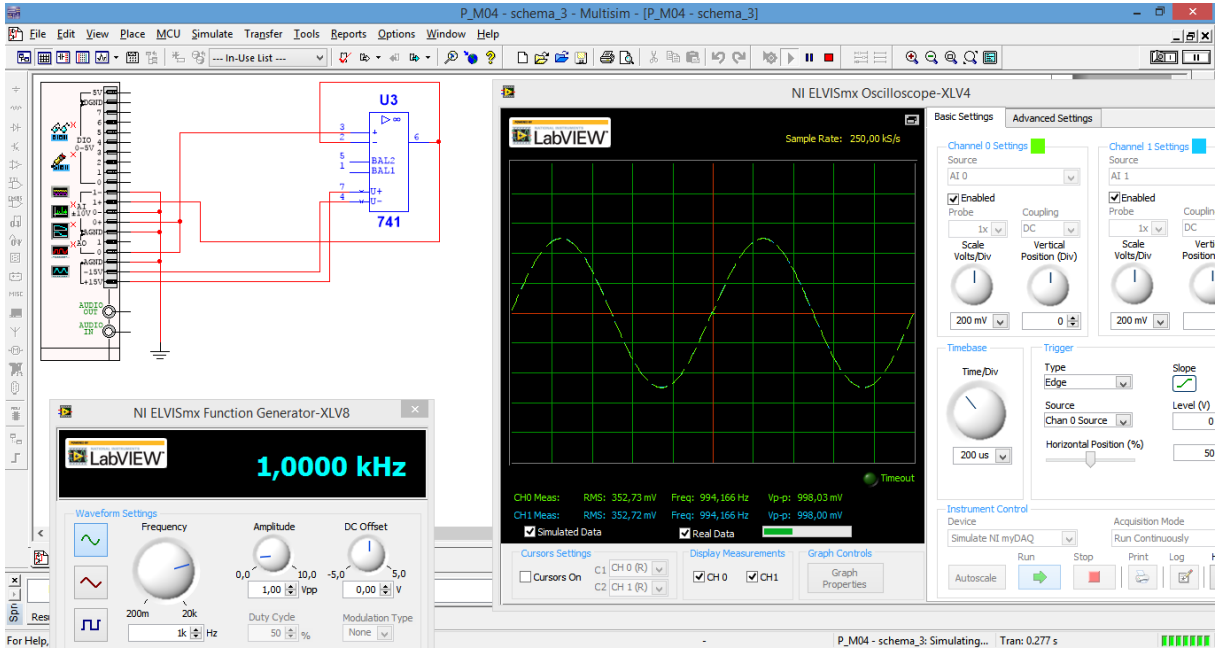
Seznam součástek - Úloha č. 4 - Základní zapojení s operačními zesilovači						
P. č.	Označení	Popis/ typ	Hodnota/ pouzdro	Množství	M. J.	Poznámka
1	N1, N2, N3	Operační zesilovač/ LM741	DIP 8	3	ks	GME
2	R2, R9	Pevný uhlíkový rezistor	5k/ 0207	2	ks	GME
3	R3, R10	Pevný metalizovaný rezistor	10k/ 0207	2	ks	GME
4	R1, R4, R8, R11	Pevný metalizovaný rezistor	20k/ 0207	4	ks	GME
5	R5, R12	Pevný metalizovaný rezistor	50k/ 0207	2	ks	GME
6	R6, R13	Pevný metalizovaný rezistor	100k/ 0207	2	ks	GME
7	R7, R14	Pevný metalizovaný rezistor	200k/ 0207	2	ks	GME
8	S1, S2	DIP spínač do DPS modrý / 6 pólový	U _j m = 24V; I _j m = 0,025 A/ DIP 06	2	ks	GME
9	X1 až X9	Šroubovací svorkovnice do DPS, vertikální, 2 kontakty	AK500/2	9	ks	GME; Svorkovnice PTR AK500/ 2DS-5.0-V-GREY
10	-	Patice pro pouzdro DIL8	Socket 8	3	ks	GME
11	-	Jednostranný plošný spoj 120x80 mm	-	1	ks	GME

4. Ověření činnosti v simulačním programu Multisim

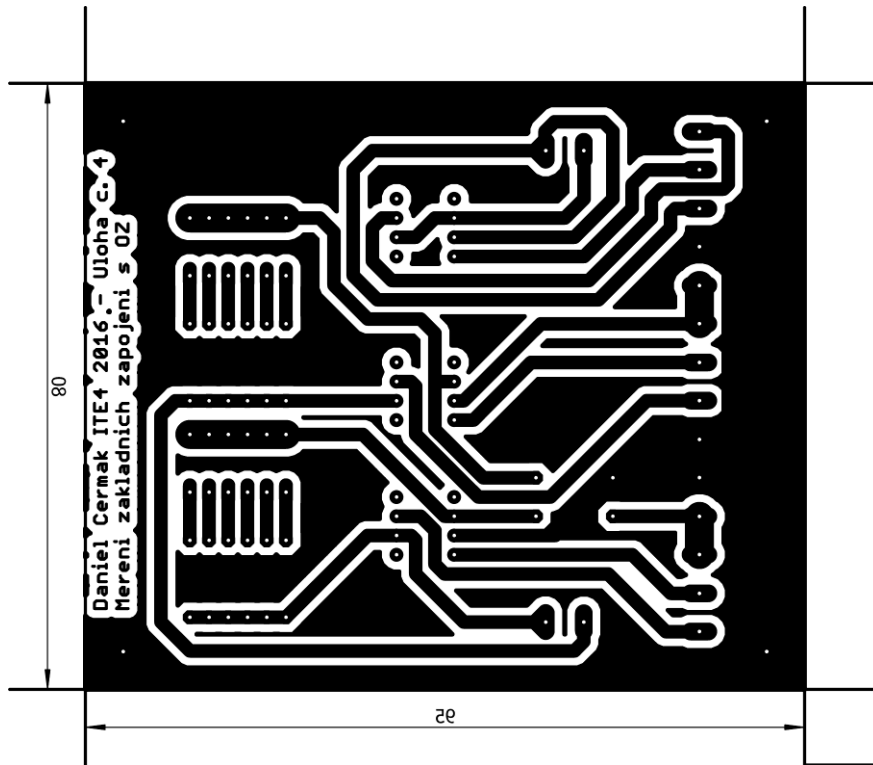






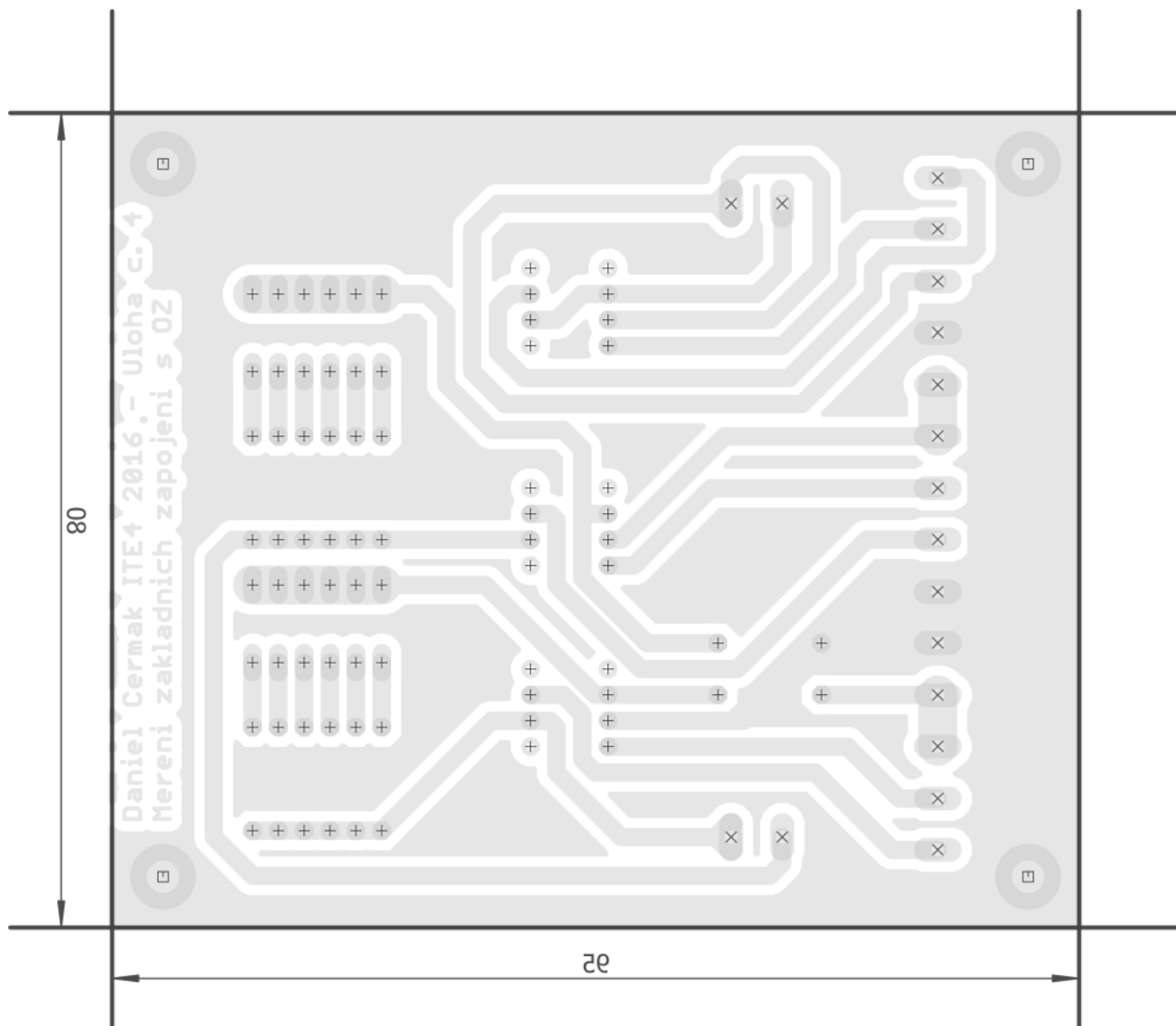


5. Motiv plošného spoje



6. Vrtací plán

- V měřítku 15:10



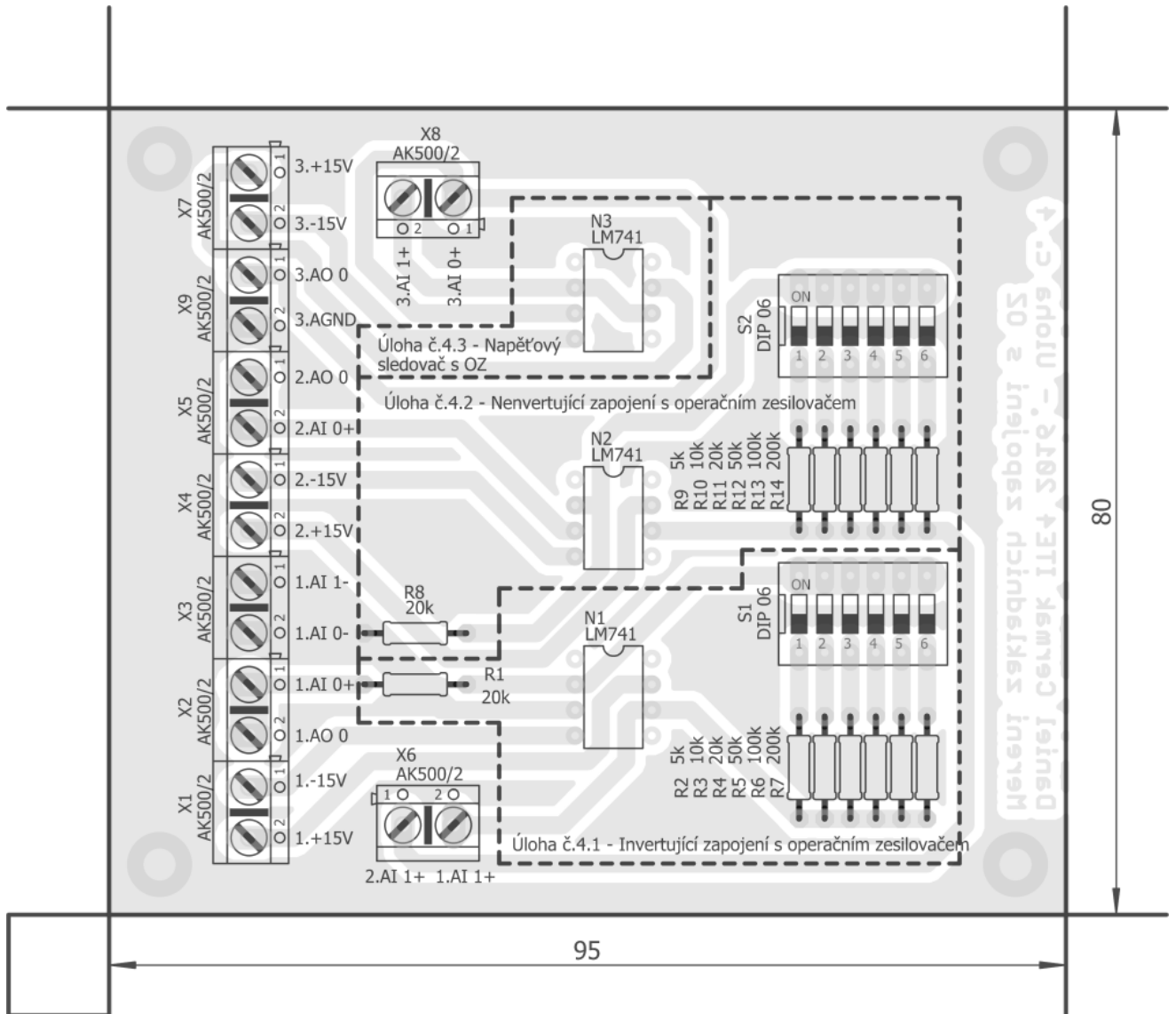
LEGENDA

Sym	N°	MM	Mils	Qty
+	1	0.81	32	76
×	2	1.32	52	18
□	3	3.20	126	4

7. Osazovací výkres

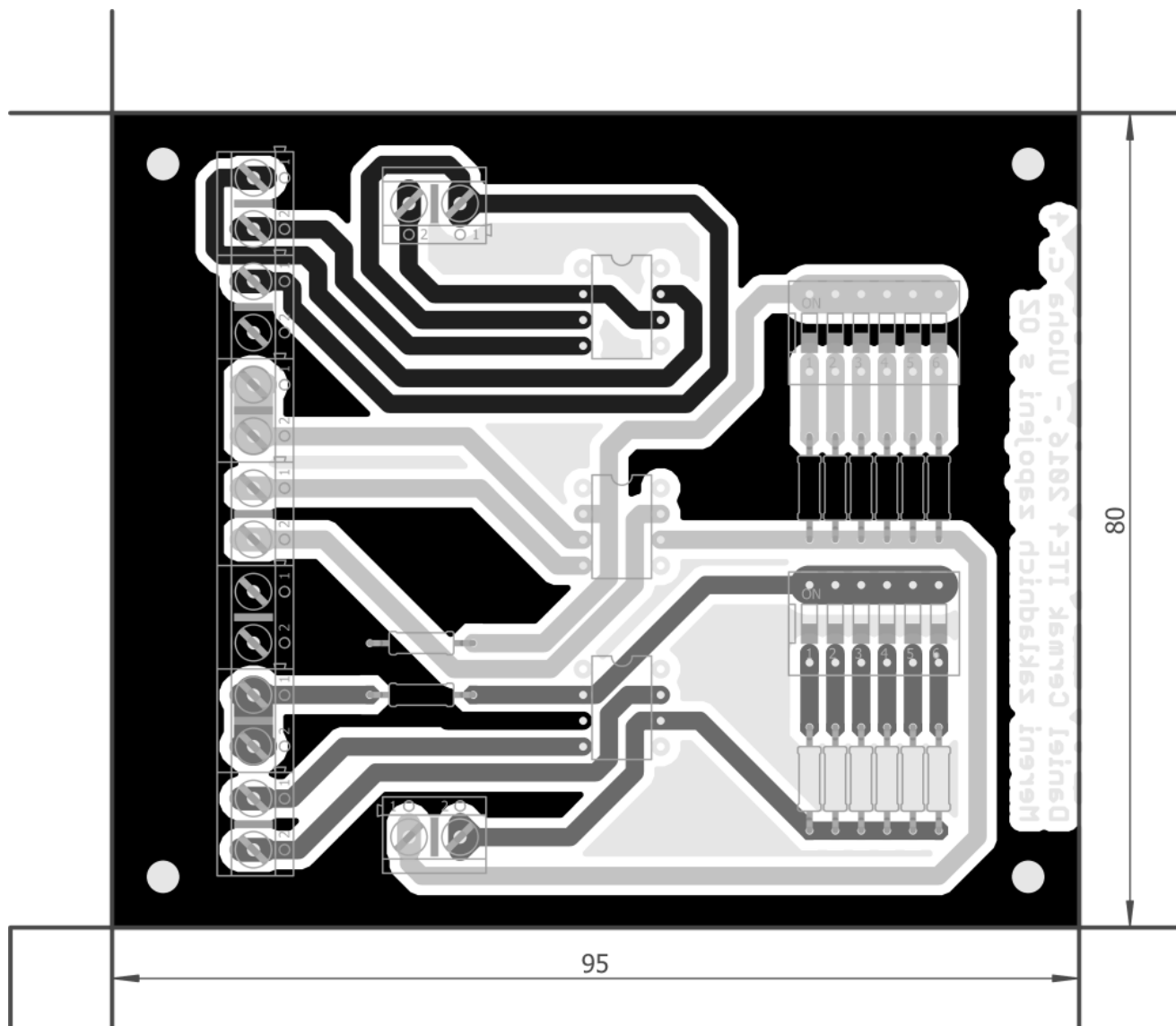
Obr. 1

- V měřítku 15:10

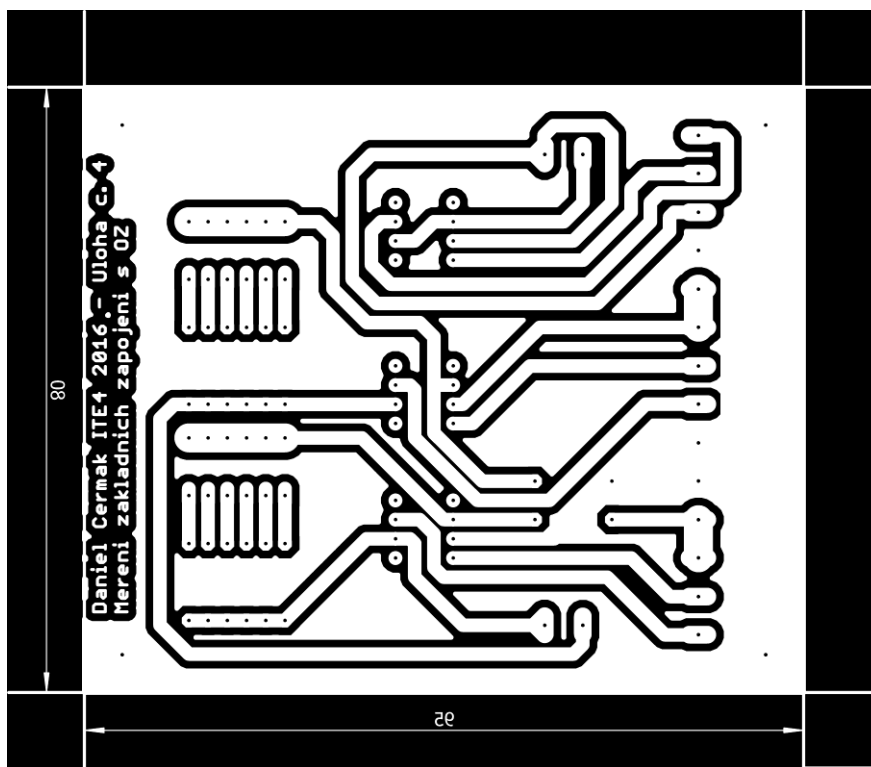


Obr. 2

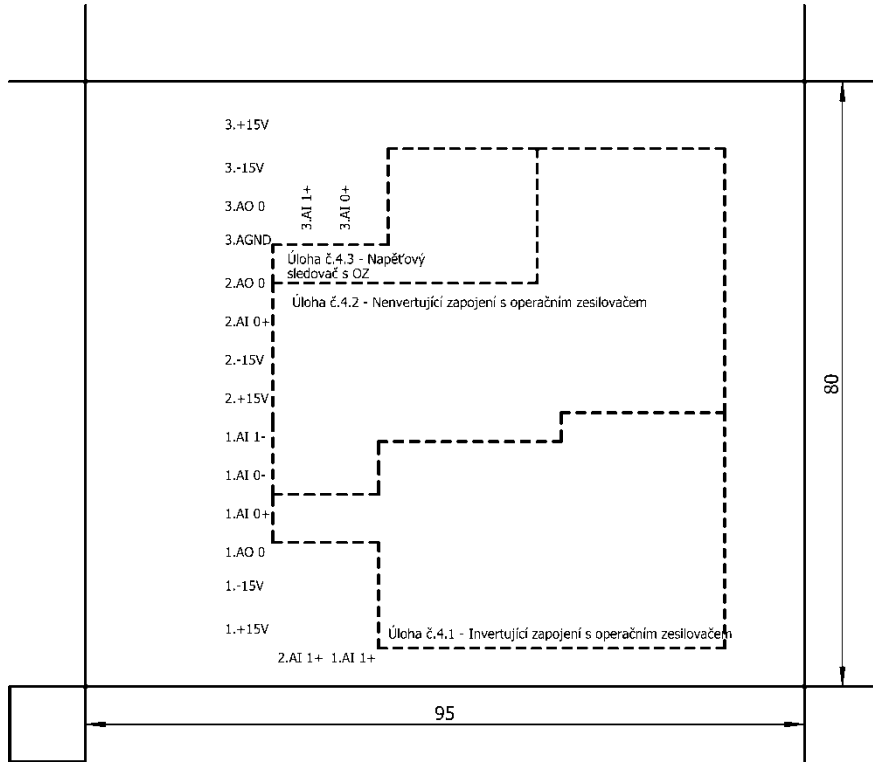
- V měřítku 15:10



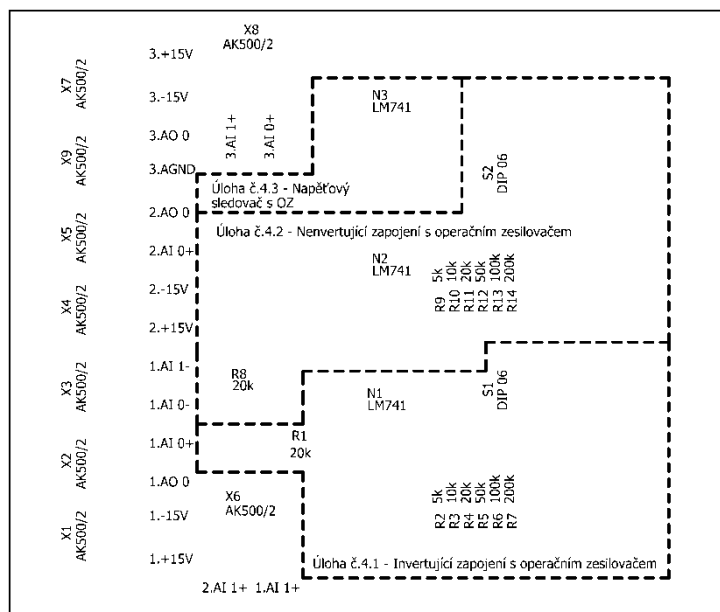
8. Předloha pro výrobu gravírovacím laserem



9. Potisk DPS



Obrázek použitý pro gravírovací laser



10. Fólie pro osvitovou jednotku

V případě výroby pomocí UV osvitové jednotky použít obrázek viz bod č. 5

V Sezimově Ústí

dne: 31. března 2015

Vypracoval: Daniel Čermák

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421

Protokol o laboratorním cvičení

zpracoval:	datum:	třída:
Anna Líza	10. 10. 2010	ET4
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	X	M1
	listů:	příloh:
	X	X

teplota:

tlak:

rel. vlhkost:

úloha: **Seznámení s měřicím rozhraním National Instruments myDAQ****1. Zadání**

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznámte se základními měřicími přístroji a proveďte následující měření:

1) Práce s číslicovým multimetrem

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiložených schémat obvody se svítivými diodami (LED).
- b) V režimu simulace změřte s využitím číslicového multimetru hodnotu stejnosměrného proudu protékajícího zelenou svítivou diodou a úbytek napětí na červené svítivé diodě.
- c) V režimu myDAQ (on-line měření) ověřte hodnoty proudu a napětí z předešlého bodu pomocí myDAQ multimetru.
- d) Porovnejte hodnoty napětí a proudu zjištěné pomocí on-line měření (bod c) s hodnotami zjištěnými pomocí počítačové simulace (bod b). Případné rozdíly se pokuste vysvětlit.

2) Práce s funkčním generátorem a dvoukanálovým osciloskopem

- a) V prostředí simulačního programu Multisim propojte výstup funkčního generátoru AO 0 se vstupem osciloskopu AI 0+. Vstup AI 0- propojte se svorkou AGND.

- b) V menu funkčního generátoru nastavte libovolný průběh výstupního napětí (sinus, trojúhelník, obdélník). Frekvenci si zvolte libovolně v rozsahu od 10 Hz do 20 kHz. Amplitudu průběhu si také zvolte libovolně v rozsahu od 1 V do 10 V.
- c) Na osciloskopu zobrazte časový průběh výstupního signálu generátoru. Zobrazte si kurzory a s jejich pomocí změřte trvání jedné periody T , velikost amplitudy U_{\max} a efektivní hodnotu napětí U_{ef} . Zobrazený oscilogram uložte do souboru.

3) Práce s Bodeho analyzátořem

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod jednoduchého RC článku.
- b) V režimu simulace zobrazte s využitím Bodeho analyzátořu amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku. Dolní frekvenci analýzy (Start Frequency) volte 100 Hz, horní frekvenci analýzy (Stop Frequency) 10 kHz, počet měřicích bodů na dekádu (Steps) volte 15.
- c) Pomocí kurzorů nalezněte frekvenci $f_{\text{m,sim}}$, při které dojde k poklesu napěťového přenosu (Gain) simulovaného obvodu o hodnotu -3 dB oproti přenosu na frekvenci 100 Hz.
- d) Zjistěte hodnotu frekvence $f_{-60,\text{sim}}$, kdy fázový posun simulovaného obvodu nabyde hodnoty -60° .
- e) Zjistěte hodnotu napěťového přenosu $a_{\text{u}2\text{k},\text{sim}}$ obvodu pro frekvenci 4 kHz.
- f) V režimu on-line měření proveďte znovu měření podle bodů b až e. Hodnoty zjištěné v režimu simulace a on-line měření porovnejte a pokuste se vysvětlit případné rozdíly.

2. Cíl měření

Naučit se kreslit schémata zapojení a provádět simulaci činnosti elektronických obvodů v prostředí National Instruments Multisim. Naučit se provádět on-line měření s rozhraním National Instruments myDAQ, umět využívat základní měřicí přístroje přidružené k rozhraní myDAQ.

3. Teoretický rozbor

I. Úvod

Tento protokol má za úkol vás seznámit s jednou z možných metod měření a diagnostiky elektronických obvodů. Touto metodou je on-line měření pomocí číslicového samočinného počítače s připojeným měřicím rozhraním National Instruments myDAQ.

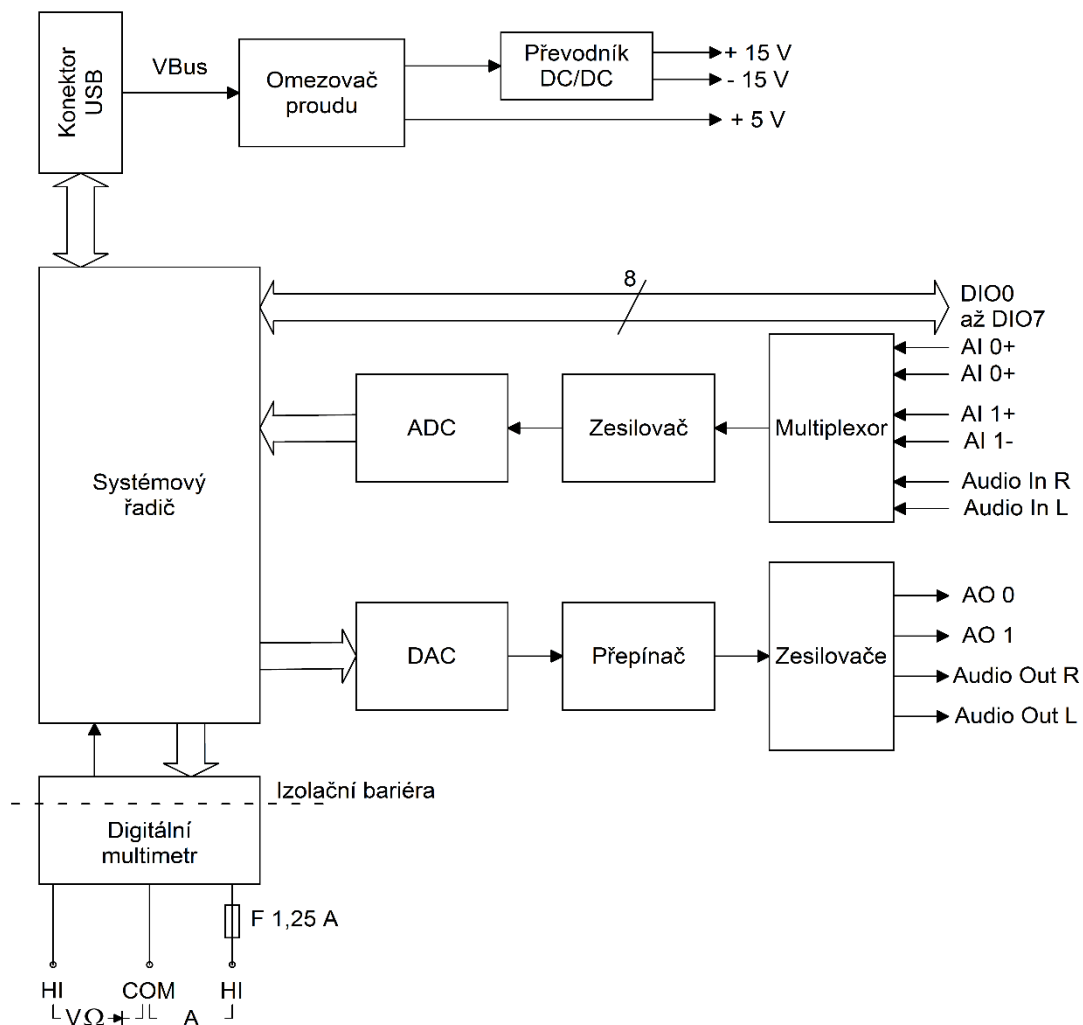
Pojmem on-line měření zde myslíme počítačem řízený proces měření probíhající v reálném čase. Výhodou rozhraní NI myDAQ je přímá spolupráce se simulačním programem NI Multisim, kdy kombinací počítačové simulace činnosti obvodu a jeho on-line měření lze získávat a porovnávat zajímavé množiny dat. Zařízení NI myDAQ nahrazuje osm skutečných měřicích přístrojů jejich virtuálními dvojníky, čímž šetří finance a v řadě případů i zrychluje případný vývoj elektronických obvodů.

II. Popis měřicího rozhraní National Instruments myDAQ



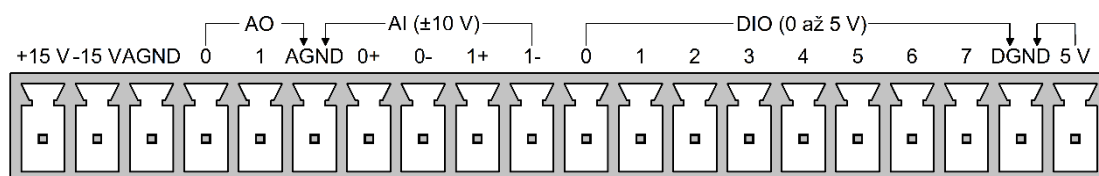
Obr. 1. Fotografie měřicího rozhraní National Instruments myDAQ

Rozhraní NI myDAQ [majdak] je přenosné zařízení pro sběr dat (angl. data acquisition ... DAQ), které v kombinaci s prvky NI LabView obsaženými v simulačním programu NI Multisim umožňuje analyzovat a zpracovávat měřené signály a ovládat jednoduché obvody.



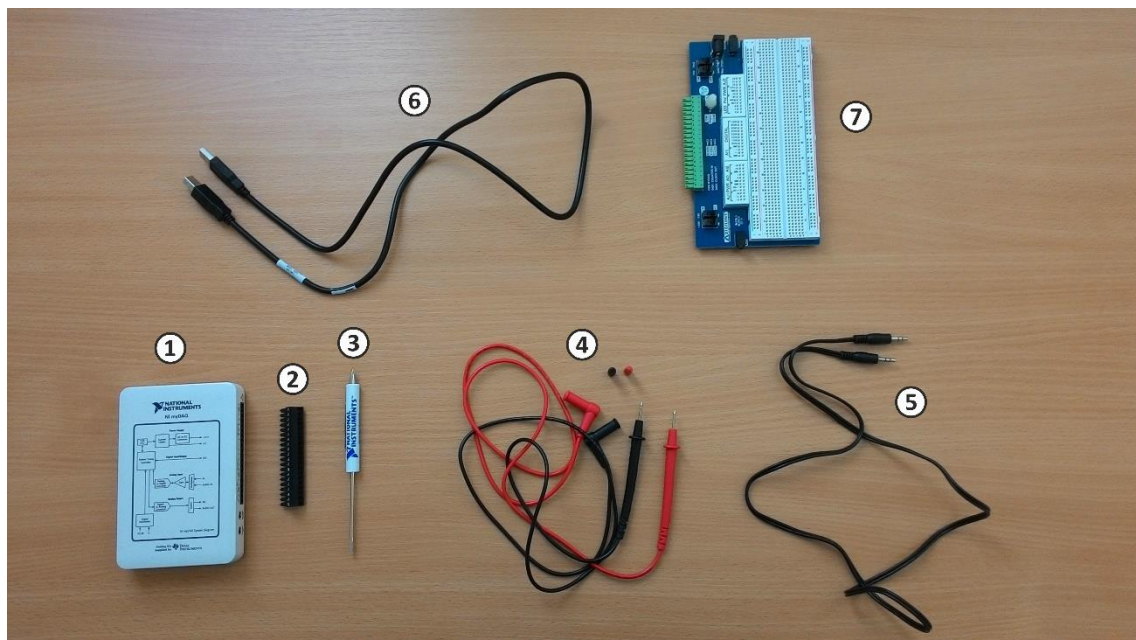
Obr. 2. Blokové schéma měřicího rozhraní NI myDAQ

Rozhraní NI myDAQ se k počítači připojuje pomocí konektoru USB, přes který je zajišťována komunikace a napájení rozhraní NI myDAQ. Rozhraní NI myDAQ standardně slouží i jako napájecí zdroj pro měřené obvody, avšak lze využít i externí napájení a rozhraní NI myDAQ využívat čistě jako sběrač dat.

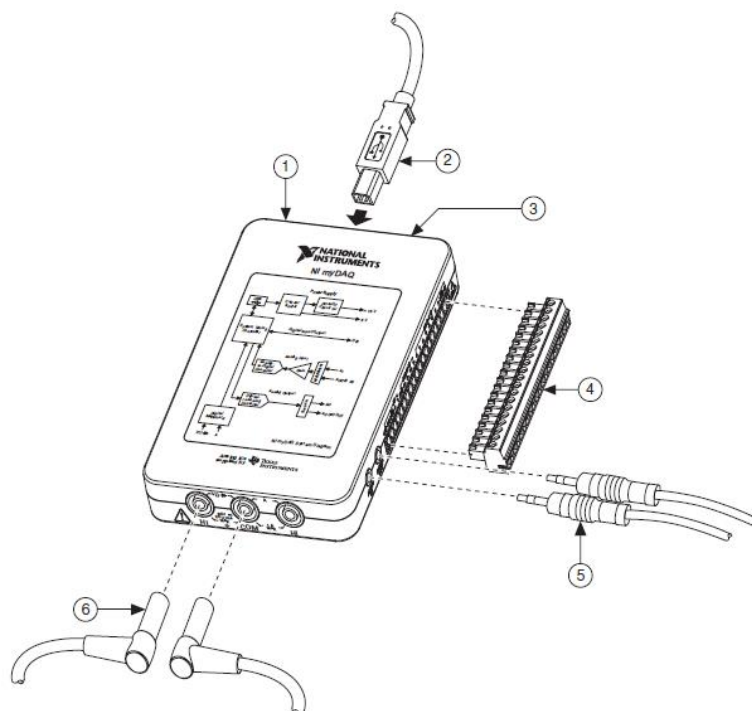


Obr. 3. Rozmístění signálů na systémovém konektoru rozhraní NI myDAQ

Od výrobce bývá rozhraní NI myDAQ dodáváno s příslušenstvím dle obr. 4. Způsoby připojování tohoto příslušenství k měřicímu rozhraní uvádí obr. 5.



Obr. 4. Příslušenství dodávané s rozhraním NI myDAQ: 1 – měřicí rozhraní myDAQ; 2 – redukce systémového konektoru na šroubovou svorkovnici; 3 – šroubovák ke svorkovnici; 4 – měřicí sondy multimetru myDAQ; 5 – audio kabel s koncovkami JACK 3,5 mm; 6 – propojovací USB kabel; 7 – nepájivé pole připojitelné k rozhraní myDAQ; 8 – DVD se softwarem *NI myDAQ Software Suite 2014*



Obr. 5. Způsoby připojování periférií k rozhraní NI myDAQ: 1 – rozhraní NI myDAQ; 2 – kabel USB; 3 – indikační svítivá dioda; 4 – systémový konektor připojitelný k rozhraní myDAQ; 5 – audio kabel s koncovkami JACK 3,5 mm; 6 – měřicí sondy multimetru

III. Popis signálů systémového konektoru rozhraní NI myDAQ

III.A Analogové vstupy (AI 0+, AI 0-; AI 1+, AI 1-; Audio In R, Audio In L)

Rozhraní NI myDAQ obsahuje dva analogové vstupní kanály. Tyto kanály mohou být nastaveny buď jako vysokoimpedanční rozdílové napěťové vstupy AI 0, AI 1 pro zpracování napěťových signálů v rozsahu ± 10 V, nebo jako stereofonní audio vstupy Audio In R (pravý zvukový vstup), Audio In L (levý zvukový vstup).

Měření či analýzu signálu přivedeného na vstup lze provádět až do rychlosti 200 000 vzorků za sekundu (200 kSa/s). Analogové vstupy jsou přiřazeny těmto virtuálním přístrojům: osciloskop (NI ELVISmx Oscilloscope), spektrální analyzátor (NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer), Bodeho analyzátor (NI ELVISmx Bode Analyzer). Zemnicím bodem pro analogové vstupy je analogová zem AGND.

III.B Analogové výstupy (AO 0, AO 1; Audio Out R, Audio Out L)

V rozhraní NI myDAQ jsou zabudovány dva analogové výstupní kanály. Ty lze nastavit buď jako napěťové analogové výstupy AO 0, AO 1, nebo jako audio výstupy Audio Out R (pravý zvukový výstup), Audio Out L (levý zvukový výstup).

Je možno generovat signály různých tvarů (sinus, trojúhelník, obdélník) do rozkmitu amplitudy ± 10 V, avšak jsme omezeni maximálním výstupním proudem 2 mA. Výstupní signály lze generovat do rychlosti 200 000 vzorků za sekundu (200 kSa/s) na jeden kanál. Analogovým výstupům jsou přiřazeny tyto přístroje: funkční generátor (NI ELVISmx Function Generator), generátor programovatelných průběhů (NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator). Zemnicím bodem pro analogové výstupy je analogová zem AGND.

III.C Číslicové vstupy/výstupy (DIO 0 ... DIO 7)

V rozhraní NI myDAQ je k dispozici 8 digitálních linek. Každou lze samostatně nastavit jako vstupní či výstupní. Linky DIO 0 až DIO 3 mohou být nakonfigurovány ve funkci čítače nebo časovače. Průběhy šířkové impulsní modulace (PWM) lze generovat skrze linku DIO 3. Linky pracují s napětím 3,3 V (nízkoúrovňová logika LVTTTL) a lze na ně přivádět signál s napětím do 5 V (kompatibilita se standardní logikou TTL). Maximální výstupní proud jsou 4 mA na jednu linku. Digitální výstupy však nejsou slučitelné s logickými úrovněmi 5 V CMOS hradel. Číslicovým vstupům a výstupům jsou přiřazeny tyto přístroje: osmikanálová logická sonda (NI ELVISmx Digital Reader), datový generátor (NI ELVISmx Digital Writer). Zemnicím bodem pro digitální linky je digitální zem DGND.

Rozsahy napěťových úrovní:

- logická nula ... 0 V až +0,8 V;
- logická jednička ... +2 V až +5 V;
- zakázané pásmo ... +0,8 V až +2 V.

III.D Výstupy napájení (+5 V, +15 V, -15 V)

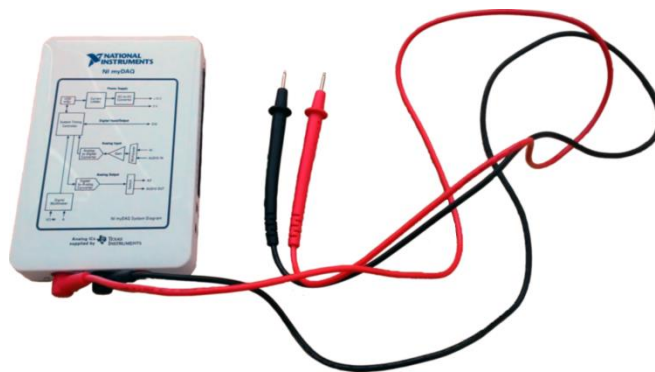
Pro práci s analogovými signály a operačními zesilovači je myDAQ vybaven měničem napětí, který ze vstupního napětí +5 V (z konektoru USB) vytváří symetrické napětí ± 15 V. Pro napájení digitálních součástek, kupř. logických hradel, myDAQ poskytuje zdroj napětí +5 V.

Maximální zatěžovací proudy zabudovaných zdrojů myDAQ:

- +15 V ... max. 32 mA;
- -15 V ... max. 32 mA;
- +5 V ... max. 100 mA.

Pokud potřebujeme odebírat větší proudy, musíme rozhraní myDAQ přepnout na externí napájení.

IV. Číslicový multimetr myDAQ



Obr. 6. Rozhraní NI myDAQ se zapojeným multimetrem

Číslicový multimetr zabudovaný v rozhraní NI myDAQ umožňuje měřit stejnosměrné i střídavé napětí a proud, elektrický odpor a úbytek napětí na přechodu p-n. Výrobce k rozhraní myDAQ dodává dvě měřicí sondy, které se zapojují do bezpečnostních zdírek 4 mm umístěných na boku zařízení myDAQ (obr. 7).



Obr. 7. Zdiřky pro připojení měřicích sond multimetru

Funkce	Rozsah	Rozlišení	Přesnost ($\pm\%$ čtení + offset)	
Stejnoseměrné napětí	200 mV	0,1 mV	0,5 % + 0,2 mV	
	2 V	0,001 V	0,5 % + 2 mV	
	20 V	0,01 V	0,5 % + 20 mV	
	60 V	0,1 V	0,5 % + 200 mV	
Střídavé napětí			40 – 400 Hz	400 – 2 000 Hz
	200 mV	0,1 mV	1 % + 0,15 %	–
	2 V	0,001 V	1 % + 0,15 %	5 % + 3 mV
	20 V	0,01 V	1 % + 0,15 %	5 % + 30 mV
Stejnoseměrný proud	20 mA	0,01 mA	1 % + 0,02 mA	
	200 mA	0,1 mA	0,5 % + 0,2 mA	
	1 A	0,001 A	0,5 % + 2 mA	
Střídavý proud			40 – 400 Hz	400 – 2 000 Hz
	20 mA	0,01 mA	1,5 % + 0,03 mA	5,5 % + 0,03 mA
	200 mA	0,1 mA	1 % + 0,3 mA	5 % + 0,3 mA
	1 A	0,001 A	1 % + 3 mA	5 % + 3 mA
Odpor	200 Ω	0,1 Ω	0,8 % + 0,3 Ω (bez přívodních vodičů)	
	2 k Ω	0,001 k Ω	0,8 % + 3 Ω	
	20 k Ω	0,01 k Ω	0,8 % + 30 Ω	
	200 k Ω	0,1 k Ω	0,8 % + 300 Ω	
	2 M Ω	0,001 M Ω	0,8 % + 3 k Ω	
	20 M Ω	0,01 M Ω	1,5 % + 50 k Ω	
Napětí na přechodu p-n	2 V			

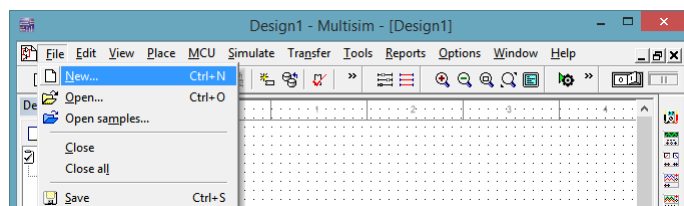
Tab. 1. Parametry multimetru myDAQ

V. Spolupráce programu NI Multisim s rozhraním NI myDAQ

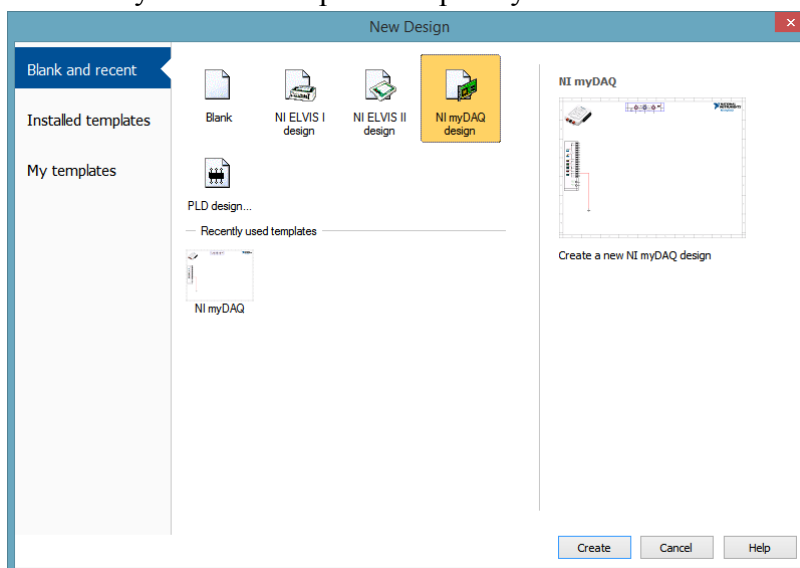
National Instruments Multisim je simulační program určený pro návrh schémat elektronických obvodů a jejich simulaci buď pomocí virtuálních měřicích přístrojů, nebo s využitím různých druhů analýz. Po doinstalování potřebného software z disku DVD dodávaného s rozhraním NI myDAQ získáme v Multisimu možnost navrhovat obvody využívající rozhraní myDAQ.

Prvním krokem k spolupráci s rozhraním je vytvoření nové myDAQ pracovní plochy. K tomu se dostaneme z nabídky menu Multisimu:

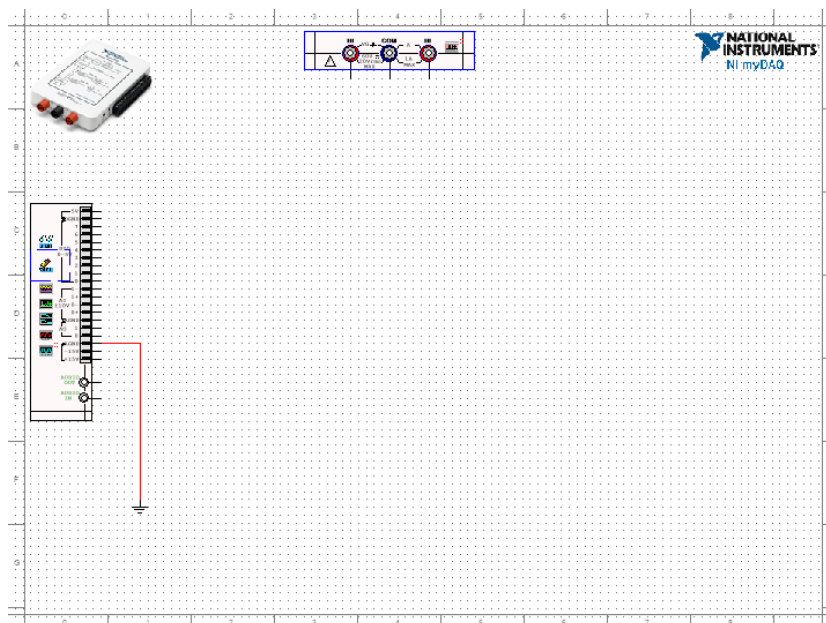
File → New → NI myDAQ Design → Create.



Obr. 8. Vytvoření nové pracovní plochy v Multisimu – krok 1

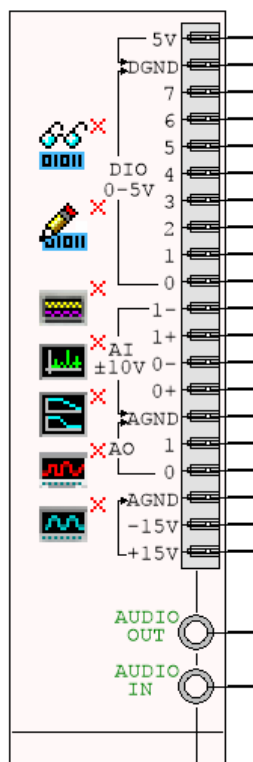


Obr. 9. Vytvoření nové pracovní plochy myDAQ – krok 2



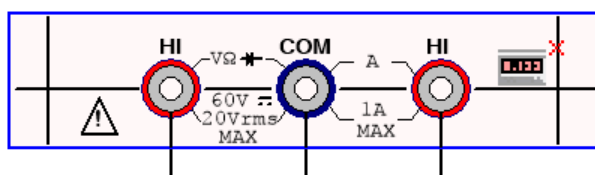
Obr. 10. Vzhled pracovní plochy myDAQ

Na pracovní ploše myDAQ můžeme vytvářet schéma obvodu stejným způsobem jako při běžném návrhu v Multisimu. Po levé straně se nachází panel představující systémový konektor na rozhraní NI myDAQ (obr. 11). Uvnitř panelu se nachází ikonky jednotlivých měřicích přístrojů, kterými rozhraní myDAQ disponuje.



Obr. 11. Panel představující systémový konektor NI myDAQ

V horní části pracovní plochy myDAQ se nachází další panel představující zdířky pro sondy multimetru s ikonkou multimetru (obr. 12).



Obr. 12. Panel se zdířkami a ikonkou multimetru

Pokud chceme s jednotlivými přístroji myDAQ pracovat, stačí poklepat myší na ikonku příslušného přístroje, čímž se nám otevře menu přístroje. V menu můžeme nastavovat parametry zvoleného přístroje, sledovat průběhy získaných signálů a dále s nimi pracovat.

Seznam přístrojů myDAQ, které máme k dispozici:

- číslicový multimetr (NI ELVISmx Digital Multimeter);
- osmikanálová logická sonda (NI ELVISmx Digital Reader);

- datový generátor (NI ELVISmx Digital Writer);
- dvoukanálový číslicový osciloskop (NI ELVISmx Oscilloscope);
- spektrální analyzátor (NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer);
- Bodeho analyzátor (NI ELVISmx Bode Analyzer);
- generátor programovatelných průběhů (NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator);
- funkční generátor (NI ELVISmx Function Generator).

U každého z měřicích přístrojů máme možnost si zvolit, zda jej chceme používat v režimu simulace a získávat data počítačovou simulací činnosti obvodu v Multisimu, nebo v režimu on-line měření, kdy budeme sbírat data z fyzického obvodu připojeného k rozhraní NI myDAQ. Především však můžeme získaná data mezi sebou porovnávat a sledovat rozdíly mezi teorií, simulací a realitou.

4. Postup měření

1) Práce s číslicovým multimetrem

- a) V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiložených schémat obvodu se svítivými diodami.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Poklepáním otevřeme menu číslicového multimetru (NI ELVISmx Digital Multimeter). Multimetr přepneme na měření stejnosměrného proudu a zapojíme jej do obvodu se zelenou svítivou diodou.
- e) Spustíme simulaci činnosti obvodu a multimetrem změříme proud $I_{A,sim}$ protékající zelenou diodou.
- f) Ukončíme běh simulace. Poklepáním otevřeme menu číslicového multimetru a přepneme jej na měření stejnosměrného napětí. Multimetr zapojíme do obvodu s červenou svítivou diodou.
- g) Spustíme simulaci činnosti obvodu a multimetrem změříme hodnotu napětí $U_{AK,sim}$ na svítivé diodě. Ukončíme běh simulace.
- h) Přes USB konektor připojíme k počítači rozhraní myDAQ a k němu zapojíme pomocí propojovacích vodičů měřicí přípravek.
- i) Číslicový multimetr přepneme na režim myDAQ (on-line měření).
- j) Pomocí sond připojíme multimetr rozhraní myDAQ do obvodu se zelenou diodou a po spuštění on-line měření odečteme hodnotu proudu $I_{A,skut}$.

- k) Sondy multimetru připojíme do obvodu s červenou diodou a po spuštění on-line měření odečteme hodnotu napětí $U_{AK,skut}$ na červené diodě.
- l) Ukončíme běh on-line měření. Rozhraní myDAQ a měřicí přípravek necháme zapojeny. Hodnoty $I_{A,sim}$, $U_{AK,sim}$ získané simulací a $I_{A,skut}$, $U_{AK,skut}$ získané on-line měřením na přípravku navzájem porovnáme. Pokusíme se o vysvětlení případných rozdílů.

2) *Práce s funkčním generátorem a osciloskopem*

- a) V programu NI Multisim 13.0 vytvoříme nový návrh pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design propojíme výstup AO 0 funkčního generátoru (NI ELVISmx Function Generator) se vstupem AI 0+ číslicového dvoukanálového osciloskopu (NI ELVISmx Oscilloscope). Vstup AI 0- propojíme vodičem se svorkou analogové země AGND.
- c) V menu funkčního generátoru nastavíme libovolný průběh výstupního napětí (např. sinus). Frekvenci si zvolíme libovolně v rozsahu od 10 Hz do 20 kHz (např. 1 kHz). Amplitudu průběhu si také zvolíme libovolně v rozmezí od 1 V do 10 V (např. 5 V). Spustíme režim simulace.
- d) Na osciloskopu zobrazíme časový průběh výstupního signálu generátoru. Zobrazíme si kurzory a změříme trvání jedné periody T , velikost amplitudy U_{max} a efektivní hodnotu napětí U_{ef} . Zobrazený oscilogram uložíme do souboru. Ukončíme běh simulace.

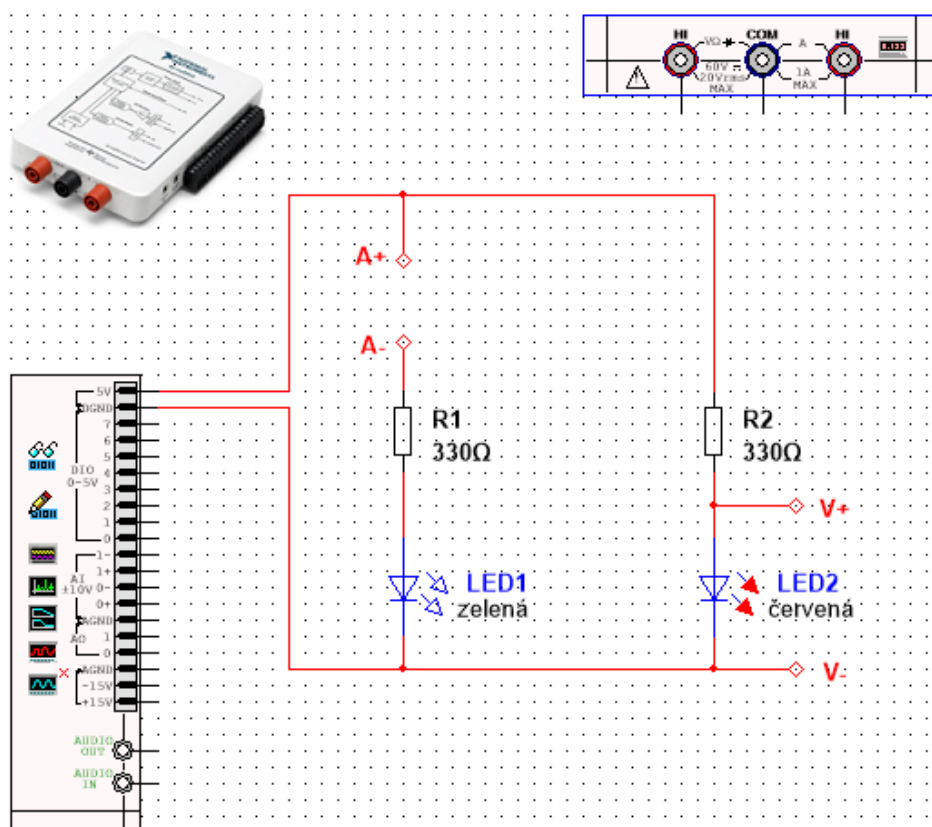
3) *Práce s Bodeho analyzátozem*

- a) V programu NI Multisim 13.0 vytvoříme nový návrh pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle předloženého schématu obvod jednoduchého RC článku.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Poklepáním otevřeme menu Bodeho analyzátoru (NI ELVISmx Bode Analyzer). Dolní frekvenci analýzy (Start Frequency) nastavíme 100 Hz, horní frekvenci analýzy (Stop Frequency) 10 kHz, počet měřicích bodů na dekádu (Steps) nastavíme 15.
- e) Spustíme běh simulace. Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazíme amplitudovou (tzv. modulovou) a fázovou frekvenční charakteristiku RC článku.
- f) S využitím kurzorů nalezneme frekvenci $f_{m,sim}$, při které dochází k poklesu napěťového přenosu (Gain) simulovaného obvodu o hodnotu -3 dB oproti přenosu na frekvenci 100 Hz.
- g) Pomocí kurzorů určíme hodnotu frekvence $f_{-60,sim}$, kdy fázový posun simulovaného obvodu nabyde hodnoty -60° .

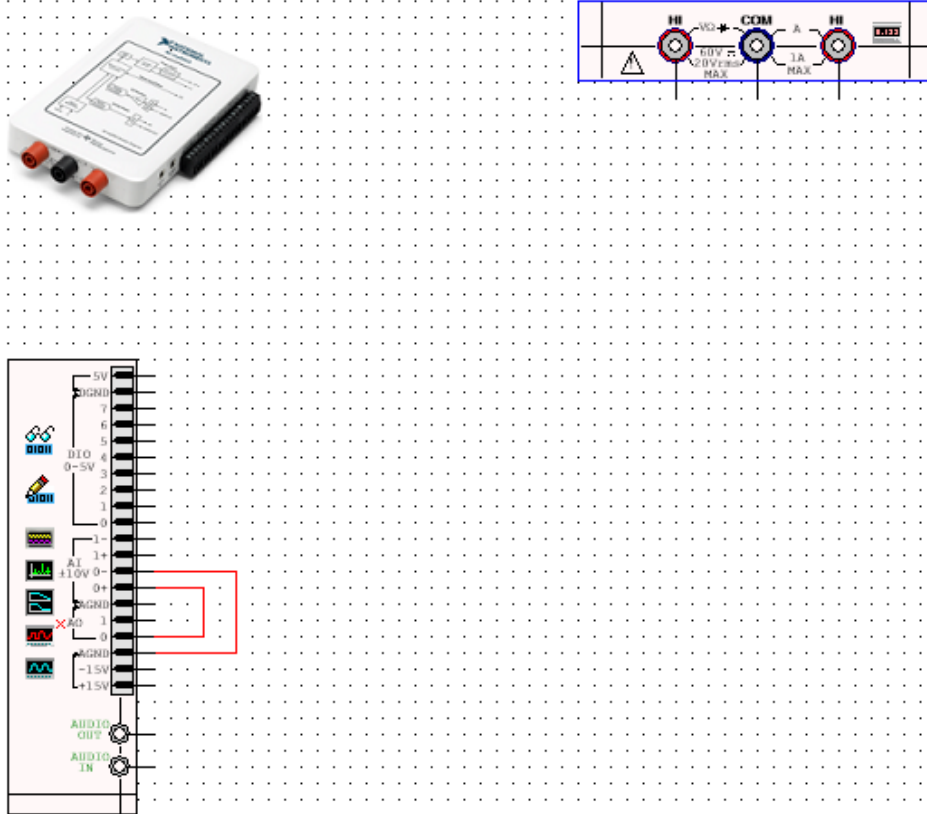
- h) Pomocí kurzorů zjistíme hodnotu napěťového přenosu $a_{u2k,sim}$ (dB) pro frekvenci 4 kHz. Ukončíme běh simulace.
- i) V režimu on-line měření provedeme znovu měření veličin podle bodů e až h. Hodnoty změřené v režimu simulace a on-line měření navzájem porovnáme a pokusíme se vysvětlit případné nesrovnalosti.
- j) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení

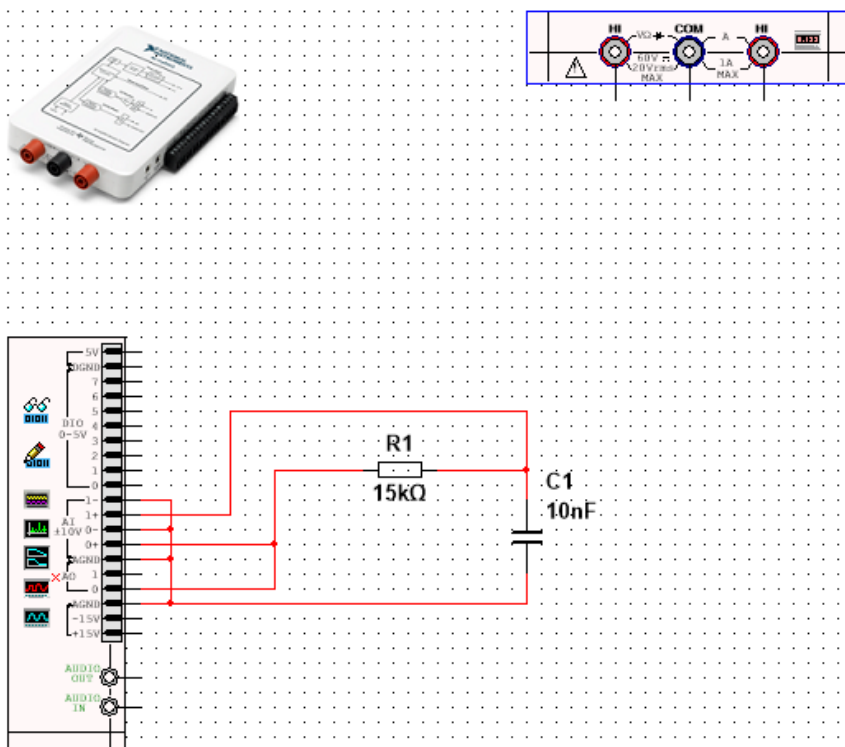
1) Práce s číslicovým multimetrem



2) Práce s funkčním generátorem a osciloskopem



3) Práce s Bodeho analyzátozem



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek s diodami a RC článkem.

7. Tabulky hodnot

1) Práce s číslicovým multimetrem

Režim činnosti	Proud zelenou LED	Napětí na červené LED
Simulace	$I_{A,sym} = \dots \text{ mA}$	$U_{AK,sym} = \dots \text{ V}$
On-line měření (myDAQ)	$I_{A,skut} = \dots \text{ mA}$	$U_{AK,skut} = \dots \text{ V}$

2) Práce s funkčním generátorem a osciloskopem

zvolený průběh signálu generátoru ...

doba trvání jedné periody ... $T = \dots \text{ ms}$

amplituda průběhu ... $U_{max} = \dots \text{ V}$

efektivní hodnota napětí ... $U_{ef} = \dots \text{ V}$

3) Práce s Bodeho analyzátozem

Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
f_m [kHz]		
f_{-60} [kHz]		
$a_{u,4k}$ [dB]		

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtů.

9. Grafy hodnot

Do přílohy vložte oscilogram získaný v procesu seznamování se s funkčním generátorem a osciloskopem (viz zadání – bod 2c).

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se simulace a on-line měření povedlo. Porovnejte simulované a reálné hodnoty měřených parametrů, vysvětlete případné nesrovnalosti.

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421
Protokol o laboratorním cvičení

zpracoval: Anna Líza	datum: 10. 10. 2010	třída: ET4
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny: X	č. protokolu: M2
	listů: X	příloh: X

teplota:

tlak:

rel. vlhkost:

úloha: **Polovodičová dioda jako usměrňovač**

1. Zadání

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznamte s chováním polovodičové diody ve funkci usměrňovacího ventilu:

1) Měření volt-ampérové charakteristiky usměrňovací diody

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření V-A charakteristiky polovodičové diody 1N4007 v propustném a závěrném směru.
- b) Přepněte obvod na propustný (přímý) směr. Regulací odporového trimru R_1 v simulačním prostředí Multisim postupně nastavujte podle tabulky proud $I_{F,sim}$ procházející diodou a zaznamenejte příslušné úbytky napětí $U_{F,sim}$ vznikající na diodě.
- c) Měření podle bodu b proveďte on-line pomocí rozhraní NI myDAQ s připojeným měřicím přípravkem.
- d) Přepněte obvod na závěrný (zpětný) směr. Regulací odporového trimru R_2 v simulačním prostředí Multisim postupně nastavujte podle tabulky napětí $U_{R,sim}$ a odečtěte odpovídající anodový proud $I_{R,sim}$.
- e) Měření podle bodu e proveďte on-line pomocí rozhraní NI myDAQ s připojeným měřicím přípravkem.
- f) Všechny změřené hodnoty vynesete do společného grafu. Porovnejte průběhy simulované a reálné V-A charakteristiky diody, rozdíly vysvětlete.

2) Měření jednocestného usměrňovače

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod jednocestného sériového usměrňovače s polovodičovou diodou 1N4007.
- b) Funkční generátor nastavte na sinusový výstup s frekvencí 50 Hz a amplitudou 10 V. V režimu simulace zobrazte výstupní průběh generátoru na osciloskopu a příslušný oscilogram uložte do souboru.
- c) Připojte měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Zajistěte, že všechny přepínače jsou v poloze 0. Porovnáním simulace a on-line měření ověřte správnou činnost obvodu.
- d) Pomocí osciloskopu zobrazte simulovaný a reálný průběh výstupního napětí usměrňovače a proudu diodou pro čistě odporovou zátěž (všechny přepínače jsou v poloze 0) a tyto průběhy uložte do souboru. S využitím časových a napěťových kurzorů změřte na reálném průběhu dobu jedné periody T , frekvence f a amplitudu $U_{2,\max}$ výstupního průběhu napětí usměrňovače. Měření z bodu d zopakujte pro jednotlivé nárazové kondenzátory.

3) Měření dvoucestného usměrňovače v Grätzově zapojení

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého zapojení obvod dvoucestného můstkového usměrňovače.
- b) Funkční generátor nastavte na sinusový výstup s frekvencí 50 Hz a amplitudou 10 V.
- c) Připojte měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Zajistěte, že všechny přepínače jsou v poloze 0. Porovnáním simulace a on-line měření ověřte správnou činnost obvodu.
- d) Pomocí osciloskopu zobrazte simulovaný a reálný průběh výstupního napětí usměrňovače a proudu diodami pro čistě odporovou zátěž (všechny přepínače jsou v poloze 0) a tyto průběhy uložte do souboru. S využitím časových a napěťových kurzorů změřte na reálném průběhu dobu jedné periody T , frekvence f a amplitudu $U_{2,\max}$ výstupního napětí usměrňovače.
- e) Měření z bodu d zopakujte pro jednotlivé nárazové kondenzátory.

2. Cíl měření

Prakticky si ověřit teoretické poznatky o polovodičových usměrňovacích diodách a polovodičových usměrňovačích.

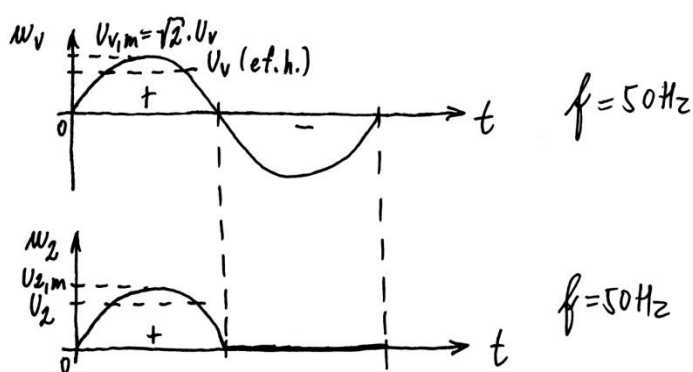
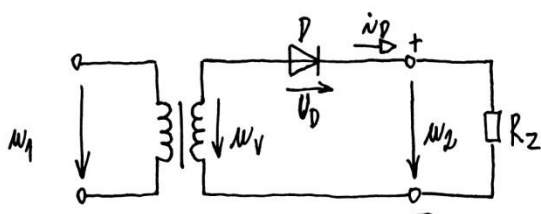
3. Teoretický rozbor

I. Základní zapojení usměrňovačů napětí

Usměrňovače napětí jsou elektronické obvody sloužící k usměrnění vstupního střídavého napětí na napětí stejnosměrné. Základní třídou jsou neřízené polovodičové usměrňovače složené z usměrňovacích diod. Podle stupně vyhlazování výstupního napětí dále rozeznáváme usměrňovače bez výstupní filtrace (používané velmi zřídka) a s výstupní filtrací. Výstupní filtry mohou být v pasivním či aktivním zapojení.

I.A Usměrňovače bez výstupní filtrace

1) Jednocestný sériový usměrňovač bez filtrace



$$U_{2,m} = \sqrt{2} \cdot U_v - U_D \doteq \sqrt{2} \cdot U_v - \underbrace{0,7 V}_{\text{úbytek na Si diodě}}$$

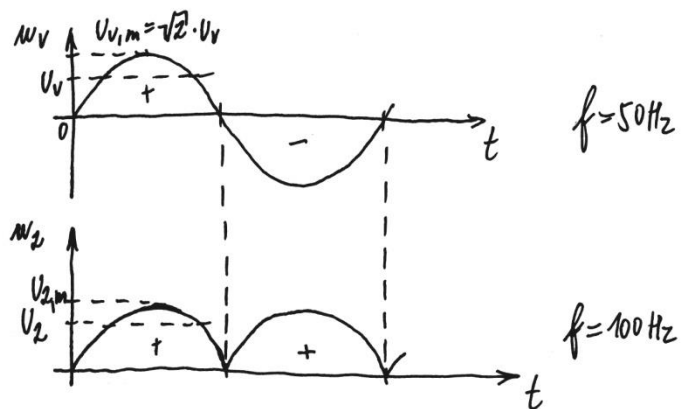
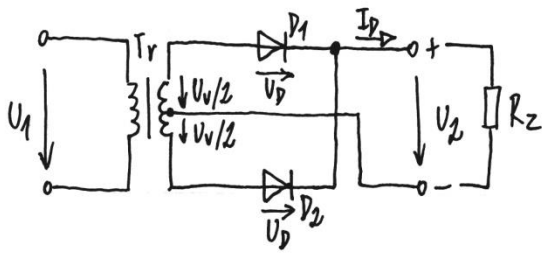
Výhody:

- jednoduché zapojení;
- zapojení může být přímo připojeno na síť.

Nevýhody:

- velké zvlnění výstupního napětí;
- sekundárním vinutím transformátoru prochází ss složka proudu, která může být příčinou jeho zahřívání.

2) Dvoucestný usměrňovač v uzlovém zapojení



$$U_{2,m} = \sqrt{2} \cdot U_v - U_D \doteq \sqrt{2} \cdot U_v - \underbrace{0,7 \text{ V}}_{\text{úbytek na Si diodě}}$$

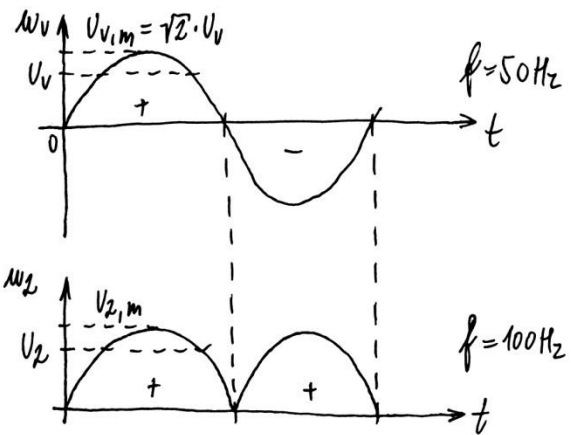
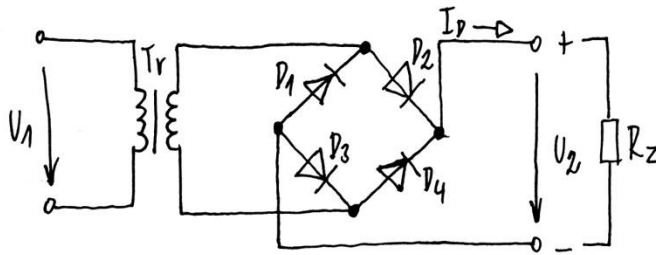
Výhody:

- potřebuje pouze dvě usměrňovací diody;
- velká účinnost usměrňovače.

Nevýhody:

- může pracovat pouze s transformátorem;
- diody jsou namáhány vysokým závěrným napětím;
- drahý transformátor.

3) Dvoucestný usměrňovač v můstkovém (Grätzově) zapojení



$$U_{2,m} = \sqrt{2} \cdot U_v - U_D \doteq \sqrt{2} \cdot U_v - \underbrace{1,4 V}_{\text{úbytek na Si diodách}}$$

Výhody:

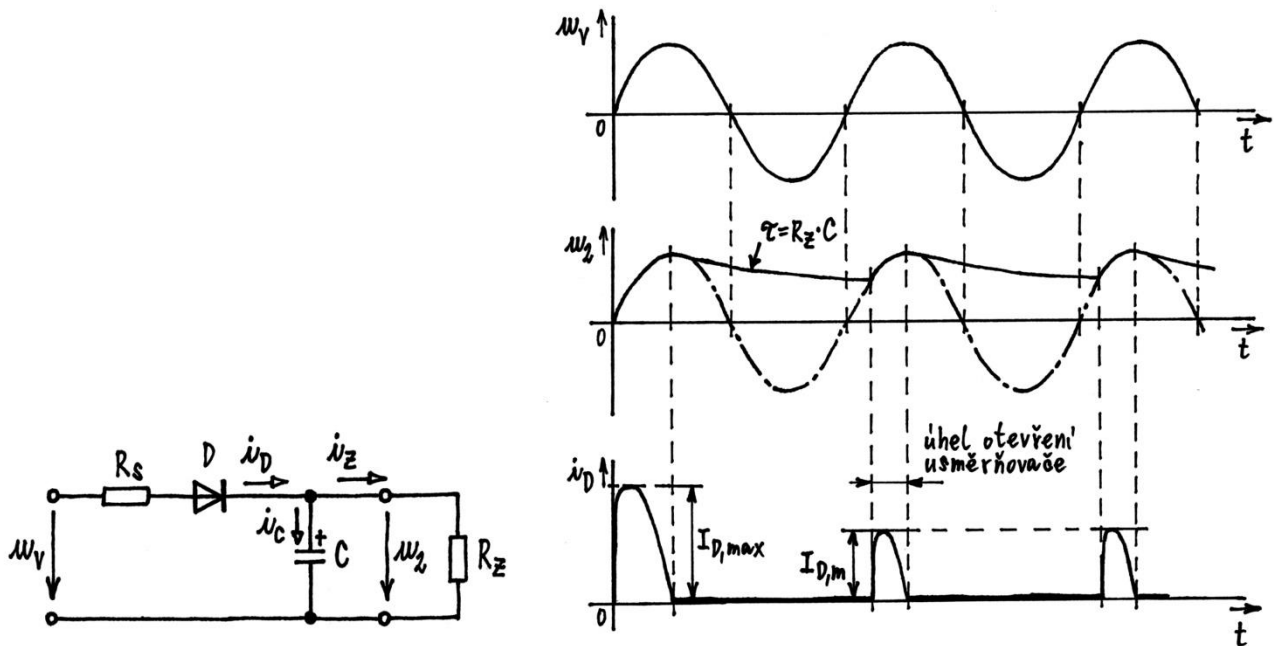
- menší napěťové zatížení diod než u uzlového zapojení;
- jednoduchý transformátor;
- může být napájen přímo ze sítě.

Nevýhody:

- menší účinnost než u uzlového zapojení;
- jsou zapotřebí čtyři usměrňovací diody.

I.B Usměrňovače s výstupní filtrací

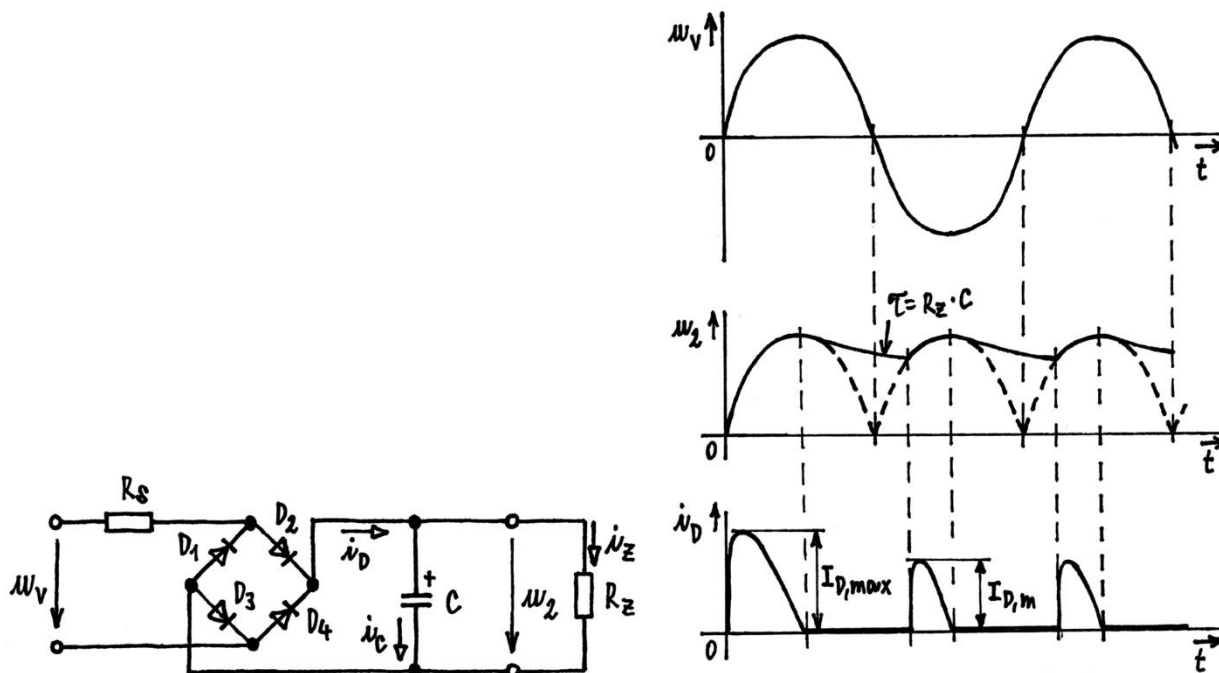
1) Jednocestný sériový usměrňovač s filtračním (nárazovým) kondenzátorem



Popis funkce:

V kladné půlperiodě napájecího napětí u_v se kondenzátor C nabije na amplitudu napájecího napětí. Jakmile napětí u_v začne klesat pod vrcholovou hodnotu, je napětí u_z na kondenzátoru větší než napájecí napětí u_v a dioda D je napětím u_z polarizována v závěrném směru. Kondenzátor C se vybíjí přes zatěžovací odpor R_z , a to do té doby, dokud napětí u_v znovu nevzroste na hodnotu rovnou napětí na kondenzátoru. Dioda D bude od tohoto okamžiku znovu polarizována v propustném směru, kondenzátor C se znovu nabíjí a celý děj se opakuje.

2) Dvoucestný usměrňovač v můstkovém (Grätzově) zapojení s filtračním (nárazovým) kondenzátorem



Popis funkce:

V kladné půlperiodě napájecího napětí u_v jsou otevřeny diody D_2, D_3 a kondenzátor C se nabíjí na amplitudu napájecího napětí. V záporné půlperiodě napájecího napětí u_v vedou diody D_1 a D_4 . Filtrační kondenzátor se tedy nabíjí v obou půlperiodách napájecího napětí u_v . Kondenzátor dodává proud do zátěže jen po malou část půlperiody napájecího napětí, takže se jeho náboj mění mnohem méně než u jednocestného usměrňovače. Účinnost filtrace je zde podstatně větší.

4. Postup měření

4) Měření volt-ampérové charakteristiky usměrňovací diody

- V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle příloženého schématu obvod pro měření V-A charakteristiky polovodičové diody 1N4007.
- Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Dvoupólový přepínač S_1 přepneme do polohy F. Regulací odporového trimru R_1 v simulačním prostředí NI Multisim postupně nastavujeme podle tabulky proud $I_{F,sim}$ tekoucí diodou a multimetrem zjišťujeme úbytky napětí $U_{F,sim}$ vznikající na diodě.
- Dvoupólový přepínač S_1 přepneme do polohy R. Regulací odporového trimru R_2 nastavujeme podle tabulky napětí $U_{R,sim}$ a pomocí multimetru měříme proud $I_{R,sim}$. Po odměření všech hodnot ukončíme simulaci.

- f) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Spustíme on-line měření. Přepínač S_1 přepneme do polohy F. Regulací odporového trimru R_1 měřicího přípravku postupně nastavujeme podle tabulky proud $I_{F,skut}$ tekoucí diodou a myDAQ multimetrem zjišťujeme úbytky napětí $U_{F,skut}$ vznikající na diodě.
- g) Přepínač S_1 přepneme do polohy R. Regulací odporového trimru R_2 měřicího přípravku postupně nastavujeme podle tabulky napětí $U_{R,skut}$ a myDAQ multimetrem měříme proud $I_{R,skut}$. Ukončíme on-line měření.
- h) Všechny změřené hodnoty vyneseme do společného grafu. Simulované a reálné průběhy porovnáme a pokusíme se vysvětlit případné nesrovnalosti.

5) Měření jednocestného usměřovače

- a) V programu NI Multisim 13.0 vytvoříme nový návrh pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle předloženého schématu obvod jednocestného sériového usměřovače s polovodičovou diodou 1N4007.
- c) Funkční generátor nastavíme na sinusový výstup s frekvencí 50 Hz a amplitudou 10 V. Zapneme běh simulace. Na osciloskopu zobrazíme průběh výstupního signálu funkčního generátoru a uložíme jej do souboru.
- d) K rozhraní NI myDAQ připojíme měřicí přípravek. Ověříme, že všechny přepínače jsou v poloze 0. Porovnáním simulace a on-line měření ověříme správnou činnost obvodu.
- e) Pomocí osciloskopu zobrazíme simulovaný a reálný průběh výstupního napětí usměřovače a proudu diodou pro čistě odporovou zátěž (všechny přepínače jsou v poloze OFF). Tyto průběhy uložíme do souboru. S využitím kursorů osciloskopu odměříme na oscilogramu reálného průběhu dobu jedné periody T , frekvence f , amplitudu výstupního napětí usměřovače $U_{2,max}$.
- f) Měření z předešlého bodu zopakujeme pro jednotlivé nárazové kondenzátory (C_1, C_2, C_3, C_4).

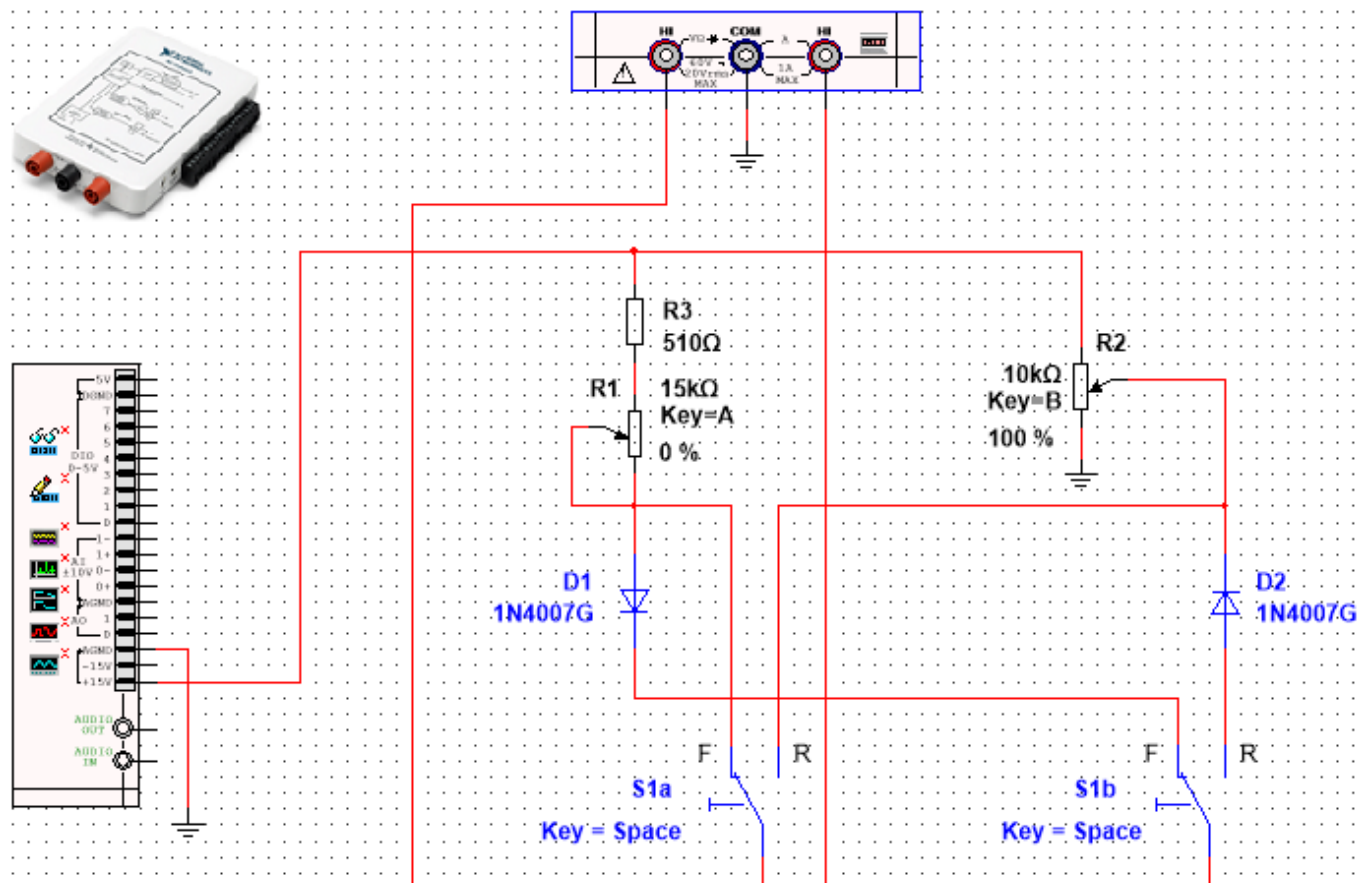
6) Měření dvoucestného usměřovače v Grätzově zapojení

- a) V programu NI Multisim 13.0 vytvoříme nový návrh pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle předloženého schématu obvod dvoucestného můstkového usměřovače.
- c) Funkční generátor nastavíme na sinusový výstup s frekvencí 50 Hz a amplitudou 10 V.
- d) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Ověříme, že všechny přepínače jsou v poloze 0. Porovnáním simulace a on-line měření ověříme správnou činnost obvodu.
- e) Pomocí osciloskopu zobrazíme simulovaný a reálný průběh výstupního napětí usměřovače a proudu diodami pro čistě odporovou zátěž (všechny přepínače jsou v poloze OFF). Tyto průběhy uložíme do souboru. S využitím kursorů osciloskopu odměříme na oscilogramu reálného průběhu dobu jedné periody T , frekvence f , amplitudu výstupního napětí usměřovače $U_{2,max}$.
- f) Měření z předešlého bodu zopakujeme pro jednotlivé nárazové kondenzátory (C_1, C_2, C_3, C_4).

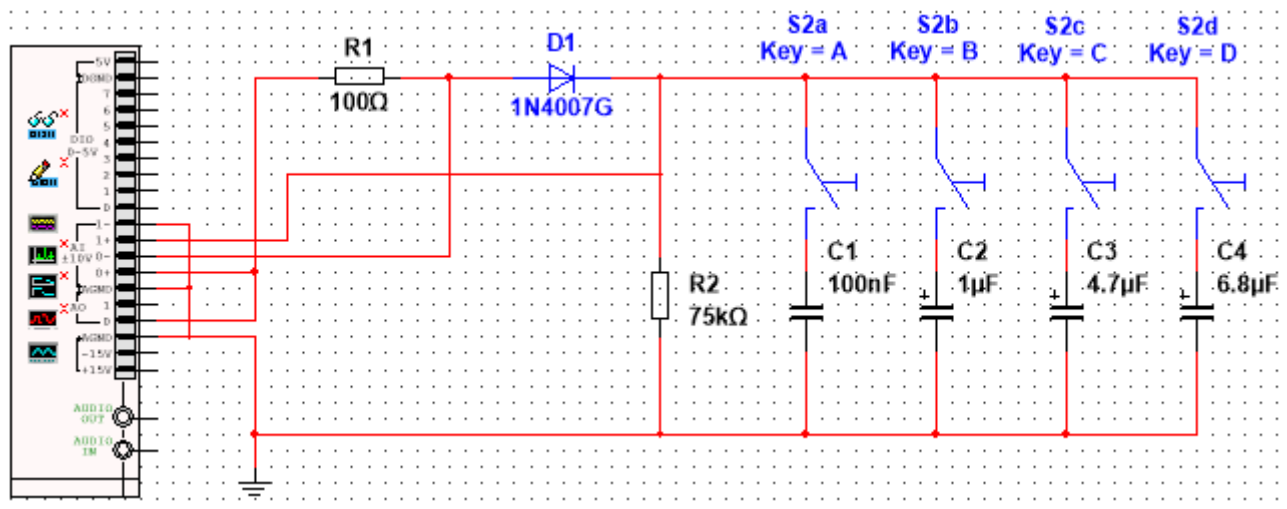
g) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení

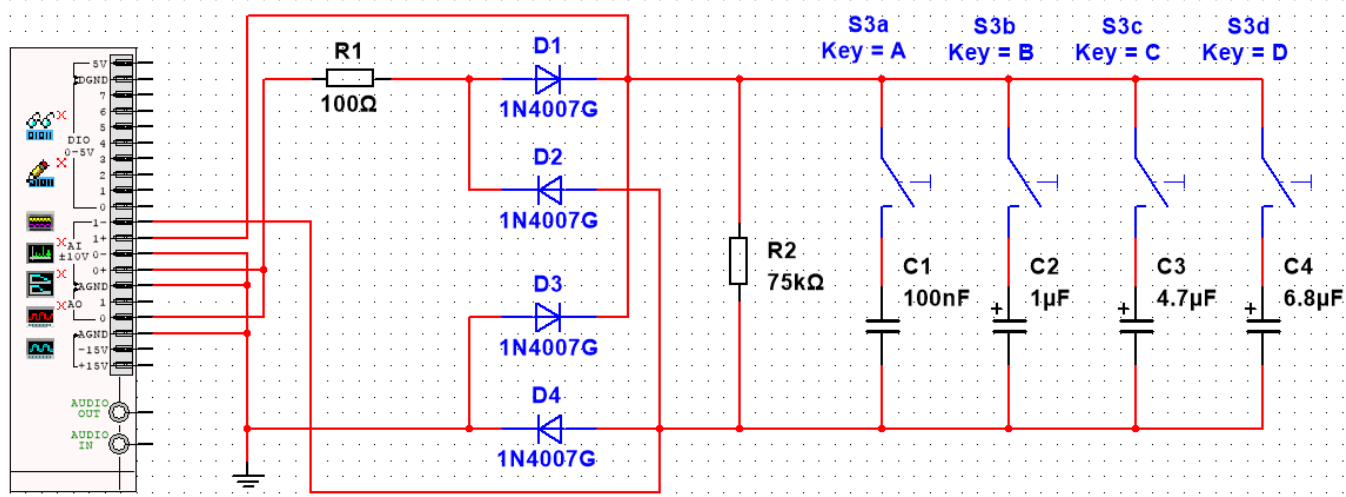
1) Měření volt-ampérové charakteristiky usměrňovací diody



2) Měření jednocestného usměřovače



3) Měření dvoucestného usměřovače v Grätzově zapojení



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek s usměřovači.

7. Tabulky hodnot

1) Měření volt-ampérové charakteristiky usměrňovací diody

a) propustný směr

Režim simulace												
I_F [mA]	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U_F [mV]	0											

Režim myDAQ (on-line měření)												
I_F [mA]	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U_F [mV]	0											

b) závěrný směr

Režim simulace											
U_R [V]	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15
I_R [nA]	0										

Režim myDAQ (on-line měření)											
U_R [V]	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15
I_R [nA]	0										

2) Měření jednocestného usměrňovače

Čistě odporová zátěž		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

Kapacitní zátěž C_1		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

Kapacitní zátěž C_2		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

Kapacitní zátěž C_3		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

Kapacitní zátěž C_4		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

3) Měření dvoucestného usměrňovače v Grätzově zapojení

Čistě odporová zátěž		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

Kapacitní zátěž C_1		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

Kapacitní zátěž C_2		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

Kapacitní zátěž C_3		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

Kapacitní zátěž C_4		
Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
T [ms]		
f [Hz]		
$U_{2,max}$ [V]		

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtů.

9. Grafy hodnot

Do přílohy vložte oscilogram sinusového napětí generátoru a oscilogramy průběhů výstupního napětí a anodového proudu jednocestného a dvoucestného usměrňovače pro všechny druhy zátěží.

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se simulace a on-line měření povedlo. Porovnejte simulované a reálné hodnoty měřených parametrů, vysvětlete případné nesrovnalosti.

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421

Protokol o laboratorním cvičení

zpracoval:	datum:	třída:
Anna Líza	10. 10. 2010	ET4
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	X	M3
	listů:	příloh:
	X	X
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:

úloha: **Pasivní RC frekvenční filtry**

1. Zadání

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznámte s charakteristikami a parametry základních zapojení pasivních RC frekvenčních filtrů. Ve všech měřeních nastavujte u Bodeho analyzátoru dolní frekvenci (Start Frequency) 10 Hz, horní frekvenci (Stop Frequency) 10 kHz a 20 kroků (Steps) na dekádu.

1) RC frekvenční filtr typu dolní propust

- V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření pasivního RC frekvenčního filtru typu dolní propust.
- Z hodnot obvodových součástek vypočítejte mezní frekvenci filtru $f_{m,vyp}$. Spínače S_1 a S_2 považujte za rozpojené.
- S využitím Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku měřeného filtru v režimu simulace a on-line měření a uložte ji do souboru. Spínače S_1 a S_2 musí zůstat v poloze 0 (rozpojené).
- Z grafů získaných v předchozím bodě odečtěte hodnoty mezních frekvencí $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- Hodnoty mezních frekvencí $f_{m,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{m,sim}$ (simulace), $f_{m,skut}$ (on-line měření) navzájem porovnejte a vysvětlete případné rozdíly.

- f) V režimu simulace a on-line měření ověřte účinky sepnutí (poloha 1) či rozepnutí (poloha 0) spínačů S_1 a S_2 . Vysvětlete, jakým způsobem ovlivňují chování frekvenčního filtru.

2) RC frekvenční filtr typu horní propust

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření pasivního RC frekvenčního filtru typu horní propust.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočítejte mezní frekvenci filtru $f_{m,vyp}$. Spínače S_3 a S_4 považujte za rozepnuté.
- c) S využitím Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku měřeného filtru v režimu simulace a on-line měření a uložte ji do souboru. Spínače S_3 a S_4 musí zůstat v poloze 0 (rozpojené).
- d) Z grafů získaných v předchozím bodě odečtěte hodnoty mezních frekvencí $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- e) Hodnoty mezních frekvencí $f_{m,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{m,sim}$ (simulace), $f_{m,skut}$ (on-line měření) navzájem porovnejte a vysvětlete případné rozdíly.
- f) V režimu simulace a on-line měření ověřte účinky sepnutí (poloha 1) či rozepnutí (poloha 0) spínačů S_3 a S_4 . Vysvětlete, jakým způsobem ovlivňují chování frekvenčního filtru.

3) RC pásmová propust – Wienův článek

- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření parametrů RC pásmové propusti v zapojení dle Wiena.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočteme kritickou frekvenci filtru $f_{0,vyp}$ a kritický přenos filtru $A_{0,vyp}$.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazíme simulovanou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku měřeného filtru. Zobrazený charakterogram nezavíráme.
- e) Připojíme obvod pásmové propusti z měřicího přípravku k rozhraní myDAQ.
- f) Spustíme on-line měření. Do charakterogramu z bodu d) necháme vykreslit změřenou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku. Obrázek uložíme do souboru.
- g) Ze získaných průběhů charakteristik určíme hodnoty kritických frekvencí $f_{0,sim}$ a $f_{0,skut}$. Tyto frekvence odpovídají maximu amplitudové charakteristiky. Dále pak hodnoty mezních frekvencí při poklesu o -3 dB oproti kritické frekvenci f_0 , tudíž hodnotu dolní mezní frekvence $f_{dm,sim}$ (simulace), $f_{dm,skut}$ (skutečná) a horní mezní frekvence $f_{hm,sim}$ (simulace), $f_{hm,skut}$ (skutečná).
- h) Hodnoty kritických a mezních frekvencí navzájem porovnáme a vysvětlíme případné rozdíly (rozdíl mezi vypočtenými hodnotami – ze simulace vyčtenými hodnotami – skutečnými hodnotami). Po dokončení měření odpojíme obvod pásmové propusti od rozhraní NI myDAQ.

4) RC pásmová zadrž – dvojitý T-článek

- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření parametrů RC pásmové zadrž v zapojení souměrného dvojitého T-člátku.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočteme kritickou frekvenci filtru $f_{0,vyp}$.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazíme simulovanou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku měřeného filtru. Zobrazený charakterogram nezavíráme.
- e) Připojíme obvod pásmové zadrž z měřicího přípravku k rozhraní myDAQ.
- f) Spustíme on-line měření. Do charakterogramu z bodu d necháme vykreslit změřenou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku. Obrázek uložíme do souboru.
- g) Ze získaných průběhů charakteristik určíme hodnoty kritických frekvencí $f_{0,sim}$, a $f_{0,skut}$. Tyto frekvence odpovídají minimu amplitudové charakteristiky. Dále pak hodnoty mezních frekvencí při poklesu o -3 dB, tudíž hodnotu dolní mezní frekvence $f_{dm,sim}$ (simulace), $f_{dm,skut}$ (skutečná) a horní mezní frekvence $f_{hm,sim}$ (simulace), $f_{hm,skut}$ (skutečná).
- h) Hodnoty kritických a mezních frekvencí navzájem porovnáme a vysvětlíme případné rozdíly (rozdíl mezi vypočtenými hodnotami – ze simulace vyčtenými hodnotami – skutečnými hodnotami). Po dokončení měření odpojíme obvod pásmové propusti od rozhraní NI myDAQ.
- i) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

2. Cíl měření

Prakticky si ověřit teoretické poznatky o pasivních RC frekvenčních filtrech.

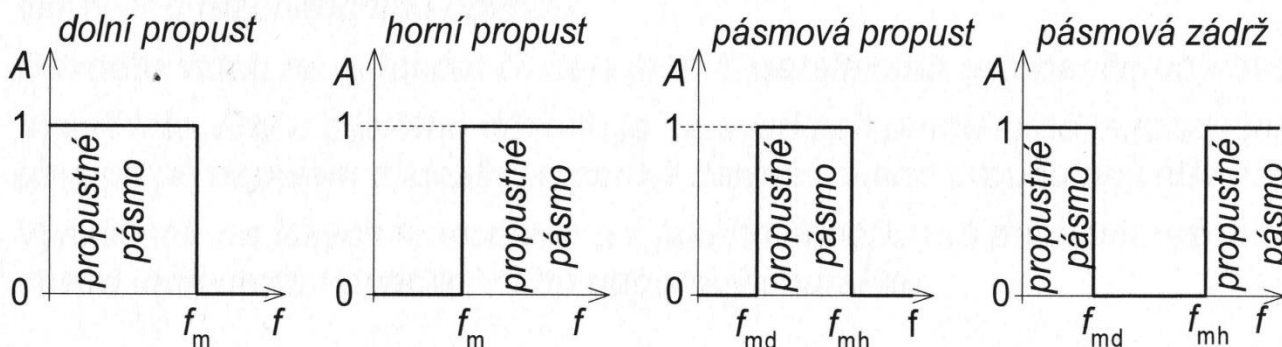
3. Teoretický rozbor

I. Použití a druhy pasivních RC filtrů

Účelem selektivních frekvenčních filtrů je výběr žádaných složek elektrického signálu a naopak potlačení frekvenčních složek nežádoucích. Podle toho, které pásmo frekvencí filtry propouštějí a které potlačují, je rozdělujeme na:

- *dolní propusti (DP)* ... propouštějí signály o frekvencích nižších, než je mezní frekvence f_m ;
- *horní propusti (HP)* ... propouštějí signály o frekvencích vyšších, než je mezní frekvence f_m ;

- *pásmové propusti (PP)* ... propouštějí signály o frekvencích ležících mezi dolní mezní frekvencí f_{md} a horní mezní frekvencí f_{mh} ;
- *pásmové zadržky (PZ)* ... potlačují signály o frekvencích ležících mezi dolní mezní frekvencí f_{md} a horní mezní frekvencí f_{mh} .

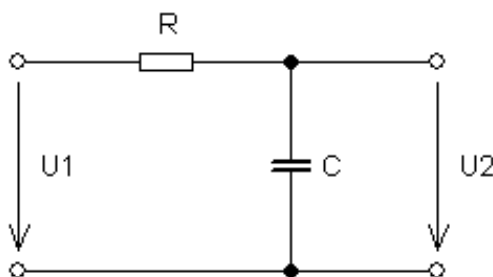


Obr. 1. Idealizované průběhy přenosových charakteristik základních filtrů

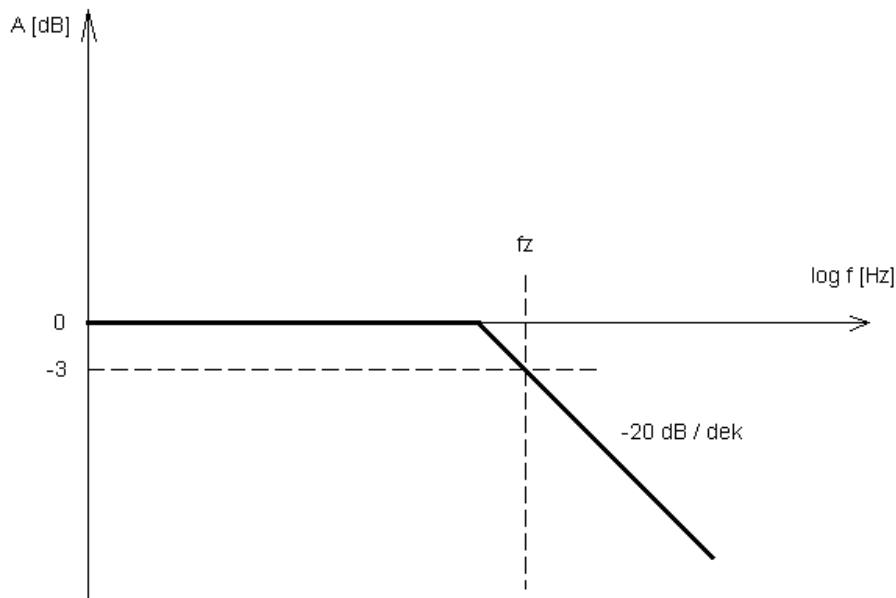
II. Základní zapojení jednoduchých RC filtrů

II.A Dolní propust (integrační článek RC)

RC článek zapojený jako dolní propust se chová tak, že se zvyšující se frekvencí vstupního napětí výstupní napětí klesá. U ideálního integračního článku RC odpovídá desetinásobnému zvýšení frekvence desetinásobný pokles amplitudy napětí. Tedy sklon modulové (amplitudové) frekvenční charakteristiky je -20 dB/dek.



Obr. 2. RC článek typu dolní propusti



Obr. 3. Amplitudová charakteristika dolní propusti podle obr. 2

Pro přenos napětí platí vztah

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2}}$$

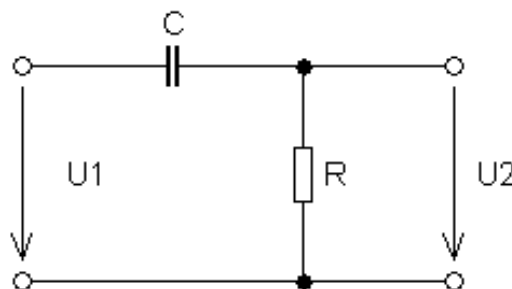
kde ω je úhlová frekvence, C kapacita kondenzátoru, R odpor rezistoru.

Pokud je $\omega \cdot C \cdot R \ll 1$, je přenos napětí přibližně roven jedné, tj. člen RC netlumí napětí. Frekvence, při které je $\omega \cdot C \cdot R = 1$ se nazývá mezní (zlomová) frekvence f_m . Dochází při něm k poklesu napětí o -3 dB ($A_u = 0,707$) a fázový posun je zároveň roven -45° . Platí:

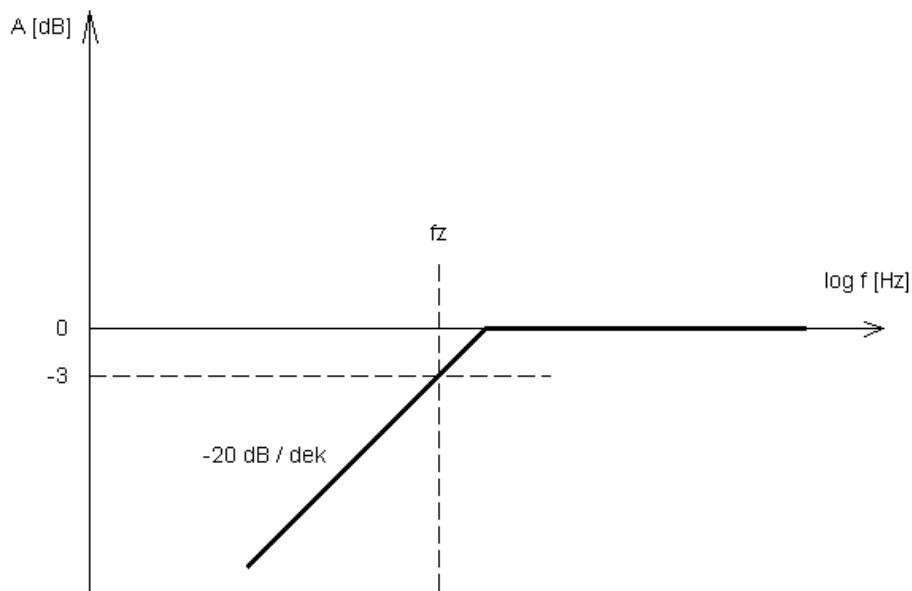
$$f_m = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

II.B Horní propust (derivační článek RC)

RC článek zapojený jako horní propust má frekvenční charakteristiku takovou, že se zvyšující se frekvencí vstupního napětí výstupní napětí roste. U ideálního derivačního članku RC odpovídá desetinásobnému zvýšení frekvence desetinásobný vzrůst amplitudy napětí. Tedy sklon modulové (amplitudové) frekvenční charakteristiky je +20 dB/dek.



Obr. 4. RC článek typu horní propusti



Obr. 5. Amplitudová charakteristika horní propusti podle obr. 4

Pro přenos napětí platí vztah

$$A = \frac{\omega \cdot C \cdot R}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2}}$$

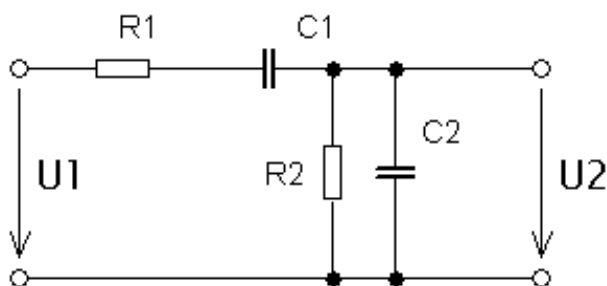
kde ω je úhlová frekvence, C kapacita kondenzátoru, R odpor rezistoru.

Pokud je $\omega \cdot C \cdot R \ll 1$, je přenos napětí přibližně roven jedné, tj. člen RC netlumí napětí. Frekvence, při které dochází k poklesu napětí o -3 dB ($A_u = 0,707$) a fázový posun je zároveň roven -45° se nazývá mezní (zlomová) frekvence f_m . Platí:

$$f_m = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

II.C Pásmová propust

Pásmová propust v zapojení podle Wiena je kombinací dolní a horní propusti. Hodnoty součástek jsou navrženy u Wienova článku pro jednu mezní (zlomovou, kritickou) frekvenci f_0 . Wienův článek propouští při této frekvenci signál zeslabený o jednu třetinu. Wienův článek se nejčastěji používá jako selektivní frekvenční člen v RC oscilátorech.



Obr. 6. Schéma Wienova článku

Pro napěťový přenos A platí:

$$A = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}\right) + \left(\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega C_1 R_2}\right)}}$$

Maximum přenosu A_0 je při kritické frekvenci f_0 .

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}}$$

$$A_0 = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}$$

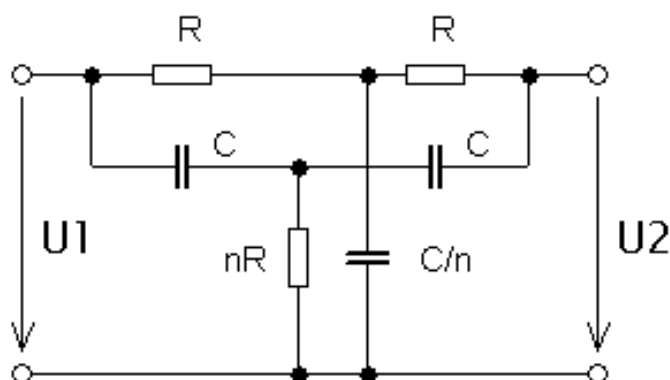
Velice často se používají články, ve kterých je $R_1 = R_2 = R$ a $C_2 = C_1 = C$. Potom platí:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

$$A_0 = \frac{1}{3}$$

II.D Pásmová zadrž

Pásmová zadrž se nejčastěji realizuje jako souměrný dvojitý článek tvaru T, jak je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 7. Souměrný dvojitý T-článek

Vztahy pro kritickou frekvenci a kritický přenos:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

$$A_0 = \frac{2n^2 - n}{1 + n + 2n^2}$$

Při volbě $n = 0,5$ (což je námi měřený případ) článek zcela potlačuje napětí kritické frekvence f_0 a pro napěťový přenos A v závislosti na poměrném rozladění f platí:

$$A = \frac{|f|}{\sqrt{f^2 + 16}}$$

4. Postup měření

1) RC frekvenční filtr typu dolní propust

- a) V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření parametrů RC dolní propusti.
- c) Z hodnot obvodových součástek vypočteme mezní frekvenci filtru $f_{m,vyp}$. Spínače S_1 a S_2 považujeme za rozpojené.
- d) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- e) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Spínače S_1 a S_2 musí zůstat v poloze 0 (rozpojené). S využitím Bodeho analyzátoru zobrazíme simulovanou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku měřeného filtru. Zobrazený charakterogram nezavíráme.
- f) Připojíme obvod dolní propusti z měřicího přípravku k rozhraní myDAQ. Ověříme si, že spínače S_1 a S_2 umístěné na přípravku jsou v poloze 0 (rozpojené).
- g) Spustíme on-line měření. Do charakterogramu z bodu e) necháme vykreslit změřenou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku. Obrázek uložíme do souboru.
- h) Ze získaných průběhů charakteristik určíme hodnoty mezních frekvencí $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$. Tyto frekvence odpovídají poklesu hodnoty přenosu (Gain) o -3 dB oproti hodnotě přenosu na nejnižším frekvenci.
- i) Hodnoty mezních frekvencí $f_{m,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{m,sim}$ (simulace), $f_{m,skut}$ (on-line měření) navzájem porovnáme a vysvětlíme případné rozdíly.
- j) V režimu simulace a on-line měření ověříme účinky sepnutí (poloha 1) či rozepnutí (poloha 0) spínačů S_1 a S_2 . Vysvětlíme, jakým způsobem ovlivňují chování frekvenčního filtru. Naměřené charakteristiky uložíme do souboru. Po dokončení měření odpojíme obvod dolní propusti od rozhraní NI myDAQ.

2) RC frekvenční filtr typu horní propust

- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření parametrů RC horní propusti.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočteme mezní frekvenci filtru $f_{m,vyp}$. Spínače S_3 a S_4 považujeme za rozpojené.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Spínače S_3 a S_4 musí zůstat v poloze 0 (rozpojené). S využitím Bodeho analyzátoru zobrazíme simulovanou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku měřeného filtru. Zobrazený charakterogram nezavíráme.
- e) Připojíme obvod horní propusti z měřicího přípravku k rozhraní myDAQ. Ověříme si, že spínače S_3 a S_4 umístěné na přípravku jsou v poloze 0 (rozpojené).
- f) Spustíme on-line měření. Do charakterogramu z bodu d) necháme vykreslit změřenou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku. Obrázek uložíme do souboru.
- g) Ze získaných průběhů charakteristik určíme hodnoty mezních frekvencí $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$. Tyto frekvence odpovídají poklesu hodnoty přenosu (Gain) o -3 dB oproti hodnotě přenosu na nejvyšší frekvenci.
- h) Hodnoty mezních frekvencí $f_{m,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{m,sim}$ (simulace), $f_{m,skut}$ (on-line měření) navzájem porovnáme a vysvětlíme případné rozdíly.
- i) V režimu simulace a on-line měření ověříme účinky sepnutí (poloha 1) či rozepnutí (poloha 0) spínačů S_3 a S_4 . Vysvětlíme, jakým způsobem ovlivňují chování frekvenčního filtru. Naměřené charakteristiky uložíme do souboru. Po dokončení měření odpojíme obvod horní propusti od rozhraní NI myDAQ.

3) RC pásmová propust – Wienův článek

- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření parametrů RC pásmové propusti v zapojení dle Wiena.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočteme kritickou frekvenci filtru $f_{0,vyp}$ a kritický přenos filtru $A_{0,vyp}$.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazíme simulovanou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku měřeného filtru. Zobrazený charakterogram nezavíráme.
- e) Připojíme obvod pásmové propusti z měřicího přípravku k rozhraní myDAQ.
- f) Spustíme on-line měření. Do charakterogramu z bodu d) necháme vykreslit změřenou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku. Obrázek uložíme do souboru.
- g) Ze získaných průběhů charakteristik určíme hodnoty kritických frekvencí $f_{0,sim}$ a $f_{0,skut}$. Tyto frekvence odpovídají maximu amplitudové charakteristiky. Dále pak hodnoty mezních frekvencí při poklesu o -3 dB, tudíž hodnotu dolní mezní frekvence $f_{dm,sim}$ (simulace), $f_{dm,skut}$ (skutečná) a horní mezní frekvence $f_{hm,sim}$ (simulace), $f_{hm,skut}$ (skutečná).
- h) Hodnoty kritických a mezních frekvencí navzájem porovnáme a vysvětlíme případné rozdíly (rozdíl mezi vypočtenými hodnotami – ze simulace vyčtenými

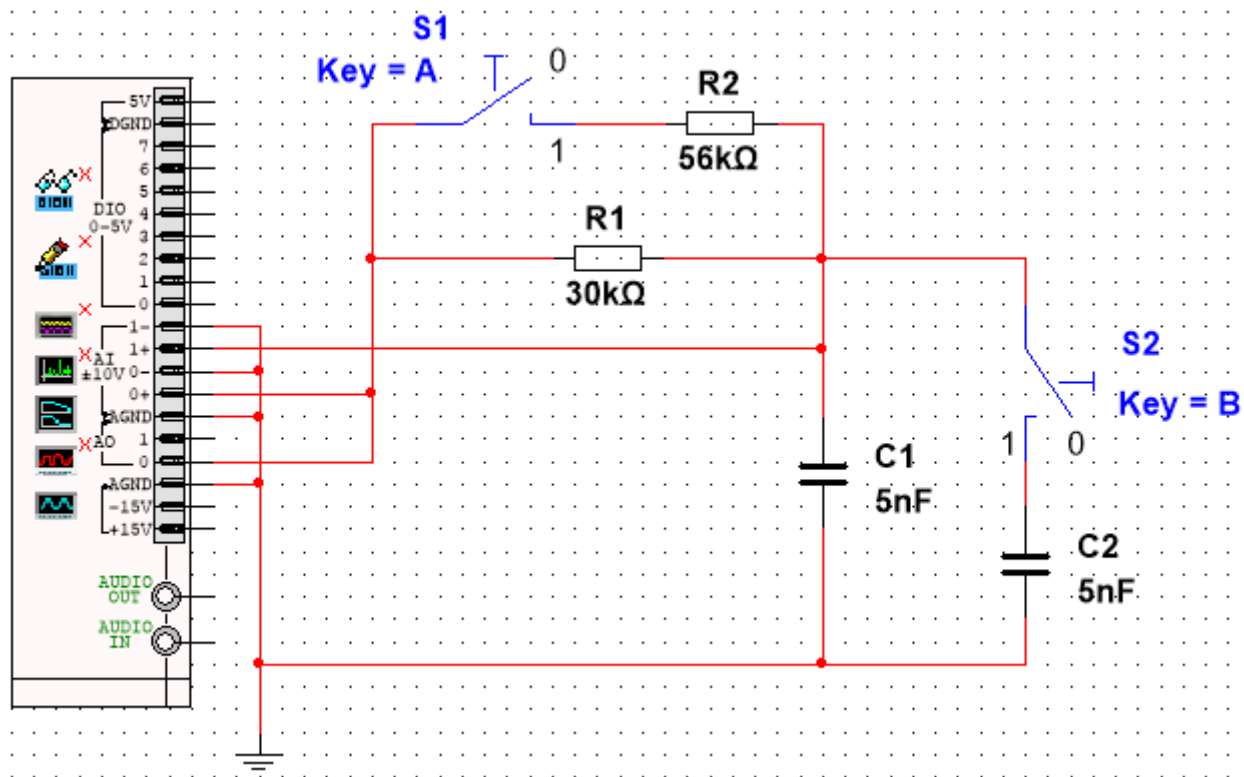
hodnotami – skutečnými hodnotami). Po dokončení měření odpojíme obvod pásmové propusti od rozhraní NI myDAQ.

4) RC pásmová zadrž – dvojitý T-článek

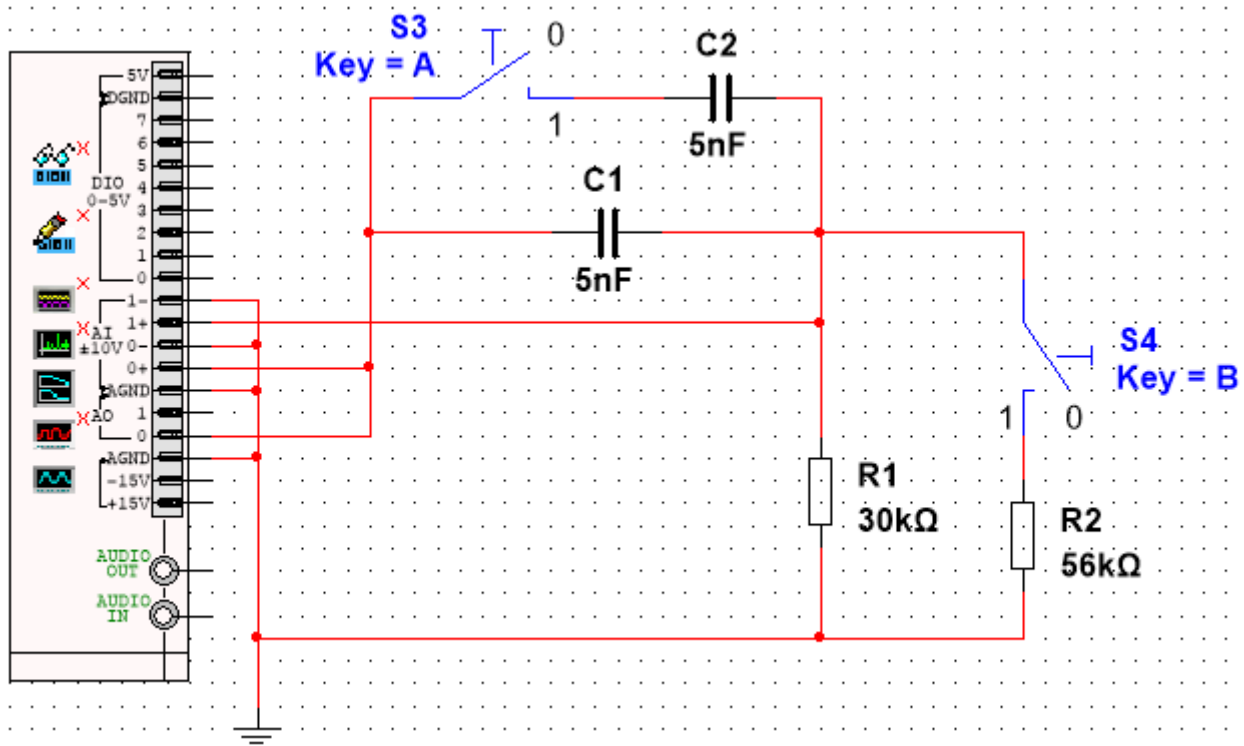
- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření parametrů RC pásmové zadrž v zapojení souměrného dvojitého T-čláku.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočteme kritickou frekvenci filtru $f_{0,vyp}$.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazíme simulovanou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku měřeného filtru. Zobrazený charakterogram nezavíráme.
- e) Připojíme obvod pásmové zadrž z měřicího přípravku k rozhraní myDAQ.
- f) Spustíme on-line měření. Do charakterogramu z bodu d necháme vykreslit změřenou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku. Obrázek uložíme do souboru.
- g) Ze získaných průběhů charakteristik určíme hodnoty kritických frekvencí $f_{0,sim}$, a $f_{0,skut}$. Tyto frekvence odpovídají maximu amplitudové charakteristiky. Dále pak hodnoty mezních frekvencí při poklesu o -3 dB, tudíž hodnotu dolní mezní frekvence $f_{dm,sim}$ (simulace), $f_{dm,skut}$ (skutečná) a horní mezní frekvence $f_{hm,sim}$ (simulace), $f_{hm,skut}$ (skutečná).
- h) Hodnoty kritických a mezních frekvencí navzájem porovnáme a vysvětlíme případné rozdíly (rozdíl mezi vypočtenými hodnotami – ze simulace vyčtenými hodnotami – skutečnými hodnotami). Po dokončení měření odpojíme obvod pásmové propusti od rozhraní NI myDAQ.
- i) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení

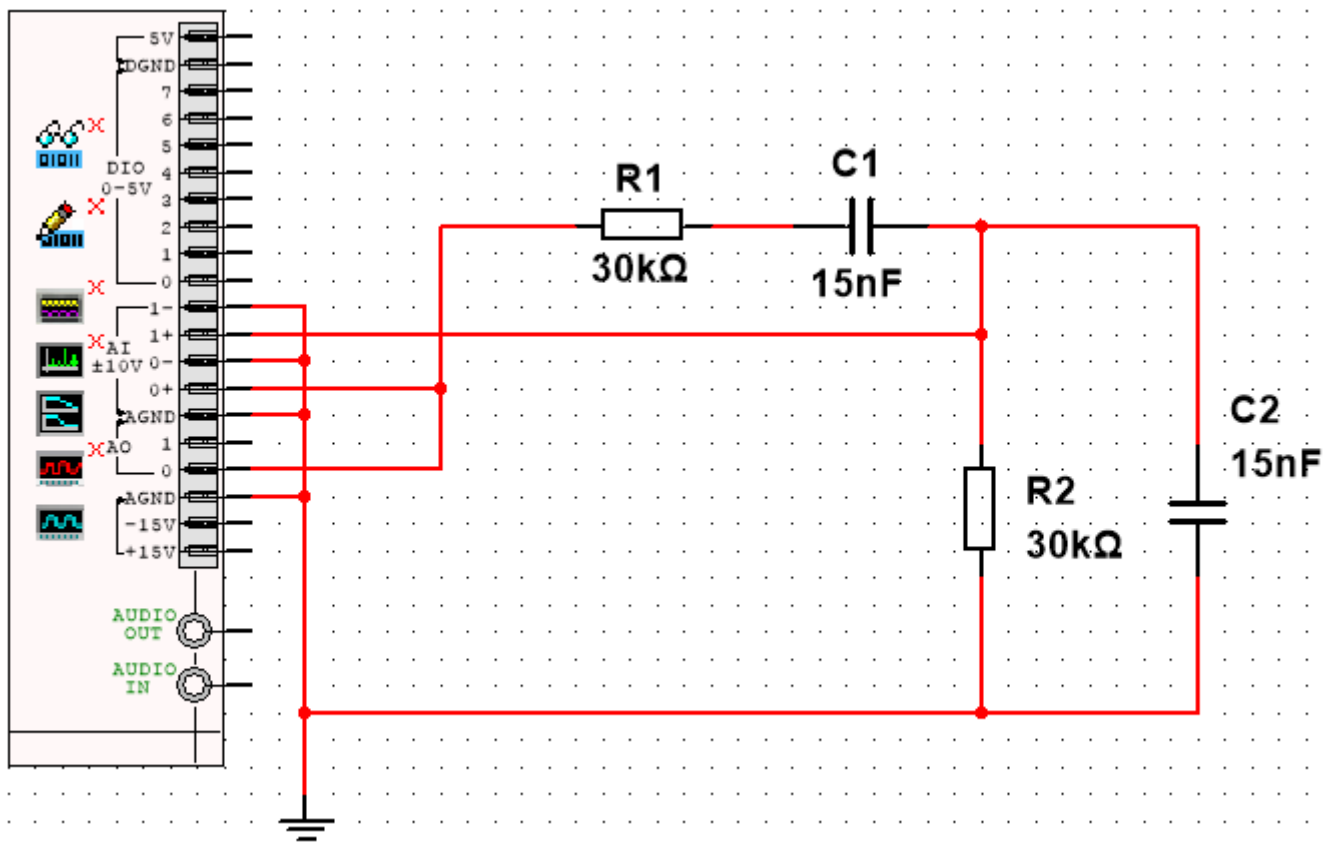
1) RC frekvenční filtr typu dolní propust



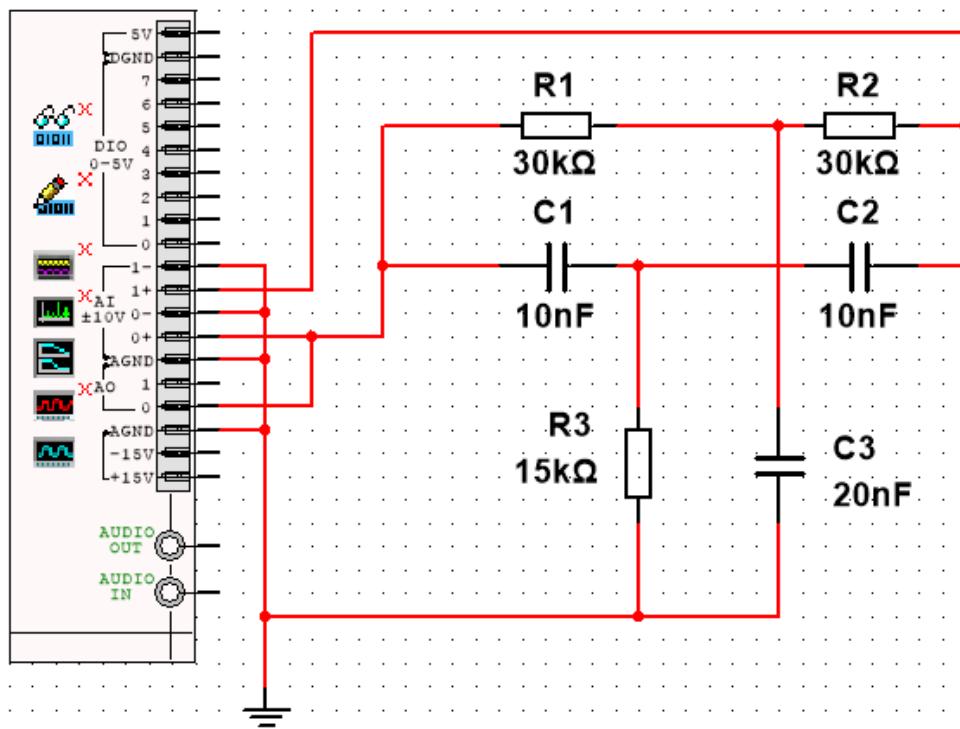
2) RC frekvenční filtr typu horní propust



3) RC pásmová propust – Wienův článek



4) RC pásmová zadrž – dvojitý T-článek



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek s frekvenčními filtry.

7. Tabulky hodnot

1) RC frekvenční filtr typu dolní propusti

Vypočtená hodnota mezní frekvence $f_{m,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota mezní frekvence $f_{m,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota mezní frekvence $f_{m,skut} = \dots$ Hz.

Sepnutí spínače S_1 má tento účinek: ...

Sepnutí spínače S_2 má tento účinek: ...

2) RC frekvenční filtr typu horní propusti

Vypočtená hodnota mezní frekvence $f_{m,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota mezní frekvence $f_{m,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota mezní frekvence $f_{m,skut} = \dots$ Hz.

Sepnutí spínače S_3 má tento účinek: ...

Sepnutí spínače S_4 má tento účinek: ...

3) RC pásmová propust – Wienův článek

Hodnota kritického přenosu $A_0 = \dots$

Vypočtená hodnota kritické frekvence $f_{0,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota kritické frekvence $f_{0,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota kritické frekvence $f_{0,skut} = \dots$ Hz.

Vypočtená hodnota dolní mezní frekvence $f_{dm,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota dolní mezní frekvence $f_{dm,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota dolní mezní frekvence $f_{dm,skut} = \dots$ Hz.

Vypočtená hodnota horní mezní frekvence $f_{hm,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota horní mezní frekvence $f_{hm,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota horní mezní frekvence $f_{hm,skut} = \dots$ Hz.

4) RC pásmová zádrž – dvojitý T-článek

Hodnota kritického přenosu $A_0 = \dots$

Vypočtená hodnota kritické frekvence $f_{0,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota kritické frekvence $f_{0,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota kritické frekvence $f_{0,skut} = \dots$ Hz.

Vypočtená hodnota dolní mezní frekvence $f_{dm,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota dolní mezní frekvence $f_{dm,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota dolní mezní frekvence $f_{dm,skut} = \dots$ Hz.

Vypočtená hodnota horní mezní frekvence $f_{hm,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota horní mezní frekvence $f_{hm,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota horní mezní frekvence $f_{hm,skut} = \dots$ Hz.

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtů.

9. Grafy hodnot

Do příloh vložte vytištěné průběhy simulovaných a reálných průběhů frekvenčních charakteristik jednotlivých filtrů.

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se simulace a on-line měření povedlo. Porovnejte simulované a reálné hodnoty měřených parametrů, vysvětlete případné nesrovnalosti.

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421

Protokol o laboratorním cvičení

zpracoval:	datum:	třída:
Anna Líza	10. 10. 2010	ET4
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	X	M4
	listů:	příloh:
	X	X
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:

úloha: **Měření základních zapojení s operačními zesilovači**

1. Zadání

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování základních zapojení s operačními zesilovači.

1) Invertující zapojení operačního zesilovače

- V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření invertujícího zesilovače.
- Pro všechny zadané kombinace rezistorů vypočítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,vyp}$ invertujícího zesilovače.
- Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou 100 mV.
- Pomocí osciloskopu zobrazte a změřte efektivní hodnotu vstupního napětí U_1 a výstupního napětí U_2 pro všechny kombinace rezistorů. Dopočítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,sim}$.
- K rozhraní NI myDAQ připojte obvod invertujícího zesilovače z měřicího přípravku.
- V on-line režimu zopakujte měření z bodu d). Dopočítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,skut}$.
- Hodnoty $A_{u,vyp}$, $A_{u,sim}$, $A_{u,skut}$ získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnejte a případné rozdíly se pokuste vysvětlit.

2) *Neinvertující zapojení operačního zesilovače*

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření neinvertujícího zesilovače.
- b) Pro všechny zadané kombinace rezistorů vypočítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,vyp}$ neinvertujícího zesilovače.
- c) Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou 100 mV.
- d) Pomocí osciloskopu zobrazte a změřte efektivní hodnotu vstupního napětí U_1 a výstupního napětí U_2 pro všechny kombinace rezistorů. Dopočítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,sim}$.
- e) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod neinvertujícího zesilovače z měřicího přípravku.
- f) V on-line režimu zopakujte měření z bodu d). Dopočítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,skut}$.
- g) Hodnoty $A_{u,vyp}$, $A_{u,sim}$, $A_{u,skut}$ získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnejte a případné rozdíly se pokuste vysvětlit.

3) *Napěťový sledovač s operačním zesilovačem*

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod napěťového sledovače.
- b) Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou 1 V.
- c) Pomocí osciloskopu zobrazte a změřte efektivní hodnotu vstupního napětí U_1 a výstupního napětí U_2 . Dopočítejte výsledné napěťové zesílení $A_{u,sim}$.
- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod napěťového sledovače z měřicího přípravku.
- e) V on-line režimu zopakujte měření z bodu d). Dopočítejte výsledné napěťové zesílení $A_{u,skut}$.
- f) Hodnoty $A_{u,vyp}$, $A_{u,sim}$, $A_{u,skut}$ získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnejte a případné rozdíly se pokuste vysvětlit.

2. Cíl měření

Prakticky si ověřit teoretické poznatky a vztahy týkající se neinvertujícího a invertujícího zapojení s operačním zesilovačem a napěťového sledovače.

3. Teoretický rozbor

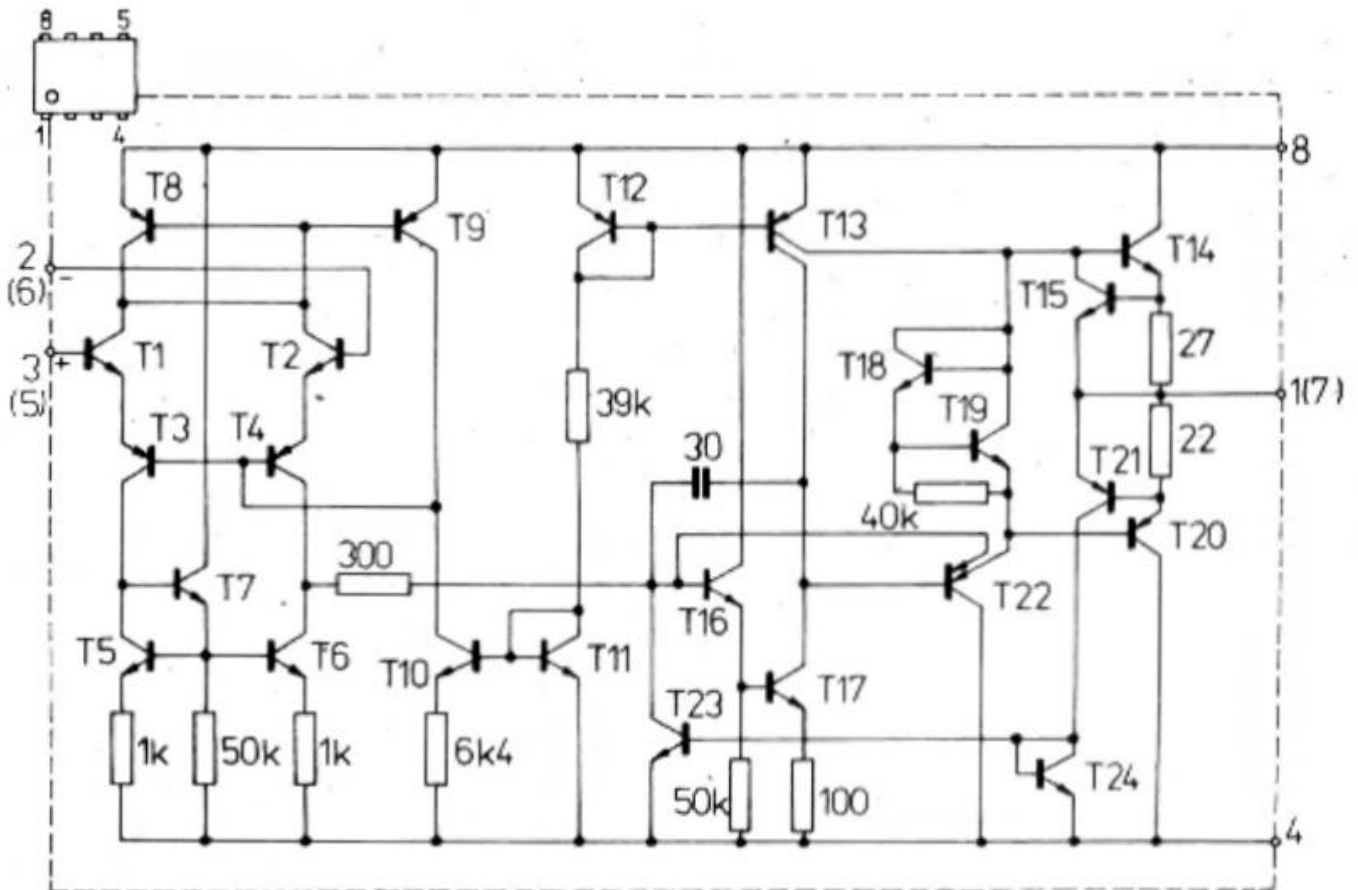
Princip činnosti operačního zesilovače (OZ)

Operační zesilovač je univerzální elektronický zesilovač, pomocí něhož lze poměrně jednoduše navrhovat a realizovat elektronické funkční bloky. Původně byl vyvinut jako

základní stavební prvek pro analogové počítače. Název „operační zesilovač“ je odvozen od schopnosti tohoto typu zesilovače provádět aritmetické operace, jako je sčítání, odčítání, násobení, dělení a také složitější operace integrování a derivování. První operační zesilovače byly vyrobeny v průběhu II. sv. války a byly využívány u dělostřelectva jako součást analogového počítače k řízení střelby. Pracovaly na bázi elektronek a byly komerčně nedostupné. První operační zesilovače na komerční bázi byly na trh uvedeny v r. 1952 pod ozn. K2-W firmou Philbrick Researches, Inc. Zesilovač K2-W byl diferenční, napěťové zesílení měl 15000, mezní frekvenci 1 Hz, tranzitní frekvenci 1 MHz, příkon 4,5 W, cena 24 USD. Operační zesilovače s bipolárními tranzistory byly vyvíjeny až po r. 1954 (objev křemíkového tranzistoru), kupř. velmi rozšířený operační zesilovač P65 firmy Philbrick Researches, Inc. vyráběný v letech 1961 až 1971. První integrovaný operační zesilovač μ A 702 byl vyvinut firmou Fairchild Semiconductor Corporation v r. 1963. Dodnes populární operační zesilovač μ A 741 byl vyvinut Davidem Fuglarem r. 1967 zdokonalením obvodu μ A 709. Současné používání operačních zesilovačů je velmi rozšířené. Je základem většiny elektronických systémů s analogovým zpracováním signálu.

Princip činnosti operačního zesilovače lze vysvětlit na vnitřním elektrickém zapojení obvodu TESLA MA 1458. Celé obvodové schéma lze rozdělit na tři funkční části:

- i. *Vstupní rozdílový (diferenční) zesilovač* – vlastní rozdílový zesilovač je tvořen tranzistory T1 a T2. Tranzistor T8 plní funkci kolektorového odporu a v součinnosti s tranzistorem T9 zrcadlí kolektorový proud rozdílového zesilovače do kolektorů tranzistorů T9 a T10. Tranzistory T3 a T4 slouží k teplotní stabilizaci pracovního bodu diferenčního zesilovače. Tranzistory T5, T6 a odpory 1k plní funkci emitorového odporu. Tranzistor T7 a odpor 50k omezuje vliv napěťové nesymetrie vstupů. Vstupní rozdílový zesilovač snižuje na únosnou míru teplotní posun (drift) nuly, zdroj proudu s velkým vnitřním dynamickým odporem (proudové zrcadlo) místo kolektorového odporu zvyšuje vstupní odpor rozdílového zesilovače.
- ii. *Stupeň s velkým napěťovým zesílením* – je řešen jako vícestupňový zesilovač s teplotními kompenzacemi. Velkého napěťového zesílení je dosahováno využitím proudových zrcadel T10, T11 a T12, T13 místo kolektorových odporů.
- iii. *Dvojčinný koncový stupeň* – zde tvořen tranzistory T14 a T20, které výkonově zesilují výstupní signál. Tranzistory T15, T21 a odpory 27 Ω a 22 Ω , spolu s proudovým zrcadlem T23 a T24, plní funkci omezovače výstupního proudu (ochrana koncového stupně proti zkratu na výstupu).

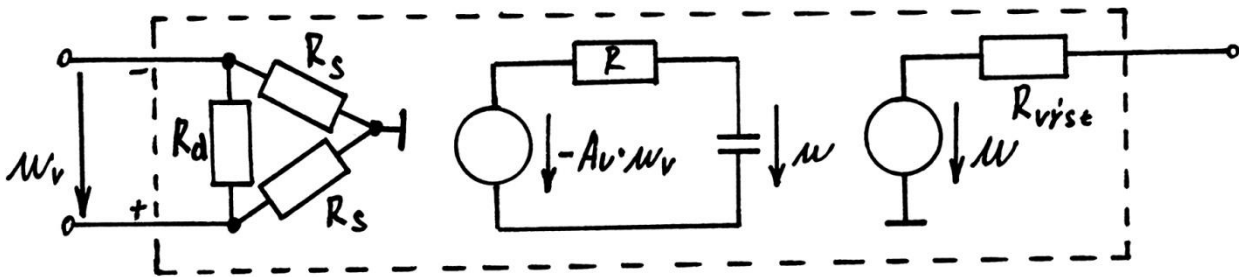


Obr. 1. Obvodové řešení vnitřního zapojení operačního zesilovače TESLA MA 1458:
 1 – výstup A; 2 – invertující vstup A; 3 – neinvertující vstup A; 4 – $-U_{cc}$; 5 - neinvertující vstup B; 6- invertující vstup B; 7 – výstup B; 8 – $+U_{cc}$

Základní vlastnosti ideálního operačního zesilovače

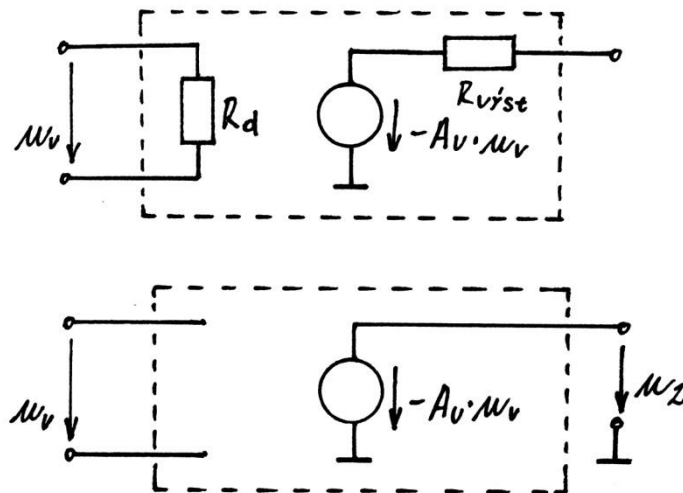
1. Nekonečné napěťové zesílení A_u .
2. Nekonečný vstupní odpor R_d .
3. Nulový výstupní odpor $R_{výst}$.
4. Dokonalé potlačení souhlasného napětí Common Mode Reject Ratio (dále jen „CMRR“).
5. Nulový offset, drift nuly a šum.
6. Nekonečná šíře přenášeného frekvenčního pásma B .

Náhradní schéma operačního zesilovače



Obr. 2. Náhradní schéma operačního zesilovače: R_d – vstupní (diferenční) odpor, R_s – svodový odpor, $R_{výst}$ – výstupní odpor; poněvadž $R_s \gg R_d \Rightarrow R_s$ můžeme zanedbat

RC člen v náhradním schématu modeluje závislost zesílení a fázového posunu na frekvenci.



Obr. 3. Zjednodušené náhradní schéma operačního zesilovače: nahoře reálný OZ, dole ideální OZ

$$A_U = \frac{U_2}{U_v} \rightarrow +\infty$$

$$U_2 = A_U \cdot U_v$$

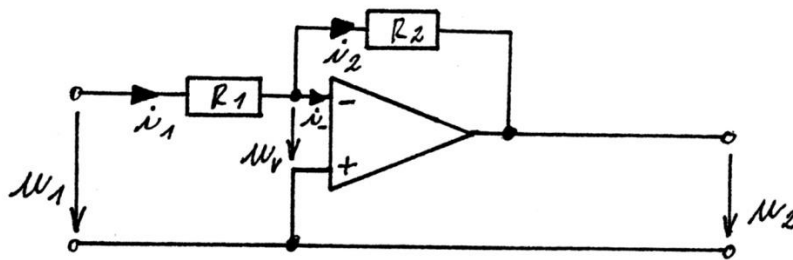
konečné_číslo $\quad +\infty$ \quad nulové_číslo

Při použití OZ v obvodech se silnou zápornou zpětnou vazbou máme podmínku $u_v \rightarrow 0$ splněnu a výstupní napětí u_2 závisí pouze na obvodech připojených k OZ a nikoli na jeho zesílení, které považujeme za nekonečné. Podmínka $u_v \rightarrow 0$ musí být splněna proto, aby u_2 bylo konečné.

Parametry operačních zesilovačů

	Ideální OZ	Reálný OZ
$A_U [-]$	$+\infty$	10^4 až 10^6
$R_d [\Omega]$	$+\infty$	10^5 až 10^{13}
$R_{vyst} [\Omega]$	0	10 až 150

Invertující zesilovač s OZ



Předpoklad: $u_v = 0$; $i_- = 0 \Rightarrow i_1 = i_2$

$$i_1 = \frac{u_1}{R_1} \qquad i_2 = -\frac{u_2}{R_2}$$

jestliže $i_1 = i_2$, potom

$$\frac{u_1}{R_1} = -\frac{u_2}{R_2}$$

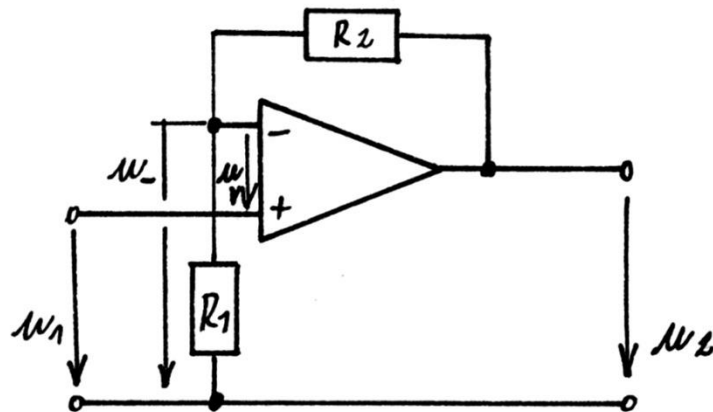
$$\frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

a tedy

$$\underline{\underline{A_u = -\frac{R_2}{R_1}}} \qquad \underline{\underline{u_2 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot u_1}}$$

Vstupní odpor zesilovače ... $R_{vst} = R_1$.

Neinvertující zesilovač s OZ



$$u_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_2$$

předpoklad: $u_v = 0 \Rightarrow u_1 = u_-$

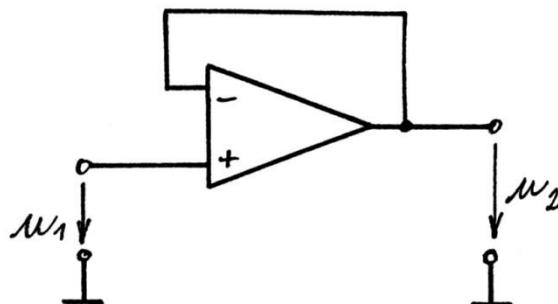
$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_2$$

$$u_2 = u_1 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

a tedy

$$\underline{\underline{u_2 = u_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}} \quad \underline{\underline{A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}}}$$

Zvláštní případ zesilovače:



$$R_1 \rightarrow +\infty; R_2 \rightarrow 0$$

$$u_2 = u_1; A_u = 1$$

Jde o tzv. napěťový sledovač.

4. Postup měření

1) Invertující zapojení operačního zesilovače

- a) V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření invertujícího zesilovače.
- c) Pro všechny zadané kombinace odporů R_1 a R_2 vypočteme výsledná napěťová zesílení $A_{u,vyp}$.
- d) Funkční generátor nastavíme na sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou 100 mV.
- e) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace. Spustíme běh simulace činnosti obvodu.
- f) Pomocí osciloskopu zobrazíme průběh napětí generátoru U_1 a výstupního napětí zesilovače U_2 . Efektivní hodnoty U_1 a U_2 odměříme pro všechny kombinace odporů R_1 a R_2 .
- g) Dopočítáme příslušná napěťová zesílení $A_{u,sim}$.
- h) K rozhraní NI myDAQ připojíme obvod invertujícího zesilovače z měřicího přípravku.
- i) Přepneme se do režimu on-line měření a zopakujeme měření z bodu f). Dopočítáme příslušná napěťová zesílení $A_{u,skut}$.
- j) Pro jednu námi vybranou kombinaci odporů R_1 a R_2 provedeme uložení oscilogramu do souboru.
- k) Hodnoty $A_{u,vyp}$, $A_{u,sim}$, $A_{u,skut}$ získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnáme a případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- l) Vypneme režim on-line měření a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní my DAQ.

2) Neinvertující zapojení operačního zesilovače

- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření neinvertujícího zesilovače.
- b) Pro všechny zadané kombinace odporů R_1 a R_2 vypočteme výsledná napěťová zesílení $A_{u,vyp}$.
- c) Funkční generátor nastavíme na sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou 100 mV.
- d) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace. Spustíme běh simulace činnosti obvodu.
- e) Pomocí osciloskopu zobrazíme průběh napětí generátoru U_1 a výstupního napětí zesilovače U_2 . Efektivní hodnoty U_1 a U_2 odměříme pro všechny kombinace odporů R_1 a R_2 .
- f) Dopočítáme příslušná napěťová zesílení $A_{u,sim}$.

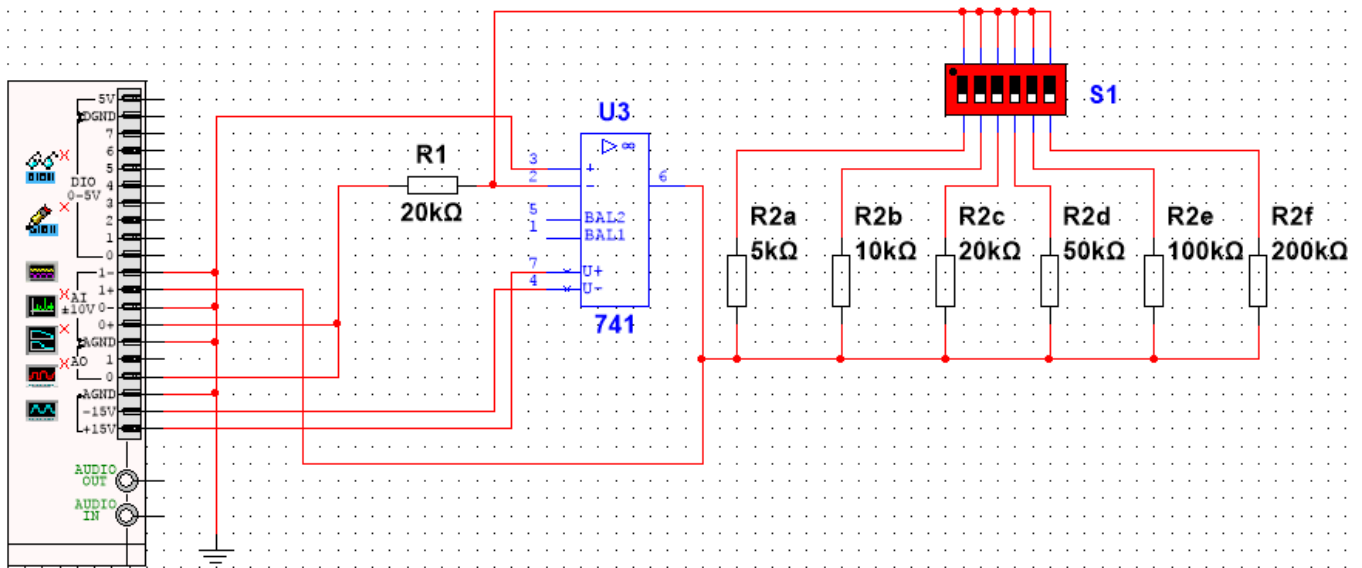
- g) K rozhraní NI myDAQ připojíme obvod neinvertujícího zesilovače z měřicího přípravku.
- h) Přepneme se do režimu on-line měření a zopakujeme měření z bodu e). Dopočítáme příslušná napěťová zesílení $A_{u,skut}$.
- i) Pro jednu námi vybranou kombinaci odporů R_1 a R_2 provedeme uložení oscilogramu do souboru.
- j) Hodnoty $A_{u,vyp}$, $A_{u,sim}$, $A_{u,skut}$ získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnáme a případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- k) Vypneme režim on-line měření a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní my DAQ.

3) *Napěťový sledovač s operačním zesilovačem*

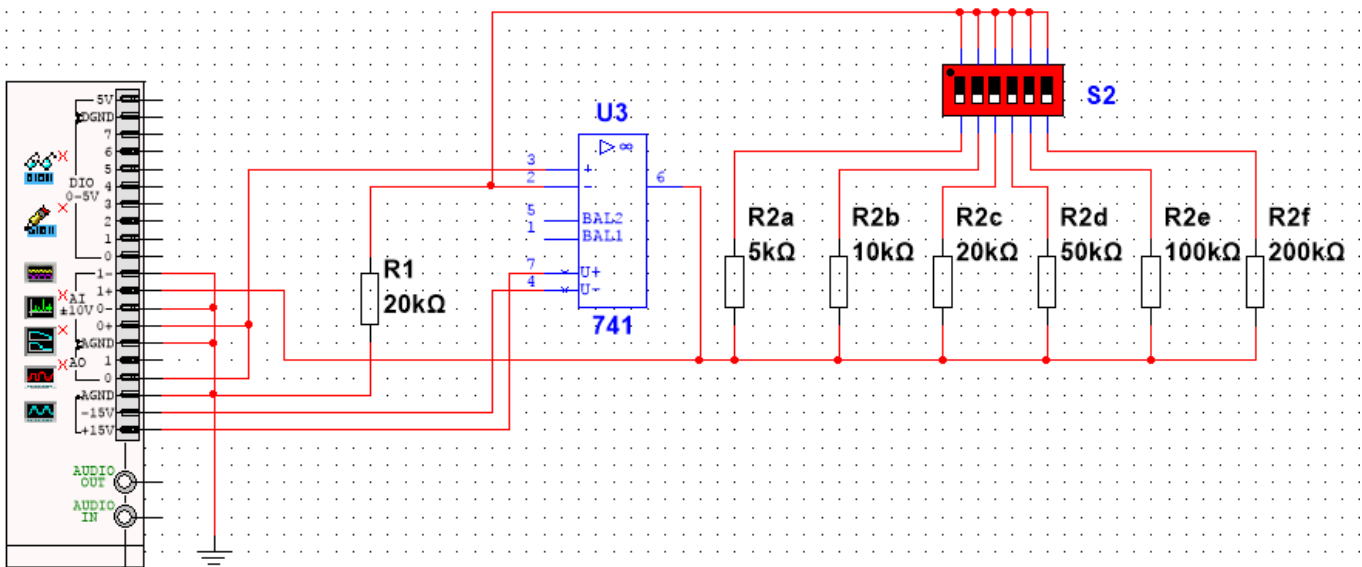
- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření napěťového sledovače.
- b) Funkční generátor nastavíme na sinusový průběh signálu s frekvencí 1 kHz a amplitudou 100 mV.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace. Spustíme běh simulace činnosti obvodu.
- d) Pomocí osciloskopu zobrazíme průběh napětí generátoru U_1 a výstupního napětí zesilovače U_2 .
- e) Dopočítáme příslušné napěťové zesílení $A_{u,sim}$.
- f) K rozhraní NI myDAQ připojíme obvod napěťového sledovače z měřicího přípravku.
- g) Přepneme se do režimu on-line měření a zopakujeme měření z bodu d). Dopočítáme příslušné napěťové zesílení $A_{u,skut}$.
- h) Provedeme uložení oscilogramu do souboru.
- i) Hodnoty $A_{u,vyp}$, $A_{u,sim}$, $A_{u,skut}$ získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnáme a případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- j) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení

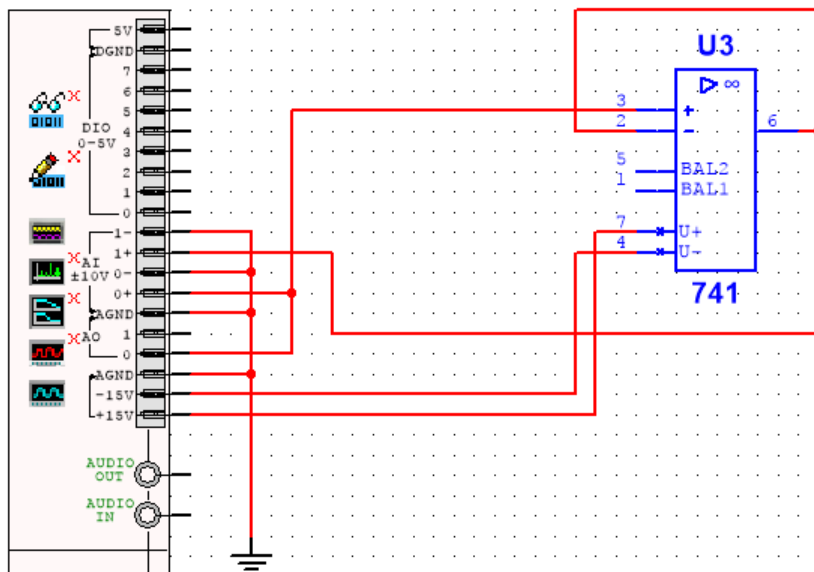
1) Invertující zapojení operačního zesilovače



2) Neinvertující zapojení operačního zesilovače



3) Napěťový sledovač s operačním zesilovačem



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek se zapojeními s operačními zesilovači.

7. Tabulky hodnot

1) Invertující zapojení operačního zesilovače

Výpočet	R_1 [k Ω]	20					
	R_2 [k Ω]	5	10	20	50	100	200
	$A_{u,vyp}$ [-]						
Simulace	$U_{1,sim}$ [V]						
	$U_{2,sim}$ [V]						
	$A_{u,sim}$ [-]						
On-line měření	$U_{1,skut}$ [V]						
	$U_{2,skut}$ [V]						
	$A_{u,skut}$ [-]						

2) *Neinvertující zapojení operačního zesilovače*

Výpočet	R_1 [k Ω]	20					
	R_2 [k Ω]	5	10	20	50	100	200
	$A_{u,vyp}$ [-]						
Simulace	$U_{1,sim}$ [V]						
	$U_{2,sim}$ [V]						
	$A_{u,sim}$ [-]						
On-line měření	$U_{1,skut}$ [V]						
	$U_{2,skut}$ [V]						
	$A_{u,skut}$ [-]						

3) *Napěťový sledovač s operačním zesilovačem*

Vypočtená hodnota napěťového zesílení..... $A_{u,vyp} = 1$

Simulovaná hodnota napěťového zesílení..... $A_{u,sim} = \frac{U_{2,sim}}{U_{1,sim}} = \dots$

Reálná hodnota napěťového zesílení..... $A_{u,skut} = \frac{U_{2,skut}}{U_{1,skut}} = \dots$

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtů.

9. Grafy hodnot

Do příloh vložte vytištěné oscilogramy napěťových průběhů jednotlivých zesilovačů.

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se simulace a on-line měření povedlo. Porovnejte simulované a reálné hodnoty měřených parametrů, vysvětlete případné nesrovnalosti.